

# **híradástechnika**

**1945 VOLUME LXIV. 2009**

## **hírközlés ■ informatika**

**60 év**



**A BME Híradástechnikai Tanszék és  
a BME Távközlési és Médiainformatikai Tanszék**

**közös különszáma alapításuk 60 éves évfordulója alkalmából**

# **külszám**

**A Hírközlési és Informatikai Tudományos Egyesület folyóirata a  
Nemzeti Hírközlési és Informatikai Tanács együttműködésével**

**HTE 60 ÉVES**

# Tartalom / Contents

|   |    |
|---|----|
| PROLÓGUS / <i>PROLOGUE</i>  | 1  |
| A JUBILEUMI SZÁM CIKKEI ELÉ / <i>PAPERS PUBLISHED IN THIS ISSUE</i>   | 2  |
| <b>Gordos Géza, Pap László</b><br>A 60 éves Vezetékes és Vezetéknélküli Híradástechnika Tanszékekről és jogutódjaikról megalakulásuktól napjainkig<br><i>On the 60 years old Departments of Wireline and Wireless Communications and on their successors from the founding till the present</i>                                 | 4  |
| Távközlési helyzetkép '88 / <i>State-of-the-art of telecommunications, 1988</i>   | 13 |
| <b>Sallai Gyula, Abos Imre, Kósa Zsuzsanna, Magyar Gábor</b><br>Az infokommunikációs konvergencia dimenziói<br><i>Dimensions of infocommunication convergence</i>   | 17 |
| <b>Henk Tamás, Szabó Róbert, Molnár Sándor, Sonkoly Balázs, Csernai Márton, Gulyás András, Heszberger Zalán, Gyarmati László, Trinh Anh Tuan</b><br>A jövő Internetének kutatásai<br><i>Research related to Future Internet</i>   | 23 |
| <b>Fazekas Péter, Imre Sándor, Jeney Gábor, Pap László, Schulcz Róbert, Szabó Sándor</b><br>Nagysebességű vezetéknélküli hálózatok – a közeljövő technológiái<br><i>High-speed wireless networks – technologies for the near future</i>   | 34 |
| <b>Bencsáth Boldizsár, Buttyán Levente, Vajda István</b><br>Kommunikációs hálózatok biztonsága<br><i>Security of communication networks</i>   | 43 |
| <b>Németh Géza, Olaszgy Gábor, Vicsi Klára, Fegyó Tibor</b><br>Beszélgető gépek?! – A beszédtechnológia jelene és jövője Magyarországon<br><i>Talking Machines?! – State report and future trends of speech technology in Hungary</i>   | 53 |
| <b>Augusztinovicz Fülöp, Fiala Péter, Fürjes Andor Tamás, Gulyás Krisztián, Márki Ferenc, Nagy Attila Balázs, Pfliegel Péter</b><br>Elemzési és tervezési módszerek a műszaki akusztikában: igények, korlátok és lehetőségek<br><i>Analysis and design methods in engineering acoustics: demands, limitations and prospects</i> | 59 |
| <b>Baranyi Péter, Németh Géza, Korondi Péter</b><br>„3D Internet” alapú kognitív infokommunikáció<br><i>3D Internet-based cognitive infocommunications</i>  | 70 |
| <b>Szabó Csaba Attila, Do Van Tien, Kovács Imre, Lois László, Sebestyén Ákos</b><br>Multimédia-kommunikáció ma és holnap<br><i>Multimedia communications: state-of-the-art and beyond</i>   | 78 |
| <b>Magyar Gábor, Kardkovács Zsolt, Szűcs Gábor</b><br>Médiatartalom-kezelés és -szolgáltatás<br><i>Media content management and services</i>  | 91 |
| <b>Levendovszky János, Elek Kálmán, Gaál József</b><br>Adaptív jelfeldolgozási algoritmusok a kommunikációs technológiákban<br><i>Adaptive signal processing algorithms in wireless communication technologies</i>  | 96 |

# Prológus

*imre@hit.bme.hu, sallai@tmit.bme.hu*

**T**isztelt Olvasó!

1949 a magyar híradástechnika történetében kiemelkedő év volt. Hatvan éve alapították a – mai nevén – Hírközlési és Informatikai Tudományos Egyesületet, a BME Villamosmérnöki Karát és annak két tanszékét is, a Vezetékes Híradástechnika Tanszékét és a Vezetéknélküli Híradástechnika Tanszékét.

A Híradástechnika folyóirat e különszámát a két tanszék örökösei, a Távközlési és Médiainformatikai Tanszék, valamint a Híradástechnikai Tanszék jelentetik meg, egyrészt tisztelegve az alapítóknak, tudós személyiségeiknek, a két tanszék történetének, oktató-kutató-fejlesztő tevékenységének, amelyet húsz éven át a Híradástechnikai Elektronika Intézet keretében szervezetileg is közösen éltek meg, másrészt bemutatva jelenlegi tevékenységi területeiket és szakmai eredményeiket, valamint jövőbeni tudományos irányvonalait.

Természetesen visszatekintésünkben törekedtünk a teljességre, azon-

ban nem mondhatjuk, hogy e két nagyméretű és történelme során sok sikert elért tanszék eredményeit és annak részeseit hiánytalanul felsorakoztattuk volna. Nem vállalhatjuk, hogy mindenki, aki számottevően hozzájárult a két tanszék oktatási-kutatói teljesítményéhez, lehetőséget kapott volna az érdemi bemutatkozásra. Inkább szemelvényeket nyújtunk át egy tucat szakmai cikk formájában, amelyekben „mintavételezzük” a tudományos eredményeket, a sikeres ipari alkalmazásokat, és ugyanakkor bemutatjuk azokat az irányokat is, amelyre szakterületünk fejlődését, kibontakozását, vagy éppen más területekkel való szinergikus összefonódását sejtjük, prognosztizáljuk.

Ahogy a híradástechnika, a távközlés és műsorközlés az elmúlt hatvan év során robbanásszerűen fejlődött, úgy alakult, formálódott a két tanszék tevékenysége, profilja. A meg lehetőségen elkülönülő vezetékes és vezeték nélküli területet képviselő tanszékekből infokommunikációt, a kommunikációs, információs és mé-

dia technológiák összefonódott területét művelő tanszékekké váltak, amelyek e széles szakterületen osztozva egyszerre egészségesen versenyeznek és működnek együtt.

A különszám létrejöttéhez köszönjük a szerzőkolléktívák szakcikkeit, figyelmes szövegformáló munkáját, és külön Gordos Géza és Pap László professzoroknak a két tanszék történetének gondos összeállítását, körültekintő bemutatását.

A különszám megjelenését a két tanszék alapításának 60 éves jubileuma jegyében rendezett közös tudományos ülésre tervezzük. Fogadják olyan szeretettel, amilyennel a két tanszék szerzőgárdái készítették.

Budapest, 2009. szeptember

*Dr. Imre Sándor  
tanszékvezető egyetemi tanár,  
BME Híradástechnikai Tanszék*

*Dr. Sallai Gyula  
tanszékvezető egyetemi tanár,  
BME Távközlési és  
Médiainformatikai Tanszék*

**híradástechnika** – A Hírközlési és Informatikai Tudományos Egyesület folyóirata

## Védnökök

SALLAI GYULA a HTE elnöke és DETREKŐI ÁKOS az NHIT elnöke

## Főszerkesztő

SZABÓ CSABA ATTILA

## Szerkesztőbizottság

Elnök: ZOMBORY LÁSZLÓ

BARTOLITS ISTVÁN  
BÁRSONY ISTVÁN  
BUTTYÁN LEVENTE  
GYŐRI ERZSÉBET

IMRE SÁNDOR  
KÁNTOR CSABA  
LOIS LÁSZLÓ  
NÉMETH GÉZA  
PAKSY GÉZA

PRAZSÁK GERGŐ  
TÉTÉNYI ISTVÁN  
VESZELY GYULA  
VONDERVISZT LAJOS

[www.hiradastechnika.hu](http://www.hiradastechnika.hu)

## A jubileumi szám cikkei elé

szabo@hit.bme.hu

**A** szakmai cikkek gyűjteményét megelőzően elsőként *Gordos Géza és Pap László* professzorok nagy gonddal és rengeteg adat összegyűjtése alapján megírt érdekes történeti áttekintését ajánlom Olvasóink figyelmébe a két jubiláló tanszékről, amely „*A 60 éves Vezetékes és Vezetéknélküli Híradástechnika Tanszékekről és jogutódjairól megalkulásuktól napjainkig*” címet viseli.

A cím utal a két, hatvan éve alapított tanszékre, de arra is, hogy e viszonylag hosszú idő alatt azok szervezeti átalakításokon mentek keresztül. A cikk az érdekes történeti vonatkozások, meghatározó személyiségek bemutatását követően összefoglalja a két tanszék jelenlegi oktatókutató kollektívái által művelt szakmai területeket.

Hogyan látták a távközlés helyzetét és fejlődésének irányait húsz évvel ezelőtt az MTA Távközlő Rendszerek Bizottságának tagjai és felkért szakértői? „*A távközlés tudományos helyzetképe 1988*” címet viselő, *Dr. Sallai Gyula* szerkesztésében készült tanulmányt teljes egészében nem tudjuk közreadni, de néhány oldalát beiktattuk. A tanulmány célja Géher Károly professzor, a TRB akkori elnökének előszava szerint az volt, hogy „a távközlés egészét fogja át az alaptudományoktól kezdve az integrált szolgáltatású távközlési hálózatokig és összefoglalja az elkövetkező évtized távközlési szolgáltatásainak műszaki alapjait”.

Az anyag összefoglalásában a következő megnevezésekkel találkozhatunk: „információ-orientált társadalom”, „távközlés és számítástechnika konvergenciája”, „nemzetközi kompatibilitás”, nemzetközi együttműködés, távközlési kutatások fokozottabb támogatása, kutatás, fejlesztés és ipar együttműködése – ezek bizony ma is korszerűen hangzanak.

A konvergenciát lehetett akkortájt már látni, de csak napjainkban van kiteljesedőben, a nemzetközi együttműködést is jogosan hangsúlyozták a szerzők, de természetesen senki nem láthatta előre, hogy annak milyen dimenziói fognak megnyílni az azóta bekövetkezett rendszerváltást és az Európai Unióhoz való csatlakozást követően.

A távközlés, informatika és elektronikus média világának konvergenciája valóban egyre nyilvánvalóbb mind technológiáik egységessé válásában, mind piacaik összeforrásában, mind szabályozásaik harmonizálására való törekvésekben. Az infokommunikációs konvergencia a távközlésnek az informatikával és e-médiával való ötvöződési folyamata, amely meghatározó az információs társadalom, a hálózatos tudástársadalom megvalósításában.

*Sallai Gyula, Abos Imre, Kósa Zsuzsanna és Magyar Gábor* cikke, „*Az infokommunikációs konvergencia dimenziói*” a konvergencia modelljének és formáinak bemutatása után annak szintjeit, hatásait és kilátásait ismerteti.

A jövő Internetének kutatásai egy 10-20 év múlva vizionálható hálózat építőelemeit kutatják az alapvető működési elvek, mechanizmusok valamint architektúrák terén. A torlódás-szabályozási kérdéseket vizsgálva olyan újszerű irányra juthatunk, melyben torlódásszabályozás nélkül is összeomlás-mentesen működhet a hálózat, megfelelő kapacitások és hibajavító kódolás alkalmazása mellett. Az Internet méretének robbanásszerű növekedése új kihívások elé állítja az üzemeltetést, ezért fontos a nagyméretű hálózatok kutatása, amely a méretnövekedés kezelésére alkalmas új megközelítéseket vizsgál. A piac és a környezet oldaláról tekintve pedig a társadalmi és gazda-

ságossági szempontok egyre jelentősebb mértékben befolyásolják a technikai fejlődés által létrejövő hálózatok kialakítását.

E három témakör rövid áttekintése olvasható „*A jövő Internetének kutatásai*” című írásunkban, melynek szerzői *Henk Tamás, Szabó Róbert, Molnár Sándor, Sonkoly Balázs, Csernai Márton, Gulyás András, Heszberger Zalán, Gyarmati László és Trinh Anh Tuan*.

Kicsit közelebbi jövőt és mindannyiunkat közvetlenül érintő érdekes technológiai és szolgáltatási kérdéseket vizsgál *Fazekas Péter, Imre Sándor, Jeney Gábor, Pap László, Schulcz Róbert és Szabó Sándor* a „*Nagysebességű vezetéknélküli hálózatok – a közeljövő technológiái*” című cikkében, áttekintést adva a nagysebességű vezetéknélküli hálózatokban napjainkban elterjedőben lévő és a közeljövőben bevezetésre kerülő műszaki újdonságokról. Rövid elméleti alapozás után a korszerű személyi, lokális és cellás rendszereket veszik sorra, bemutatva a már szabványosított és működő megoldásokat, kiemelve a továbbfejlesztési irányokat és lépéseket.

A hálózatok és különösképpen a nyilvános Internet biztonsága szintén mindannyiunkat foglalkoztató probléma. A „*Kommunikációs hálózatok biztonsága*” című cikkben *Bencsáth Boldizsár, Buttyán Levente és Vajda István* először az Internet aktuális biztonsági problémáit tárgyalja, majd bemutatnak néhány jövőbe mutató kutatási irányt a hagyományos értelemben vett internetbiztonság területén. Ezután az Internet egy tágabb értelmezését tekintik, melyben a hálózat nemcsak PC-kből és szerverekből áll, hanem kiegészül különböző beágyazott számítógépekkel és bemutatják a kapcsolódó adatbiztonsági problémákat. Végül áttekintést ad-

nak a kriptográfiai kódolási technikák helyzetéről és bemutatják a hálózati kódolást, ami egy új, ígéretes kutatási terület.

A beszédtechnológia a világ sok országához hasonlóan hazánkban is több évtizede intenzíven kutatott terület. A „Beszélgető gépek?! – A beszédtechnológia jelene és jövője Magyarországon” című áttekintő cikkükben a szerzők – Németh Géza, Olasz Gábor, Vicsi Klára és Fegyő Tibor –, röviden áttekintik a témakörrel kapcsolatos kihívásokat és eredményeket, majd felvillantják a technológia fejlesztésének és alkalmazásának jövőképét.

Augusztinovicz Fülöp, Fiala Péter, Fürjes Andor Tamás, Gulyás Krisztián, Márki Ferenc, Nagy Attila Balázs és Pfliegel Péter „Elemzési és tervezési módszerek a műszaki akusztikában: igények és lehetőségek” című írása a műszaki tudomány mellett több más diszciplína – a fizika, matematika, építészet, sőt a zenetudomány – elemeit is magában foglaló akusztika témaköréről igyekszik átfogó képet adni.

A szerzők rövid történeti visszatekintés keretében felvázolják a műszaki akusztika néhány részterületének kialakulását, a fejlődést meghatározó körülményeket és tényezőket, majd a műszaki akusztika néhány ma használatos és a jövőben is ígéretesnek látszó eljárásának alap gondolatait ismertetik.

Ismét egy jövőbemutató témával foglalkozik a „3D Internet-alapú kognitív infokommunikáció” cikkében Baranyi Péter, Németh Géza és Ko-

rondi Péter, amely az EU kutatási keretprogramjában is kiemelt témaként szereplő „3D Internet”-hez és a kognitív infokommunikációhoz kapcsolódó új kutatási irányokat mutatja be. Sorra veszik az ezen a téren kialakult alapfogalmakat és definíciókat, azok egymáshoz való viszonyát és kialakulását, valamint a kapcsolódó nemzetközi trendeket, valamint a nagyobb nemzetközi projekteket és kutatólaboratóriumokat.

A multimédia kommunikáció vagy hálózati multimédia (networked multimedia) egy „rég-új” terület: hiszen ide sorolható egyfelől a több, mint fél évszázadra visszatekintő tv-műsorszórás, a több mint húszéves kábeltéves műsorszórtás, másfelől pedig a nem sokkal több, mint egy évtizedre visszatekintő internet-alapú multimédia és legújabban a mobil multimédia.

Szabó Csaba Attila, Do Van Tien, Kovács Imre, Lois László és Sebestyén Ákos cikke, „A multimédia-kommunikáció ma és holnap” a címbéli témakör négy korszerű részterületét mutatja be: a műholdas és földfelszíni digitális műsorszórást, az IP-hálózatokon történő médiakommunikációt, a szolgáltatásnyújtási platformokat és az internetes közösségi médiát.

A távközlés, informatika és elektronikus média világának konvergenciája a médiatartalom-kezelést és a szolgáltatást is új kihívások elé állította. A tartalom előállításának és újrafelhasználásának a többszörös, sokféle publikáláshoz kell igazodnia, miközben kitüntetett szempont a megtalálhatóság illetve a visszake-

reshetőség. A megjelenítő felülettől független és a kontextustól függő tartalomkezelés, továbbá a médiatartalmak rendezése, szerkesztése és okos kereshetősége a „legforróbb” kutatási témák közé tartoznak.

Magyar Gábor, Kardkovács Zsolt és Szűcs Gábor „Mediatartalom-kezelés és -szolgáltatás” című írása a tématerület legfontosabb kihívásait, kutatás-fejlesztési trendjeit, látható korlátozó tényezőit és megoldási irányait tekinti át.

Végül Levendovszky János, Elek Kálmán és Gaál József „Adaptív jelfeldolgozási algoritmusok a kommunikációs technológiákban” cikke zárja jubileumi összeállításunkat.

A kommunikációs algoritmusokkal és jelfeldolgozással foglalkozó kutatólaboratóriumban folyó sokfajta kutatás közül elsősorban azokra az eredményekre összpontosít, amelyekkel növelhető a vezeték nélküli technológiák spektrális kihasználtsága és megbízhatósága, a csatorna-kiegyenlítési algoritmusok és szenzorhálózatok útvonalválasztó protokolljai területén.

Visszatérve a cikksorozatunkat bevezető, húsz évvel ezelőtti távközlési helyzetképre; érdekes lesz majd értékelni – talán nem is újabb 20, hanem az exponenciális fejlődést figyelembevéve akár már 8-10 év elteltével –, hogy mennyire bizonyultak időállóknak a jelen számunk cikkeiben foglalt megállapítások, s mennyire jónak az előrejelzések...

Szabó Csaba Attila  
főszerkesztő



# A 60 éves Vezetékes és Vezetéknélküli Híradástechnika Tanszékekről és jogutódjaikról megalakulásuktól napjainkig\*

GORDOS GÉZA, PAP LÁSZLÓ

*gordos@tmit.bme.hu, pap@hit.bme.hu*

**A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem jogelődje – a továbbiakban Műegyetem, illetve BME – valamint az ország vezetése az ipar és a szolgáltatások igényeinek kielégítésére szükségesnek ítélte, hogy a BME az 1949/50-es tanévet önálló Villamosmérnöki Karral kezdje meg. Ez a döntés jól megalapozott előzményekre támaszkodott...**

Az „erősáram” – a Jedlik, Déri, Bláthy, Zipernowsky, Kandó, Liska és mások – által jellemzett teremtőerőre támaszkodva létrehozta a Műegyetem Gépészmérnöki Karán az úgynevezett B tagozatot. De ez a tagozat nem tudhatott utánpótlást és fejlesztési kapacitást biztosítani egy olyan szektornak, amelyet egyebek mellett az jellemzett, hogy a magyar telefon- és távíróhálózat az 1890-es évektől kezdve folytonosan a világ élvonalában volt és a második világháborúba a kontinens egyik legnagyobb telefonsűrűségével lépett be, vagy hogy hazánkban a kísérleti rádióműsorszórás már 1923-ban megindult, mégpedig az 1893-ban alapított telefonhírmondó stúdiójára és műsor-szerkezetére építve. A rádióműsorszórás egy olyan ipar kifejlődéséhez is vezetett, amely az 1930-as évek közepén a világ rádiókészülékeinek közel egyharmadát állította elő.

Ezek a tények kényszerítették ki azt a logikus lépést, hogy a Gépészmérnöki Kar B tagozatán (is) oktató egyes tanszékeiből és néhány újonnan létrehozott tanszékből megalakult a Villamosmérnöki Kar úgy, hogy az oktatást az 1949/1950-es tanévben elkezdhesse és – az alacsonyabb évfolyamokba lépő B tagozatos gépész hallgatókra is folyamatosan támaszkodva – már 1950-től diplomát bocsáthasson ki. A Kar alapításában komoly szerepet vállalt *Dr. Verebély László* professzor, aki Kandó Kálmán közvetlen munkatársa és jobb keze volt.

Ebben a folyamatban jött létre a Villamosmérnöki Kar megalakulásával egyidőben, 1949 tavaszán a jelen cikk két jubiléuma, a Vezetékes Híradástechnika Tanszék és a Vezetéknélküli Híradástechnika Tanszék.

## A Vezetékes Híradástechnika Tanszék (1949–1971)

A Vezetékes Híradástechnika Tanszék létrehozására és vezetésére *Dr. Kozma László* professzor (1961-től az MTA levelező, 1976-tól rendes tagja) a kiváló tudós szakem-

ber kapott megbízást, aki ezzel egyidejűleg folytatta az amerikai ITT tulajdonában lévő budapesti Standard Villamossági Rt. műszaki igazgatói tevékenységét is. Kozma professzor igen jó választás volt. Ereje teljében lévő 47 éves mérnök, öt éves műszerészi gyakorlattal az Egyesült Izzólámpa és Villamossági Rt.-ben, a Brünni Német Műszaki Egyetemen szerzett mérnöki diplomával (német, angol és francia nyelvtudással), 12 éves vezető fejlesztői gyakorlattal az Antwerpenben működő, ITT érdekelt-ségű Bell Telephone Manufacturing Company fejlesztési osztályán, a háborúban súlyosan megrongálódott hazai távközlő hálózat újjáépítésének vezetője, kinevezéséig 27 távközlési és 10 számológépes (mind megvalósított, többségüket sok országban gyártásba is vitt) szabadalom egyedüli vagy vezető társhelfalálója, a külföldi tulajdonú Standard Villamossági Rt. műszaki igazgatója, a gyárban műszaki továbbképző tanfolyamok kezdeményezője és tananyag-kidolgozója, az 1948-ban először odaítélt Kossuth-díj birtokosa.

De sajnos a „konceptiós” perek egyike, az úgynevezett „Standard-per” kapcsán koholt vádak alapján 1949. november 25-én letartóztatták és csak 1954. november 19-én szabadult (teljes rehabilitációban 1989-ben részesült). Szabadulásában valószínűleg szerepet játszott az is, hogy *Dr. Barta István* és *Dr. Vágó Arthur* professzorok 1954 tavaszán az illetékeseknek írt levélben rámutattak arra, hogy az ő tudásának hiánya miatt a távközlési szektor gyorsuló ütemben marad el, s ezt csak Kozma szabadon bocsátásával és munkába állásával lehet megfordítani. Kozma professzor 1956-ban vette vissza professzori teendőit a Tanszéken. Időközben 1951 és 1959 között *Dr. Vágó Arthur* professzor, majd ezután 1959-től 1971-ig ismét *Dr. Kozma László* professzor volt a tanszékvezető.

Vágó és Kozma professzorok nagy érdeme, hogy az 1956-os forradalom utáni létszámcsökkenést (távozott mások mellett *Dr. Szentirmay György*, *Dr. Willoner Gedeon*, *Dr. Werner János* – utóbbi nyugdíjas professzor a stockholmi Királyi Műszaki Egyetemen) 2-3 év alatt megfelelő felkészültségű iparból jöttekkel, nagy reményekre jogosító más tanszékeliekkel, illetve frissen végzettekkel pótolni tudták.

A Vezetékes Híradástechnika Tanszék Karon belüli munkamegosztásból adódó feladata a gyengeáramú (később híradástechnikaira átnevezett) szakon belül a táv-

\* A szerzők a legfontosabb tényeket és a tevékenységek lényegét lehetőleg pontosan idézik fel, ám azok szereplői közül – mert szerencsére sokan voltak és vannak, azonban e cikk terjedelme korlátozott –, csak az egyetemi tanárokat, vagy a tanszéki, intézeti, kari, illetve az egyetemi vezetésben résztvevőket nevezik meg.

beszélőtechnika, az átviteltechnika, a logikai áramkörök és kapcsolástechnika valamint a hálózatelmélet, s ezen belül a lineáris hálózatok széles területeinek kutatása és oktatása volt. A Kozma professzor egyéniségét jellemző humánus áthatotta a tanszéki közösség életét, szinte családiasnak mondható alkotó légkört biztosítva a Tanszék valamennyi munkatársának. Az ő és vezető munkatársai problémamegoldások iránti igényessége, az elvárt szigorú mérnöki gondolkodás, a szakmai világ fejlődésének töretlen követése olyan elvárást sugallt, hogy a Tanszék szinte valamennyi oktatója megszerezte az egyetemi doktori címet, majd a kandidátusi fokozatot. A Tanszékot ekkortájt (a hatvanas években) egyetemi körökben a „doktorok tanszéke” néven emlegették.

Kozma professzor a távbeszélőtechnikára összpontosított, ebben az iskolában nevelte az „utánpótlást”, melynek Kozma professzor utáni vezéralakja *Dr. Frajka Béla* lett, aki az 1980/90-es évek fordulóján az informatikai szak megalapítását/megerősítését elősegítő dékánhelyettesként is magas szinten állt helyt. Támazkodva Kozma professzornak az 1938-1942-es időszakban az elektromos számológépek gyorsütemű fejlődését eredményező tervékenységére – melyet 10 világszabadalom és az IEEE Computer Society által részére 1996-ban odaítélt Post Humus „Computer Pioneer Award” is fémjelez –, az ő tervei alapján készült el a Tanszéken az első magyar tároltprogram-vezérlésű digitális számítógép (Műegyetemi Számítógép, MESZ-1), amely az akkor már régóta kipróbált nagy megbízhatóságú jelfogókból épült fel. A későbbi magyar számítástechnikai fejlődés úttörői közül sokan ezen a gépen nevelkedtek fel, és ez volt a gyökere később a Tanszék oktatási profiljában is jelentős szerepet játszó számítógép-hálózati protokolltechnikanak. A MESZ-1 – hivatását betöltve – az 1960-as évek végén az Országos Műszaki Múzeumba került.

Ugyancsak Kozma professzor és *Frajka Béla* tervezésével és kivitelezésével a Tanszéken készült el (1964) a Nyelvstatisztikai Automata néven ismertté vált célszámítógép, amely az Országos Nyelvtudományi Intézetben szolgálta a nyelvészeti kutatásokat.

Az idők folyamán a távbeszélőtechnika tudománya is differenciálódott. Kiágazott belőle a Forgalmelmélet és a Kapcsolástechnika, s mindez Kozma professzor irányítása alatt történt. Kozma professzor – bár alapos megfontolás után –, az ő tématerületétől független oktatási-kutatási kezdeményezéseket is támogatott.

*Dr. Géher Károlynak* (később professzornak) módja volt a hálózatelmélet akkori eredményeinek kritikai elemzése után azok értékét-lényegét a „Lineáris hálózatok” tantárgy mentén összegezni és ezzel egy nagyjelentőségű iskolát elindítani, amelyben többek között *Dr. Gordos Géza* (később tanszékvezető, egyetemi tanár), *Dr. Trón Tibor* (később tanszékvezető-helyettes) és *Dr. Halász Edit* (későbbi dékánhelyettes) voltak segítségére.

A *Dr. Izsák Miklós* professzortól 1975-ben örökölt „átviteltechnikát” *Dr. Lajtha György* (később címzetes egyetemi tanár) és *Dr. Gordos Géza* először az adatátvitellel, majd a PCM beszédátvitellel, s végül mindezt a gerinchálózati technikával egy platformra hozva kialakította

az „Integrált távközlés” fogalmát, tantárgyát és oktatói stábját. Ez volt a – még csak távközlésen belüli – konvergencia első deklarált megjelenése.

A sokcsatornás beszédátvitel minőségellenőrzése szükségessé tette egyrészt a természetes, másrészt a géppel utánczott emberi beszéd jelenségeinek kutatását. Ezzel az indítatással alakult meg *Dr. Gordos Géza* vezetésével 1968-ban a Tanszéken a Beszédtechnológiai Laboratórium. E laboratórium fejlődését döntően befolyásolta az a hat hónap, amely során 1969-ben *Dr. Gordos Géza* a londoni Imperial College-ben *Gábor Dénes* későbbi Nobel-díjassal együtt dolgozott. Az ebből kinőtt tudományos iskola mára (a később tárgyalt HEI, TTT és TMIT keretei között) a hazai legelismertebb, nemzetközi tekintélyű beszédtechnológiai laboratóriumcsoport kialakulásához vezetett, amely az alap kutatásokban és az alkalmazások kifejlesztésében egyaránt kiemelkedően teljesített és teljesít.

*Amikor Géher* professzor a klasszikus hálózatelmélet rendszerezését befejezte, felismerte a hálózatelmélet új kihívását: a toleranciaanalízist, amelyet tudományos igényrel világviszonylatban először *Géher* professzor állított a kutatás középpontjába és az első leglényesebb válaszokat is ő fogalmazta meg három idegen nyelven is megjelent könyvében (*Theory of Network Tolerances* – 1971, Akadémiai Kiadó). Őt e téma első és legelismertebb „klasszikusaként” tartják számon világszerte.

A Tanszék – együttműködve a Kar többi tanszékével – folyamatosan törekedett a tanterv korszerűsítésére. Ennek jeles példája, hogy Kozma professzor dékánsága (1960-63) alatt indult el és fejeződött be a Kar első átfogó tantervreformja, amely 1963 őszén életbe is lépett.

A Tanszék természetesen rendszeres és szoros kapcsolatot tartott a hazai ipar szakmailag és tematikailag rokon területeket művelő intézményeivel, azok felé biztosítva a szakember-utánpótlást és azok felől befogadva a szakmai segítséget igénylő kutatás-fejlesztési problémákat, amelyekre a Tanszéken kifejlesztett megoldások katalizátorként hatottak a magyar gazdaságra és a Tanszék szakmai vérkeringésére.

Természetesen a Tanszék aktív volt a hazai és nemzetközi publikálásban és a szakmai-tudományos konferenciák, események szervezésében. Utóbbiak sorából kiemelkedik a Vezetéknélküli- és a Vezetékes Híradástechnikai Tanszékek egyes vezető oktatóinak kezdeményezésével megszervezett – 1959-ben indult és máig tartó –, MICROCOLL konferenciasorozat, amely Magyarországot visszahelyezte a híradástechnika világtérképére.

Kozma László akadémikus nyugállományba vonulásával szinte egy időben a Vezetékes- és a Vezetéknélküli Híradástechnika Tanszék 1972. január 1-én egyesült Híradástechnikai Elektronika Intézet (HEI) néven.

### **Vezetéknélküli Híradástechnika Tanszék (1949–1971)**

A Vezetéknélküli Híradástechnika Tanszék alapítója és első vezetője *Dr. Barta István* professzor (1949-től az MTA levelező, 1976-tól rendes tagja) volt, aki a Tanszék



vezetői pozícióját 1972-ig, a Tanszék HEI-be történő átalakulásáig töltötte be. Barta professzor egyetemi tanulmányait Bécsben, Brünmben és Karlsruheban végezte. A karlsruhei egyetemen 1933-ban szerzett villamosmérnöki diplomát, majd ugyanott egyetemi doktori címet kapott 1934-ben. Doktori tézisei a mikrofonok tranzien viselkedésével foglalkoztak. Ez volt a mikrofonok tranzien viselkedésének az első komoly elméleti és gyakorlati analízise, amire évtizedek múlva is hivatkoztak a mérvadó irodalmi források.

1934 és 1937 között Dr. Barta István kutatómérnökként dolgozott az Ericsson Electrical Co. cégnél Budapesten. Ebben az időszakban számos rádió vevőkészüléket tervezett, melyeket Philips márkanéven forgalmaztak Magyarországon. Emellett számos elektromos készüléket fejlesztett a rádió vevőkészülékek gyártásának és tesztelésének a támogatására. 1935-ben nagy teljesítményű, újszerű, minőségi dinamikus hangszórót tervezett. Majdnem három évtizednek kellett eltelni ahhoz, hogy úttörő megoldása széles körben elterjedjen. 1938 és 1948 között a Tungstram munkatársa volt, ahol a televízió laboratóriumban dolgozott 1940-ig, majd a rádiócsövek végellenőrzésével és mérésével foglalkozó részleg vezetője lett. 1939-ben társaival együtt a Tungstramban felállított egy televíziótechnikával foglalkozó kísérleti laboratóriumot, ahol a kor legmodernebb eszközeit felhasználva vizsgálták a képátvitel gyakorlati lehetőségeit.

1946-ban Dr. Barta István részt vett a Tungstram laboratórium világhírűvé vált kísérletében, melyben a világon először sikerült a Holdról visszaverődő radarjeleket detektálni. Ezek mellett Dr. Barta István számos elektronikus berendezés fejlesztésében vett részt, melyek elsősorban a rádiócsövek gyártását és végellenőrzését támogatták. 1948-tól 1950-ig az Orion Rádiógyár műszaki igazgatója volt. Számos jól ismert Orion rádiókészülék tervezését irányította.

A második világháború után Barta professzor tagja, majd vezetője volt a Tungstram vállalat fejlesztési részlegének. Kiemelkedő szerepet játszott az első magyar gyártmányú elektronikai berendezések fejlesztésében, illetve a fejlesztésekkel foglalkozó csoport irányításában. Ez a közösség, amely idővel részben átkerült az Orion Rádiógyárba, meghatározó részt vállalt abban a munkában, ami a hazai elektronikai ipar hírnevét megalapozta. Barta professzor egyike volt a Távközlési Kutató Intézet megalapítóinak, elindította és vezette az Intézet Rádiós Vételtechnikai Osztályát is.

Dr. Barta István indította el Magyarországon a híradástechnika egyetemi oktatását, 1948-49-ben részt vett az Állami Műszaki Kollégium munkájában, ami az első telekommunikációs oktatási intézmény volt. Nem sokkal ezután előadásokat vállalt a Budapesti Műszaki Egyetemen. Az Állami Műszaki Kollégiumban az alábbi tárgyakat oktatta: Elektroncsövek és Az elektroncsövek alkalmazásai; a BME-n pedig: Rádió vételtechnika, Televízió, Elektronikus mérések, Impulzustechnika, Rádiókészülékek szerkesztése. 1949 júniusában professzorrá nevezték ki.

1959-től vezető szerepet vállalt a telekommunikációs mérnökképzés továbbfejlesztésében, megelőzve a felsőoktatás általános reformját. Beigazolódta azok a nézetei, melyek szerint a telekommunikációs mérnökképzésben egyre fontosabb szerepet játszott a technológiai ismeretek oktatása. Részt vett az Elektronikai Technológia Tanszék megalapításában. Magyarországon elsőként hozott létre olyan kutatócsoportot, amely a színes televízió technikával foglalkozott és amely részt vállalt a hazai gyártású színes-televízió-készülékek fejlesztésében és gyártásában.

Az Egyetemen nemzetközi kutatási laboratóriumokban szerzett szakmai tapasztalatára és széleskörű ipari gyakorlatára támaszkodva az általa oktatott témákban számos könyvet, egyetemi jegyzetet és tudományos publikációt jelentetett meg, és számos előadást tartott egyetemünkön, szakmérnöki és továbbképző tanfolyamokon és külföldön is. Híres könyvét „Rádió vevőkészülékek és erősítők” címmel 1956-ban jelentette meg, amelynek második kiadása 1963-ban látott napvilágot.

Vezetése alatt a Tanszék domináns szerepet játszott a híradástechnikai mérnökképzés tantervének folyamatos fejlesztésében és új tantárgyak kidolgozásában. Barta professzor egész szakmai pályáján harmonikus egyensúlyt volt képes teremteni az elmélet és a gyakorlat között és ezt oktatásszervezői tevékenységében is érvényesíteni tudta. Ez a filozófia a Vezetéknélküli Híradástechnika Tanszék működésének teljes időszakára jellemző volt. Barta professzor a diktatúra legnehezebb időszakában segítette az igazságtalanul, politikai okokból üldözött kollegáit, *Dr. Kozma László* és *Dr. Simonyi Károly* professzorokat és még sokan másokat.

Az alapítástól eltelt időszakban a Vezetéknélküli Híradástechnika Tanszéken tudományos iskolák alakultak ki. Közülük kiemelkedő jelentőségű a Barta professzor által alapított, színes-televízió-technikával foglalkozó akadémiai kutatócsoport és laboratórium létrehozása, amely aktív szerepet vállalt a – később nemzetközileg is jelentős – hazai színes-televízió-gyártás elindításában és általános fejlesztésében. A laboratórium irányítását a későbbiekben *Dr. Ferenczy Pál* (később professzor) vette át, aki aktív szerepet játszott a hazai televíziótechnika oktatásának a továbbfejlesztésében, és a magyar nyelvű Teletext szolgáltatás beindításában. Emellett *Dr. Ferenczy Pál* dolgozta ki a Hírközlésemélet című alapozó szaktárgyat és ő vezette a témával foglalkozó tanszéki kutatócsoportot is.

Barta professzor kezdeményezte az elektroakusztikával foglalkozó kutatócsoport létrehozását is, amit később *Dr. Barát Zoltán* tanszékvezető-helyettes vezetett. A kutatócsoport alapvető szerepet vállalt a hazai elektroakusztikai ipar felépítésében és egyes gyártmányok fejlesztésében is. Közük alól került ki a magyarországi rádió-, televízió- és filmstúdiók hangmérnökeinek egész generációja. Az akusztikai témával foglalkozó tudományos iskolában kutatók és oktatók egész sora nevelkedett, köztük *Dr. Takács Ferenc*, később a BME címzetes egyetemi tanára, aki hosszú időn át volt a Magyar Hang-  
lemezyártó Vállalat főmérnöke.



A Tanszéken Barta professzor alapította meg az elektronikával foglalkozó csoportot, melynek később a vezetője *Dr. Komarik József* későbbi dékánhelyettes lett. A csoport foglalkozott az elektronika különböző témáinak az oktatásával, beleértve az Erősítők és a Nemlineáris áramkörök területét. Az elektronikai csoport a 60-as évektől kezdve szoros kapcsolatokat épített ki a hazai iparvállalatokkal és aktívan részt vett elektronikai termékek fejlesztésében. Kiemelkedő jelentőségűek voltak a csoport által fejlesztett orvoselektronikai berendezések.

A Vezetéknélküli Híradástechnikai Tanszék felelt a híradástechnikus hallgatók számítástechnikai oktatásáért. Az ezzel a témával foglalkozó csoportot *Bohus Miklós*, későbbi intézeti igazgatóhelyettes vezette, aki a digitális technika és az automatika témaköröket oktatta. A csoporthoz tartozott *Dr. Németh Gábor* a későbbi Híradástechnikai Tanszék tanszékvezető helyettese, aki aktív szerepet vállalt a korai számítógépek rendszertechNIKájának oktatásában.

A Tanszék alapítása után egy ideig *Dr. Almásy György* professzor tanította a mikrohullámú technikát *Dr. Ferenzy Pál* segítségével. Ezek mellett a Tanszék foglalkozott a híradástechnikai mérés technika oktatásával, és 1958-ig, az Elektroncsőtechnikai Tanszék megalakításáig felelőse volt az elektroncsövek elmélete oktatásának is, amit *Dr. Palócz István* (később a Polytechnic Institute of New York professzora) végzett *Dr. Ambrózy András* (később professzor, az Elektronikai Technológia Tanszék vezetője) és *Dr. Tarnay Kálmán* (később professzor, az Elektronikus Eszközök Tanszék vezetője) segítségével. Ebben az időben ugyanis az európai egyetemek többségében az elektronikus eszközök témaköre a fizikával, telekommunikációval vagy elektromágneses terekkel foglalkozó tanszékek hatáskörébe tartozott.

A Tanszék gyümölcsöző kapcsolatokat épített ki a hazai ipar különböző intézményeivel. Ezeket a kapcsolatokat egyrészt a szakmai utánpótlás nevelése, másrészt a hazai ipari innovációs folyamat támogatása jellemezte. A Tanszék munkatársai által kifejlesztett műszaki megoldások meghatározó szerepet játszottak a hazai híradástechnikai ipar termékskálájának bővítésében és abban, hogy ez a szakterület a 60-as években az ország egyik legfontosabb – nemzetközileg is magasan jegyzett – iparágává fejlődött.

### **Híradástechnikai Elektronika Intézet (1972–1991)**

A Híradástechnikai Elektronika Intézet (HEI) 1972-ben jött létre a Vezetékes Híradástechnika Tanszék és a Vezetéknélküli Híradástechnika Tanszék összevonásával, *Dr. Barta István* professzor, intézetigazgató vezetésével. Az Intézet létrehozásának előkészítésében még *Dr. Kozma László* professzor is részt vett, akinek nagy érdeme volt abban, hogy a két tanszék 1970-ben hozzájuthatott egy japán elektronikus számítógéphez és ezt követően 1972-ben elsőként indíthatta el a kommunikációs számítástechnikai ágazat oktatását a híradástechnikai szakon.

Miután 1971-ben durva és méltatlan politikai támadások után *Dr. Simonyi Károly* professzor (1993-tól az MTA rendes tagja) a Villamosmérnöki Kar legendás tanára, kiváló tudós, aki villamosmérnök-hallgatók generációja számára volt az ideális egyetemi tanár jelképe, elhagyni kényszerült az általa alapított Elméleti Villamosságtan Tanszék vezetői pozícióját, 1971-ben *Dr. Barta István* professzor meghívta őt a Híradástechnikai Elektronika Intézetbe, helyet biztosított számára és főleg nyugalmat az alkotó munkához. Ő tanította az Intézet két fontos alaptárgyát, az Elméleti villamosságtant és az Elektronfizikát. Itt született a kultúrákon átívelő „A fizika kultúrtörténete” című könyv, amely méltán vált az általános műveltség szimbólumává, és ami később kiegészült „A magyar fizika kultúrtörténete a 19-ik században” című tanulmányal. *Simonyi* professzor beosztott egyetemi tanárnaként az Intézetben tovább oktatott egészen 1989-es nyugalomba vonulásáig.

Az Intézet szakterülete az elektromágneses térelmélet és elektronfizika kérdéseire, a számítógép-programozásra, a híradástechnikai alkatrészekre, a lineáris és nemlineáris áramkörökre, az informatikára, a kapcsolástechnikára, a távközlő rendszerekre, a rádió- és TV technikára, a műszaki akusztikára, a jelfeldolgozásra, a beszédtechnológiára, a számítógép-technikára és az ezekkel összefüggő mérés technika és konstrukcióra terjedt ki. Az Intézet oktatási tevékenysége elsősorban a híradástechnikai szakkal volt kapcsolatos, ahol sok alaptárgy oktatásán kívül ellátta az adat- és távközlési ágazat, az adat- és műsorszórás ágazat és a kommunikációs számítástechnika ágazat szaktárgyainak oktatását is.

*Dr. Barta István* professzort 1975-ben *Dr. Csibi Sándor* professzor (1979-től az MTA levelező, 1987-től rendes tagja) követte, aki 1991-ig volt az Intézet igazgatója. Munkáját *Dr. Géher Károly* professzor és *Bohus Miklós*, majd *Dr. Pap László* (később professzor, 2001-től az MTA levelező, 2007-től rendes tagja) igazgatóhelyettesek támogatták. Az Intézet létrehozásának célja a híradástechnikai szakon az oktatás és kutatás hatékonyságának és gazdaságosságának növelése, valamint a kisegítő szolgáltatások javítása volt. Az Intézet hivatásának tekintette az erős alapképzésre épülő minőségi oktatást és tudományos képzést, a kutatást, fejlesztést és innovációt az általa művelt területeken, így kiemelten a távközlés, a műsorszórás, a híradástechnika és az alkalmazott számítástechnika különböző tématerületein. Az Intézet munkatársai ezeken a tématerületeken és ezek önálló részterületein, valamint az integrálásukkal kialakuló összetett és interdiszciplináris területeken nemzetközileg elismert oktató és tudományos műhelymunkát, kutató-fejlesztő tevékenységet folytattak. Az Intézet szoros kapcsolatokat tartott fenn tudományos és szakmai szervezetekkel, gazdasági szereplőkkel, társegyetemekkel mind a hazai, mind a nemzetközi porondon. Munkájában mindig az elmélet és gyakorlat harmóniájára törekedett.

A HEI hat – osztályvezetők által irányított – osztályból (Akusztika és Alkatrészek Osztály, Áramkörök Osztály, Kapcsolástechnika Osztály, Rádió és TV Osztály, Számí-

tástechnikai Osztály, Távközlési Osztály) épült fel, amelyet az Intézeti Számítóközpont, a Műszaki Csoport, az Intézeti Könyvtár és az Intézeti Iroda egészített ki. Az Intézet munkáját az osztályvezetőket is magába foglaló vezetés irányította.

1973-tól, amikor *Dr. Csibi Sándor* professzor csatlakozott az Intézethez, a tudományos élet általánosan megpezsdült. Csibi professzor a tanítás mellett igen nagy súlyt helyezett a kutatómunkára és arra, hogy a tudományos eredményeket nemzetközi fórumokon is meg kell mérteni. Csibi professzor indította el a mély matematikai alapokra épülő hírközlésméleti és információelméleti tudományos és szakmai iskolát, amely az Intézet következő másfél évtizedének tudományos tevékenységét alapvetően meghatározta. Ebből a közösségből nőttek ki olyan tudományos és oktatói egyéniségek, mint *Dr. Györfi László* (1995-től az MTA levelező, 2001-től rendes tagja), *Dr. Gordos Géza*, *Dr. Szabó Csaba* és *Dr. Vajda István* professzorok, akik a későbbiekben maguk is önálló tudományos iskolákat alapítottak vagy korábban alapítottakat erősítettek meg. A kutató közösség gyümölcsöző nemzetközi kapcsolatokat épített ki a világ vezető kutatói csoportjaival, rangos nemzetközi tudományos fórumokon publikált.

Az Intézet – mint előbb jeleztük – több tématerületen igen színvonalas, nemzetközileg is jegyzett tudományos és szakmai iskolákat hozott létre illetve teljesített ki, amelyek máig meghatározzák a híradástechnikai szakterület hazai fejlődését. A tudományos iskolák közül talán a legkorábbi a *Dr. Géher Károly* professzor által alapított hálózatelméleti iskola volt, amely korábbi eredményeire támaszkodva a 70-es évben is az Intézet tudományos tevékenységének egyik fő vonalát jelentette. Ebben az iskolában több kiváló kutató és oktató érlelődött tovább, közöttük *Dr. Trón Tibor* és *Dr. Halász Edit*. A hálózatelméleti iskola igen széleskörű nemzetközi kapcsolatokat ápolta a világ különböző egyetemeivel és kutatóintézeteivel, keretein belül számos színvonalas tudományos értekezés látott napvilágot elsősorban a tolerancia-analízis témában.

Az Áramkörök Osztályon belül tovább működött a *Barta* professzor által létrehozott elektronikai szakmai és tudományos iskola is, szoros és szinergikus kapcsolatot tartva a hálózatelméleti csoporttal. Az iskola az elektronikus áramkörök és rendszerek elméleti és gyakorlati témáival foglalkozott, nagymértékben támaszkodva azokra az ipari célú kutatás-fejlesztési projektekre, amelyeket a kutatócsoport tagjai a hazai vállalatok számára dolgoztak ki. A csoportot először *Dr. Komarik József*, majd *Dr. Pap László* vezette.

Komoly szerepet játszott az Intézet életében a mély matematikai alapokra épülő információelméleti iskola, amelyet *Dr. Györfi László* professzor vezetett és amely az Intézet tudományos arculatát több szakterületen alapvetően meghatározta. Györfi professzor mellett több nemzetközi hírű tudós nőtt fel, akik ma a világ nagy egyetemeinek meghatározó professzorai. A kutatócsoport a matematikai statisztika, a döntésmélet, az információelmélet, az alakfelismerés, a nem-paraméteres tanulás,

a többszörös hozzáférésű csatornák, a hírközlésmélet, a kódoláselmélet, a sztochasztikus approximáció és a statisztikus portfólióbecslés számos kérdéskörében járultak hozzá a szakterület tudományos fejlődéséhez. Ebből az iskolából nőtt ki a *Dr. Vajda István* professzor által alapított elektronikus kereskedelemmel és adatbiztonsággal foglalkozó tudományos iskola, amely a kriptográfia, kódoláselmélet és kódosztásos többszörös hozzáférésű hálózatok kérdéseivel foglalkozott.

Az Intézet *Dr. Frajka Béla* által vezetett Kapcsolástechnikai Osztályán indult el a *Dr. Csopaki Gyula* dékánhelyettes által alapított és a *Dr. Tarnay Katalin* címzetes egyetemi tanár ipari tapasztalataira is jelentősen építő, protokollteszteléssel foglalkozó tudományos iskola, melynek igen nagy szerepe volt abban, hogy ezen a területen a hazai szakemberek máig is versenyképesen tudnak részt venni a multinacionális vállalatok korszerű rendszereinek a fejlesztésében, sőt multinacionális vállalatok kutató-fejlesztő részlegeinek magyarországi létrehozásában majd fenntartásában.

*Dr. Gordos Géza* professzor az 1968-ban általa alapított Beszédtechnológiai Laboratóriumra támaszkodva fejlesztette ki az Intézet beszédtechnológiával foglalkozó tudományos iskoláját, amelynek a különböző irányokban kifejlődött laboratóriumai együttesen mindmáig a legszélesebb tudományos spektrummal rendelkező beszédkutatói oktató-kutatóhelyet képezik Magyarországon. A kutatócsoport még az Intézeten belül számos nemzetközileg is jegyzett eredményt ért el általában a gépi beszédfeldolgozás, különösen a beszéd szintézis és a beszéd felismerés témakörében. Szakmai eredményeiket több szabadalom, színvonalas nemzetközi publikáció fémjelzte. Megvalósított rendszereiket az iparban és a szolgáltatásokban itthon és külföldön számos területen ma is használják. *Gordos* professzor mellett számos kiemelkedő tudományos személyiség nőtt fel, akik ma az Egyetem, illetve a hazai beszédfeldolgozással foglalkozó kutatóhelyek meghatározó munkatársai, például *Dr. Olaszy Gábor* professzor.

Az Intézet életében fontos szerepet töltött be a *Bohus Miklós*, majd *Dr. Németh Gábor* által vezetett Számítástechnikai Osztály, amely nagymértékben hozzájárult ahhoz, hogy az Intézet aktív szerepet játszott az informatikus képzés beindításában, a tanterv kidolgozásában és fontos tantárgyak oktatásában. Az osztály szakmai profilját meghatározta a digitális technika témakör oktatása és a számítógép-architektúrák területén végzett kutatómunka.

A fent említett kutatási területeken kívül az Intézet folytatta a korábbi két tanszék által művelt egyéb területeken is a kutatást és oktatást. Ilyenek voltak a hagyományos kapcsolástechnika, a digitális átviteltechnika, az elektroakusztika, a konstrukció, az alkatrészek, a rádió és TV technika és a távközlés szakterületei, amelyekben a munkatársak számos kiváló eredményt értek el.

A kutatómunka erősítésére a Magyar Tudományos Akadémia, amely ebben az időszakban a tudományos kutatás legfőbb szervezője volt, létrehozta az Intézetben a BME-MTA Informatikai és Elektronikai Kutatócsoportot *Dr. Csibi Sándor* professzor vezetésével.

Az Intézet munkatársai között volt még 1975-ös nyugdíjba vonulásáig az enciklopédikus tudású *Dr. Izsák Miklós* professzor, a Távközlési Osztály elődjének, az Átviteli és Rendszertechika Osztálynak a vezetője, az 1959-1979 között több, egyre bővülő kiadásban, angolul, majd magyarul is megjelent Távközlési Kézikönyv főszerkesztője.

Az Intézet laboratóriumi infrastruktúrája folyamatosan fejlődött. Ebben a folyamatban kiemelkedő szerepet játszott a nagy IBM 320-as számítógép beszerzése és a személyiszámítógép-park nagy léptékű bővítése. Mindez hozzájárult ahhoz, hogy az Intézet jelentős szerepet játszott az újonnan indult informatika szak létrehozásában, a tantervek kidolgozásában és az oktatásban is. Csibi professzor meghatározó szerepet vállalt annak a kari ad hoc bizottságnak a munkájában, amely a legkiválóbb nemzetközi példákra építve lerakta a hazai műszaki informatikus képzés alapjait.

Az Intézet jelentősége az alapítástól kezdve folyamatosan nőtt, így nőtt a munkatársak létszáma is. A természetesen kialakult férőhelyproblémákat Dr. Csibi Sándor professzor vezetésével az Intézet – az egyetemi szokásoktól eltérően – saját kezdeményezésű emeletréépítéssel oldotta meg, ami lehetővé tette új laboratóriumok kialakítását és a Tanszék munkatársainak kényelmesebb elhelyezését. Az akciót több hazai nagyvállalat jelentős anyagi eszközökkel támogatta.

A HEI valamennyi osztálya szoros kapcsolatokat tartott fenn az illetékes szakterületek vállalataival. Munkatársai sok esetben jutottak országos jelentőségű szerephez, például az Országos Középtávú Kutatási Tervek elkészítésében is (Dr. Csibi Sándor, Dr. Gordos Géza, Dr. Pap László).

1991-ben az Intézet – az időközben végbement természetes polarizáció hatására – két részre oszlott, a Híradástechnikai Tanszékre valamint a Távközlési és Telematikai Tanszékre.

## Híradástechnikai Tanszék (1991–)

A Tanszék a Híradástechnikai Elektronika Intézet kettéválásával 1991-ben alakult. Vezetője előbb *Dr. Ferenczy Pál* professzor, majd *Dr. Pap László* professzor lett. A Tanszék oktatási és kutatási feladatai szorosan kötődnek a híradástechnikai módszerekhez és a hírközlő rendszerek tervezéséhez, ezek pedig közvetlenül kapcsolódnak az elektronikához és a számítástechnikához. A Tanszék munkatársai – a korábbi hagyományokra támaszkodva – alapvető szerepet játszottak a műszaki informatika szak tantervének kialakításában és egyes fontos szaktárgyak oktatásában.

A Tanszék oktatási tevékenysége a híradástechnika, az elektronika, az akusztika és az informatika egyes területeit öleli fel. Az előadások, a tantermi és laboratóriumi gyakorlatok keretében a hallgatók megismerkednek az adott szakterület elméletével és gyakorlati módszereivel.

A Tanszék oktatási és kutatási tevékenysége a híradástechnika klasszikus tématerületeit és a szakterület korszerű irányzatait ötvözi. A megalakulás időszakában a Tanszék az alábbi hagyományos szakirányokat művel-

te: rádió és televízió rendszerek, adatbiztonság, médiovábbító rendszerek, számítógép-architektúrák, elektronika és elektronikai rendszertechika, kommunikáció és számítástechnika, műszaki akusztika, a programozás alapjai, kódoláselmélet, hírközlő hálózatok, rendszerek és technológiák és jelfeldolgozó rendszerek tervezése.

Az azóta eltelt közel húsz év alatt a Tanszék oktatási területe kibővült, mára a fentiek mellett új tantárgyak keretében a Tanszék az alábbi szakterületeket oktatja: médiakommunikációs rendszerek és médiatechnológia, biztonságos elektronikus kereskedelem, hálózatbiztonság, hálózati architektúrák és technológiák, kódolástechnika, számítógépek és hálózatok biztonsága, számítógép-hálózatok, mobil hírközlő rendszerek, multimédia eszközök, teremakusztika, újgenerációs hálózati architektúrák, vezetékes és vezeték nélküli technológiák, mobil internet, rezgésakusztika, szélessávú médiovábbító rendszerek.

A Tanszék aktív szerepet vállal a Kar alap-, mester- és doktori szintű képzésében mind a villamosmérnöki, mind pedig a műszaki informatika szakon. A mesterképzésben a Tanszék három szakirány oktatásáért felel, ezek az alábbiak: hírközlő rendszerek biztonsága, médiatechnológiák és -kommunikáció és újgenerációs hálózatok.

A Tanszék oktatási és kutatási tevékenysége a tanszéki laboratóriumi közösségekben folyik. A laboratóriumok az alábbi szakterületeken szerveződtek: adatbiztonság, hálózati algoritmusok és jelfeldolgozás, számítástechnika, multimédia-hálózatok, kommunikációs hálózati technológiák, akusztika, hálózatmodellezés és -tervezés, mobil távközlés és informatika.

A Tanszéken a fenti szakterületeken erős tudományos iskolák alakultak, melyekben számos PhD hallgatóval együtt nemzetközileg is elismert kutatómunka folyik. A tudományos iskolák közül talán a legkorábban indult a *Dr. Jereb László* professzor által alapított, és ma *Dr. Telek Miklós* professzor által vezetett, az integrált szolgáltatást nyújtó hálózatok többrétegű forgalmi, átviteli, rendszertechikai és megbízhatósági modellezése elemzése és tervezése kérdéseivel foglalkozó kutató közösség. A csoport az adott szakterületen szerteágazó nemzetközi, és emellett erős hazai ipari kapcsolatokat épített ki. Eredményeiket széles körben használják a hazai távközlési szolgáltatók.

A Tanszék megőrizte, és aktívan folytatja az elődintézmények hagyományait a *Dr. Barát Zoltán* által elindított elektroakusztikai területen, kiegészítve azt az általánosabb hangtechnikával és vibroakusztikával. A tudományos iskolát ma *Dr. Augusztinovicz Fülöp* (tanszékvezető helyettes) vezeti. A csoport elsősorban a szórakoztatás, művelődés szándékával létrehozott rögzített és/vagy közvetlenül továbbított hanganyagok készítésével és feldolgozásával, valamint az emberi környezetben fellépő nem kívánatos, zavaró, esetleg egészségkárosító hang- és rezgésjelenségek tulajdonságaival, hatásuk csökkentésének eszközeivel és módszereivel foglalkozik. Nemzetközi kapcsolataik igen erősek, tématerületükön több színvonalas doktori disszertáció született. Munkájuk támogatására ipari segítséggel a Tan-

szék egy korszerű akusztikai mérőszobát és laboratóriumot alakított ki, amely nagyban segíti a szakterületen tanuló diákok gyakorlati képzését.

A Tanszéken *Dr. Szabó Csaba* professzor vezeti a multimédia technológiák és hálózatok témával foglalkozó kutatócsoportot, amely sikeresen ötvözi a hagyományos műsorszórás, a szélessávú és a számítógépes média konvergáló területeit. Kutatásuk fő területe a szélessávú média (digitális műsorszórás) és a számítógépes média konvergáló területeinek egységes kezelése: médiakódolási technikák, szélessávú médiakommunikációs rendszerek, digitális műsorszórás, videóstúdió-technológiák. Emellett kiemelten foglalkoznak a multimédia hálózati architektúrák és rendszerek, a korszerű hálózati technológiák, a mobil multimédia hálózatok és szolgáltatások, a közösségi hálózatok, alkalmazások és üzleti modellek témaköreivel.

Fontos szerepet játszik a Tanszék életében a *Dr. Pap László* professzor által alapított és évekig *Dr. Imre Sándor* professzor által vezetett, a mobil hírközlő és informatikai rendszerekkel foglalkozó tudományos iskola. Itt a kutató közösség elsősorban a mobilitást támogató infrastruktúra, az ad hoc és személyi vezeték nélküli rendszerek általános elméleti és műszaki problémáival foglalkozik, beleértve a mobil hírközlő rendszerek, a mobil infokommunikáció, a mobil számítástechnika, a mobil internet kihívásait. A tudományos iskola erős nemzetközi kapcsolatokkal rendelkezik, keretein belül számos PhD-disszertáció született.

Az elmúlt években jelentősen megerősödött a Tanszéken a *Dr. Vajda István* professzor által alapított adatbiztonsággal és a kommunikációs rendszerek biztonságával foglalkozó tudományos iskola, ami elsősorban az algoritmusos adatbiztonság, a kriptográfia elmélete és gyakorlata, a vezetékes és vezeték nélküli kommunikációs hálózatok biztonságának elmélete és gyakorlata, a beágyazott rendszerek biztonsága, megbízhatósága, privacy problémái, a formális módszerek alkalmazása biztonsági mechanizmusok tervezésében és analízisében, valamint a hálózati kódolás és biztonsági vonatkozásai tématerületeket fedi le. A tudományos közösség számos EU-pályázatban vett sikeresen részt, nemzetközi kapcsolatai kiemelkedők. Az utóbbi időben a csoporton belül több nemzetközi monográfia és sikeres PhD-disszertáció született.

Eddigi sikerei mellett várhatóan nagy jövő előtt áll a *Dr. Levendovszky János* professzor által alapított tudományos iskola, amely többek között az adaptív algoritmusok, a digitális jelfeldolgozás, a szoftverek és hardverek tervezése és implementálása, az idősorok analízise és adatbányászata, a statisztikus erőforrás-menedzsment, a gráfoptimalizálási algoritmusok, a vezeték nélküli szenzorhálózatok hálózati protokolljai, a mobil játékok hálózati optimalizálása, a hibajavító kódolási és detekciós algoritmusok kérdésköreivel foglalkozik. Ezek mellett erős ipari kapcsolatokra támaszkodva nemzetközileg is elismert innovációs tevékenységet folytat a digitális jelfeldolgozó és kommunikációs hardverek tervezése, fejlesztése területén. A tudományos iskola az elmúlt idő-

szakban tevékenységét kiterjesztette a pénzügyi információs rendszerek területére és aktívan részt vesz a gazdasági informatika oktatásának elindításában. A fenti témákban az utóbbi időben több sikeres PhD-disszertáció született és éppen most kerül sor egy új tudásközpont alapítására, amely a pénzügyi rendszerek modellezését tűzi ki célul.

A Tanszék aktívan folytatja a *Dr. Németh Gábor* által vezetett kutatócsoport keretein belül az információ-feldolgozási modellek elméletével, az egyes modellekhez tartozó architektúrákkal foglalkozó kutatásokat, kiegészítve azt a kvantum-algoritmusok és kommunikációs protokollok témájával. A csoport érdeklődési területéhez tartozik az elosztott intelligens rendszerek: önszerveződő, autonóm, peer-to-peer, önmenedzselő hálózatok témaköre, valamint a skálázható hálózati kommunikáció, a szolgáltatásmodellezés és az önszerveződés, adaptáció változó környezethez téma is.

A Tanszék mindig törekedett arra, hogy jelentős ipari kapcsolatokat építsen ki a hazai és multinacionális távközlési és informatikai vállalkozásokkal. A rendszerváltást követő időszakban, a hazai ipari kapcsolatok mélypontján a Tanszék két irányban kezdte el az ipari kapcsolatok újjáépítését: egyrészt a távközlési hálózatok tervezése témakörben megerősítette korábbi kapcsolatát a MATÁV-val, másrészt nemzetközi partnereket keresett.

Az azóta eltelt időszakban a hálózat tervezés területén a Tanszék a domináns hazai távközlési szolgáltató legfontosabb kutatóbázisává vált. Elmondhatjuk, hogy a hazai távközlő hálózatok tervezéséhez, teljesítőképességi elemzéséhez és megbízhatósági analíziséhez dominánsan a tanszéki munkacsoport által fejlesztett szoftvereket használták.

A 90-es évek elején – Levendovszky János kezdeményezésére – a Tanszék együttműködési szerződést kötött az amerikai RTD Embedded Technologies céggel, melynek keretében a Tanszéken kutató-fejlesztő laboratóriumot hoztunk létre a cég digitális jelfeldolgozó berendezéseinek a fejlesztésére. A közös munka eredményeként számos korszerű számítástechnikai, adatátviteli és digitális jelfeldolgozó berendezés született, ami évekig alapvetően meghatározta a cég kereskedelmi portfólióját.

Az elmúlt időszakban a munkatársak számos hazai alapvető kutatási, kutatás-fejlesztési és EU-s pályázatot nyertek el. Kiemelkedik ezek közül a Vajda István professzor által vezetett CrySyS Lab. tevékenysége, amely az utóbbi időben több mint tíz nagy EU pályázatban szerepelt sikeresen az adatbiztonság és az adatvédelem területén.

A Tanszék ipari kapcsolati rendszerét az elmúlt öt évben erősen meghatározta az egyetemi Mobil Innovációs Központ létrehozása, amely Pap László professzor vezetésével 2005-ben kezdte el működését. A Mobil Innovációs Központ (MIK) a Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal pályázati támogatásából alakult meg, és egyetem, akadémiai kutatóintézet, iparvállalatok, szolgáltatók, valamint tudományos kutatással vagy innovációval foglalkozó szervezetek együttműködésére épül. A Mo-

bil Innovációs Központ azoknak a tudományos és műszaki kérdéseknek a megoldására jött létre, amelyek hozzájárulnak a jövő heterogén mobil és vezeték nélküli hálózataiban felmerülő problémák tisztázásához, a 3G-szolgáltatások és a későbbi mobil és vezetéknélküli technológiák bevezetéséhez, illetve ezeken a hálózatokon korszerű alkalmazások fejlesztéséhez. A Központ keretében közel 150 kutató, köztük körülbelül 35 PhD-hallgató dolgozott, és a Központ által kiépített nagy értékű laboratóriumi infrastruktúra jó alapot biztosít az elkövetkező évek oktatási és innovációs tevékenységének.

A Tanszék kezdettől fogva aktív szerepet vállalt az Egyetemi Távközlési és Informatikai Központ, valamint a High Speed Network Laboratory (lásd lentebb) tevékenységében is.

A HEI megszűnését követően a Tanszéken dolgozott tovább Dr. Simonyi Károly professzor, aki a 90-es években teljesen visszavonult minden nyilvános szerepléstől, de ebben az időszakban rendezte nyomda alá a „A fizika kultúrtörténete” 1998-as, majd 2002-es módosított kiadásait és a „A magyar fizika kultúrtörténete” című művét. Simonyi professzor hagyatékának ápolása a Tanszék kiemelt célja. Ezt jelzi az is, hogy a Tanszék minden évben meghirdeti a Fizika kultúrtörténete című tantárgyat.

A Tanszéken folytatta munkáját Csibi Sándor professzor is, aki az oktatás mellett döntő szerepet játszott a Tanszék hazai és nemzetközi tudományos kapcsolatainak ápolásában. Csibi professzor elvi iránymutatása és gyakorlati támogatása nagyban hozzájárult ahhoz, hogy ma a Tanszék az Egyetem egyik olyan szervezeti egysége, ahol a legtöbb MTA vagy tudományok doktora címmel rendelkező egyetemi tanár dolgozik.

Miután Dr. Pap László professzor 2008-ban betöltötte 65. életévét, amely a vonatkozó törvény szerint a vezetői megbízás felső korhatára, az ő támogatását is élvezve a Híradástechnikai Tanszék vezetésére 2009-től Dr. Imre Sándor egyetemi tanár kapott megbízást.

## **A Távközlési és Telematikai Tanszék (1991–2003)**

A Távközlési és Telematikai Tanszék (TTT) a Híradástechnikai Elektronika Intézet (HEI) kettéválásával 1991-ben alakult Dr. Gordos Géza tanszékvezetésével. A tanszékvezető-helyettes Dr. Trón Tibor lett, akit 2000-es sajnálatos halála után Dr. Csopaki Gyula követett. Mivel a kettéválás lényegében azon tématerületi és személyi határvonalak, illetve azok természetes továbbfejlődése mentén történt, amely a HEI-be 1972-ben összevont Vezetékes és Vezetéknélküli Híradástechnikai Tanszékek között is húzódtak, a Távközlési és Telematikai Tanszék jogelődjének tekinti az 1949-ben Dr. Kozma László professzor irányításával létrejött Vezetékes Híradástechnika Tanszékét, s ugyanez a viszonylat áll fenn az 1949-ben létrehozott Vezetéknélküli Híradástechnika Tanszékre is, mint az 1991-ben alakult Híradástechnikai Tanszék (HIT) jogelődjére.

A Távközlési és Telematikai Tanszék (TTT) profiljába kezdetben a HEI-ből részben örökölt témák tartoztak: táv-

közlő rendszerek és azok alapjai, távközlő hálózatok, nagysebességű hálózatok, kapcsolóközpontok, jelfeldolgozás és beszédtechnológia.

Bár az átmenet az intézeti működésből a két tanszék (HIT, TTT) működésébe az oktatás és kutatás legteljesebb folytonosságával ment végbe, mindkét tanszéken megfogalmazódtak az eddigénél nagyobb intenzitással művelendő új témák. Ennek szellemében a TTT a tevékenységében és nevében is igyekezett kifejezésre juttatni a telekommunikáció és az informatika egyre nyilvánvalóbb egymásba fonódását.

Egy másik új tevékenységi kör a távközlés technológiai és jogi-, pénzügyi-, szabályozási oldalai közötti összefüggés láttatása volt. Ennek érdekében Dr. Gordos Géza amerikai kormány-segítséggel megszervezett egy kompetens amerikai szakértők által tartott „Távközlés-menedzsment” intenzív kurzust. Erre alapozva indult be 1993-ban a Karon felfogásában és szellemében teljesen újszerű „Távközlés-menedzsment” mellékszakirány oktatása.

Nyilvánvaló, hogy egy végzéshez közeli hallgatók oktatását is ellátó tanszék hiteltelen erős ipari kapcsolatok nélkül. A Tanszék 1991-es alapítása idején támogatásra képes ipari partnereket nehezen lehetett találni, hisz 1991-92 a magyar gazdaság egyik legmélyebb krízis-időszaka volt. Megindult tehát az ipari kapcsolatoknak a rendszerváltás utáni helyzetben történő újratemtése. Elsőként, itthoni eredményeinkre alapozva 1991 végén létrejött az ERICSSON és a TTT vezetésének egy konzultációja, amely egy iparvállalat és egy egyetemi tanszék teljesen újszerű stratégiai együttműködésére épített, és épül azóta is. Az együttműködés lényege a PhD-hallgatók szabad témaválasztása és az ERICSSON szempontjából nyújtott teljesítményeiknek az ERICSSON nemzetközi kutatói közössége általi értékelése alapján a pozitívan értékelt hallgatók utáni képzési költséghez való ERICSSON általi hozzájárulás. 1992-ben szerződésben is rögzítve megalakult a TTT-n egy laboratórium, 1994-től Nagysebességű Hálózatok Laboratóriuma (HSN Lab – High Speed Networks Laboratory) néven, amelynek alapító ipari partnerei a svéd ERICSSON R&D és a Telia Research voltak. A HSN Lab operatív irányítását egy idő után Dr. Henk Tamás docens, az ETIK (lásd később) ügyvezető igazgatója vette át. A HSN Lab. működésébe igen hamar bekapcsolódott a Híradástechnikai Tanszék is. A HSN Lab operatív irányítását 2007 elejétől a TMIT (lásd később) tanszékvezető-helyettese, Dr. Szabó Róbert végzi.

Kiderült, hogy az egyik legnagyobb kiterjedésű és legváltozatosabban lekérdezett polgári célú adatbázisok a távközlés területén jelentkeznek. Ezért a TTT-n beindult az adatbázisokkal kapcsolatos tudományágak tervszerű feldolgozása majd fejlesztése. Az oktatási követelményeket sokszorosan túlhaladó eredmények születtek a szöveges adatbányászat és a szöveges (írott) tartalom szerinti lekérdezés területén. Ezek a tématerületek szinte automatikusan vezettek 1993-ban a TTT-n addigra már nagyon megerősödött adatbázis-csoportnak a műszaki informatika oktatásban kibontakozó további bővüléséhez.

1996-ban az MTA Békésy György Akusztikai Kutató Laboratórium csatlakozott a TTT-hez. Ezzel magasan képzett munkatársakon túl jelentős értéket képviselő, az országban csak elvétve található létesítmények (süket-szoba, zengőszoba stb.) is gazdagították a Tanszékét, illetve az Egyetem közösségét. A Kutatólaboratórium vezetője a csatlakozáskor *Dr. Illényi András* tudományos tanácsadó volt, s most *Dr. Vicsi Klára* tudományos tanácsadó (az MTA doktora) vezeti. E laboratórium ideálisan egészíti ki a Beszédtechnológiai Laboratórium tevékenységét és feladatait, melynek vezetését – miután az alapító *Dr. Gordos Géza* betöltötte 70. életévét – 2007-ben *Dr. Németh Géza* docens, egyben a Kar Tudományos Diákköri Bizottságának Elnöke vette át. Az így megerősödött beszédtechnológia új tudományterületei a beszédadatbázisok tervezési módszerei, az érzelem-kifejező szintézis, az érzelemfelismerés, a multimodális kommunikáció és természetesen a hagyományos beszéd szintézis természetességének és a beszéd felismerés hatékonyságának növelése.

1998-ban a Tanszék és az ERICSSON Kft. meghatározó alapítói részvételével létrejött az Egyetemközi Távközlési és Informatikai Központ (ETIK) Egyesület, amelyet azóta a Tanszék (TTT, majd TMIT) gesztorál. (Az egyesület alapító elnöke *Dr. Gordos Géza*, ügyvezető igazgatója *Dr. Henk Tamás*.) Az ETIK két egyetem (BME, ELTE) és több vállalat egyesülete, amelynek jelentős tevékenysége, hogy benne az ipari partnerek tagdíjaiból származó anyagi támogatásból alap- és alkalmazott kutatást folytat a BME és az ELTE több alkotócsoportja. Az ETIK ezzel hazánkban a technológia-transzfer egy korábban nem alkalmazott új formáját valósította meg: egyesületi tagdíjat transzformál K+F finanszírozásra. Ez különösen a külföldi székhelyű nemzetközi vállalatoknál válik be – természetesen egy bizonyos időre. Az ETIK az Egyesületi tevékenységén túl is folytat ipari kooperációt és 2001-től az ország öt Kooperációs Kutatási Központjának egyikeként az Oktatási Minisztérium támogatását is elnyerte.

A Tanszék tevékenységi körében az 1991-es megalakuláskor művelt témakörök mellett, illetve azokon belül erőteljesen fejlődtek a távinformatikai protokollok (*Dr. Csopaki Gyula* dékánhelyettes, a TANOK igazgatója, docens) és azok tesztelése, az adatbázisok és adatbányászat, a számítógépes intelligencia (*Dr. Kóczy László* professzor és tanítványai, közöttük *Dr. Baranyi Péter* tudományos tanácsadó, az MTA doktora), a média-tartalomkezelés (*Dr. Magyar Gábor*, BME stratégiai igazgató) és az ágazati szabályozás és menedzsment (*Dr. Sallai Gyula* előbb félállásos, 2001-től pedig teljes állású professzor) témakörei is.

A TTT munkatársai több nemzetközi szervezetben viseltek jelentős tisztséget. Több nemzetközi konferenciának voltak a szakmai szervezői melyek közül az 1999-es EUROSPEECH (általános elnök: *Dr. Gordos Géza*) elnyerte a legsikeresebb hazai szakmai konferenciának évente odaítélt „Arany Kongresszus” díjat.

Miután *Dr. Gordos Géza* professzor 2002-ben betöltötte 65. életévét, amely a vonatkozó törvény szerint a ve-

zetői megbízás felső határa, az ő és a tanszéki kollektíva támogatását is élvezve a Távközlési és Telematikai Tanszék vezetésére 2002 közepétől *Dr. Sallai Gyula* egyetemi tanár kapott megbízást.

*Dr. Sallai Gyula* a TTT-n korábban is szorgalmazott konvergencia témakörét elmélyítette és bevonta a médiainformatikát. Ez egy olyan jelentős változás volt, ami a Tanszék oktatási szerkezetére is hatással volt és érdemes volt érzékeltetni a Tanszék elnevezésében. Ez eredményezte azt, hogy 2003. július 1-től a Távközlési és Telematikai Tanszék (TTT) neve Távközlési és Médiainformatikai Tanszék (TMIT)-re változzon.

### **Távközlési és Médiainformatikai Tanszék (2003 –)**

Az új nevű tanszék vezetése kezdettől arra törekedett, hogy elődjeinek nyomdokán haladva tovább szélesítse a konvergencia hatókörét, most már beleértve abba a médiainformatikát is. Erre szilárd alapot az előd-tanszéknek elsősorban a szöveges és általános adatbázisok és a beszédtechnológia területén elért eredményei adtak. A tanszékvezetés néhány év alatt elérte, hogy a Tanszék egymástól távolinak tűnő kompetencia-területei között az együttműködés hatékonyan növekedjen.

Eme kompetencia-területek közül talán a legtöbb hallgatót az vonzza, amelyet a HSN Lab. fed le. Ez alapvetően a korábbi struktúra modernizálásával működik tovább *Dr. Szabó Róbert* tanszékvezető helyettes irányításával. Ugyancsak tovább működik az ETIK (elnöke *Dr. Sallai Gyula*). Mindkét szervezet megőrizte, sőt bővítette hagyományos egyetemi (Híradástechnikai Tanszék stb.) és azon kívüli partnereivel való együttműködését.

A Tanszék mindig súlyt helyezett a való élettel történő kapcsolattartásra. Ennek egyik hatékony formájaként – kétéves előkészület után – 2005. január 20-án megkezdte működését a BME TMIT Távközlési Vizsgáló Laboratórium. Témája a távközlő végberendezések (ISDN, ADSL stb.) hálózati csatlakozási követelményeinek vizsgálata. Megalakulása óta a Laboratórium évente újraakkreditált és jelenleg is érvényes akkreditációval és „kijelöléssel” rendelkezik (ami azt jelenti, hogy a Laboratórium mérési eredményei nemzetközileg elfogadottak). Az eddig elvégzett mintegy száz, zömmel külföldi megrendelésű vizsgálat konklúziója azonnal beépült a laboratóriumi oktatásba.

Már elismerten kialakult a Tanszéken az infokommunikáció-menedzsment témájú, *Dr. Sallai Gyula* által vezetett új tudományos iskola, amely a technológiai, piaci és szabályozási keretrendszer összehangoltságában vizsgálja az infokommunikáció fejlesztésének országos stratégiájától a konkrét infokommunikációs tervezési, vezetési, szabályozási, azonosító-gazdálkodási kérdésekig terjedő széles témakörét, különös hangsúllyal az infokommunikációs konvergencia hatásaira. A Tanszék ezen profiljának eredményességét és munkaerő-vonzó képességét jól bizonyítja az iparból és a szolgáltatásokból, az egyetemről kívülről érkezett, tudományos fokozattal is rendelkező munkatársak jelentős száma.

Emellett gyors fejlődést mutatnak fel az infokommunikáció technológia-közeli területei is.

A *Dr. Csibi Sándor* által adott lendület nemzetközileg magasan elismert eredményeket hoz a klasszikus (Erlang-féle) forgalomelmélet kiterjesztésében az infokommunikációban jellegzetes hosszútávon korrelációt mutató önhasznoló folyamatokra. E területen a tevékenység célja olyan elméleti modellek megalkotása, amelyek összhangban vannak a ténylegesen lefolytatott mérések eredményeivel és a hálózati tesztekkel. Igen fontos kérdés az infokommunikációs hálózatok teljesítményének elemzése, kiértékelése és tervezésbe való visszacsatolása. E tekintetben az utóbbi másfél évtizedben egy új iskola alakult ki *Dr. Biró József* professzor vezetésével, amelynek eredményei ipari alkalmazásokban is megjelentek.

A Tanszék nagy energiákat mozgósít a nagysűrűségű hullámhossz-kiosztási paradigma szerint tervezett optikai hálózatok területén, melynek köszönhetően a közelmúlthoz képest gyökeresen korszerűbb technológiák lehetőségeinek kiaknázásában a Tanszék joggal pályázik vezető szerepre.

Amióta létezik távközlés, azóta kérdés a végpontok közötti átvitel minőségének meghatározása. Ám ahogy a rendelkezésre álló átviteli és kapcsolási technikák változtak, úgy változtak – nagyon helyesen szigorodó irányban – a minőségi előírások. Az interneten bonyolódó távközlés minőségi paraméterei teljes körűen még nem rögzítettek és biztosan együtt fognak változni a technológia változásával. Ezen jelenségek követése, prognosztizálása egy új tudományterületet hozott létre (Quality of Service of Internet), mely a Tanszék egyik meghatározó tevékenységi területe (vezeti: *Dr. Szabó Róbert* a HSN Lab. jelentős részére támaszkodva).

A számítógépes intelligencia rendszerek területén *Kóczy László* professzor vezetésével és tanítványai, köztük *Baranyi Péter* tudományos tanácsadó részvételével, nemzetközi hírű iskola alakult ki, ebben az időszakban fejlesztette ki a később róla elnevezett szabályinterpolációs algoritmust.

A Tanszék sikerrel őrzi hagyományos, közel két évtizedes értékeit. Szoros kapcsolatot tart fenn a gazdasági szférával a tudományos igényesség és a „ipari” bevétel egyensúlyának megtartásával. Ennek egyik eredménye, hogy mind a PhD-hallgatók száma – amely ma körülbelül 40 fő –, mind a külső források megszerzése tekintetében a BME-n a legjobbak között van. Figyelmet fordít arra, hogy gazdasági kapcsolataiból az értékálló eredmények minél hamarabb bekerüljenek az oktatásba. Ennek megfelelően alakítja oktatási programját, melyet az is jellemez, hogy a mesterképzésben a Hálózatok és szolgáltatások, a Médiainformatika és az Infokommunikációs rendszerek szakirányok oktatásáért felelős.

Mindezt a szakma-rokon tanszékekkel való együttműködésben teszi, amit jól példáz az is, hogy megalakulásától részt vesz a Mobil Innovációs Központ tevékenységében. Több karra kiterjedő együttműködésben kapott a Tanszék vezető szerepet a gazdasági informatika szak beindításában.

## Tanszékeink munkatársainak egyetemi, kari és egyéb társadalmi funkciói

A két 1949-ben alakult tanszék, majd az Intézet és később a jelenlegi két tanszék (HIT és TMIT) szakmai kompetenciáját az oktatásban és képzésben betöltött szerepe mellett társadalmi-gazdasági problémák megoldásában is széles körben hasznosította. Munkatársai vezető szerepet tölthettek be a hazai tudományos és szakmai szervezetekben.

- Az MTA Távközlési Rendszerek Bizottságának elnöke volt: *Dr. Kozma László, Dr. Géher Károly, Dr. Lajtha György, Dr. Pap László, Dr. Sallai Gyula*; az Akusztikai Komplex Bizottságé pedig *Dr. Gordos Géza, Dr. Illényi András, Dr. Vicsi Klára*.
- A Híradástechnikai és Informatikai Tudományos Egyesületnek (HTE) elnöke volt: *Dr. Barta István, Dr. Gordos Géza, Dr. Pap László és Dr. Sallai Gyula*.
- A MTESZ elnöke *Dr. Gordos Géza*.
- A BME Villamosmérnöki (később a Villamosmérnöki és Informatikai) Karán, illetve a BME vezetésében a fenti intézmények munkatársai fontos pozíciókat tölthettek be. A Kar dékánja volt: *Dr. Vágó Arthúr, Dr. Barta István, Dr. Kozma László és Dr. Pap László* professzor. Az Egyetem rektorhelyettesei voltak: *Dr. Barta István, Dr. Gordos Géza, Dr. Pap László és Dr. Sallai Gyula* professzor.
- *Dr. Csopaki Gyula* igazgatója volt a BME Nemzetközi Igazgatóságának, *Dr. Magyar Gábor* pedig a Stratégiai Igazgatóságnak. Az Intézet és a tanszékek munkatársai számos nemzetközi tudományos és szakmai szervezetben vállaltak meghatározó szerepet.

## Néhányan tanítványaink közül, akik külföldön is sikeres karriert mondhatnak magukénak:

- *Hanzó Lajos, Prof., Dr., D.Sc.*, tanszékvezető egyetemi tanár, University of Southsampton, U.K. (konzulense *Dr. Gordos Géza*);
- *Faragó András, Prof., Dr., D.Sc.*, szekcióvezető egy. tanár „tenure” kinevezéssel, University of Texas at Dallas, USA (konzulense: *Dr. Gordos Géza*);
- *Linder Tamás, Prof., Dr.*, egyetemi tanár, Queen’s University, Canada (konzulense: *Dr. Györfi László*);
- *Lugosi Gábor, Prof., Dr.*, kutató professzor, Pompeu Fabra University, Barcelona, Spain (konzulense: *Dr. Gordos Géza, Dr. Györfi László*);
- *Khairi Ashour Hamdi, Prof., Dr., C.Sc.*, egyetemi tanár, University of Manchester, U.K. (konzulense: *Dr. Pap László*);
- *Nguyen Quang A, Dr., D.Sc.*, egyetemi tanár, a Vietnami Vállalkozók Szövetségének és a Vietnam Institute of Development Studies elnöke (konzulense: *Dr. Csibi Sándor*).



# Távközlési helyzetkép '88

Készítette az MTA Távközlési Rendszerek Bizottsága

## A TÁVKÖZLÉS TUDOMÁNYOS HELYZETKÉPE '88

Szerkesztette:  
SALLAI GYULA



Budapest  
1989

**Hogyan látták a távközlés helyzetét és fejlődésének irányait húsz évvel ezelőtt az MTA Távközlő Rendszerek Bizottságának tagjai és felkért szakértői?**

**A Dr. Sallai Gyula szerkesztésében készült tanulmány célja Géher Károly professor, a TRB akkori elnökének előszava szerint az volt, hogy „a távközlés egészét fogja át az alaptudományoktól kezdve az integrált szolgáltatású távközlési hálózatokig és összefoglalja az elkövetkező évtized távközlési szolgáltatásainak műszaki alapjait”. És a tanulmány megállapításai bizony ma is korszerűen hangzanak...**

|          |                   |                 |
|----------|-------------------|-----------------|
| Szerzők: | Blum Endre        | (9.)            |
|          | Bóti László       | (6.)            |
|          | Ferenczy Pál      | (3.)            |
|          | Gordos Géza       | (2.1, 2.2, 8.1) |
|          | Gosztony Géza     | (2.3)           |
|          | Horváth Pál       | (2.5, 5., 8.3)  |
|          | Husztly Gábor     | (9.)            |
|          | Kovács Gizella    | (2.4)           |
|          | Ladvánszky János  | (2.4)           |
|          | Lajkó Sándor      | (4.1, 4.2)      |
|          | Mazgon Sándor     | (8.)            |
|          | Pribelszky György | (4.4)           |
|          | Róna Péter        | (4.3)           |
|          | Sallai Gyula      | (1., 7., 10.)   |
|          | Seres Péter       | (5.)            |

ISBN 963 01 9458 9  
Kiadja a Magyar Posta Központja  
A kiadvány kidolgozását a Magyar Posta Könyvkiadó végezte  
Kiadóvezető: dr. Steinmann Henrik  
Alak: B/5 – Terjedelem: 8,75 ív (A/5) – Példányszám: 1000  
Készült az ÉTK Nyomdában (890019). Felelős vezető: Dancsó Árpád  
Budapest, 1989

## TARTALOMJEGYZÉK

|  |    |
|--|----|
| ELŐSZÓ .....   | 1  |
| 1. TÁVKÖZLÉSI SZOLGÁLTATÁSOK FEJLŐDÉSI IRÁNYAI ....  | 3  |
| 2. ALAPTUDDOMÁNYOK .....                             | 6  |
| 2.1. Kommunikációs modellek, információelmélet ..... | 6  |
| 2.2. Jelfeldolgozás .....                            | 10 |
| 2.3. Forgalmelmélet .....                            | 14 |
| 2.4. Technológia és áramkörelmélet .....             | 18 |
| 2.5. Távközlési szoftver .....                       | 26 |
| 3. MŰSOR- ÉS ADATSZÓRÁS .....                        | 31 |
| 3.1. Földi hangműsorszóró rendszerek .....           | 31 |
| 3.2. Földi képműsorszóró rendszerek .....            | 33 |
| 3.3. Közvetlen műholdas műsorszórás .....            | 35 |
| 3.4. Kábeltelevízió .....                            | 37 |
| 4. ÁTVITELTECHNIKA .....                             | 40 |
| 4.1. Fémvezetős átviteltechnika .....                | 40 |
| 4.2. Fényvezetős átviteltechnika .....               | 41 |
| 4.3. Földfelszíni mikrohullámú átvitel .....         | 46 |
| 4.4. Műholdas távközlés .....                        | 50 |
| 5. KAPCSOLÁSTECHNIKA .....                           | 56 |
| 5.1. Digitális, időosztásos kapcsolat .....          | 56 |
| 5.2. Elosztott csomagkapcsolás .....                 | 59 |
| 5.3. Szélessávú kapcsolat .....                      | 61 |
| 5.4. Digitális csatorna rendezők .....               | 60 |
| 6. MOBIL TÁVKÖZLÉS .....                             | 63 |
| 6.1. Rádiótelefon rendszerek .....                   | 63 |
| 6.2. Személyhívó rendszerek .....                    | 66 |
| 7. HÁLÓZATOK FELEPÍTÉSE ÉS TERVEZÉSE .....           | 68 |
| 7.1. Trendek a jövő hálózatának kialakításában ..... | 68 |
| 7.2. Tervezési módszerek .....                       | 72 |
| 8. TELEMATIKA ÉS ADATÁTVITEL .....                   | 76 |
| 8.1. Nem-beszéd szolgálatok .....                    | 76 |
| 8.2. Protokollok .....                               | 82 |
| 8.3. Végberendezések .....                           | 83 |
| 9. INTEGRÁLT SZOLGÁLTATÁSÚ DIGITÁLIS HÁLÓZATOK ....  | 85 |
| 9.1. Az ISDN kialakulása, szabványosítása .....      | 85 |
| 9.2. A műszaki megvalósítás helyzete .....           | 87 |
| 9.3. Szolgálatok az ISDN-ben .....                   | 89 |
| 9.4. Az intelligens ISDN architektúra .....          | 90 |
| 10. ÖSSZEGLÉZÉS, KÖVETKEZTETÉSEK .....               | 92 |

## E L Ő S Z Ó

A Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztálya keretében működő Távközlési Rendszerek Bizottság fontos feladat körének tekinti a tudományos helyzetképek kidolgozását. Ezek a tanulmányok egy-egy szakterület nemzetközi és hazai helyzetét tekintik át és kísérletet tesznek a hazai szempontból fontosnak ítélt tudományos irányzatok felismerésére. Az MTA Távközlési Rendszerek Bizottság által megvitatott tudományos helyzetképek az elmúlt 25 év alatt rendszeresen megjelentek a Híradástechnika c. folyóiratban és számtalan széles körben segítettek a tájékozódást és a szakmai közvélemény formálását. Jelen tudományos helyzetkép is megjelenik a Híradástechnika 1988. évi számaiban.

"A távközlés tudományos helyzetképe '88" a távközlés egészét fogja át az alaptudományoktól kezdve az integrált szolgáltatású távközlési hálózatokig és összefoglalja az elkövetkező évtized távközlési szolgáltatásainak műszaki alapjait. A témakör aktualitása hazánk fejlődése szempontjából felbecsülhetetlen. Ezért fogadtuk köszönettel Valter Ferencnek, a Magyar Posta elnökhelyettesének javaslatát, hogy a tudományos helyzetkép külön kiadvány formájában is jelenjék meg. Ezt a munkát a Posta Kísérleti Intézet dolgozói elismeréssel méltó gyorsasággal és gazdaságossággal végezték el. A kötet minden szerzőjének és segítőjének tevékenységét őszinte elismeréssel köszönjük.

Budapest, 1988. december

Géher Károly  
az MTA Távközlési Rendszerek  
Bizottság elnöke

- 3 -

## 1. TÁVKÖZLÉSI SZOLGÁLTATÁSOK FEJLŐDÉSI IRÁNYAI

A kommunikáció előtérbe kerülése, legkülönbözőbb formáinak konvergenciája, elektronizálódása, új szolgáltatások születése világjelenség. Ehhez az elmúlt évtizedek technológiai fejlődése megteremtette az alapot, sőt a távközlési technológia fejlettsége egészen különleges új távközlési szolgáltatásokat tesz műszakilag megvalósíthatóvá. A technológia azonban csak azt határozza meg, hogy mi az, ami lehetséges, mi az, ami elérhető. Ezzel azonban nem szükségszerűen esik egybe, ami szükséges, amit igényelnek és ami a meglévő hálózatba gazdaságosan bevezethető. Az elektronizálódás tényleges ütemét a fejlett távközlésű országokban a fizetőképesség előfizetői igényekből levezethető fő hajtóerők határozzák meg. Ezek az alábbiakban összegezhetők:

- a növekvő mennyiségű és felesleges információ hasznosításának fokozása,
- az információ-átvitel és -feldolgozás költségének csökkentése,
- a különféle kommunikációs módok, szolgáltatások, terminálok egységesítése, együttes működtetésének igénye,
- a szolgáltatások elérhetőségi korlátainak feloldása, nemzetközi és mobil szolgáltatású szélesítése,
- szabadidő növelését célzó és eltöltéséből fakadó lakossági igények.

Az integrált szolgáltatású digitális hálózatok (ISDN) koncepciója alkalmas a hajtóerőkből származó követelmények kielégítésére, az új szolgáltatások gyors, könnyű megvalósítására. A fenti hajtóerők a hálózat digitalizálását, fokozott jelzési és vezérlési kapacitást, nagyobb sávszélességet igényelnek, amelyek az ISDN alapvető sajátosságai közé tartoznak. A technológia várhatóan nem korlátozza, hogy mely távközlési szolgáltatások fognak széles körben elterjedni a következő tíz évben. Meghatározó tényezőként inkább az előfizetők preferenciája, a szolgáltatás használhatóságának és ráfordításainak a viszonya, bevezetésének stratégiája, valamint távközlési törvények, előírások és szabványok fognak szerepet játszani. E tényezőket is számításba véve, az ISDN távlati célkitűzéseit elfogadva, a következő 10...15 évre az alábbi fő irányzatok fogalmazhatók meg a távközlési szolgáltatások fejlődésében [1-6]:

1. A hálózatok intenzív digitalizálása, ami lehetővé teszi a különböző információfajták közös jelfolyamban való megbízható, gazdaságos átvitelét, valamint intelligens forgalomirányítási és vezérlési eljárások, különleges prioritások, stb. alkalmazását, ezzel egy flexibilis, a forgalmi és technológiai előrejelzések bizonytalanságaira nézve robusztus hálózat kialakíthatóságát.

2. A nagyobb sávszélesség igényű alkalmazások előretörése a nagy sávszélességű átvitel (fénytávközlés) és a számítógépek (memóriák) gyors árcsökkenése,

- 4 -

illetve az adatkompresziós technikák fejlődése révén.

3. A beszéd, adat, szöveg és képi szolgáltatások kombinációinak univerzális és gazdaságos megvalósítása, elsősorban azért, hogy ezzel támogatást kapjon az információ termelési tényezőként játszott szerepe. Jelentősebbé válnak az újszerű ember-gép kapcsolatokkal és mesterséges intelligenciával (pl. alaktárfelismerés, mesterséges beszédfunkciók) összefüggő szolgáltatások.

4. Az előfizetők mind több közvetlen vezérlési lehetőséghez jutnak a távközlési erőforrások felett (hívásátirányítás, az egyéni 64 kbit/s sebességű csatorna változtatható felhasználása, stb.), ezzel több bevételhez juttatva a szolgáltatókat is.

5. Az információ-feldolgozó teljesítmény növekedni fog mind az előfizetői terminálokban, mind a hálózatban. A központok az alapvető kapcsolási funkció mellett hálózati erőforrás gazdálkodást, protokoll- és kódkonverziót, valamint egyéb feladatokat is végeznek. Az előfizetői terminálok mind nagyobb mennyiségű, központi adatbázisokból lehívott adat helyi feldolgozására lesznek képesek.

6. Mind több nagyvállalat létesít és működtet külön saját hálózatot az új szolgáltatások gyorsabb, szabályozásuktól kevésbé korlátozott bevezethetősége, a nyilvános hálózat tarifapolitikai anomáliáinak elkerülhetősége miatt. E nehézségek oldásával és a fajlagos számítástechnikai költségek további csökkenésével e tendenciát várhatóan a 90-es évek közepén a nyilvános hálózaton belül szoftver úton definiált külön hálózatok létesítése váltja fel.

7. A szolgáltatások fokozódó gyorsasággal válnak országosan elérhetővé és nemzetközivé, amelyet az átviteli költségek távolságfüggésének radikális csökkenése ösztönöz (fénytávközlés, mikrohullámú átvitel, műholdas távközlés). Ennek megfelelően enyhül a tarifák távolságfüggése is.

8. A szolgáltatások mobilizálódása, a jelenlegi és az újabb szolgáltatások mobil formában való megvalósítása felgyorsul a kiscellás technika gazdaságosan realizálhatóvá válása folytán.

E fejlődési irányzatok intenzív művelésének lehetősége kutatóink, fejlesztőink számára csak ritka esetben adatik meg. A követő, adaptáló vagy éppen konkrét problémákat megoldó fejlesztési tevékenységünk során sem veszíthetjük azonban szemünk elől a nemzetközi fejlődés áramlatait. A következőkben először az alaptudományok távközléstechnikához kötődő eredményeit, majd az egyes távközlési funkciók megvalósítása terén kiemelendő irányzatokat, végezetül a hálózatok és szolgáltatások létesítésének irányzatait, helyzetképét vizsgáljuk fel. Áttekintésünk a távközlési szolgáltatásokon túlmelegben a műsorszórás eredményeire is kiterjed, amellyel a két terület technológiájának konvergenciáját is hangsúlyozni szeretnénk.

Alapvető feladatunknak tekintjük annak bemutatását, hogy a mikroelektronika, a fényvezető- és a szoftvertechnika további rohamos fejlődése a távközlési rendszerek és szolgáltatások forradalmi változásának enged teret, amelynek a kibontakozása műszaki szempontból a digitális technika lehetőségeinek kiaknázásán, a szoftveren, a hálózatok megfelelő felépítésén és működési módján múlik. A hazai teendőkre témakörönként utalunk.

Az egyes fejezeteket (az Alaptudományok fejezetben alfejezeteként) irodalomjegyzékkel zárjuk.

#### Irodalomjegyzék az 1. fejezethez

- [1] Dorros, I.: Evolution for the information age - the challenge to network planning. 3rd Internat. Network Planning Symp. Innsbrook, Florida, 1986. pp. 1-4.
- [2] Yoshida, S.: Recent development in Japanese telecommunication networks. 3rd. Internat. Network Planning Symp. Innsbrook, Florida, 1986. pp. 12-15.
- [3] Schaffer, G.: The telecom scenario and future trends in the EC. 12th Internat. Teletraffic Congress. Proc. Vol. 6. No. 6.2A.1. Torino, June 1988.
- [4] Vickers R., Vilmsen T.: The evolution of telecommunications services in the next decade. Proc. of the IEEE, Vol. 74. No. 9. Sept. 1986. pp. 1246-1261.
- [5] Falconer, W.E., Hooke, J.A.: Telecommunications services in the next decade. Proc. of the IEEE. Vol. 74. No. 9. Sept. 1986. pp. 1246-1261.
- [6] Gimpelson, L.A.: Prospects and requirements for ISDN services. 12th Internat. Teletraffic Congress. Vol. 6. No. 1.4A.1. Torino, June 1988.

#### 10. ÖSSZEJEGYZÉS, KÖVETKEZTETÉSEK

Az iparilag fejlett világban a távközlés kulcsszerepet tölt be a gazdasági és társadalmi fejlődésben és a kultúra széleskörű elterjesztésében. A távközlés technológiai innovációja olyan rohamos, hogy a fejlett világ számára elérhetővé vált egy **információ-orientált társadalom** megteremtése. Ugyanakkor ma az egyes földrészek és országok között szélsőséges eltérések vannak a távközlési ellátottságban. Erre jellemző, hogy a Földünkön működő 600 millió távbeszélő állomás háromnegyede 9 fejlett ipari országban összpontosul és a többi is egyenletlenül oszlik meg a fennmaradó országok között. Magyarország távközlési szolgáltatásainak helyzete nemzetközi összehasonlításban rendkívül kedvezőtlen képet mutat. A telefonellátottság a világlátlagot (kb. 13 beszélőhely/100 lakos) meghaladja ugyan, de az európai átlag (32 beszélőhely/100 lakos) felét sem éri el.

Az információ, az ismeret termelési tényező szerepének felismerése és a mikroelektronika fejlődése egymásra kölcsönösen katalizáló hatást gyakorol, amely várhatóan a fejlődés ütemének további növekedését fogja előidézni. A fejlődési folyamatban egyrészt a távközlés és a számítástechnika konvergenciája, ennek részeként a különböző távközlési szolgálatok közeledése, integrációja, a távközléssel foglalkozó új határtudományok létrejötte figyelhető meg. Másrészt viszont a divergencia jelei is mutatkoznak: mind újabb távközlési szolgáltatások születnek, a szakmai specializáció erősödik. A távközlés egyes területeinek műveléséhez szükséges ismeretmennyiség növekedése a szakosodás elmélyülését okozza. Harmadsorban az is megállapítható, hogy bár a digitális technika és technológia bázisán mind a gyártás, mind a szolgáltatás nagyobb hatékonysága és rugalmassága biztosítható, ehhez azonban az új technikák és technológiák csak potenciális lehetőségeit nyújtják, az előnyök kihasználása nagyobb szellemi ráfordítást, tudást igényel.

Jelen távközlési helyzetkép alapvető célja az, hogy a távközlés legújabb tudományos eredményeinek áttekintésével szempontokat adjon és irányokat jelöljön ki a hazai távközlés postai és ipari kutatásainak közép- és hosszútávú tervezéséhez.

A távközlés stratégiai jelentőségét hazánkban is felismerték. Tény, hogy a távközlési infrastruktúra fejlesztése a VII. ötéves tervben országosan kiemelt fejlesztési program. Számos, a távközlésben fontos tudományos problémákkal hazai kutatóhelyeink is foglalkoznak. A nemzetközi fejlődés azonban olyan mértékben felgyorsult, hogy elmaradásunk nő, egyes területeken kritikussá vált.

A távközlés hazai művelésének legalább azt a szintet kell elérnie és folyamatosan megtartania, amely biztosítja a távközlő hálózat nemzetközi kompatibilitását, együttműködőképességét. Ez jelenti és igényli a

#### hazai hálózat fejlesztésében:

- a nemzetközi ajánlások és szabványok szoros nyomonkövetését és betartását;
  - a szolgáltatások előírt minőségének biztosítását;
  - egy globális rendszerszémélet érvényesülését, a modernizálás térbeli és időbeli kölcsönhatásainak figyelembe vételét és
  - a távközlő hálózatok digitalizálásának és a szolgáltatások integrálásának megvalósítását.
- E minimális célkitűzés sem valószínűsíthető meg a távközlés kutatásának-fejlesztésének jelenlegi szintjén. Ezért folyamatosan javítani kell a kutatási feltételeket. Az alábbiakban néhány, főként a távközlés tudományos hátterének javítását célzó javaslatot sorolunk fel:
- A távközlési ipar és a távközlő hálózat fejlesztési, korszerűsítési stratégiájában alapvető szerepet kell kapnia a kutatás-fejlesztésnek. Meg kell határozni az intenzíven művelendő fő témaköröket, ki kell dolgozni az eredmények értékelésének, elismerésének és hasznosításának mechanizmusát.
  - A nagyobb sikeresség érdekében egymáshoz közelebb kell hozni a kutatást, a fejlesztést, az oktatást, a gyártást és az alkalmazást. Ki kell alakítani a kutatástól az alkalmazásokig tartó innovációs folyamat élenjáró országokban alkalmazott munkamegosztását.
  - Jobban kell hasznosítani a nemzetközi kapcsolatok során szerzett információkat. Meg kell szervezni a nemzetközi (CCITT, CCIR) ajánlások rendszerezett feldolgozását, a know-how-k, technológiák korszerűbb átvételét (szellemi és tárgyi feltételek).
  - Meg kell találni a módját, hogy bekapcsolódhassunk az európai távközlési együttműködés különböző formáiba, különösen a távközlés fejlődését meghatározó szabványosítási tevékenységbe.
  - Biztosítani kell a nemzetközi tudományos életben való aktívabb részvétel feltételeit (konferenciák, ösztöndíjas tanulmányutak, külföldi kutatói munkavállalás).
  - A távközlési alap- és alaposító kutatások fokozottabb támogatása megfontolandóvá teszi egy távközlési alaptudomány létrehozását. Emellett célszerű növelni az OTKA-n és a Soros Alapítványon belül a távközlés részesedését és szorgalmazni a távközléssel foglalkozó intézményekben akadémiai kutatóhelyek létesítését.

A helyzetkép egyes fejezetei egy-egy szakmai területen megfogalmazták az elkövetkező években magunk elé tűzhető és tűzendő kutatási-fejlesztési feladatokat és a művelendő területeket. A helyzetképet a teljesség igénye nélkül ezek tömör összegzésével zárjuk:

- kommunikációs rendszerek elmélete (2.1);
- beszédfeldolgozás technikája (2.2);
- sokszolgálatú hálózatok forgalmi méretezése (2.3);
- távközlési célú elektronikai (VLSI, BOAK) és optoelektronikai eszközök fejlesztése (2.4);

- számítógéppel segített áramkörtervezés és gyártás (2.4);
- berendezések konstrukciója és szerelésteknológiája (2.4);
- távközlési szoftverek fejlesztése és karbantartása (2.5);
- másorszóró hálózatok másodlagos kihasználása (3.1, 3.2);
- műholdas másorszórás vételtechnikája (3.3, 3.4);
- fénytechnika, különösen fényátvitel (4.2);
- digitális mikrohullámú rendszerek berendezés- és alkalmazástechnikája (4.3, 4.4);
- digitális, időosztásos kapcsoló központok gyártástechnikája és alkalmazástechnikája, alközpontok fejlesztése (5.);
- cellás mobil rádiótelefon hálózatok létesítésének technikái (6.1);
- távközlő hálózatok modernizálásának stratégiai, tervezésének és üzemeltetésének számítógépes módszerei (7.);
- a csomagkapcsolt adatátviteli és a telematikai szolgálatok technikái (8.);
- a távközlési szolgáltatások integrációja, az ISDN (9.).

# Az infokommunikációs konvergencia dimenziói

SALLAI GYULA, ABOS IMRE, KÓSA ZSUZSANNA, MAGYAR GÁBOR

BME Távközlési és Médiainformatikai Tanszék  
 {sallai, abos, kosa, magyar}@tmit.bme.hu

*Kulcsszavak: infokommunikáció, konvergencia, értéklánc, telefónia, adatközlés, műsorközlés, elektronikus média, felhasználói készülék*

**A távközlés, informatika és elektronikus média világának konvergenciája megnyilvánul mind technológiáik egységessé válásában, mind piacaik összeforrásában, mind szabályozásaik harmonizálására való törekvésekben. Az infokommunikációs konvergencia a távközlésnek az informatikával és e-médiával való ötvöződési folyamata, amely meghatározó az információs társadalom, a hálózatos tudástársadalom megvalósításában. A cikk az infokommunikációs konvergencia modelljének és formáinak bemutatása után a konvergencia szintjeit, hatásait és kilátásait ismerteti.**

## 1. Bevezetés

A távközlés, informatika és elektronikus média (a továbbiakban: média) világának legátfogóbb, legmeghatározóbb jelensége jelenleg és az elkövetkező években e három terület (TIM) konvergenciája, amely megnyilvánul mind technológiáik egységessé válásában, funkcióik kombinálódásában, mind integrált termékekben, piacaik összeforrásában, mind szabályozásaik harmonizálására való törekvésekben. A konvergenciajelenség szerepe döntő az információs társadalom megvalósításában, mert nem szűkül le a technológia szintjére, sőt még az említett három ágazat területére sem, hanem mind szélesebb köröket von hatása alá, társadalmi jelenséggé válik [1,2,9].

E konvergenciafolyamatot a digitális technológia hatalmas léptékű fejlődése váltotta ki, ezért általánosságban *digitális konvergenciának* nevezzük. Az információ továbbításának, tárolásának, és feldolgozásának fajlagos költségei folyamatosan és radikálisan csökkentek, a három területnek közös technológiai alapja alakult ki. A technológia azonban csak a lehetőséget adja. A konvergencia eddigi mértékének létrejöttéhez az is kellett, hogy üzleti előnyök jelenjenek meg, amit az egyes területek funkcióinak, megoldásainak többletértéket hozó kombinálása, az értékteremtő folyamatok szinergikus egymásra hatása nyújtanak, amelyek gyökeresen újfajta termékekben, hálózati megoldásokban és szolgáltatásokban jelennek meg. Az 1. ábra a három terület kombinációit feltüntető „konvergenciaprizmát” mutatja [3].

A digitális konvergencián belül e cikk a távközlésnek az informatikával és médiával való ötvöződését, az *infokommunikációs konvergenciát* elemzi. A távközlés (meghatározóan beszédkommunikáció/közlés, telefónia), a *távinformatika* (adatközlés, számítógépek közti kommunikáció, internet) és a *médiaközlés* (műsorközlés, műsorsórás és műsorelosztás, hálózatos média) eredendően elkülönült területeinek saját értékteremtő folyamatai egymáshoz meglehetősen hasonlóak. A távközlést,

távinformatikát, médiaközlést és integrációikat együttesen információközlésnek, elterjedtebben *infokommunikációnak* nevezzük (1. ábra).

Vizsgáljuk a hasonló ágazati funkciók közötti, úgynevezett horizontális irányú konvergenciát és a különböző ágazati funkciók közötti vertikális konvergenciát, valamint a konvergencia mértékét, elmélyültségét [4,6,7]. A konvergencia fokozatainak három szintjét különítjük el, csoportosítva a technológiai, a piaci és a szabályozási hatásokat. Az infokommunikációs konvergencia eredményeként összeolvadó három kommunikációs ágazatot *infokommunikációs szektornak* nevezzük. (A mindennapi életben, közpolitikában az infokommunikáció fogalmát gyakran tágabban, a távközlés, informatika, média és kombinációik egészeként értelmezik.)

## 2. Az infokommunikációs konvergencia modelljei

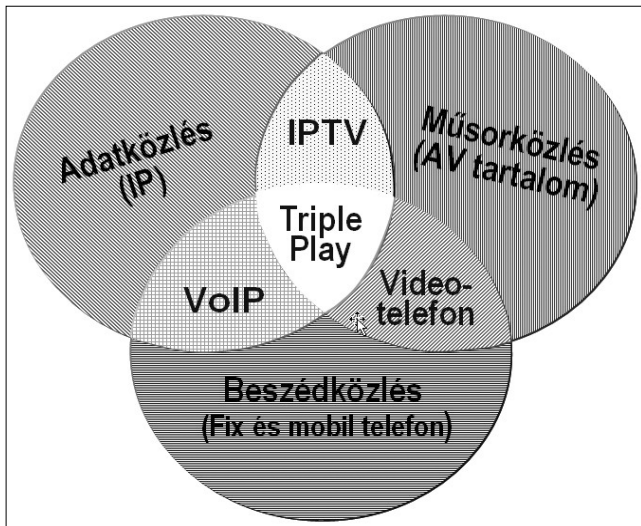
A távközlési, az informatikai és a médiaágazatok konvergenciája általánosan érzékelhető, mind több területet felölelő, átható folyamat. A távközlés és az informatika

1. ábra A távközlés, informatika és média konvergenciája



konvergenciája évtizedekkel ezelőtt kezdődött és mind intenzívebb formát ölt. A távközlésben a számítástechnika, informatika általános alkalmazást nyert, a számítógépek mind nagyobb hányada kapcsolódik össze hálózatokon keresztül. A konvergenciafolyamatba a tartalomipar, az elektronikus média is bekapcsolódott, hogy a távközlés és a számítógép-hálózatok által nyújtott lehetőségek kiaknázódjanak, amelyet legjobban az internet terjedése fémjelez. A digitális technológia átalakítva, közel hozva a kommunikáció, az informatika és a tartalomkezelés sajátos technológiáit, lehetővé és gazdaságossá tette a korábban elkülönült kezelésmódok összekapcsolását és kombinálását, bármely információtípusra való alkalmazását, ezen belül infokommunikációs alkalmazások és ezekre épülő vállalkozások létrejöttét.

A 2. ábra a konvergáló infokommunikációs területeket és kombinációit tünteti fel a színdinamika fekete-fehérben ábrázolt szabályai szerint [3,5].



2. ábra A telefónia, az adatkommunikáció és a műsorközlés konvergenciája

Az infokommunikációs konvergencia a távközlés, adatközlés és műsorközlés információ-előállító, -kezelő, -továbbító és -megjelenítő funkcióit ötvözi. A funkciók egy három-, illetve ötszakaszos értéklánc mentén rendezhetők (3. ábra):

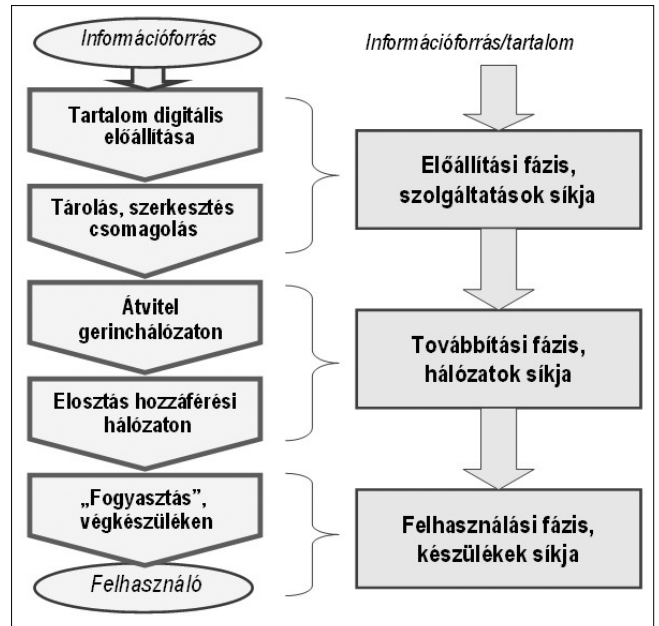
Előállítás: szolgáltatások, elosztásra alkalmas termékek kialakítása:

- az információ előállítása, alkalmas digitális hordozón való rögzítése (telefonbeszélgetés, adatbázis, film, e-újság stb.);
- az információs tartalom szolgáltatása (tárolása, szerkesztése, csomagolása, hozzáférhetővé tétele, terméké formálása);

Továbbítás: átvitel és elosztás hálózaton keresztül, kommunikációs szolgáltatás nyújtása:

- hálózaton való átvitele a felhasználás közelébe (gerinchálózatok),
- elosztása, felhasználókhöz való eljuttatása (hozzáférési hálózatok); végül

Felhasználás: az információ „fogyasztása”, megjelenítés a felhasználónál (végberendezés, terminál, készülék).



3. ábra Az infokommunikációs értéklánc-modell

A funkciókat megvalósító eszközöket, berendezéseket, készülékeket az egyes szakaszokhoz rendeljük. Az egyes értéklánc-szakaszokat fázisoknak, vagy ha a fázisok eredményét hangsúlyozzuk, síkoknak nevezzük (lásd 3. ábra).

A távközlés, az adatközlés és a műsorközlés területeinek tradicionális fejlődése az információs tartalom jellegének és a célzott felhasználói kör különbözőségei folytán eltért, történetileg külön-külön alakították ki szolgáltatásaikat, hálózataikat és berendezéseiket, azaz magát az ágazatot (4. ábra).

| Tartalom     | Beszéd                           | Adat, szöveg             | AV programok                               |
|--------------|----------------------------------|--------------------------|--|
| Szolgáltatás | Távbeszélés                      | Adatátvitel, e-levelezés | Műsor-terjesztés                           |
| Hálózat      | Vezetékes, mobil telefon-hálózat | Számítógép hálózat       | Kábeltv; műholdas, földfelszíni műsorszóró |
| Készülék     | Telefon készülék                 | Személyi számítógép      | Rádió, televízió                           |
|              | Kommunikációs technológia        | Számítógép technológia   | Media technológia                          |

4. ábra Különböző tartalmak – elkülönült szolgáltatások, hálózatok, készülékek

A távközlés tradicionálisan a távbeszélő hálózatok és az azokon nyújtott szolgáltatások ágazata, az értékláncba beleértve az információforrást, amely klasszikusan maga a telefonáló és a felhasználói készüléket is. Sajátos technológiáját kommunikációs technológiának nevezhetjük.

Adatközlés: Adatok, szövegek és egyéb információk elektronikus előállítása, tárolása, kezelése, továbbítása és feldolgozása, a számítógépek közötti kommunikáció



különböző fajtái. Tradicionálisan az informatikához, illetve a számítógépes technológiákhoz kötődik.

**Műsorközlés:** Képek, mozgóképek, hang- és képi (audiovizuális, AV) műsorok előállítás, továbbítása és prezentálása. A tradicionálisan egyirányú átvitel a kétirányúság váltja fel. Sajátos technológiája a médiatechnológia, a tartalomkezelés technológiái.

A digitális technológia – a számítástechnika alapja – átalakította a kommunikációs technológiát, majd betört a médiatechnológiába. A három elkülönült technológia mind hasonlatosabbá válva megkezdődött az elkülönült értékláncok közeledése, összefonódása. Beszédkommunikációra is alkalmassá vált a számítógép-hálózat, a PC pedig felhasználói készülékként is használható, melyre médiafolyamokat letöltve, mint audiovizuális vevőkészülék is működhet. A SMS típusú adatátvitelt a mobiltelefonokra fejlesztették ki stb. A digitális technológia révén bármely információs tartalom egységesen megjeleníthető, ezáltal különféle hálózatokon egyaránt átvihető, így indokolttá válik a hálózatok integrált megvalósítása. Az infokommunikációs hálózat, mint integrált hálózat működik, hang, adat, szöveg, audiovizuális programok, multimédia stb. átvitelére egyaránt képes módon (5. ábra).



5. ábra Konvergáló szolgáltatások, hálózatok, készülékek

### 3. Horizontális és vertikális konvergencia formák

A digitális technológia, mint a három érintett ágazat egységes technológiája az értékláncok összefonódását eredményezi a 6. ábra szerint. Horizontális és vertikális konvergenciaformákat különböztethetünk meg, a horizontális konvergenciaformán belül pedig három típust értelmezünk. A konvergencia fogalmán belül értelmezzük az integrációt, mint kiteljesedett konvergenciát.

A konvergenciajelenséget horizontálisnak nevezzük, ha a különböző ágazatok értékláncának azonos fázisai, illetve síkjai

közi közeledés, kapcsolódás, kiegészítés vagy helyettesítés formájában jelentkezik. A horizontális konvergencia egy-egy síkon két-két vagy három ágazat között is megvalósulhat. Az értéklánc azonos síkján megjelenő teljes egybeforrást *horizontális integrációnak* nevezük.

A horizontális konvergenciának három alesetét aszerint különböztetjük meg, hogy mely fázishoz, illetve síkhoz kapcsolódik:

- **Szolgáltatások konvergenciája** esetén egy konvergens szolgáltatásban különféle információs tartalmak jelennek meg (tipikusan ilyenek a multimédia termékek).

- **Hálózatok konvergenciája** az azonos technológiai alapokat, szolgáltatások együttes kiszolgálását lehetővé tevő kapacitásokat és hálózati funkciókat jelenti. A figyelem előterében a szélessávú internet hálózatok állnak.

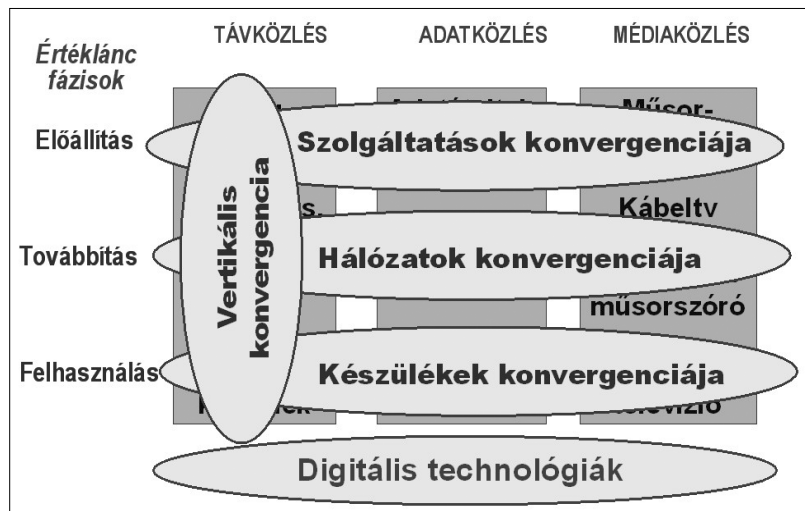
- **Készülékek konvergenciája** a felhasználói készülékfunkciók egybeépülését jelenti (például PC-alapú digitális tévékészülék, a PDA (Personal Digital Assistant) és mobilkészülék integrációja, GSM és Wi-Fi képesség egy készülékben).

**Vertikális konvergenciáról** akkor beszélünk, ha azonos vagy különböző ágazati értékláncok különböző fázisai kapcsolódnak össze. Ennek példája lehet, amikor a számítógép-hálózaton beszédet vagy audiovizuális tartalmakat továbbítunk. A teljessé váló vertikális konvergenciát nevezzük vertikális integrációnak, ami két-két fázis között is megvalósulhat.

### 4. A konvergencia szintjei és piaci megjelenése

A konvergenciafolyamat először a technológiai szinten jelenik meg. Ha új technológiákat fejlesztenek ki, ezek szolgáltatások formájában megjelennek a piacon és a szabályozás reagál a piaci jelenségekre. Ennek megfelelően a konvergencia jelenségei, hatásai három szinten, technológiai, piaci és szabályozási szinten bontakoznak ki (7. ábra).

6. ábra Horizontális és vertikális konvergenciaformák



A konvergencia technológiai szintjét a konvergáló ágazatok együttes kiszolgálását, egymáshoz kapcsolódását, együttműködését biztosító technológiák megjelenése jelenti, beleértve a szolgáltatások, hálózatok, berendezések fejlesztését, szabványosítását és terméké formálását. A digitális technológia átalakítja a konvergáló területek saját technológiáját (kommunikációs, információs és médiatechnológiák), egységessé és mindhárom ágazatban alkalmazhatóvá teszi. A digitális felhasználói készülékekben az egyes funkciók különböző összeállításokban integrálódnak.

A konvergencia piaci megjelenését a *termékpiacok összekapcsolódása*, a különböző ágazatok egymást helyettesíteni tudó, illetve szinergikus termékeinek piaci megjelenése, az értékesítési technikák és csatornák ötvöződése, ennek alapján a vállalatok átrendeződése, egyesülése, az *ágazati határok elmosódása* jelzi. A hagyományos távközlő vállalatok a számítógép-hálózati, informatikai funkciókat szervesen beépítik tevékenységükbe. A műsorszóró vállalatok gerinchálózati kapacitásokat építenek ki, a műsorelosztók belépnek az internet- és beszédpiacra. A felhasználói készülékek piaca is természetszerűleg integrálódik, ennek számos példája ismert. A konvergencia piaci megjelenésében jellemző a vertikális forma, mint például a távközlési hálózatüzemeltetők megjelenése tartalomszolgáltatóként, multimédia-szolgáltatóként, illetve tartalomelőállítók és internet-szolgáltatók egyesülése.

Az informatikai, kommunikációs és médiaszolgáltatók együttes csomagjai rugalmasan alkalmazkodnak a felhasználók egyedi igényeihez, ezzel elérhetővé válnak a nagyon különböző igényű és fizetőképességű felhasználók is. A készülékekben és a hálózatokban is egyre nagyobb részt képvisel a beállítható vagy adaptív rész, úgy, hogy ugyanakkor egyszerre több felhasználó egyedi kiszolgálása válik lehetővé, egyben gazdasági kényesszerré is. A horizontális konvergencia erősödését mutatja, hogy a gazdaságosság érdekében egyre nagyobb számú csomagot kínálnak a szolgáltatók. Egyidejűleg megjelenik a vertikális konvergencia is: a felhasználó csak a szolgáltatási felületet látja, elvben nem kötődik a rendszerhez, de valójában függ tőle és bizalommal kell lennie iránta.

#### 7. ábra

A konvergencia szintjei az egyes konvergenciaformáknál



## 5. A konvergencia hatása a szabályozásra

A konvergáló területek szabályozása tradicionálisan markánsan különböző, csakhogy közeledésük és technológiai alapú összeforrásuk kihat a szabályozási folyamatokra is. A konvergencia kibontakozásának elősegítése megköveteli az *ágazati szabályozások harmonizálását*, amelynek általános útját az ágazatspecifikus szabályozási megoldások visszaszorítása, a versenyszabályozás mind általánosabbá válása, a technológia-semleges szabályozási megoldások alkalmazása, valamint az alkalmazott szabályozási elvek *nemzetközi koordinációja, regionális vagy globális harmonizációja* jelenti.

A kommunikáció területe tradicionálisan technológiai alapon szabályozott: a szabványosítás a különböző hálózatok összekapcsolását célozza. A később megjelent gazdasági szabályozás elsősorban a monopol helyzetek, a jelentős piaci erők (significant market power) kezelését szolgálja. A technológiasemlegesség elve a technológiák közötti versenyt élénkíti. A pán-európai, általában az országhatárokon átnyúló szolgáltatások a szabályozás kohézióját, egységességét, a vezeték nélküli kommunikációs igények rohamos növekedése a korlátos frekvencia-erőforrásokkal való hatékonyabb gazdálkodást igényli.

Az informatika területén, sajátos szabályozás híján, a verseny- és fogyasztóvédelmi szabályokat is kevésbé értelmezték a gyakorlatban. Többféle párhuzamos rendszer alakult ki, amelyek mind magukhoz láncolták a felhasználókat. Az informatikai ágazat most éli meg (vagy fedezi fel újra) a kommunikációs terület tapasztalatait: szabványosítással küzdenek az új piacra lépők lehetőségeiért és a vásárlók jogaiért, hogy szállítót vagy szolgáltatót válthassanak. Az „informatikai közmű”-gondolattal egyidejűleg felmerül a megbízhatóság, a rendelkezésre állás és az információbiztonság szabályozása is. A szoftverek hozzáférhetőségéért új licencformák alakulnak ki, amelyek piaci önszabályozásnak is tekinthetők.

A média területe elsősorban tartalomszabályozott, szabályozása a legkevésbé integrált a konvergáló területek közül. Most válik szét a tartalom szabályozása a tartalomkezelés szabványosításától. A tartalomkezelés technológiai szabványai most tisztulnak le, amelyekkel a heterogén médiainformatikai alkalmazásokban a kompatibilitást kívánják biztosítani. A tömeges alkalmazás miatt szükségessé válik a hosszú távú, a technológiai migrációt kezelő, hiteles archiválás szabályozása.

A három ágazat egybeforrása miatt az egyes területek fejlődési folyamatai befolyásolják a többi ágazatot és azok szabályozását is. Az informatika szabályozásának át kell vennie az együttműködési és megbízhatósági szabályozást a kommunikáció területéről. A médiaszabályozásban el kell választani a tartalmat a tartalomkezeléstől, és a tartalomkezelést elsősorban technológiai kategóriának célszerű tekinteni. A korlátos távközlési erőforrások szabályozásában meg kell ismerkedni a szabad hozzáférés elvével, ami az informatiká-



ban már korábbról ismeretes. Most már az egész infokommunikációs szektor szempontjából alapvető kérdés a versengő szempontok egyensúlyának megteremtése, hogyan lehet egyszerre innovációt, befektetést, ösztönző, illetve versenyt fokozó szabályozási rendszert kialakítani?

Hagyományosan egy-egy ágazatot akkor szabályoznak, ha szűkös erőforrást kell elosztani; ha együttműködésre feltétlenül szükség van, de ezt a piaci folyamatok spontán módon nem biztosítják; ha túlzott aszimmetria alakul ki a felhasználók felé vagy a piaci szereplők között, ha a felhasználói, fogyasztói követelmények teljesülése követeli meg. Az egybeforró három ágazat együttesen már erős függőséget okoz a gazdaságban, ezért is vetik alá szabályozásnak. Az új alkalmazások – e-kereskedelem, e-kormányzat, web-alapú alkalmazások stb. – újabb szabályozási kérdéseket is felvetnek, ilyen az információ biztonsága, a személyi adatok és a szerzői jogok védelme.

Az Európai Unió idejekorán felismerte a konvergencia jelentőségét. 1997 decemberében tette közzé „Zöld Könyv”-ét „A távközlési, média és információtechnológiai ágazatok konvergenciájáról és ennek szabályozási kihatásairól” az információs társadalom felé haladás szempontjából [1]. Az EU felismerte, hogy a szabályozási keretrendszer döntő jelentőséggel bír. 1998. január 1-jén lépett hatályba a távközlésben a monopóliumról a versenyipiaci jellegre való teljes körű áttérés szabályozása, a Zöld könyv már a konvergáló ágazatok együttes szabályozási lehetőségeit taglalta. Megállapításra kerültek a tényleges és potenciális akadályok, amelyek a konvergencia technológiai és piaci kibontakozását gátolhatják, és átfogó megoldási alternatívákat mutatott be. Ezek nyilvános vitái alapján születtek döntések a szabályozás részletes kidolgozásának elveiről.

A hálózatokra és szolgáltatásokra kiterjedő, a tartalomkezelés kérdéseit nem érintő, nevében elektronikus hírközlési szabályozási csomagot 2002-ben fogadta el az EU Parlament és 2003 közepén lépett hatályba. Többéves tapasztalatok után indult meg a szabályozási csomag felülvizsgálata és továbbfejlesztése, amelynek eredményeként kialakult módosított szabályozási csomag az EU Parlament előtt van. A Zöld Könyv elérte célját: elindította a folyamatot egy olyan megfelelő szabályozási környezet kialakításához, amely lehetővé teszi az információs társadalom által kínált lehetőségek elérését, kiaknázását Európa polgárai számára.

A szabályozási csomag egyik legfontosabb elve a *technológiasemlegesség* elve, ami az infokommunikáció szabályozása szempontjából azt jelenti, hogy a hasonló, de különböző technológiákon nyújtott szolgáltatásokat hasonló módon kell szabályozni. A technológiasemlegesség elvének ma már a legtöbb infokommunikációs szabályozási kérdés megoldására befolyása van, az elv azonban maradéktalanul nem valósul meg. A különféle technológiai platformokon nyújtott szolgáltatások nem teljesen azonosak, ezért – átmeneti helyzetek kezelésén túl is – a szabályozás tartalmazhat enyhe eltéréseket az egyes technológiai megoldások esetén.

## 6. Az infokommunikációs konvergencia jövő dimenziója

Az infokommunikációs technológia fejlődése során minden információ digitálissá alakul, a felhasználói hozzáférés szélessávú lesz, a továbbítás IP-alapúvá (Internet Protocol) válik, az infokommunikáció beépül környezetünkbe, az általunk használt eszközökbe, ezen a technológiai alapon az „intelligencia” körülöttünk mindenütt jelen lesz (Ambient Intelligence) [7-9].

Az emberi felhasználók kommunikációs igényében továbbra is domináns marad az élőbeszéd, gyakran azonban nem önmagában, hanem más kommunikációs alkalmazásokkal, például azonnali üzenetküldéssel (Instant Messaging, „chat”), videokapcsolattal kombináltan. A legelterjedtebb internet-telefonszolgáltatások már ilyen szolgáltatási tartalmat kínálnak. A hagyományos vezetékes és mobiltelefon-szolgáltatás mellett egyre népszerűbbé válik az interneten, KTV-hálózaton, Wi-Fi hozzáféréseken keresztüli kommunikáció is, melyek jelentős része olcsóbb a hagyományos szolgáltatásoknál. Remélhetően elterjednek azok a rugalmas megoldások, amelyek a többféle lehetőség közül mindig a (valamilyen szempontból) legkedvezőbbet kínálják a felhasználónak. A mobilkommunikáció a jövőben nem lesz azonos a mobiltelefonálással, fokozatosan kiterjed az adat- és médiakommunikációra is, amelyek ez által bárhol igénybe vehetők lesznek. A fix-mobil konvergencia (FMC) keretében a vezetékes és a mobilplatformokon elérhető szolgáltatások együttes igénybevétele a felhasználói készülékekben valósul meg. Az előfizetői készülékek választéka is ennek megfelelően alakul.

A szolgáltatások igénybevétele többféle platformon és hozzáféréseken, komplex módon is lehetővé válik, folyamatosan terjed a beszéd, internet és tartalom együttes nyújtása, a „Triple Play” (3-play), valamint ennek kiterjesztéseként a „Multi Play” (M-play). Az audiovizuális szolgáltatások, a médiakommunikáció integrációja új funkciók integrálását is igényli, mint például a tartalmak tömörítése, kódolása, a digitális jogvédelem (DRM) stb. A szélessávú internet-hozzáférés elterjedése révén lehetővé válik az elektronikus közigazgatási és közszolgáltatások széleskörű használata.

A végpontokon egyre gyarapodó számban nemcsak emberi felhasználók lesznek. Például egy nyaralóban lévő végponttal kétirányú adat- és médiakommunikációt folytathatunk: lekérjük az időjárás-érzékelő adatait, „megnézzük”, hogy mi van a hűtőben, beengedjük a beriasztott telekre a kertészt, vagy egyszerűen csak „körülnézünk” a webkamerák segítségével. Még később a távoli (például háztartási) robotokkal multimódusú (beszéd, adat és multimédia) kommunikációt folytathatunk.

Tovább lazulnak a kommunikációs helyzetek időbeli kötöttségei. A helyhez kötöttség a vezeték nélküli távközléssel lényegében már megszűnt. Ezt a jelenséget úgy szokás összefoglalni, hogy „bárhol, bármikor” kommunikálhatunk. Az „idő felszabadítása” jelentős kihívást hoz mind hálózati, mind szolgáltatási szinten. Az egyidejűséghez kötött, illetve nem kötött kommunikáció és mé-

diatartalom-terjesztés tetszőleges keveredése korábban ismeretlen méretezési, adatvédelmi, biztonsági és szabályozási kérdéseket vethet fel. (Például a Google Wave egyszerre e-mail, chat, telefon, videokonferencia, csoportmunka eszköz, fájlcsere stb.) [8].

Mindezek eredményeként az új szélessávú hálózati és szolgáltatási modell, az NGN (Next Generation Network – következő generációs hálózat), valósul meg, amelyben a szolgáltatások elkülönülnek a hálózatoktól, ezáltal hálózat-függetlenül létrehozhatók. A hálózatok síkján létrejön a gerinchálózatok integrációja a közös szolgáltatások egyesített átvitele céljából. Az IMS (IP Multimedia Subsystem) segítségével gyakorlatilag bármilyen szolgáltatás igénybevétele lehetővé fog válni bármilyen hozzáféréssel. Az egyes országokban kiépülő különféle NGN hálózatok összekapcsolásával kialakuló világméretű szélessávú hálózaton vehetik igénybe a felhasználók a megújult hagyományos és a jövőbeli új szolgáltatásokat.

### A szerzőkről



**SALLAI GYULA** a BME Villamosmérnöki Karán végzett 1968-ban. 1973-ban egyetemi doktori, 1976-ban műszaki tudomány kandidátusa, 1989-ben akadémiai doktori fokozatot szerzett. 1990-ben címzetes, 1997-ben rendes egyetemi tanárrá nevezték ki. Kezdetben a BME Vezetékes Híradástechnikai Tanszékén, majd 1975-től a Posta Kísérleti Intézetben dolgozott, amelynek 1984-től igazgatója volt. 1990-től a Magyar Távközlési Rt. stratégiai ágazati igazgatója, majd szolgáltatási vezérigazgató-helyettese. 1995-től a Hírközlési Főfelügyelet nemzetközi igazgatója, majd szakmai elnökhelyettese. 2001-től a BME Távközlési és Telematikai Tanszékén a távközlésmenedzsment professzora, 2002-től a tanszék (2003-tól Távközlési és Médiainformatikai Tanszék) vezetője, 2004 és 2008 között egyidejűleg a BME rektorhelyettese. A HTE és az MTA Távközlési Rendszerek Bizottság elnöke, az MTA közgyűlési képviselője. Tagja a Magyar Mérnökakadémiának, a „Networks” nemzetközi szimpóziumok irányító bizottságának és a Nemzeti Hírközlési és Informatikai Tanácsnak.



**ABOS IMRE** 1968-ban szerzett diplomát a BME Villamosmérnöki Kar Híradástechnika Szakán, majd kutatóként tevékenykedett a Távközlési Kutató Intézetben, illetve az MTA-SzTAKI-ban. 1981-ben műszaki tudomány kandidátusa fokozatot szerzett. Munkájával párhuzamosan oktatási tevékenységet is végzett, 1989-ben a BME címzetes egyetemi docense lett. 1993-tól termékmenedzsment és szabályozási területen dolgozott a Matávnál. 2001-től a HerterKom Kft. fejlesztési igazgatója. 2003-tól ismét a Matávban dolgozott stratégiai tervezőként. 2007-től a BME Távközlési és Médiainformatikai Tanszékének egyetemi docense. 2008-ban a HTE 16. Távközlési és Informatikai Hálózatok Szemináriumának elnöke volt.



**KÓSA ZSUZSANNA** 1978-ban szerzett diplomát a BME Villamosmérnöki Kar Híradástechnika Szakán, 1983-ban pedig mérnök-közgazdász oklevelet az MKKE-n. Tíz évet kutatóként tevékenykedett a Távközlési Kutató Intézetben. 1990-től a Matávban dolgozott stratégiai tervezőként, 1996-tól a Hírközlési Főfelügyeleten volt középvezető. 1996-ban stratégiai menedzsment témakörben egyetemi doktori, 2006-ban szabályozási témakörben PhD fokozatot szerez. 2004-től főállásban oktat és kutat a BME-n információ gazdaságtana és információs társadalom távlati technológiai témakörökben. 2007-től a BME Távközlési és Médiainformatikai Tanszékének adjunktusa.



**MAGYAR GÁBOR** a BME Villamosmérnöki Karán végzett 1981-ban. 1995-ben műszaki tudomány kandidátusa fokozatot szerzett. 1981-től oktat a BME-n (Híradástechnikai Elektronikai Intézet, Távközlési és Telematikai Tanszék, Távközlési és Médiainformatikai Tanszék), 1996 óta egyetemi docens, 2003-tól az Adatbázisok és multimédia laboratórium vezetője és a médiainformatica szakirány felelőse. 2004 és 2008 között egyidejűleg a BME stratégiai igazgatója. 2002-2005 között Széchenyi István ösztöndíjas volt. A HTE-nek 1985, a Neumann János Számítógéptudományi Társaságnak 1992, a Nemzeti Hírközlési és Informatikai Tanácsnak 2002 óta tagja. A Mobilitás és Multimédia Klaszter, valamint a Mobilitás és Multimédia Nemzeti Technológiai Platform alelnöke.

### Irodalom

- [1] Commission of European Communities: Green Paper on the Convergence of the Telecommunications, Media and Information Technology Sectors, and Implications for Regulation. Towards an Information Society Approach, 3 Dec. 1997, COM (1997) 623.
- [2] International Telecommunication Union: Convergence and Regulation, Trends in Telecommunication Reform kötetei, 1999, Geneva.
- [3] Hírközlési Főfelügyelet: International Conferences on Infocommunication Trends, (1998 és 2001 között évente), Budapest. Szervező és programbizottság elnöke: Sallai Gyula
- [4] Henten, A., Samarajiva, R., Melody, W.H.: Designing Next Generation Telecom Regulation: ICT Convergence or Multisector Utility? Lirne.net. Report on the WDR Dialogue Theme, 2003. [www.regulateonline.org](http://www.regulateonline.org)
- [5] Abos I.: Preparing the Access Network to Deliver VoIP for Double Play Services and Ensuring a Smooth Upgrade to Offer Triple Play Services. Proc. Evolving Next Generation Access Networks, 22-25 February 2005, Brussels.
- [6] Sallai Gy.: Converging Information, Communication and Media Technologies. In: Assessing Societal Implications of Converging Technological Development, Szerk.: G. Banse, A. Grunwald, I. Hronszky, G. Nelson. Sigma, Berlin, 2007. pp.25–43.
- [7] Sallai Gy., Abos I.: A távközlés, információ- és médiatechnológia konvergenciája. Magyar Tudomány, 168. évf. 7. szám, 2007. július, pp.844–851.
- [8] Magyar G.: Tartalomkezelés a médiakonvergenciában. Magyar Tudomány, 168. évf. 7. szám, 2007. július, pp.923–929.
- [9] IDATE: DigiWorld Yearbook 2008, The digital world's challenges. ISBN: 978-2-84822-162-5, 2008.

# A jövő Internetének kutatásai

HENK TAMÁS, SZABÓ RÓBERT, MOLNÁR SÁNDOR, SONKOLY BALÁZS, CSERNAI MÁRTON,  
GULYÁS ANDRÁS, HESZBERGER ZALÁN, GYARMATI LÁSZLÓ, TRINH ANH TUAN

BME Távközlési és Médiainformatikai Tanszék  
{henk, szabo, molnar, sonkoly, csernai, gulyas, heszi, gyarmati, trinh}@tmit.bme.hu

Kulcsszavak: *jövő Internetje, torlódásszabályozás, nagyméretű hálózatok, társadalmi-gazdaságossági szempontok*

**A jövő Internetének kutatásai, szakítva a fokozatos fejlődési követelményt szem előtt tartó korlátozásokkal és ezzel teljesen szabad utat adva a fundamentumokban újszerű kialakításoknak, egy 10-20 év múlva vizionálható hálózat építőelemeit kutatják az alapvető működési elvek, mechanizmusok, valamint architektúrák terén. A torlódásszabályozási kérdéseket vizsgálva olyan újszerű irányra juthatunk, amelyben torlódásszabályozás nélkül is összeomlás nélkül működhet a hálózat, megfelelő kapacitások és hibajavító kódolás alkalmazása mellett. Az Internet méretének robbanásszerű növekedése olyan új kihívások elé állítja az üzemeltetést, amelyet a hagyományos központi (menedzser-ágens) megközelítésben már lehetetlen kezelni. A nagyméretű hálózatok kutatása olyan paradigmájában új megközelítéseket vizsgál, amelyek alkalmasak lehetnek a méret növekedésének kezelésére. A piac és a környezet oldaláról tekintve a társadalmi és gazdaságossági szempontok egyre jelentősebb mértékben befolyásolják a technikai fejlődés által létrejövő hálózatok kialakítását, beleértve azok alapvető működési elvét, mechanizmusait és a kialakuló architektúráját. E három témakör rövid áttekintése olvasható a cikkben.**

## 1. Bevezetés

A jövő Internetének hosszú távú kutatási programjait mind az USA (Future Internet Design – FIND), mind az EU és Japán különböző hosszú távú kutatási programjai keretében széleskörűen támogatja. A BME Távközlési és Médiainformatikai Tanszékének kutatói több éve aktív szereplői ezeknek a kutatásoknak, amelyeknek három kiemelt területéről adunk összefoglalást:

**Torlódásszabályozás:** a mindenkori 10 legfontosabb csomagkapcsolt hálózati problémák egyike, melyre kielégítő megoldást igen – hiszen működik az Internet –, de optimálist megoldást mindezig nem sikerült találni. Ebben a fejezetben *Molnár Sándor és Sonkoly Balázs* áttekintést ad a torlódásszabályozás történetéről, a torlódásszabályozás jelenlegi kihívásairól és lehetséges jövőbeli megoldásából. A szerzők kitérnek egy forradalmian új ötlet megvalósíthatóságára is, ami szerint lehetséges volna olyan Internetet létrehozni, ahol nincs torlódásszabályozás, hanem a tömeges csomagvesztéseket hatékony hibajavító kódolás kezeli.

**Hálózatmenedzsment:** az Internet célja, hogy a felhasználói számára különböző igényeket kielégítő kommunikációs szolgáltatást nyújtson. A kommunikációs szolgáltatás sem más, mint bármely hétköznapi szolgáltatás, amit igénybe veszünk: üzemeltetni kell. A jövő Internetjét billió nagyságrendben mért kommunikációs csomópontok fogják alkotni; ezek hagyományosan kézi üzemeltetése kivitelezhetetlennek látszik. *Csernai Márton, Gulyás András és Heszberger Zalán* ezen komplex hálózatok üzemeltetésére és szervezésére használható újfajta paradigmákat mutat be az olvasóknak, melyek egyik lehetséges fejlődési irányát adhatják az Internetnek.

**Társadalmi-gazdaságossági szempontok:** a kommunikációs hálózatok tervezésében, üzemeltetésében a korábbi évtizedekben a technológiai szempontok voltak elsődlegesek. Az Internet együttműködő szervezetek hálózataként jött létre, ahol a közösségi érdek szerint készítették az átviteli eljárásokat. Az Internet fejlődésével egyre több profitorientált vállalat kapcsolódott a globális hálózathoz, akik elsősorban saját érdekeiket tartják szem előtt, a hasznuk maximalizálásában érdekeltek. Ezért kiemelten fontos megérteni, hogy a társadalmi-gazdasági szempontok, hogyan befolyásolják a technikai fejlődés által létrejövő hálózatok kialakítását, beleértve azok alapvető működési elvét, mechanizmusait és a kialakuló architektúráját. *Trinh Anh Tuan és Gyarmati László* a társadalmi-gazdaságossági szempontok tükrében két esettanulmányt tárgyal: az internetszolgáltatók árképzési lehetőségeit hűségese előfizetők esetén és a felhasználói viselkedést közösségi oldalakon.

## 2. Torlódásszabályozás

Az Internet forgalmának a torlódásszabályozására évtizedek óta a *TCP protokollt* (*Transmission Control Protocol*, szállításvézellő protokoll) használják. Az Internet folyamatos evolúciója során nagyon sokat változott a hálózat és az azon használt alkalmazások forgalmának jellege, ezért a TCP is folyamatos módosításra szorult. A vezeték nélküli vagy a nagysebességű hálózati környezet szintén olyan újabb kihívásokat jelent, amit a jelenlegi TCP verziók csak sokféle kompromisszum árán tudnak megvalósítani.

A mai Internet egyik legfontosabb szállítási protokollja, a megbízható adatátvitelt biztosító TCP protokoll

sok évtizedes múltra tekint vissza. A kezdeti protokoll, ami a *Network Control Protocol (NCP)* nevet viselte, még a '70-es évekből származik. Ebből alakult ki a TCP/IP hálózatok két alapvető protokollja, a hálózati rétegben működő IP-protokoll és a szállítási rétegben működő TCP-protokoll [1]. A TCP számos funkcióval rendelkezik, ami a megbízható adatátviteli szolgáltatáshoz szükséges. Ezen funkciók közül az egyik legfontosabb a torlódásszabályozás, a hálózat megóvása a túlterheléstől. A kapcsolatorientált TCP-protokoll zárthurkú szabályozást végez, melynek során az adóentitás az adási sebességét a beérkező nyugták alapján állítja a hálózati körülményekhez azzal a céllal, hogy a hálózat jó kihasználtsággal működjön, de a túlterhelés ne okozzon összeomlást.

A kezdeti verzió az RFC 793 dokumentumban lett rögzítve 1981-ben. Az alapmechanizmust fokozatosan fejlesztették és egészítették ki újabb módszerekkel, mint a *Slow Start* (lassú indulás), *Congestion Avoidance* (torlódás elkerülés), RTO számítás, késleltetett nyugtázás hozzáadása 1989-ben (RFC 1122), szelektív nyugtázás bevezetése 1996-ban (RFC 2018), vagy a *NewReno* verzió definiálása 2004-ben (RFC 3782).

A TCP feladata, hogy egy zárthurkú, visszacsatolt, elosztott rendszerben valósítsa meg a torlódásszabályozást oly módon, hogy a felhasználók hatékonyan tudják kihasználni a rendelkezésre álló erőforrásokat, és ezen erőforrások, jelen esetben a hálózati sávszélességek valamilyen értelemben igazságosan legyenek szétosztva közöttük. Az utóbbi elvárásra a protokollok *fairness* tulajdonságaként szoktunk hivatkozni, ami alapvető hangsúlyt kap a jövő hálózataiban is a hatékonyság mellett. Az új protokollok és szabályozási mechanizmusok esetében – a hagyományos TCP „hagyományos” tervezési módszereitől eltérően – már a tervezési fázisban sikeresen használhatók a szabályozástechnikából és az optimalizálás elméletből ismert eredmények és technikai apparátus.

Egy TCP-kapcsolat során a küldő fél adatcsomagokat bocsát a hálózatba, a fogadó oldal pedig kumulatív nyugtákkal válaszol, melyek segítségével az addig helyesen beérkezett csomagokról informálja az adó oldalt. A TCP-adó egy nyugta beérkezésekor küldhet ki új csomagot vagy csomagokat a hálózatba, amivel egyfajta „ön-szabályozás” van beépítve a rendszerbe (*self-clocking*). A torlódásszabályozás a TCP esetében egy csúszóablakos módszer szerint történik, melynek során a küldő fél egyszerre csak a *torlódási ablaknak* (*congestion window*) megfelelő mennyiségű nyugtázatlan csomagot tarthat kint a hálózatban. Ez a torlódási ablak egy, az adó entitás által szabályozott belső változó (sok másik mellett), melynek segítségével az adási sebesség kontrollálható. A torlódásvezérlési algoritmus egyik fő feladata ezen változó szabályozása a hálózati viszonyok függvényében. A TCP Reno a kapcsolat különböző fázisaiban különböző algoritmusok szerint állítja a torlódási ablakot. A kapcsolat indulásánál, amikor még nem ismertek a hálózati körülmények az összeköttetés útvonalán, a *Slow Start* algoritmus szerint történik a torlódási ablak és ezáltal

az adási sebesség növelése. Ebben a fázisban – az algoritmus nevével ellentétben – a torlódási ablak exponenciálisan növekszik addig, amíg el nem ér egy küszöbértéket vagy csomagvesztés nem következik be. Ezt követően a hosszú távú viselkedést a *Congestion Avoidance* fázis határozza meg, amikor a protokoll az adási sebességet próbálja úgy szabályozni, hogy ne következzen be komoly torlódás. Ebben a szakaszban a torlódási ablak szabályozása az *AIMD* (*Additive Increase Multiplicative Decrease*, additív növelés multiplikatív csökkentés) mechanizmus alapján történik, melynek hatására a torlódási ablak a jellegzetes, fűrészfog alakú görbe szerint oscillál.

Jól látható tehát, hogy a TCP Reno számára a torlódásjelző a csomagvesztési esemény, ami akkor következik be, ha telítődnek a szűk keresztmetszetet jelentő linkeken a várakozási sorok. Ez az úgynevezett *csomagvesztés* alapú torlódásszabályozási elv számos új, nagysebességű TCP-verzióban is megjelenik, azonban több hátránya is van. Maga a torlódásjelzés egy „egy-bites” információ (van csomagvesztés/nincs csomagvesztés), így nem tesz lehetővé kifinomult szabályozást. Ezenkívül a csomagvesztés-alapú szabályozás magában hordozza a várakozási sorok megtöltését, mivel visszabábelőzés csak csomagvesztés esetében van, illetve az oszcilláció folyamatos jelenlétét, ami a teljes rendszerre vonatkozó stabilitási problémákat vet fel.

Egy másik megközelítés az egyes csomagok késleltetését méri és ez alapján állítja az adási sebességet. Ezek a *késleltetés* alapú módszerek, melyek azt célozzák meg, hogy egy összeköttetés csak adott számú csomagot tartson a hálózati út mentén levő várakozási sorokban. Ezen protokollok valamilyen módszerrel megbecsülik a körülfordulási idő (*RTT, round-trip time*) jelterjedésből adódó komponensét és a késleltetés másik komponensét, a sorbanállási időt próbálják szabályozni különböző algoritmusok szerint. Ebben az esetben a torlódásjelzésre egy „sokbites” késleltetés információ szolgál.

A legújabb módszerek kombinálják a késleltetés- és a csomagvesztés-alapú szabályozási elveket és valamilyen *hibrid* módszert alkalmaznak a torlódásszabályozásra, melyben az adó reagál a csomagvesztésekre és a késleltetés változására is. Kifinomultabb mechanizmust alkalmaznak azok a protokollok, melyek passzív vagy aktív *mérési módszerekkel* próbálják megbecsülni a rendelkezésre álló sávszélességet és ez alapján végzik a szabályozást.

Az eddig bemutatott alapelvek esetében az intelligencia az adóoldalon van implementálva és a konkrét algoritmusok rugalmasan fejleszthetők, cserélhetők és nem igénylik a hálózat egyéb elemeinek módosítását. Van azonban olyan elképzelés is, hogy a torlódás aktuális mértékéről a hálózati routerek adjanak explicit információt az adóoldalnak. Ezek az *explicit torlódásjelzési* módszerek azonban a jelenlegi hálózati eszközök módosítását igénylik.

A következőkben a teljesség igénye nélkül röviden áttekintjük a fontosabb protokollokat, illetve azok lehetséges jövőbeli szerepét. Erről egy tömör összefoglalás

található az 1. táblázatban, míg egy bővebb változat [2]-ben olvasható.

Először a hagyományos TCP-hez közelebb álló jelentősebb csomagvesztés alapú verziókat mutatjuk be. Az egyik első nagysebességű TCP-verzió a *High Speed TCP* [3], ami az *AIMD* elv egyszerű módosításán alapul. A protokoll azáltal válik adaptívra és többé-kevésbé skálázhatóvá, hogy az additív növelés és a multiplikatív csökkentés hagyományosan fix paramétereit a torlódási ablak függvényében változtatja. Ezáltal nagysebességű és nagykiterjedésű környezetben, nagy torlódási ablakok esetében a növekedés agresszívabb, a vissz szabályozás pedig jóval enyhébb lesz. Egy másik korai verzió a *Scalable TCP* [4], ahol a skálázhatóságot az *MIMD* mechanizmus bevezetésével oldják meg. Itt a hosszú távú viselkedést meghatározó Congestion Avoidance fázisban is egy a Slow Start algoritmushoz hasonló multiplikatív növelést alkalmaznak (természetesen más, kevésbé agresszív működést eredményező paraméterekkel) a hagyományos additív helyett. A Scalable TCP jövőbeli alkalmazhatósága azonban alapvetően megkérdőjelezhető, mivel nagyon komoly fairness problémái vannak [2]. A hagyományos AIMD-elv és így a TCP Reno nem képes biztosítani az igazságos működést abban az esetben, ha a különböző kapcsolatoknak jelentősen különbözik a körülfordulási idejük. Ezt az „RTT unfairness” problémát igyekszik orvosolni a *BIC TCP* [5] és annak egy továbbfejlesztése a *CUBIC* [6]. A BIC TCP esetében egy additív növelési és egy bináris keresésen alapuló módszer van kombinálva egyéb a hatékonyságot és a fairness-t javító módszerekkel, míg a CUBIC hasonló működést próbál elérni jóval egyszerűbb szabályozási mechanizmussal, ahol a torlódási ablak korábbi lineáris, logaritmusos és exponenciális szakaszai helyett köbös függvényekkel történik a közelítés. Fontos megemlíteni, hogy a Linux-kernel 2.6.8-as verziójától az alapértelmezett TCP-protokoll a BIC TCP volt egészen a 2.6.19-

es verzióig, ahol a CUBIC váltotta fel. Jelenleg a CUBIC a Linux rendszerek alapértelmezett TCP-protokollja, ezáltal a mai hálózati forgalomban jelentős szerepet kap.

Jelentős kutatási eredmények születtek a késleltetés alapú torlódásszabályozás témakörében is számos protokoll javaslattal. A késleltetés alapú szabályozás először a TCP Vegas protokollban jelent meg. Ennek a nagysebességű környezethez továbbfejlesztett, módosított változata a *FAST TCP* [7]. A szabályozás a korábbiakban említett elven történik, a protokoll a mért körülfordulási késleltetés alapján megpróbálja két paraméterként beállított határérték között tartani a várakozási sorokban levő csomagjainak számát. Itt nehézséget okoz a megfelelő paraméterválasztás, illetve annak hangolása. A FAST TCP protokoll a megfelelő paraméterbeállítás mellett biztató eredményeket mutat mind hálózati kihasználtság, mind fairness szempontból [2]. A legújabb TCP-javaslatok különböző algoritmusok szerint kombinálják a csomagvesztés- és a késleltetés alapú szabályozási elveket. Több ilyen módszert publikáltak és implementáltak, ezek közül talán a legfontosabb a Compound TCP [8]. Ezt a verziót a Microsoft Research munkatársai dolgozták ki és a Windows Vista, valamint a Windows Server 2008 operációs rendszerek alapértelmezett TCP-protokollja. Ezenkívül elérhető más Windows változatokhoz is „hotfix” formában és elkészült a Linux implementáció is. A protokoll lényege, hogy két torlódásiablak-változót tart karban, egy hagyományos AIMD alapon szabályozottat és egy késleltetés alapú módszerrel vezéreltet. Az aktuális torlódási ablak a két komponens összegként adódik. A különböző hálózati állapotokra más és más módon vezérli a két komponens úgy, hogy az eredő viselkedés hatékony hálózati kihasználtságot és a hagyományos TCP-protokollal igazságos együttműködést mutasson.

A sávszélességbecslésen alapuló torlódásszabályozási módszert alkalmazó TCP-verziók közül az egyik leg-

1. táblázat  
Nagysebességű  
TCP protokollok

| protokoll                 | típus                   | kik és mikor javasolták   | főbb jellemzők  |
|---------------------------|-------------------------|---|---|
| <b>HighSpeed TCP</b>      | csomagvesztés-alapú     | <i>S. Floyd</i> ,<br>International Computer Science Institute (ICSI),<br>Berkeley University of California, 2003.   | AIMD  |
| <b>Scalable TCP</b>       | csomagvesztés-alapú     | <i>T. Kelly</i> ,<br>CERN & University of Cambridge, 2003.  | MIMD  |
| <b>BIC TCP/<br/>CUBIC</b> | csomagvesztés-alapú     | <i>I. Rhee et al.</i> ,<br>Networking Research Lab,<br>North Carolina State University, 2004/2005.  | jó kihasználtság,<br>fairness és stabilitási<br>tulajdonságok |
| <b>FAST TCP</b>           | késleltetés-alapú       | <i>S. Low et al.</i> ,<br>Netlab,<br>California Institute of Technology, 2004.<br>(ma: FastSoft Inc.)   | biztató fairness<br>tulajdonságok                             |
| <b>TCP Westwood</b>       | mérés-alapú             | <i>M.Y. Sanadidi, M. Gerla et al.</i> ,<br>High Performance Internet Lab,<br>Network Research Lab,<br>University of California, Los Angeles (UCLA),<br>2001-2005. | több változat,<br>különböző becslési<br>módszerek             |
| <b>Compound TCP</b>       | hibrid                  | <i>K. Tan et al.</i> ,<br>Microsoft Research, 2005.   | AIMD + késleltetés<br>alapú komponens                         |
| <b>XCP</b>                | explicit torlódásjelzés | <i>D. Katabi et al.</i> ,<br>Massachusetts Institute of Technology (MIT),<br>2002.  | routerek módosítása<br>szükséges                              |

fontosabb a *TCP Westwood* [9], melynek számos változata van. Az évek során több becslési módszert dolgoztak ki, implementáltak és teszteltek, melyeket különböző változatokba építettek bele. Végül pedig meg kell említeni az explicit torlódásjelzésen alapuló és ezáltal módosított hálózati architektúrát igénylő *XCP* [10] protokollt. Itt a routerek explicit módon informálják az adó oldalt a torlódás mértékéről és jelezhetik felé az aktuálisan számára elérhető adási sebességet. Ebben a módszerben a kihasználtság- és a fairness szabályozása jól különválasztható. A protokoll komoly hátránya, hogy a hálózati routerek módosítását igényli.

Az, hogy az itt bemutatott (illetve a terjedelmi korlátok miatt kimaradt) számos TCP-javaslat közül melyek lesznek a jövő hálózatában meghatározóak, nem lehet megmondani. Jelenleg is intenzív kutatás zajlik a világ több meghatározó kutatóintézetében, melynek során igyekeznek összehasonlítani a meglévő javaslatokat. Azonban ez nem egyértelmű feladat, mivel nincsenek egységes szempontok, metrikák, hálózati környezetek és vizsgálati módszerek, melyek konkrét választ adhatnának arra a kérdésre, hogy melyik a „*legjobb*” vagy az „*optimális*” protokoll.

A torlódásszabályozási protokollok kutatása eddig azt mutatja, hogy nehéz a sokféle újabb kihívásokra egy optimális megoldást találni és nem valószínű, hogy lehetséges lesz egy univerzális protokollt kifejleszteni. Ezt igazolja az is, hogy az utóbbi évtizedben az újabb és újabb alkalmazások sokszor saját torlódásszabályzó módszereket használnak, amelyek sokszor nem tudnak hatékonyan együtt működni a TCP-vel (*TCP friendliness*).

Egy érdekes kutatási irány, amit a *GENI (Global Environment for Network Innovations)* is támogat, hogy a probléma megoldását egy teljesen újszerű megközelítéssel is lehetne kezelni, ami nem igényel torlódásszabályzást. Ennek az alternatív megoldásnak az alapelve az, hogy minden alkalmazás amilyen gyorsan lehet próbálja elküldeni mindig az adatait. Természetesen ha sok alkalmazás küld maximális sebességgel, akkor magas csomagvesztés várható. Ezen vesztesékből eredő hibákat azonban hatékony hibajavító kódolással védeni lehet.

Ennek a megoldásnak számos előnye van, de természetesen felvet néhány eddig még nem megoldott problémát is. Az egyik legfontosabb előny, hogy ezzel az eljárással a hálózati erőforrásokat a leghatékonyabban ki tudjuk használni, hiszen minden forrás maximális sebességgel ad, ezért a módszer a rendelkezésre álló erőforrásokat azonnal kihasználja. További előny, hogy a hálózati routerek egyszerűek lehetnek és nem szükséges a csomagtárolás sem. Ennek az is következménye, hogy a végpontok közötti csomagkésleltetést alacsony értéken lehet tartani. Ez a technika megoldást nyújthat a tároló nélküli optikai csatlakozókat tartalmazó hálózatok számára is.

A javaslat természetesen felvet olyan problémákat amiket szükséges megoldani a hatékony működéshez. A legfontosabb kérdés az, hogy a hibajavító kódolási technikákkal lehetséges-e hatékony működést elérni.

Az utóbbi években jelentős a fejlődés a hibajavító kódolási módszerek területén is és a kidolgozott módszerek lehetséges megoldást nyújtanak a kérdésre, mint például a *Fountain Codes* [11] alkalmazása. További fontos megoldandó feladat a fairness biztosítása a különböző folyamatok között. Ennek megoldása egy, a routerekben alkalmazott szelektív csomageldobó módszer lehet. Erre egy lehetséges érdekes technika például az *Approximate Fair Dropping (AFD)* [12] alkalmazása lehet.

A kutatás ebben a kérdésben még csak a kezdeti fázisban van, de máris számos meglepő eredményhez vezetett. Úgy tűnik, hogy tévhitnek bizonyul az, hogy a „*torlódási összeomlás*” jelensége olyan gyakori volna a torlódásszabályzás nélküli hálózatokban, mint azt eddig gondoltuk [13]. A kezdeti eredmények azt mutatják, hogy ilyen hálózatokban is a hatékonyság 90% felett marad a legtöbb topológia esetén akkor, ha az alkalmazások maximális sebességeinél a link kapacitások egy-két nagyságrenddel nagyobbak. Amennyiben fair csomageldobási eljárást is alkalmazunk, meglepően jó stabilitási és hatékonysági jellemzőket lehet elérni. Számos gyakorlati kérdésre azonban még nincs válaszunk, mert az eddigi vizsgálatok jó része sok olyan egyszerűsítő feltételezéssel élt, amit a gyakorlatban nem hanyagolhatunk el, mint például a tökéletes hibajavító kód feltételezése.

A fenti kérdések alapos megválaszolása ma még intenzív kutatás tárgya és remélhetőleg a közeljövőben válaszokat kapunk majd arra a kérdésre, hogy lehetséges-e a jövő Internetét felépíteni úgy, hogy nem lesz szükség semmilyen torlódásszabályzásra, így a ma még általánosan használt TCP és annak minden problémája elfelejthető.

### 3. Paradigmaváltás a hálózatmenedzsmentben

Az aktuális hálózati kutatások jelentős része tényként kezeli, hogy a jövő Internetjét a résztvevő kommunikációs csomópontok (billiószámú nagyságrendben mért) igen nagy száma, illetve az azok között létrejövő komplex és heterogén kapcsolathalmaz jellemzi majd. Mindemellett a hálózattól jövőben elvárt funkcionális követelmények is igen széleskörűek lesznek, a hálózatmenedzsment emberi erővel többnyire már nem megoldható, minél magasabb szintű automatizmus megvalósítása lesz szükség. Egy ilyen nagyléptékű, bonyolult rendszer megtervezése olyan összetett feladat, melyhez ma még nem állnak rendelkezésre megfelelő módszerek.

A nagyméretű hálózatok leírására alkalmas eszköztár az elmúlt években intenzív fejlődésen ment keresztül, ma már az e forrásból származó valós alkalmazások nem ritkák, példaként a komplex keresés problémakörére, melyre részletesebben is kitérünk majd.

A jövőbeli Interneten, mint összetett rendszerben lezajló folyamatok vizsgálata is modern eszközöket igényel. A hagyományos, a globális viselkedést a részek működésének összességére visszavezető – induktív –

metodológia a rendszer komplexitása révén érvényét veszti. A probléma ésszerű kezeléséhez, olyan önszerveződő rendszer modelljében célszerű gondolkodni, amelyben a központi irányítást (centralizált folyamatszabályozást) az elosztott működés (decentralizált döntésmechanizmus) váltja fel. A hálózat monitorozása a részek független megfigyelése helyett „makro” szinten, a megjelenő, úgynevezett kiemelkedő (emergens) tulajdonságok szintjén történik.

### 3.1. Nagyméretű hálózatok

Az Internetet érintő egyik legfontosabb folyamat napjainkban az IP-protokoll több mint 20 évvel ezelőtt bevezetett 4-es verziójáról az IPv6-ra való áttérés. Ennek oka jelentős részben, hogy a rendelkezésre álló hálózati címek lassan elfogynak. Az IPv4 32 byte-os címtartománya (~4.3 milliárd variáció) még azokban az időkben keletkezett, amikor átlagosan egy számítógépre (mainframe) körülbelül 200 felhasználó jutott. Napjainkban ez nagyjából az 1:1 aránynál tart, több, mint 1,2 milliárd felhasználó mellett, amely szám azonban akár már a közeljövőben megduplázódhat elsősorban a fejlődő országok révén (becslések szerint a felhasználók száma minden évben hozzávetőlegesen 150 millióval növekszik). A mobil eszközök terjedésével ugyanakkor az eszköz/ember arány rövid távon várható, hogy még tovább fog nőni és eléri a felhasználónkénti 200 hálózati eszköz értéket. A mobil eszközök száma becslések szerint 2010-re utoléri az Internetbe kapcsolt PC-k számát. Jellemző tendencia, hogy a digitális személyi asszisztens (PDA – Personal Digital Assistant) funkciót betöltő eszközök, személyi kommunikátorokká válnak, ami azonban az igazi áttörést hozza az az infokommunikációs implantátumok megjelenése.

Az érzékelők és beavatkozók (szenzorok/aktuátorok) világában intelligens anyagok segítségével vezetékmentes kommunikációra képes mikroeszközök kerülnek beépítésre az emberi szervezetbe, melyek életfenntartó/támogató, illetve ember-gép interfész szerepet is betölthetnek. A szenzorhálózatok legegyszerűbb formációjaként az RFID (Radio Frequency Identification) technoló-

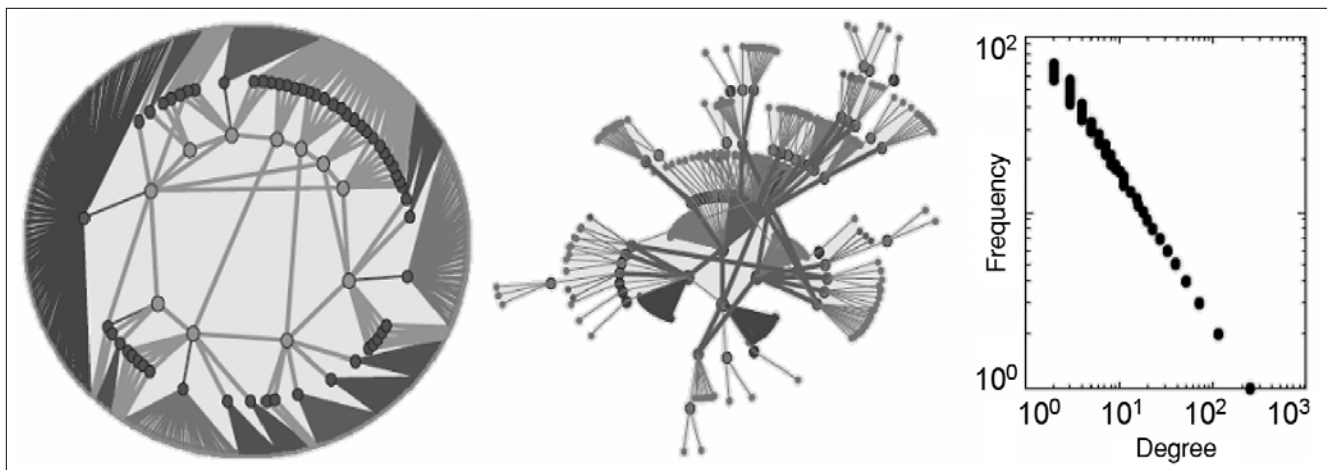
giát, a magukat azonosítani tudó aktív vagy passzív eszközöket, máris széles körben alkalmazzák.

Az Internet komplexitását azonban nem csupán a résztvevő eszközök száma növeli. Az elérhető szolgáltatások rohamos növekedésével mind nagyobb az igény a fizikai kapcsolatoktól független logikai kapcsolati háló kiépítésére. A virtuális internetszolgáltatók, mobilszolgáltatók, illetve a szolgáltatás oldaláról a virtuális magánhálózatok fejlődése mind ebbe az irányba mutat, de hasonló hatása van az egyenrangú hálózati (P2P – peer-to-peer) kommunikációs eljárás mind szélesebb körű alkalmazásának is. Az ilyen struktúrákhoz szükséges kapcsolatok lefedő (overlay) hálózatok segítségével alakíthatók ki. Mindez jelentősen megnehezíti a hálózatok effektív menedzselhetőségét.

Az igen nagy méretű, komplex hálózatok effektív vizsgálatához első közelítésben olyan elmélet kidolgozására van szükség, mely eltekint a hálózatot alkotó csomópontok egyedi tulajdonságaitól és a kapcsolatok struktúrájára, a hálózat jellegére, felépítésére koncentrál. Ilyen értelemben tehát az eredmények az információs technológia területétől elrugaszkodva, sokkal szélesebb körben is alkalmazhatóak. Kétségtelenül számos való életbeli hálózatot lehet leírni komplex hálózati modellekkel. Ilyen például egy szervezet, ami egymással kapcsolatban álló emberek hálózata. Ide sorolhatjuk továbbá a táplálkozási láncokat, a globális gazdasági hálózatot, vagy akár a szavak közötti kapcsolatokat egy nyelvben. Érdemes megemlíteni még a betegségeket is, amelyek az emberek közösségi hálózatán belül (pl. szexuális úton) terjedhetnek. A komplex hálózatok kutatásának középpontjában tehát a hálózatok különböző tulajdonságaival és dinamikus viselkedéseivel kapcsolatos kérdések állnak.

Az 50-es évek óta a komplex hálózatokat az Erdős-Rényi [14] modellel írták le, amelyek akkoriban az egyetlen ésszerű és kellően precíz megközelítése volt ezeknek a hálózatoknak. Ennek ellenére a kutatók sejtették, hogy a valós életben előforduló komplex hálózatok se nem teljesen regulárisak, se nem pedig teljesen véletlenszerűek.

1. ábra Az Internet router-szintű modelljei  
Mérnöki modell (balra), skálafüggetlen modell (középen) és a fokszámeloszlás (jobbra).





A számítógépek és az internet elterjedése során olyan nagyméretű adatbázisok jöttek létre, amelyekből valós komplex hálózatok adatai könnyen hozzáférhetővé váltak. Ezeknek a topológiai adatoknak a vizsgálata során az elmúlt évtizedben két jelentős felfedezés született. Az egyik a Watts-Strogatz féle „kicsi a világ” hatás, valamint a Barabási-Albert-féle skálafüggetlen hálózati modell. A „kisvilág”-hatás azt fejezi ki, amit Milgram is kimutatott a 60-as években a híres kísérletében [15], azaz átlagosan két véletlenszerűen kiválasztott ember között kevés kapcsolaton keresztül vezet a legrövidebb út a világ közösségi hálózatában, ahhoz képest hogy többmilliárd ember él a földön. A skálafüggetlen hálózati modell pedig a komplex hálózatok egy másik nagyon érdekes tulajdonságát világítja meg, tudniillik a valós komplex hálózatok fokszámoszlásának hatványfüggvény alakja van, nem pedig a véletlen hálózatokra jellemző Poisson-eloszlás. A fokszámoszlás skálamentessége szemléletesen azt jelenti, hogy a nagy foksámú csomópontok (hub-ok) kialakulása nagy méretű hálózatokban igen valószínű (1. ábra).

A komplex hálózati modellek alapvető jellemzéséhez tipikusan három karakterisztikus tulajdonságot szokás kiemelni: az *átlagos úthossz*t, a *csoporképződési* (klaszterezettségi) együtthatót valamint a *fokszámoszlást* [16]. Az átlagos úthossz egy gráf tetszőleges két csúcsa közötti (legrövidebb) távolságok átlaga. Ez a tulajdonság jól jellemzi a hálózat „effektív” méretét. Érdekes felfedezés volt, hogy a legtöbb valós komplex hálózatban az átlagos úthossz relatíve rövid. Ez a méretbeli tulajdonság vezetett a „kisvilág” elnevezéshez.

A komplex hálózatok alapparamétereinek felmérése fontos lépés volt a tudományterület fejlődésében. Ezek után intuitív módon fel lehet állítani különböző matematikai modelleket, amelyek hasonló statisztikus tulajdonságú hálózatokat eredményeznek.

A valós komplex hálózatok további érdekes területe a dinamikus rendszerek által felvetett problémák. Érdekes megfigyelés, hogy az interneten haladó útvonalválasztó üzenetek szinkronizációjakor, ugyan a hálózati topológia nem kifejezetten ez alapján lett kialakítva, az útvonalválasztók mégis könnyen összeszinkronizálják az üzenetváltásaikat, és ha a hálózat egyik részén megtörjük a szinkronizációt valamilyen véletlenszerűség bevezetésével (módosítunk egy determinisztikus protokollt), a hálózat egy másik része szinkronizálódik össze [17]. Az ilyen, és hasonló jelenségek pontosabb megértéséhez egy további, részben független tudományterület, az önszerveződő rendszerek vizsgálatára van szükség.

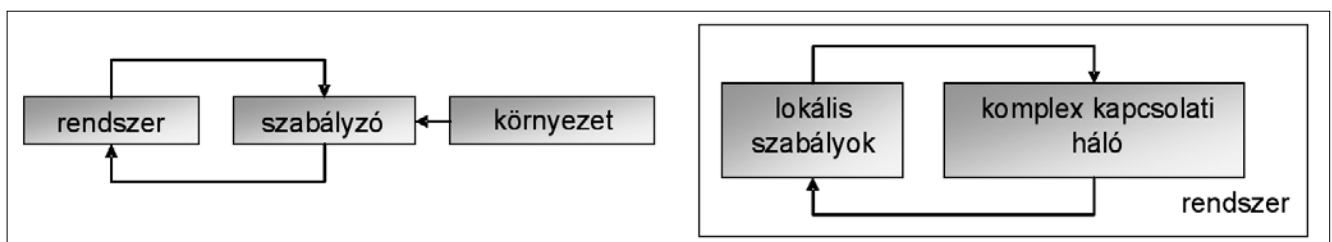
### 3.2. Evolúció és önszerveződés kommunikációs hálózatokban

A mai távközlési rendszerek a jól bevált globális hálózatmenedzsment paradigmája alapján működnek. Ez a megközelítés a rendszer irányítását egy külső szabályzó egység megvalósításával oldja meg. Ez az egység folyamatosan figyeli a rendszer állapotát és a környezetet. Ha a rendszerben valami probléma lép fel, vagy a környezet megváltozik, a szabályzó kiszámítja a megfelelő megoldást és a rendszert a megfelelő állapotba vezérli (2. ábra). Ez a megoldás egészen addig működőképes, amíg a keresett megoldást sokkal gyorsabban meg tudjuk határozni, mint amilyen gyorsan a probléma változik. Ez a kritérium természetesen határt szab a rendszer komplexitásának és dinamikájának, hiszen a szabályzó sokkal bonyolultabb kell, hogy legyen, mint maga a rendszer. Gondolhatunk itt arra, hogy például a link-state útválasztási protokollok nagyméretű, komplex topológián nem alkalmazhatók.

Egy természetes módja a komplexitás kezelésének az önszerveződés, amellyel magának a rendszernek a komplexitását kihasználva megbirkózhatunk a menedzsment komplexitásával is. Egy önszerveződő rendszerben nagyszámú, bonyolult módon összekapcsolt eszköz egyszerű lokális szabályok végrehajtásával, valamilyen globális viselkedést valósít meg. Látható, hogy ezzel a szabályzó hurok a rendszer belsejébe kerül (2. ábra), így a rendszer képes önmagát szervezni. Egy ilyen rendszer gyakorlatilag megadott keretek között önállóan fejlődik, evolvál, viszont annak ellenére, hogy nem tudjuk pontosan mi történik a rendszer egy adott pontján, mégis rendszerszinten pontosan leírható globális viselkedést figyelhetünk meg. Az önszerveződés tehát nem valamely rendszerre jellemző tulajdonság, hanem egy olyan *paradigma*, amely segítségével bizonyos valós rendszerek (így a bonyolult kommunikációs hálózatok is) könnyebben megérthetőek illetve tervezhetőek.

Az önszerveződés klasszikus jegyeit mutató algoritmusok már a kezdetektől szerepet játszottak az Internet kialakulásában, illetve sikerében. Gondoljunk a cikk előző fejezetében taglalt kommunikációs protokollra, a TCP-re. E protokoll hálózati torlódás-kezelő technikája is egyfajta önszerveződő technika abban az értelemben, hogy decentralizált módon képes egy linken jelenlévő forgalmi folyamatok jellemzőit szabályozni, elérve ezzel valamely előre definiált emergens hatást (fair erőforrás-szétosztás, magas linkkihasználtság stb.). A folyamat során minden egyes végpont szigorúan lokális információ alapján önálló lokális döntéseket hoz egy globális cél érdekében. További példa az Ethernetből jól ismert CSMA/CD

2. ábra A globális menedzsment (balra) és az önszerveződő rendszer (jobbra) felépítése



algoritmus. A CSMA/CD szabályrendszere biztosítja, hogy a közös csatornán kommunikáló felek képesek legyenek a szimultán adások és az ezekből következő ütközések detektálására, valamint ezek elhárítására központi irányítás nélkül is. Amennyiben a CSMA/CD csatornán több fél azonos idejű adási kísérlete miatt ütközés jön létre, úgy az érintett felek külön-külön, de véletlenszerűen meghatározott ideig felfüggesztik adási kísérleteiket abban a reményben, hogy így a következő próbálkozás alkalmával már nem egyszerre próbálnak majd adni. Amennyiben az újabb adási kísérlet során ismét ütközés jön létre, úgy a közreműködő felek növelik a várakozási időt, így csökkentve az újabb ütközések esélyét. Könnyen belátható, hogy ezen egyszerű lokális szabályok segítségével a rendszer megoldja a közös csatorna hatékony és fair felosztását a kommunikáló felek között.

Az önszerveződő rendszerek igen intenzív interdiszciplináris kutatási területet jelentenek és vizsgálatuk számos tudományágban (biológia, fizika, társadalomtudomány) központi kérdés. Az ilyen elven működő rendszereknek számos előnyös tulajdonsága van, ugyanakkor a mérnöki gyakorlatban mégis igen kevés helyen találkozunk velük. Ennek oka leginkább, hogy az önszerveződés mechanizmusát még nem értjük teljesen. Az ilyen rendszerek tervezése a hagyományostól eltérő alapvetően új szemléletmódot és tervezési eszközöket kíván.

### 3.3. Keresés nagy hálózatokban

A természetben sok nagyméretű hálózat (emberi szociális kapcsolatok, fehérjehálózatok, idegsejthálózatok stb.) igen fontos jellemzője a jó kereshetőség. Milgram 1961-es kísérlete [18] megmutatta, hogy az emberi társadalomra nem csupán az igen rövid utak megléte a jellemző, de az emberek képesek igen hatékonyan meg is találni azokat pusztán a hálózat nagyon kicsi, lokális részének ismeretére támaszkodva.

A jó kereshetőség – természetben önszerveződő módon kialakuló – tulajdonságának mesterséges hálózatokban való átvitele komoly kihívást jelent a kutatók számára. Az egyik legfontosabb alkalmazási terület a sokcsomópontos nagyméretű kommunikációs hálózatok hatékony megvalósítása.

Az Internet eredeti koncepciójának kialakításában az egyik legfontosabb elem a jó útvonalválasztási protokolltechnológia megalkotása volt. A jelenleg is használatos keretrendszer alapját kitüntetett szerepű eszközök (routerek), illetve az azokból létrehozott hálózat alkotja. A struktúra jellemzője, hogy egyes kiemelt eszközöknek szüksége van részben vagy egészben a globális hálózat ismeretére az útvonalválasztási döntés meghozatalához. Hasonló módon, mivel a megfelelő hálózat topológiai ismeretek megszerzéséhez időre van szükség, a rendszernek kvázistatikus jellegűnek kell lennie, struktúraváltozás csak igen korlátozott sebességgel történhet. Figyelembe véve, hogy a jövő globális Internetjét várhatóan a jelenleginél akár két-három nagyságrenddel nagyobb számú csomópontból álló, di-

namikusan változó struktúrájú hálózat jellemzi majd, az eredeti koncepció számottevő módosításra szorul.

A kereshetőség hatékony megvalósítását az egyenrangú (P2P) hálózatok területén is kiemelt problémaként kezelik. E hálózatok az Internetet alapinfrastruktúraként felhasználva lefedő (overlay) hálózatot alkotnak, ezen működnek a speciális P2P címzési és tartalomkeresési algoritmusok. Az erős hálózati dinamizmushoz, felhasználók gyors, véletlenszerű ki és belépéséhez, az alkalmazott eljárások a determinisztikus, de kevésbé skálázható „hálózat-elárasztás” technikát alkalmazzák vagy kétséges kimenetelű, de skálázhatóbb sztochasztikus eszközökkel operálnak. Az így létrejött megoldások mindazonáltal továbbra is erősen függenek az Internet adta lehetőségektől. A tanszéken folyó kapcsolódó kutatások célja, olyan átfedő hálózati architektúra (illetve a hozzá tartozó protokollok) kidolgozása, mely a résztvevő nagyszámú tag aktív mozgását (ki- és belépését, meghibásodását) minimális teljesítménycsökkenés mellett képes lekezelni. A kutatások újszerűségét elsősorban a P2P-elvű lefedő hálózatok hagyományos gyűrűszerű jellegétől eltérő komplex hálózati struktúrák/elvek alkalmazása adja.

A jövő hálózatának kutatásai újabban mind gyakrabban vetik fel a probléma tiszta lappal („clean slate”) való megoldásának lehetőségét. A javasolt technikák számottevő hasonlóságot mutatnak a jóval korábban már az infrastruktúra-mentes (ad-hoc) hálózatok kialakítása esetében is kutatott eljárásokkal. Az egyik ilyen elképzelés alapja a földrajzi elhelyezkedés alapú, úgynevezett geográfiai vagy geometriai címzés és az azt figyelembe vevő keresési algoritmusok. A kommunikáló terminálok tehát például földrajzi koordinátaikkal jellemzettek és az útvonalválasztást az egyszerű „mohó” algoritmus biztosíthatja: ha X keresi Y-t, X első lépésként megkeresi azon Z szomszédját, aki legközelebb áll Y-hoz. Az algoritmus globális működésének garantálásához a hálózat topológiájának természetesen bizonyos feltételeket teljesítenie kell, mint az ad-hoc hálózatok alkotta egységnyi körlap gráf (UDG – Disk Unit Graph) alkalmas struktúra. Olyan esetekben, ahol a szükséges kapcsolódási feltételek nem teljesülnek, tehát előfordulhat olyan, hogy X nem kapcsolódik Y-hoz, de minden szomszédja távolabb van Y-tól, tehát nincs hova továbblépni, módosított technikák kialakítására van szükség. Ilyen esetekben virtuális koordináták bevezetése adhat megoldást. A feladat tehát ezen virtuális koordináták terminálokhoz rendelése úgy, hogy a mohó feltétellel teljesüljön és ezáltal az útvonalválasztás mindig garantálható legyen [19]. A feltétel formálisan az alábbi módon fogalmazható meg:

Minden  $X$  és  $Y$  ( $X \neq Y$ ) csomópont párhoz létezik olyan  $Z$ , hogy  $d(Z, Y) < d(X, Y)$ , ahol  $d(A, B)$  az  $A$  és  $B$  távolságát jelöli.

A virtuális koordináták természetesen szükség esetén elrugaszkozhatnak a sík vagy a tér euklideszi koordinátáitól és egyéb absztrakt halmazokból is választhatóak, ekkor azonban definiálni kell hozzá megfelelő távolság-

fogalmat is. A fent ismertetett mohó útvonalválasztásra alkalmas virtuális koordinátákon alapuló címzési hozzárendelést, a hálózat mohó beágyazásának (greedy embedding) nevezik. Ha mohó beágyazásra nincs lehetőség a kapcsolati gráf speciális jellege, vagy egyéb körülmények (mozgó vagy meghibásodó csomópontok, illetve kapcsolatok okozta dinamikus szerkezetváltozás) miatt, kiegészítő keresési eljárásokra lehet szükség, ilyen megoldás például a irány/zárvány alapú útvonalválasztás (face routing) [20]. Aktív kutatási területeinkhez tartozik az adott topológiai kényszerfeltételek (például maximum fokszám) mellett hatékonyan működő komplex hálózati keresési vagy topológiamentes algoritmusok vizsgálata.

A fentiekben ismertetett útvonalválasztási technikák közös jellemzője, hogy igen könnyen skálázható nagy hálózatokra is, hiszen az egyes csomópontoknak csak a vele kapcsolatban álló szomszédait kell ismernie. Nem szükséges például nagy címtáblák karbantartása, illetve a döntési mechanizmus is igen egyszerű. Az ilyen típusú technikákat gyakran routermentes útvonalválasztásnak is szokás nevezni. Az eljárás halmaza igazán hatékony formát olyan kiegészítő címzési algoritmusokkal nyerhet, mely a hálózati címeket lokális szabályokon alapuló, önszerveződő módon tudja biztosítani. Kutatásaink az elméleti alapok vizsgálata mellett konkrét eljárások megvalósítását célozza.

A nagyméretű, dinamikus, illetve struktúramentes hálózatok menedzsmentje napjainkban igen aktívan kutatott terület, melyhez mára számos alaperedmény áll rendelkezésre, de a technológiai alkalmazáshoz az igazán nagy kihívások még hátra vannak.

#### **4. Társadalmi-gazdasági szempontok a jövő Internetében**

A kommunikációs hálózatok tervezésében, üzemeltetésében a korábbi évtizedekben a technológiai szempontok voltak elsődlegesek. Az Internet együttműködő szervezetek hálózataként jött létre, ahol a közösségi érdek szerint készítették az átviteli eljárásokat. Az Internet fejlődésével egyre több profitorientált vállalat kapcsolódott a globális hálózathoz, amelyek elsősorban saját érdekeiket tartják szem előtt, a hasznuk maximalizálásában érdekeltek. Ezért már jelenleg is sok rendszer tervezésekor figyelembe veszik a társadalmi, gazdasági szempontokat, különböző ösztönző eljárásokkal próbálják a résztvevők elvárt viselkedését kikényszeríteni. Ezen törekvések a jövő Internetjének kialakítása során még fontosabb szerepet fognak játszani, több nemzetközi kutatási projekt elsőszámú célja a gazdasági-társadalmi szempontok érvényesítése, ilyen például az NSF FIND [21] és az Euro-NF [22].

Azonban számos jelenlegi rendszerben is jelen vannak már a szereplők érdekeit figyelembe vevő, a felhasználók viselkedését befolyásoló módszerek. A peer-to-peer alapú fájlcsere rendszerek sikeressége azon alapul, hogy a résztvevők együttműködését a beépített

szabályokkal elősegítik. Például a Bittorrent fájlcsere esetén azok a felhasználók tölthetnek le adatokat gyorsan, akik maguk is hozzájárulnak a rendszer működéséhez, adatok feltöltésével [23]. Hasonlóképpen, gazdasági megfontolások alapján osztanak el szűkös erőforrásokat (hirdetési felület) aukciós rendszerek segítségével az internetes hirdetési vállalatok [24]. Azonban nem csak az alkalmazási rétegben alkalmaznak társadalmi-gazdasági módszereket. Az alsóbb rétegekben például vizsgálják a jelek egymásra hatását, de az internetes útvonalválasztás során is fontos figyelembe venni, hogy az egyes szereplők eltérő érdekekkel rendelkeznek [25].

Az egyes szereplők eltérő érdekeit játékelmélettel lehet vizsgálni, amely megfelelő eszközt nyújt a modellezésre, a stratégiák vizsgálatára. A korábban említett aukciós eljárások mellett fontos szerepe van a mechanizmus tervezésnek (mechanism design) is, mellyel kikényszeríthető a szereplők elvárt viselkedése.

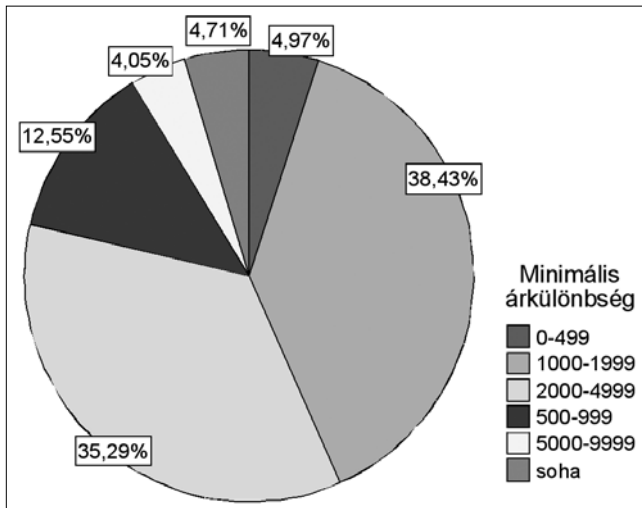
A következőkben két kutatási területet (internetszolgáltatók árképzése és közösségi oldalak felhasználói aktivitása) mutatunk be, ahol szintén a társadalmi-gazdasági szempontok kerülnek előtérbe.

##### **4.1. Internetszolgáltatók árképzése előfizetői hűség esetén**

A helyi internetszolgáltatók fontos szerepet játszanak a teljes hálózat életében, hiszen a végfelhasználók számára biztosítják az internethozzáférést. Ezen vállalkozások technológiai kihívások mellett, mint például az egyre gyorsabb és jobb minőségű internethozzáférés biztosítása, gazdasági problémákkal is szembesülnek. A cégek főleg a forgalmazott adatmennyiség után fizetnek a náluk magasabb hierarchia szinten elhelyezkedő internetszolgáltatóknak (Tier-1, Tier-2 szolgáltatóknak), azonban a végfelhasználók általában átalánydíjat fizetnek, sokszor a forgalmazott adatmennyiségtől függetlenül. A helyi internetszolgáltatók elemi érdeke, hogy az Internethozzáférést olyan áron kínálják, ami a lehető legnagyobb bevételt biztosítja számukra. A felhasználói viselkedés megismerésével a szolgáltatók olyan árakat szabhatnak meg, melyek több bevételt eredményeznek. A felhasználók viselkedésének egyik fontos része a hűség. A hűséges előfizetők olyankor is a megszokott szolgáltatónál fizetnek elő az internetre, ha egyébként más cégek kedvezőbb csomagokat is kínálnak. Az előfizetői hűség létező jelenség az internetszolgáltatói piacon, több európai ország kommunikációs hivatalának tanulmánya is beszámol róla [26-29]. Az utóbbi évek felmérése alapján az Egyesült Királyságban az előfizetők 73%-a, Írországban, Finnországban és Máltán 84%-a, míg Portugáliában 81%-a volt hűséges előfizető. Magyarországon is jelentős előfizetői hűséget mutatnak a váltás adatok, hiszen 2007-ben a legnagyobb szolgáltatók esetén még a 10%-ot sem haladta meg a szolgáltatót váltók aránya [30].

Az általunk végzett közvélemény-kutatás eredménye szerint az előfizetők hűsége a szolgáltatók árkülönbségének függvénye. A válaszadók többsége hűséges volt a szolgáltatójához (a megkérdezettek 60%-a nem váltott szolgáltatót az elmúlt öt évben), azonban az emberek döntő többsége megfelelő árkülönbség esetén lecserélné

jelenlegi szolgáltatóját. Mindössze a válaszadók 5%-a mondta azt, hogy bármennyivel is lenne olcsóbb egy másik szolgáltató hasonló előfizetés csomagja, ő nem hagyja el jelenlegi szolgáltatóját. Az árkülönbségekhez tartozó pontos százalékokat az 3. ábra illusztráltuk. A kérdőív további feldolgozása megtalálható a csoportunk honlapján [31].



3. ábra  
Minimális árkülönbség,  
amikor a válaszadók szolgáltatót váltanának

A megfigyelt előfizetői viselkedés alapján játékelméleti eszközöket felhasználva meghatározhatóak azok a piaci feltételek (a maximális ár és az árkülönbség aránya), melyek esetén nem szükséges, hogy a szolgáltatók versenyezzenek az előfizetőkért, a lehető legmagasabb áron tudják a terméküket értékesíteni. Kutatásunk során kiindulásként felhasználtuk azt a korábbi eredményt, mely szerint az előfizetői hűség fontos szerepet játszhat az internetszolgáltatók árképzésében [32]. Az ismertetett eseten kívül megvizsgáltuk, milyen stratégiák célravezetőek akkor, ha nem áll rendelkezésre elegendő információ az árképzés során [33], továbbá mi a helyzet olyan piacokon, ahol új internetszolgáltatók jelennek meg [34,35].

#### 4.2. Közösségi oldalak felhasználói aktivitása

A felhasználók szerepe kulcsfontosságú az internetes közösségi oldalak fejlesztésében és sikerességében is, hiszen naponta jelennek meg újabb és újabb közösségi oldalak, melyek bár technológiai szempontból kifogástalanok, mégsem válnak széles körben ismertté. Az oldalak sikeressége a felhasználók viselkedésén múlik, hiszen azok legjelentősebb bevételi forrása hirdetések értékesítéséből származik: minél több időt töltenek el a felhasználók az oldalon, annál több hirdetési felületet lehet eladni. Ennek ellenére kevés információt publikáltak eddig a felhasználók aktivitásáról. Az ismertetett társadalmi szempont vizsgálata érdekében széleskörű mérést végeztünk, majd meg-

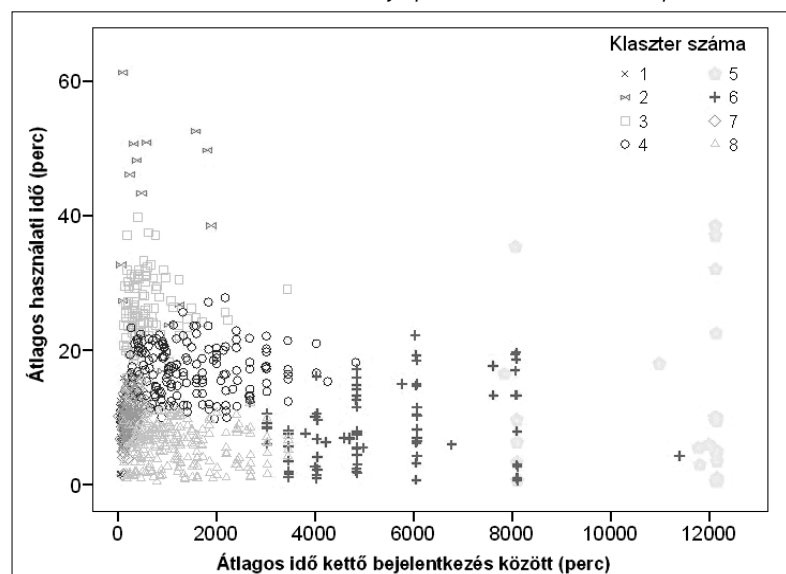
vizsgáltuk a felhasználók viselkedését különböző népszerű közösségi oldalon (Bebo, Flixster, MySpace és Sky Rock) az oldalon töltött idejük alapján.

A mérés elve a következő egyszerű észrevételen alapult. A vizsgált közösségi oldalakon a felhasználók adatlapján megfigyelhető, hogy az illető mikor tartózkodik az oldalon. Ezt kihasználva lehetőségünk nyílt az egyéni felhasználói viselkedés megfigyelésére. A több mint 3000 egyéni oldalt ismételtén, perces mintavételi időközzel letöltöttük a Planetlab [36] erőforrásait használva, feldolgoztuk, majd az így kapott mérési adathalmazt elemeztük statisztikai módszerekkel. Az oldalon eltöltött időn kívül feljegyeztük, hogyan alakult az egyes felhasználók kapcsolatainak száma.

A felhasználókat viselkedésük alapján csoportokra bonthatjuk. A csoportok meghatározása során nem csak a napi átlagos használati időt vettük figyelembe, hanem többek között a napi bejelentkezések számát és a bejelentkezések között eltelt időt is felhasználtuk. A 4. ábrán a MySpace felhasználók csoportjait szemléltetjük a két bejelentkezés között eltelt átlagos idő és a bejelentkezések átlagos ideje alapján. A vizsgált szempontok alapján nyolc eltérő viselkedésű csoport rajzolódik ki. Megfigyelhető, hogy egyes csoportok tagjai nagyon ritkán lépnek be a közösségi oldalra (5-ös, 6-os csoport), míg mások nagyon hosszú időt töltenek el az oldalon egy bejelentkezés alatt (2-es csoport). A további csoportok az aktivitásuk, illetve a bejelentkezési gyakoriság alapján különböztethetőek meg. A mérési eredményeket részletesen [37]-ben ismertettük.

Az előzőekben két olyan kutatási területet mutatunk be, ahol társadalmi-gazdasági szempontok a meghatározóak. Megvizsgáltuk, hogy milyen módszerekkel modellezhető a helyi internetszolgáltatók árversenye előfizetői hűség esetén. Bemutattunk egy olyan mérést, amellyel a közösségi oldalak felhasználóinak aktivitását lehet nyomon követni. A mérési eredmények alapján azonosítottunk különböző felhasználói csoportokat, akik eltérően viselkednek a rendszerben.

4. ábra MySpace felhasználók csoportosítása



## 5. Összefoglalás

A jövő Internetének kutatásai köréből a három bemutatott szemelvényéből is jól látható, hogy az alapvető fundamentumoktól a szintiszta technológiai megközelítésen túlmutató szempontokig sok-sok tényező együttesen befolyásolja az Internet fejlődési irányát. Ma még megmondhatatlan, hogy mely területeken lesz olyan jelentős áttérés, amely majd meghatározza a jövő Internetének karakterisztikáját. Ezen kutatási területek azért is érdekesek és kihívással teliek, mert sokszor meglepetésszerű eredményeket hoznak. Érdekes új eredmény például, hogy torlódásszabályzás nélküli hálózatokban sem feltétlenül kell torlódási összeomlástól tartani – mint amit a 80-as évek végén az NSFnet elszenvedett, és ami életre hívta a ma is meghatározó TCP-torlódásvezérlést – ha az alkalmazások maximális sebességeinél a linkkapacitások egy-két nagyságrenddel nagyobbak. Más esetekben olyan kérdésekre kaphatunk érdekes válaszokat, melyek az Internet egyre nagyobb térnyeréséből fakadnak.

Az Internet jelenlegi architektúráját a minimalista elvek határozzák meg és tették lehetővé a jelenlegi méret kiszolgálását. Ugyanakkor az Internet térnyerésével a szűkebb közösség (szakmai közösség) korábban meghatározó igényei mellett egyre erőteljesebben jelentkeznek az üzleti és „közmű” igények. Ezen új igények kiszolgálása a méret és az elvárt szolgáltatások robbanása miatt ma már teljesítőképességi határokat feszeget. A nagyméretű hálózatok vizsgálata és az autonóm viselkedési formáknak az Internetre való adaptálása jelenthet kiutat a jövőben. Másrészt viszont az Internet „közművesedése” a társadalmi és gazdaságossági szempontokat is reflektorfénybe hozza, hiszen a technológia alternatívák választásánál már ma is meghatározó a politikai, társadalmi és gazdasági vonatkozás. Természetesen ezen tényezők jobb megértése visszahat a technológia kutatásokra is. Napjainkban például egyre nagyobb hangsúlyt kapnak a „zöld” hálózati kutatások, amelyek energiagazdálkodási, gazdaságossági szempontokat helyeznek előtérbe és a működés fókuszába.

### A szerzőkről



**HENK TAMÁS** a BME Villamosmérnöki Kar Híradástechnika Szakán végzett (1973), majd doktorált (1977). 1977-79-ig a UCD Dublini Egyetem vendégkutatója. A műszaki tudomány kandidátusa fokozatot 1985-ben kapta meg távközlés témakörben. Pályafutását 1973-ban a Távközlési Kutató Intézet (TKI) tudományos tanácsadójaként kezdte, 1990-től a BME Távközlési és Médiainformaticai Tanszék és jogelődjeinek docense, 1995-2005-ig a University of Neuchâtel partner-kutatója. A BME Nagysebességű Hálózatok Laboratóriumának (HSN Lab) társalapítója és 2007-ig vezetője.



**SZABÓ RÓBERT** a BME Távközlési és Médiainformaticai Tanszékének egyetemi docense, tanszékvezető-helyettese. 2002-ben PhD fokozatot és 2003-ban MBA diplomát szerzett. 2000-2006 között kutató az Ericsson Magyarország Kft.-nél részmunkaidőben. 2005 és 2007 között elnöke a HTE Távközlési Szakosztályának. 2007 óta vezeti a BME-n működő Nagysebességű Hálózatok Laboratóriumot ([www.hsnlab.hu](http://www.hsnlab.hu)). Kutatási területei az infokommunikációs hálózatok, szolgáltatások és alkalmazások.



**MOLNÁR SÁNDOR** a BME-n szerzett villamosmérnöki diplomát 1991-ben és PhD doktori fokozatot 1996-ban a villamosmérnöki tudományok területén. 1995 óta a BME Távközlési és Médiainformaticai Tanszékének oktatója, ahol jelenleg egyetemi docens. A Nagysebességű Hálózatok Laboratórium megalapítása óta a laborban a forgalomelméleti kutatások vezetője. Szakmai bíráló és vendégszerkesztő számos nemzetközi tudományos folyóiratban, valamint a Springer Telecommunication Systems nemzetközi folyóirat szerkesztőbizottsági tagja.



**SONKOLY BALÁZS** a BME-n szerzett műszaki informatikus diplomát 2002-ben. Jelenleg a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Távközlési és Médiainformaticai Tanszékének oktató-kutató munkatársa. Kutatási és oktatási témái a forgalommodellezés és a nagysebességű transzportprotokollok. Rendszeresen publikál nemzetközi szakmai konferenciákon és folyóiratokban. A BME-n számos diplomázó hallgató témavezetője.

**CSERNAI MÁRTON** a budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem végzős hallgatója. 2008-ban csatlakozott a Távközlési és Médiainformaticai Tanszék önszerveződő rendszerekkel és komplex hálózatokkal foglalkozó csoportjához. A témában önálló labor keretében folytat kutatómunkát.



**GULYÁS ANDRÁS** a BME-n szerzett műszaki informatikus diplomát 2002-ben. Jelenleg a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Távközlési és Médiainformaticai Tanszékének tudományos segédmunkatársa. Informatikai tudományokból PhD-fokozatát 2007-ben védte meg. Kutatási és oktatási területe a távközlési forgalommenedzsment, az önszerveződő hálózatok. Több Európai Unió és hazai projekt irányítója és résztvevője, számos diplomázó hallgató témavezetője. Rendszeresen publikál nemzetközi szakmai konferenciákon illetve folyóiratokban.



**HESZBERGER ZALÁN** a BME-n szerzett villamosmérnöki diplomát 1997-ben, illetve doktori fokozatot 2007-ben. 2000 óta a BME Távközlési és Médiainformaticai Tanszékének oktatója, ahol jelenleg egyetemi adjunktus. 2008 óta a Hírközlési és Informatikai Tudományos Egyesület Távközlési szakosztályának elnöke. Kutatási és oktatási területe a nagysebességű hálózatok menedzsmentje, valamint a neurális és önszerveződő hálózatok. Rendszeresen publikál nemzetközi szakmai konferenciákon és folyóiratokban. Számos hazai és nemzetközi projekt résztvevője, illetve vezetője.



**GYARMATI LÁSZLÓ** a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen diplomázott műszaki informatikusként 2008-ban. Jelenleg a Távközlési és Médiainformaticai Tanszék doktoranduszhallgatója. Kutatási területe a hálózati rendszerek vizsgálata társadalmi-gazdasági szempontok alapján, a problémák játék-elmélet alapú modellezése. A HTE tagja.



**TRINH ANH TUAN** a BME-n szerzett műszaki informatikus diplomát 2000-ben. Jelenleg a Távközlési és Médiainformaticai Tanszék tudományos munkatársa. Informatikai tudományokból PhD-fokozatát 2005-ben védte meg. Kutatási és oktatási területe a távközlési protokollok teljesítményelemzése, játékelmélet távközlési alkalmazása. Rendszeresen publikál nemzetközi szakmai konferenciákon illetve folyóiratokban.

### Irodalom

- [1] V. Jacobson,  
Congestion avoidance and control,  
In: Proc. of ACM SIGCOMM 1988,  
Stanford, CA, USA, 16-18. August 1988, pp.314–329.

- [2] S. Molnár, B. Sonkoly, T. A. Trinh,  
A Comprehensive TCP Fairness Analysis in  
High Speed Networks, Computer Communications,  
Elsevier, Vol. 32, Issues 13-14, 17 August 2009,  
pp.1460–1484.
- [3] S. Floyd,  
Highspeed TCP for large congestion window,  
IETF RFC 3649, December 2003.
- [4] T. Kelly,  
Scalable TCP: Improving performance in  
highspeed wide area networks,  
ACM SIGCOMM Computer Communication Review,  
33(2):83–91, April 2003.
- [5] L. Xu, K. Harfoush, I. Rhee,  
Binary increase congestion control (BIC)  
for fast long-distance networks,  
In: Proc. of IEEE Infocom 2004,  
Vol. 4, Hong Kong, 7-11. March 2004, pp.2514–2524.
- [6] I. Rhee, L. Xu,  
CUBIC: a new TCP-friendly high-speed TCP variant,  
In: Proc. of Third International Workshop on  
Protocols for Fast Long-Distance Networks (PFLDnet),  
Lyon, France, 3-4. Februar 2005.
- [7] D.X. Wei, C. Jin, S.H. Low, S. Hegde,  
FAST TCP: motivation, architecture, algorithms,  
performance, IEEE/ACM Transactions on Networking,  
14 (6) (2006), pp.1246–1259.
- [8] K. Tan, J. Song, Q. Zhang, M. Sridharan,  
A compound TCP approach for highspeed and  
long distance networks,  
In: Proc. of IEEE Infocom 2006,  
Barcelona, Spain, 23-29. April 2006.
- [9] R. Wang, K. Yamada, M.Y. Sanadidi, M. Gerla,  
TCP with sender-side intelligence  
to handle dynamic, large, leaky pipes,  
IEEE Journal on Selected Areas in Communications,  
23 (2) (2005), pp.235–248.
- [10] D. Katabi, M. Handley, C. Rohrs,  
Congestion control for  
high bandwidthdelay product networks,  
In: Proc. of ACM SIGCOMM 2002, Pittsburgh, PA, USA,  
19-23. August 2002.
- [11] M. Luby,  
LT- codes, The 43rd Annual IEEE Symposium on  
the Foundations of Computer Science, 2002., pp.271–280.
- [12] R. Pan, L. Breslau, B. Prabhakar, S. Shenker,  
Approximate fairness through differential dropping,  
ACM SIGCOMM Computer Communication Review,  
Vol. 33, Issue 2, April 2003.
- [13] T. Bonald, M. Feuillet, A. Proutière,  
Is the „Law of the Jungle” sustainable for the Internet?,  
IEEE INFOCOM 2009,  
Rio de Janeiro, Brazil, 19-25. April 2009.
- [14] P. Erdős, A. Rényi,  
„On the evolution of random graphs”,  
Publ. Math. Inst. Hung. Acad. Sci., Vol. 5, pp.17–60, 1959.
- [15] S. Milgram,  
„The small-world problem”,  
Psychology Today, Vol. 2, pp.60–67., 1967.
- [16] Xiao Fan Wang, Guanrong Chen,  
Circuits and Systems Magazine, IEEE,  
Vol. 3, Issue 1, pp.6–20., 2003.
- [17] S. Floyd, V. Jacobson,  
„The synchronization of periodic routing messages,”  
IEEE/ACM Trans. Networking,  
Vol. 2, No. 2, pp.122–136, April 1994.
- [18] Milgram, Stanley,  
„Behavioral Study of Obedience”,  
Journal of Abnormal and Social Psychology,  
67 (1963), pp.371–378.
- [19] Cedric Westphal, Guanhong Pei,  
Scalable Routing Via Greedy Embedding,  
In Proc. of IEEE INFOCOM’09 Mini-Conference,  
Rio de Janeiro, Brazil, April 2009.
- [20] J. Li, L. Gewali, H. Selvaraj, V. Muthukumar,  
„Hybrid greedy/Face routing for ad-hoc sensor network”  
Euromicro Symposium on Digital System Design  
(DSD’04), 2004, pp.574–578.
- [21] NSF: Future Internet Network Design Initiative,  
<http://find.isi.edu>
- [22] Euro-NF:  
Network of Excellence on the Network of the Future,  
<http://euronf.enst.fr>
- [23] Levin D., LaCurts B., Spring N., Bhattacharjee B.,  
BitTorrent is an Auction:  
Analyzing and Improving BitTorrent’s Incentives,  
SIGCOMM 2008.
- [24] Paes Leme, R., Tardos, E.,  
Sponsored Search Equilibria for Conservative Bidders,  
5th Workshop on Ad Auctions, 2009.
- [25] Shavitt Y., Singer Y.,  
Trading Potatoes in Distributed Multi-Tier Routing  
Systems (SIGCOMM 2008),  
Workshop on Economics of Networked Systems, 2008.
- [26] Ofcom – Office of Communications:  
The Communications Market, 2008.
- [27] Comreg – Commission for Communications Regulation:  
Consumer ICT Survey, 2008.
- [28] ANACOM:  
Survey on the use of broadband, 2006.
- [29] Ficora – Finnish Communications Regulatory Authority  
Market Review, 2007.
- [30] NHH – Nemzeti Hírközlési Hatóság,  
<http://www.nhh.hu>
- [31] Economics of Networked Systems Group, BME,  
[http://netecon\\_group.tmit.bme.hu/](http://netecon_group.tmit.bme.hu/)
- [32] Biczók, G., Kardos, S., Trinh, T.A.,  
Pricing Internet Access for Disloyal Users:  
a Game-Theoretic Analysis (SIGCOMM 2008),  
Workshop on Economics of Networked Systems, 2008.
- [33] Gyarmati L., Trinh, T.A.,  
How to Price Internet Access for Disloyal Users  
under Uncertainty,  
Annals of Telecommunications (elfogadva), 2009.
- [34] Gyarmati L., Trinh, T.A.,  
On Competition for Market Share in a Dynamic ISP Market  
with Customer Loyalty: A Game-Theoretic Analysis,  
6th International Workshop on Internet Charging and  
QoS Technologies, Aachen, 2009.
- [35] Trinh, T.A., Gyarmati L.,  
Revisiting Internet access pricing for loyal customers:  
the long-term interaction case,  
NGI 2009, Aveiro, 2009.
- [36] PlanetLab,  
<http://www.planet-lab.org>
- [37] Gyarmati L., Trinh A.T.,  
Characterizing User Groups in Online Social Networks,  
EUNICE 2009, Barcelona, 2009.

# Nagysebességű vezeték nélküli hálózatok – a közeljövő technológiái

FAZEKAS PÉTER, IMRE SÁNDOR, JENEY GÁBOR, PAP LÁSZLÓ,  
SCHULCZ RÓBERT, SZABÓ SÁNDOR

BME Híradástechnikai Tanszék  
{fazekasp, imre, jeneky, pap, schulcz, szabos}@hit.bme.hu

*Kulcsszavak: mobil távközlés, személyi hozzáférési hálózatok, celluláris rendszerek*

**A cikk áttekintést ad a nagysebességű vezeték nélküli hálózatokban napjainkban elterjedőben lévő és a közeljövőben bevezetésre kerülő műszaki újdonságokról. Rövid elméleti alapoás után a korszerű személyi, lokális és cellás rendszereket vesszük sorra, bemutatva a már szabványosított és működő megoldásokat és kiemelve a továbbfejlesztési irányokat és lépéseket.**

## 1. Bevezetés

A mobil cellás rendszerek számára a 90-es évek az igen gyors elterjedés éveit voltak. Ekkor jelentek meg az első digitális rendszerek (GSM), melyek jó minőségű beszédátvitelt és korlátozott adatátvitelt (SMS) biztosítottak gyakorlatilag teljes lefedettség mellett. A mind sebességben, mind sokféleségben megnövekedett adatátviteli igények következtében a 2000-es évek két területen hoztak jelentős előrelépést. Egyfelől a hálózatokban megjelent a csomagkapcsolás, mely egyre inkább az Internet által használt IP-protokollt részesítette előnyben, másrészt a mindig is szűk keresztmetszetet jelentő rádiós interfészen vezettek be forradalmi újításokat.

A cellás rendszerekkel párhuzamosan a felhasználó lokális környezetének speciális adottságait (mint a tipikusan többutas terjedés) és igényeit (például nomád jellemzők) teljesítő és kiaknázó rendszerek (WLAN, Bluetooth stb.) is dinamikus fejlődésnek indultak.

Míg a 90-es évekre a heterogén rádiós megoldások voltak jellemzők, addig napjainkra erőteljes hálózati konvergenciának lehettünk szemtanúi ezen a téren is. Az OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) alapú különböző megoldások mára egyre inkább egyeduralgóvá kezdenek válni, jöhetnek a 2. fejezetben ismertetendő alapszámok azóta számos „trükkkel” egészült ki, melyeket cikkünk további fejezeteiben tekintünk át.

Cikkünk 2. fejezetében a korszerű rádiós technológiák alapjait foglaljuk össze. Ezt követi a személyi és lokális hálózatok áttekintése, majd a 4. fejezet a földi cellás hálózatok közeljövőjét vizsgálja fel. Az 5. fejezet a hálózati architektúra változásait mutatja be, az utolsó fejezet pedig kísérletet tesz az előttünk álló 10 esztendőben bekövetkező fejlesztések felvázolására.

## 2. A mobil rendszerek technológiái

A mobil kommunikációs rendszereket a technológiák alapján generációkba szokás sorolni. Az alábbiakban a különböző generációjú rendszerek legfontosabb ismérveit foglaljuk össze.

### 2.1. Első generációs rádiós technológiák

Az első generációs *analóg* cellás telefonrendszerek a 80-as évek elején terjedtek el. Ebben az időben az általános technikai fejlődés csak a frekvenciaosztásos többszörös hozzáférésű (FDMA) rádiós technológia alkalmazását volt képes támogatni, melyben az egyes felhasználók külön frekvenciasávokban kommunikálnak. Ezek az analóg rendszerek tipikusan frekvenciamodulációt használtak és az adatátvitelt csak igen korlátozottan támogatták.

Az akkor kiépített rendszerek nemzeti határokon belül működtek és kis felhasználói populációt tudtak ellátni viszonylag alacsony spektrális hatékonysággal. A szolgáltatások ára relatíve igen magas volt, mivel a felhasználók alacsony száma és az integrált áramköri technológia viszonylagos fejletlensége miatt a tömeggyártás előnyeiket nem lehetett kihasználni.

### 2.2. Második generációs rádiós technológiák

Az igazi áttörést a második generációs, *digitális* mobil kommunikációs rendszerek megjelenése jelentette. A múlt század utolsó évtizedére az volt a jellemző, hogy egy időben jöttek létre és egymás mellett működtek a különböző digitális technológiák, mint például a GSM, az IS-95 és a PDC.

A GSM egységes pán-európai digitális cellás rendszer egy speciális állandó burkolójú digitális modulációs technikát (Gaussian minimum-shift keying, GMSK), használ, amely FDMA/TDMA rendszerben működik, ahol a többszörös hozzáférés feladatát frekvenciaosztás és időosztás kombinációjával oldják meg. Itt egymással átfedésben nem lévő frekvenciasávokban egy időben több felhasználó kommunikál különböző időrésekben. Ez a módszer alkalmas nagy kiterjedésű területeken igen nagy számú felhasználó számára beszéd, kis sebességű adat és SMS szolgáltatások biztosítására. A modulációs eljárás lehetővé teszi kisméretű, jó hatásfokú kézi készülékek megvalósítását, az FDMA/TDMA technológia pedig jó kompromisszumot biztosít a késleltetés- és Dopplerszórással rendelkező fadings csatornák által okozott negatív hatások csökkentésére.



A GSM rendszer többféle továbbfejlesztett változata ismert (HSCSD, GPRS és EDGE), melyek mindegyike az adatátviteli sebesség növelésére szolgál. Ezek közül az EDGE már digitális fázismodulációt (Phase Shift Keying, 8PSK), illetve az újabb szabványoknak megfelelően amplitúdómodulációt használ (Quadrature Amplitude Modulation, 32 QAM és 16 QAM), amely határozottan növeli a rendszer spektrális hatékonyságát. A HSCSD a vonalkapcsolt, a GPRS és az EDGE a csomagkapcsolt adatátvitelt támogatja.

Az *IS-95* (cdma One) az első kódosztásos többszörös hozzáférésű (CDMA) technológiát alkalmazó rendszer, amelyben az egyes felhasználókat bináris kódsorozatok különböztetik meg. Az *IS-95*-ös rendszer direkt szekvenciális szórt spektrumú (Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS) modulációt használ, amely lehetővé teszi, hogy ugyanabban a 1,25 MHz sávzélességű rádiócsatornában maximálisan 64 felhasználó kommunikáljon párhuzamosan.

A *PDC* a Japánban kifejlesztett digitális cellás mobil kommunikációs rendszer, amely tisztán időosztásos többszörös hozzáférésű (TDMA) technológiára épül, ahol az egyes felhasználók külön időrésekben kommunikálnak. A rendszer differenciális fázismodulációt (Differential Phase Shift Keying,  $\pi/4$ -DQPSK) használ, amely jelentősen egyszerűsíti a vevőkészülék megvalósítását a hagyományos FSK modulációval szemben. A *PDC* rendszeren belül valósították meg a legsikeresebb korai mobil Internet szolgáltatást, az *i-Mode*-ot, amely ma is széles spektrumban kínál szolgáltatásokat és rendkívül népszerű.

### 2.3. Harmadik generációs rádiós technológiák

A harmadik generációs rendszerek kifejlesztését három nyilvánvaló okkal lehet magyarázni. A felhasználói igények növekedése nagyobb kapacitást, új frekvenciasávok alkalmazását és nagyobb átviteli sebességet tett szükségessé. Bár világszerte arra törekedtek, hogy egyetlen közös szabványt hozzanak létre, ez a kísérlet nem sikerült. A különböző rendszerek közül a CDMA DSSS technológiát alkalmazó UMTS terjedt el a leginkább.

A *CDMA* azokból a szórt spektrumú átviteli rendszerekből fejlődött ki, amelyeket elsősorban katonai célokra hoztak létre, kihasználva azt a képességét a rendszernek, hogy a szándékos zavaró jeleket elnyomja és a kis teljesítménysűrűségű rádiós jelek miatt nehezen detektálható. Mindezek mellett a szórt spektrumú rendszerek a többutas terjedés ellen is védettek, így a kereskedelmi alkalmazási területeken is előnyökkel bírnak. A CDMA technológiában az egyes felhasználókat kódok különböztetik meg egymástól és speciális kódválasztás esetén az interferencia a vevőkészülékben fehér Gauss-zaj szerűen viselkedik. Pontosabban fogalmazva az interferencia a kódolás következtében nem a legrosszabb, hanem csupán az átlagos hatással zavarja a vett jelet, így mód van arra, hogy a szomszédos cellákban is ugyanazt a frekvenciasávot használjuk. Emellett a kódosztásos rendszer lehetőséget nyújt a hatékony statisztikus multiplexelés alkalmazására, valamint a megszakadás-mentes hívásátadásra (soft handover) is.

Az UMTS domináns üzemmódja a frekvenciaosztásos duplex (Frequency Division Duplex, FDD) átvitel. Itt a mobil-bázisállomás és bázisállomás-mobil irányban egyaránt 5 MHz sávzélességű csatorna áll rendelkezésre, ahol álvéletlen kódokat alkalmazó CDMA technológiával felhasználónként 384 kbit/s (egy vivőn maximálisan 2 Mbit/s) átviteli sebesség érhető el. A rendszeren belül a *HSDPA* (High Speed Downlink Packet Access) rendszerrel a bázisállomás-mobil, a *HSUPA* (High-Speed Uplink Packet Access) a mobil-bázisállomás irányú adatátviteli sebesség növelhető.

Mára az UMTS FDD rendszereket a világ igen sok országában kiépítették és a szolgáltatásokat működtetik.

### 2.4. Negyedik generációs rádiós technológiák

A szakirodalom hosszú időn keresztül vitatkozott arról, hogy egyáltalán létezik-e negyedik generációs mobil kommunikációs technológia. Erre a kérdésre még ma is bizonytalan a válasz, mert a mobil rendszereknek, a hagyományos telefónián túllépve, az elmúlt évtizedben igen sok változata jelent meg, igen sok rádiós technológiát alkalmazva. Tovább erősödött a CDMA térhódítása. A cellás rendszereken kívül CDMA technikát alkalmaz az IEEE802.11b szabvány szerinti WLAN rendszer. A vezeték nélküli lokális hálózatokban a CDMA technológia alkalmazása teljesen természetes. Itt ugyanis az egyes WLAN rendszerek teljesen koordinálatlanul működnek, így a rendelkezésre álló közös frekvenciasávot éppen a kódosztás alkalmazásával lehet hatékonyan megosztani. Ez a magyarázat arra, hogy a CDMA alkalmazását világszerte elfogadták.

Mára azonban világossá vált, hogy a DS CDMA mellett a negyedik generációs rendszerek legfontosabb rádiós technológiája az *OFDM* (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) lesz, amely az *UWB* (Ultra Wideband) technológiával és a többszörös térben elosztott antenna-rendszerek használatával mellett képes az átviteli sebesség és a spektrális hatékonyság jelentős növelésére és a Shannon-féle korlátok megközelítésére. Az OFDM rendszerben a jeleket oly módon visszük át, hogy a nagysebességű adatfolyamot több kisebb sebességű szegmensre bontjuk és azokkal egymásra ortogonális vivőket modulálunk. Az OFDM rendszer sajátossága, hogy a rendszer elemei a gyors Fourier-transzformációval megvalósíthatók.

Az OFDM rendszer számos előnnyel rendelkezik:

- robosztusan viselkedik
- a többutas fadinges csatornában,
- hatékonyan használja fel a rendelkezésre álló frekvenciasávot,
- védett a keskenysávú interferenciával szemben,
- nem igényel összefüggő frekvenciasávot,
- nagy adatátviteli sebességgel rendelkezik,
- kicsi a modulált jel teljesítménysűrűsége,
- alkalmazható a műsorszóró rendszerekben is.

Az OFDM technológiát már eddig is több ismert rendszer alkalmazza (HDSL, ADSL, VDSL, IEEE 802.11a, IEEE 802.16, HiperLAN2, ISDB-T), de mindezek mellett a legfontosabb az *LTE* (Long Term Evolution) struktúra, amely

| Szabvány              | Megjelenés ideje | Működési frekvencia [GHz] | Jellemző sebesség [Mbit/s] | Maximális sebesség [Mbit/s] | Jellemző hatótávolság beltéren [m] | Jellemző hatótávolság beltéren [m] |
|-----------------------|------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| <b>eredeti 802.11</b> | 1997             | 2,4                       | 1                          | 2                           | 20                                 | 100                                |
| <b>802.11a</b>        | 1999             | 5                         | 25                         | 54                          | 40                                 | 150                                |
| <b>802.11b</b>        | 1999             | 2,4                       | 5                          | 11                          | 40                                 | 150                                |
| <b>802.11g</b>        | 2003             | 2,4                       | 20                         | 54                          | 40                                 | 150                                |
| <b>802.11n</b>        | 2009             | 2,4 / 5                   | 80                         | 248 (600)                   | 70                                 | 250                                |
| <b>802.11y</b>        | 2008             | 3,7                       | 25                         | 54                          | 50                                 | 5000                               |

1. táblázat Az IEEE 802.11 szabványok összefoglalása

a közeljövő cellás mobil rendszereinek a magját képezi. Emellett OFDM-et használnak a korszerű digitális televíziós szabványok is.

Fontos fejlesztési irány a többemű antennarendszerek alkalmazása, ami a térbeli elosztottságot kihasználva képes a mobil rendszerek spektrális hatékonyságát javítani. Elméleti kutatások és gyakorlati vizsgálatok is igazolták, hogy az antennák számának növelésével növelni lehet a maximális átviteli sebességet, például Raileigh-fadinges csatornában, és általában igaz, hogy a módszerrel közelebb lehet jutni a Shannon-kapacitás által meghatározott elvi korlátokhoz.

### 3. Személyi és lokális vezeték nélküli hálózatok

Ebben a szakaszban a jelenleg elterjedt vagy fejlesztés előtt álló, elsősorban kis kiterjedésű, beltéri felhasználású rádiós hálózatokat tekintjük át.

#### 3.1. IEEE 802.11 WLAN

A WLAN (Wireless Local Area Network) vezeték nélküli helyi hozzáférési hálózat egy olyan kommunikációs megoldás, ami elsősorban vezeték nélküli számítógépes hálózatok létrehozására szolgál. A WLAN technológia azonban egyéb eszközök kommunikációját is lehetővé teszi. A WLAN rádiófrekvenciás eszközök az ISM (Industrial, Scientific, Medical) sávban működnek. Ezek a frekvenciasávok a világ legtöbb országában szabadon használhatóak, meghatározott adóteljesítmény-korlátok betartása mellett.

A technológiát az IEEE 802.11 szabvány írja le, amely biztosítja a különböző gyártók eszközei közötti kompatibilitást. Ennek a szabványnak számos módoszata létezik, melyek közül a fontosabbakat az 1. táblázat foglalja össze.

Ezen kívül megemlíthetjük még a következő szabványokat:

- 802.11d – nemzetközi roamingra vonatkozó,
- 802.11e – QoS – szolgáltatásminőségre vonatkozó,
- 802.11i – emelt szintű biztonságot leíró,
- 802.11-2007 – a, b, d, e, g, h, i, j szabványokat teljesítő egységesített szabvány,
- 802.11p – vezeték nélküli hozzáférés közlekedési járművek részére.

A Wi-Fi elnevezés eredetileg az IEEE 802.11b jelű WLAN szabvány népszerű márkanéve. A márkanévet létrehozó társaság (Wi-Fi Alliance) felügyeli, hogy a Wi-Fi emblémával ellátott berendezések valóban képesek legyenek gyártótól függetlenül együttműködni egymással. A mai eszközök azonban tipikusan az a, b és g szabványverziókat egyaránt képesek kezelni, így a Wi-Fi elnevezést általában erre is használják.

Az eredeti 802.11 szabvány szerinti WLAN direkt szekvenciális szórt spektrum (DSSS), frekvenciaugratásos szórt spektrum (FHSS) és infravörös fizikai átvitelt enged meg, ezek közül a DSSS terjedt el. Ezt alkalmazza a b jelű szabványverzió is. Az a és g szabványok 52 segédvívós OFDM modulációt definiálnak, 2, 4, 16 vagy 64 állapotú moduláció és változatos, jel-interferencia viszony függő hibavédő kódolás alkalmazásával.

A legnagyobb sebességet elérő n jelű szabványverzió kihasználja a több adó és több vevőantenna által történő csatornatöbbszörözést, valamint az a és g szabványokhoz képest kétszeres sáv szélesség használatát (40 MHz) is megengedi, így a szabvány szerinti legnagyobb elérhető fizikai rétegbeli sebesség 600 Mbit/s. A szabvány még nem elfogadott, véglegesítése 2009 őszén várható, azonban számos, draft n jelű termék található a piacon, ezek átviteli sebessége optimális esetben meghaladja a 100 Mbit/s-t.

A legfrissebb, még a tervezés korai szakaszában (követelmények, alkalmazási esetek definiálása stb.) lévő verziók a 802.11ad és a 802.11ac a 60, illetve a 6 GHz körüli tartományokban jelölne ki használható sávokat. Az elképzelésekről egyelőre annyi tudható, hogy a maximális elérhető átviteli sebességet legalább 1 Gbit/s-ben jelölik meg. Az első termékek megjelenését 2011-2012-re teszik, ami tekintve a szabványosítás vontatott menetét, meglehetősen optimistának tűnik.

#### 3.2. Bluetooth

A Bluetooth célja rövidtávú kapcsolat biztosítása a 2,4 GHz-es ISM sávban, szórt spektrumú frekvenciaugratással. A Bluetooth-eszközök által létrehozott Piconetek (telefonkészülék-headset, telefon-számítógép) jó példái a PAN (Personal Area Network) hálózatoknak.

A Bluetooth sikerének egyik titka – az első verziók kompatibilitási problémáinak megoldásán kívül – a jól

eltalált sebesség–energiatakarékosság arány. A Bluetooth jelenlegi 2.1-es verziója a jellemző felhasználási területeknek megfelelő sebességet (1-3 Mbit/s) kínál olyan, az energiahatékonyságot szolgáló megoldásokkal, mint a Sniff Subrating (a keepalive csomagok periódusának csökkentése), amelynek köszönhetően az akkumulátor élettartama többszörösére növekedhet az előző verzióhoz képest. Erről az optimális pontról két irányba lehet elmozdulni: az alacsonyabb fogyasztás (karórák, orvosi alkalmazások stb.), illetve a nagyobb átviteli sebesség felé.

A Bluetooth „low energy” technológia lehetővé teszi, hogy – a ZigBee-hez hasonlóan – kis fogyasztású és alacsony átviteli sebesség-igényű eszközök a kompatibilitás megőrzése mellett képesek legyenek kommunikálni már meglévő Bluetooth eszközökkel és hálózatokkal.

A Bluetooth 3.0 verzióját 2009 áprilisában fogadták el, és számos újítást tartalmaz a sebesség növelése érdekében. Legnagyobb újdonsága az AMP (Alternate MAC/PHY). Az AMP lehetővé teszi az IEEE 802.11 WLAN és az UWB (Ultra Wide Band) technológiákon alapuló új fizikai rétegek használatát az átviteli sebesség növelése érdekében. A kompatibilitás érdekében természetesen megmarad a Bluetooth rádió használata is (például kezdeti kapcsolatfelvétel esetén, illetve energiatakarékossági okokból), a 802.11 csatorna a nagysebességű, hatékony adatátvitelt szolgálja.

### 3.3. UWB

A keskenysávú kommunikáció számos problémájára nyújt megoldást az ultra-szélessávú kommunikáció, az UWB (Ultra-Wide Band). Az UWB technológia a helymeghatározás és a falon is átlátó radarok mellett rövid hatótávolságú, nagysebességű adatátvitelre is alkalmas, a PAN hálózatok számára ideális megoldást nyújt. Az UWB kommunikáció lényege, hogy nagyon széles frekvenciasávban (legalább 500 MHz, vagy a középfrekvencia 20%-nál szélesebb sávban), ám alacsony teljesítménnyel történik az adás. Az UWB technológia számára a 3,1-10,6 GHz sáv használható, -41,3 dBm/MHz teljesítménykorlátozás mellett. Az UWB kommunikáció az ugyanabban a sávban működő hagyományos, keskenysávú rendszerek számára zajként jelenik meg.

A Bluetooth-on kívül a Wireless USB (WUSB), wireless Firewire is UWB technológiát használ a nagy adatátviteli sebesség elérésére. Az UWB szabványosítása körüli nehézségek (Multi Band OFDM és a direct sequence UWB technológiát támogató csoportok harca az IEEE 802.15.3a szabvánnyal kapcsolatban), az első berendezések magas ára és a várakozásokat alulmúló teljesítménye miatt az UWB eszközök tömeges elterjedése még várat magára.

## 4. RFID

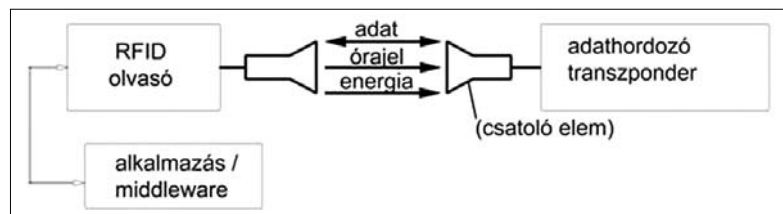
Az RFID (Radio Frequency IDentification) egy rádiófrekvenciás technológia, amely egyedi azonosításra alkalmas. Az adatok RFID címkék és RFID olvasók között továbbíthatók, anélkül, hogy közvetlen kapcsolat létesülne a címke és az olvasó között.

Az első kereskedelmi alkalmazások az 1960-as évekre tehetőek. Ekkor még csupán lopásgátló rendszerként jelent meg ez a technológia, ahol a címke jelenléte vagy a nem jelenléte volt detektálható. Egyedi azonosításra ez a rendszer még nem volt alkalmas. A 70-es évektől már egyedi azonosításra is alkalmas megoldások is születtek. Napjainkban a biztonságtechnikától kezdve a logisztikán át az állattartásig már szinte mindenhol alkalmazzák ezt a technológiát, ahol egyedi azonosításra van szükség.

### 4.1. RFID rendszerek felépítése

A rádiófrekvenciás azonosító rendszerhez legalább két eszköz kell, egy azonosítandó (címke) és egy azonosító (olvasó). Ezen kívül alkalmazástól függően ki lehet egészíteni a rendszert egy vezérlő számítógéppel, amely több olvasót tud összehangolni és ami összeköttetést teremt az adatbázissal.

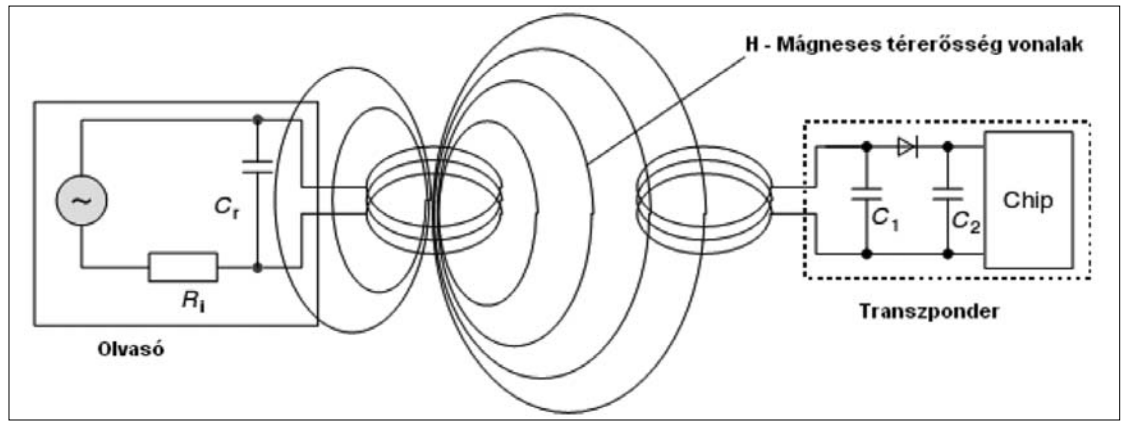
1. ábra RFID rendszer felépítése



Az RFID címke (transzponder vagy „tag”) egy olyan kis eszköz, amit az azonosítani kívánt objektumokhoz kell rögzíteni. Ilyen objektum lehet valamilyen termék, alkatrész vagy bármilyen tárgy, de akár állatokba is beültethető. A címkék általában egy mikrochipből és egy antennából állnak, amiket egy merev vagy egy flexibilis hordozóra szerelnek. A passzív címkék nem tartalmaznak semmilyen saját energiaforrást. A szükséges energiát az elektromágneses mezőből nyerik. Ebből következően a hatótávolságuk kisebb, mint az aktívaké, viszont az előállítási költségük alacsonyabb, így sokkal olcsóbbak és elterjedtebbek. Az aktív címkék a passzívakkal ellentétben rendelkeznek saját energiaforrással. Ezen belül is két csoportra oszthatóak a tag-ek. Az aktív transzponderek csak akkor sugároznak, ha az olvasótól jelet kapnak, az olvasó hatósugarán belül lépnek csak működésbe. Ezáltal energiatakarékos módon növelni lehet az energiaforrás élettartamát. Ilyen módszerek alkalmazhatóak különféle beléptetési és díjbeszedési megoldásoknál. Ezen belül is vannak olyanok, amelyek csak az áramkörök működéséhez használják az áramforrást, mások viszont a válaszjelhez is. A „beacon”-módban működő tag-ek meghatározott időközönként jelet bocsátanak ki és a saját azonosítójukat sugározzák. Ezzel a megoldással különböző valós idejű helymeghatározási alkalmazásokat lehet megvalósítani.

### 4.2. Csatolási elv

Alapvetően kétféle csatolási elv alapján működnek az RFID rendszerek: az induktív illetve a kapacitív csatolás elvén. Az induktív csatolású rendszerben (2. ábra) a címke szinte mindig passzív, energiaellátása érdekében az



2. ábra Induktív csatolás

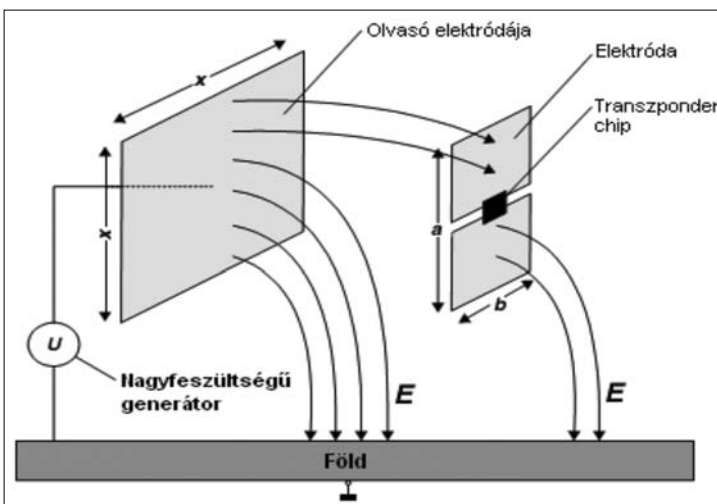
olvasó antennája egy erős nagyfrekvenciás elektromágneses teret hoz létre. A címke tekercsében ebbe a térbe kerülve feszültség indukálódik. A címke antennatekercse és a vele összekapcsolt kondenzátor ugyanarra a frekvenciára van hangolva, mint az olvasó rezgőköre.

A kapacitív, más néven elektromos csatoláshoz nem antennákra van szükség, hanem elektródapárra. Az olvasónak és a címkének is vannak vezető lemezei, amik együttesen egy kondenzátort alkotnak. A transzponder chip-je a két elektróda között helyezkedik el, amely két lemez közül az egyik az olvasó lemezével, a másik a Földdel képez kondenzátort. A két lemez között eső feszültség szolgál a címke chipjének energiaellátására.

**4.3. Működési frekvencia**

Az RFID rendszereket működési frekvencia alapján is megkülönböztethetjük. Ez alapján három osztályba sorolhatjuk őket. Az LF (Low Frequency) osztályba tartozó rendszerek általában a 30-300 kHz közötti tartományban működnek. Ezek a rendszerek induktív csatolást használnak, ezáltal a legkisebb olvasási távolsággal rendelkeznek. Előnyük, hogy az alacsony frekvenciás hullámok nyelődnek el legkevésbé fémekben, illetve folyadékokban. A HF (High Frequency) rendszerek általában a 3-30 MHz közötti tartományban működnek. Induktív és kapacitív csatolást alkalmaznak, így kis, illetve közepes a hatótávolságuk. Ez a módszer költséghatékonysága miatt

3. ábra Kapacitív csatolás



elterjedt. Az UHF (Ultra High Frequency) rendszerek általában a 0,3-3 GHz közötti tartományban működnek. Európában a 896 MHz-es frekvencián működnek. Hatótávolságuk nagyobb, az adatátvitel gyors. Fémes környezetben kevésbé alkalmazható. Általánosságban elmondható, hogy a frekvencia növelésével az átviteli sebesség és a távolság növelhető, viszont folyadékban és fémes környezetben egyre inkább romlik az olvashatóság.

**4.4. Olvasó**

Az olvasó feladata a rádiófrekvenciás kapcsolat létrehozása a címkével, az adatkapcsolat kiépítése és a tárolt adatok kinyerése. Az olvasó modul tartalmaz egy rádiós adó-vevő egységet, egy vezérlőegységet és egy csatolóelemet. Ezen kívül általában egy külső interfésszel is el vannak látva az olvasók, hogy más eszközökkel, illetve rendszerekkel is együtt tudjanak működni. Ilyen interfész lehet a Bluetooth, az RS-232, USB stb.

Az RFID tulajdonképpen a vonalkód-technológia egy korszerűbb megoldása. Ma már szinte nem lehet olyan területet mondani, ahol ne ezt a technológiát részesítenék előnyben a hagyományos vonalkóddal szemben. Az egyre szélesebb körű elterjedés újabb igényeket támasztanak, így új fejlesztések, új technológiák és alkalmazási területek jelennek meg.

Ahhoz, hogy egy technológia széles körben elterjedjen, szükséges, hogy egy jól kiforrott, megbízható működésű, stabil és biztonságos alkalmazhatóságú technológia legyen. Ehhez nélkülözhetetlen az egységes szabvány. A kezdeti szabvány-kavalkád után egy letisztulási folyamat látszódik az EPC Gen2 második generációs rendszerek megjelenésével.

Az RFID jövője szempontjából húzóágazat a gyógyszeripar és a logisztika, de emellett nagy remények vannak az NFC technológia alkalmazása területén is. Az NFC akár a tömegközlekedés vagy valamilyen fizetési, illetve azonosítási megoldás területén is alkalmazható.

**5. Közcélú mobil hálózatok**

Ebben a fejezetben áttekintjük a 3GPP által szabványosított 3G hálózatok várható továbbfejlesztési irányait, valamint a következő generációs rádiós interfészeket.

### 5.1. 3G és továbbfejlesztései

A cellás mobil hálózatokban az utóbbi évek és a közeljövő legerősebb trendje a minél nagyobb spektrális hatékonyságra és ezáltal a minél nagyobb aggregált és felhasználói adatátviteli sebességre való törekvés.

A jelenleg kiépült 3G rendszerekben tanúi lehetünk a hazánkban „Mobil Internet” elnevezéssel forgalmazott nagysebességű le- és feltöltési szolgáltatás (HSDPA és HSUPA, együtt HSPA) rendkívül dinamikus elterjedésének. A letöltési irányban az eredeti UMTS szabványhoz képest magasabb rendű moduláció (16 QAM), a több, maximum 15 darab csatornaképző kód összevonásával képzett osztott csatorna használata, az ennek felhasználók közti kiosztását végző és újdonságként a bázisállomásokba került gyors ütemezés (2 ms keretenként), a felhasználók által küldött csatornaminőség-információn alapuló linkadaptáció, valamint a hibás keretek gyors újraküldése (hibrid ARQ) segítségével érhető el az átviteli sebesség és a spektrális hatékonyság jelentős növelése. Ez a mai legfejlettebb eszközök használatával (ezek hazánkban még nincsenek piacon) az adatkapcsolati réteg hasznos átvitele tekintetében maximum 12,779 Mbit/s letöltési sebességet tesz lehetővé ideális csatornaviszonyok mellett. A feltöltési irányban szintén több csatornaképző kód összevonásával érhető el a sebesség növekedése (az alap HSUPA-ban magasabb rendű moduláció nincs), ami a legjobb készülékkategóriával maximum 5,742 Mbit/s-t érhet el.

A HSPA technológia szabványosítása során az átviteli sebesség növelése érdekében több újítást is bevezettek, ezek a kereskedelmi eszközökben várhatóan egy-két éven belül elterjednek (az ezeket alkalmazó technológia széles körben használt elnevezése a HSPA+). Az egyik újítás a nagyobb rendű modulációt alkalmazó átviteli formátumok definíciója, letöltési irányban 64 QAM, feltöltési irányban 16 QAM alkalmazása. A letöltési irányban így a maximális sebesség 19,288 Mbit/s lesz, míg a feltöltési irányban megduplázódik a maximálisan elérhető sebesség. A másik fő újítás a több bemenetű, több kimenetű (MIMO, Multiple Input Multiple Output) antenna-rendszerek használata. Ezekkel alapvető esetben adó-, illetve vevőoldali diverzítai végezhető (a különböző antennák jelét megfelelően kombinálva nagyobb a hibátlan vétel valószínűsége, illetve rosszabb csatornaviszonyok esetén is lehetséges a hibátlan vétel). A legfrissebb szabványverziók azonban támogatják a párhuzamos adás lehetőségét (az adóantennákon egyszerre maximum két különböző csomag kerül kiküldésre, ugyanazon felhasználó számára), ami optimális esetben az átviteli sebesség duplázását teszi lehetővé. Ehhez azonban a jel-interferencia viszonyoknak nagynak, ugyanakkor a terjedési utaknak megfelelően szórtnak kell lennie, ezért ez tipikusan sűrűn beépített nagyvárosi, illetve beltéri környezetben használható. A letöltési irányban a 2x2-es MIMO (2 adó és 2 vevőantenna) és 64 QAM együttes alkalmazásával az átviteli sebesség szabvány szerinti maximális értéke 42,192 Mbit/s lesz.

A HSPA+ rendszerek szabványosítása során további fejlett eljárások is megjelennek, úgymint a feltöltési

és letöltési irányban is alkalmazható interferenciatorlás, ami elsősorban a cellahatáron tartózkodó felhasználók számára eredményezhet átvitelisebesség-növekedést; a gyors cellakeresés és kapcsolódás megvalósítása; a folyamatos csomagkapcsolt összeköttetés kidolgozása, amely elsősorban a csomagkapcsolt, de összeköttetés-alapú szolgáltatásokat (pl. VoIP, videotelefonálás) támogatja; valamint az egyfrekvenciás broadcast hálózat (MBSFN – Multicast Broadcast Single Frequency Network) megoldás, ami a 3G hálózatokon való műsorszórás elterjedését segíti elő.

Mindenképpen említésre méltó a 2G/3G technológiák többvívőssé tételével történő átvitelisebesség-növelést célzó szabványosítási erőfeszítés. Ennek értelmében definiálásra került a magas rendű modulációt használó EDGE rendszerek bővítése egyszerre több vívőfrekvencián történő adás és vétel használatával, hasonlóan a WCDMA alapú 3G rendszerek többvívős bővítéséhez. Több vívő egyidejű demodulálása azonban a terminál oldalán hardware okokból jelentős nehézségekbe ütközik, ezért a kapacitásbővítést célzó új fejlesztések fókuszában napjainkban inkább az LTE rendszer áll.

### 5.2. A 3GPP LTE és továbbfejlesztése

Az elmúlt években a 3G-ben jellemző kódosztásos technológia és ezek fent vázolt továbbfejlesztésein túl a 3GPP egy teljesen új, OFDMA alapokon nyugvó rádiós rendszer szabványával is jelentkezett. Ez az LTE, amelynek kereskedelmi bevezetését egy-két éven belül várhatjuk és amely mellett a legtöbb nagy szolgáltató is elkötelezte magát.

Az LTE letöltési irányban 15 kHz sávszélességű OFDM vívőkön alapuló közegehozzáférést használ, a legkisebb kiosztható erőforrásblokk a rádiós interfészen 12 segédvívő, azaz 180 kHz. A rendszerben egy cellának minimum 6 ilyen blokkot kell kezelnie, tipikus támogatott értékek még a 15, 25, 50, 75 és 100 erőforrás blokk egyidejű használata. Ennek megfelelően, védősávokkal együtt 1,4, 3, 5, 15 vagy 20 MHz sávszélesség osztható ki egy-egy cellának. Ez lehetővé teszi a szolgáltató számára rendelkezésre álló spektrum gazdaságos és hatékony elosztását a hálózatban. A csatorna időosztásos jelegét 0,5 ms időréseken (egyenként 6 vagy 7 darab OFDM szimbólumot tartalmaznak), 1 ms alkereteken és 10 ms kereteken alapuló struktúrában definiálja a szabvány. Egy erőforrásblokk egy időrésben 12 segédvívő használatát jelenti, ez az előfizetőknek allokalható legkisebb erőforrás-egység. A rendszer adaptív kódolást és modulációt alkalmaz, azaz a csatorna minőségétől függően QPSK, 16 QAM vagy 64 QAM alkalmazható a segédvívőkön, változatos, különféle robusztusságot biztosító hibavédő kódolással. Ez a fizikai réteget tekintve 20 MHz sávon elvi maximum 100,8 Mbit/s átviteli sebességet jelent. A 0,5 ms időtartamú és 180 kHz szélességű erőforrás blokkok egy, frekvenciában és időben osztott csatornát alkotnak, ezen az „erőforrásrácson” a bázisállomás ütemezője természetesen allokalhat blokkokat az egyes előfizetőknek, ez rendkívül rugalmassá, hatékonyá és robusztussá teheti a rádiós csatorna használatát. Az LTE szabványok-

ban alapértelmezett a MIMO, amivel a fent említett maximális sebesség körülbelül kétszeresére növelhető. Az LTE feltöltési irányban hasonlóan OFDMA alapokra helyezi a rádiós csatornát, azonban az OFDM-re jellemző rendkívül nagy csúcs/átlag teljesítmény hányados a terminálokban gazdaságosan nem alkalmazható, költséges és alacsony hatásfokú végerősítőket tenne szükségessé. Ennek elkerülésére a (tulajdonképpen inverz Fourier transzformációt jelentő) OFDM-moduláció előtt a jelet egy diszkrét Fourier transzformációnak vetik alá, amivel egy hagyományos digitális FDMA-átvitelt hoznak létre, azzal a nagy különbséggel, hogy az adott előfizető jele a sávban tetszőlegesen elhelyezhető a vivő áthangolása nélkül. Feltöltési irányban a 64 QAM nem használható, így az elvi maximális fizikai átviteli sebesség 50 Mbit/s.

Bár az LTE-rendszerek kereskedelmi mértékben még nem üzemelnek, a szabványosítás már az LTE következő verziójára, az úgynevezett LTE advanced rendszerre készül. Ennek fő célkitűzése szélesebb (maximum 100 MHz) frekvenciasáv használatával és a többantennás megoldások további fejlesztésével az 1 Gbit/s letöltési és 500 Mbit/s feltöltési irányú, fizikai rétegben értendő átviteli sebesség elérése. További jelentős továbblépés a spektrum-aggregáció, ami lehetővé teszi egyszerre több, nem szomszédos frekvenciasáv együttes használatát. A jobb hálózati kihasználtság és költséghatékony hálózatépítés érdekében a koncepció része a „self backhauling”, ami azt jelenti, hogy a bázisállomások a hálózati forgalmat az előfizetőkkel közös rádiós csatornán, azonos frekvenciasávban, azonos módon továbbítják egymás közt (napjainkban tipikusan dedikált mikrohullámú vagy optikai összeköttetéseken történik ez), továbbá az FDD esetén alkalmazható nem szimmetrikus letöltési/feltöltési irányú használt sáv szélesség.

## 6. A hálózati architektúra változásai

A mobil hálózatok architektúrája a mai napig az áramkör- (vagy vonal-) kapcsolt központú gondolkodás jegyeit viseli magán. Az LTE fejlesztésénél azonban egy fontos paradigmaváltásnak lehetünk szemtanúi: a jövő mobil hálózataiban immár kizárólag csomagkapcsolt összeköttetések lesznek támogatottak, a rendszer elemei kizárólag a csomagok továbbításáért felelősek. Időben folytonos összeköttetés már nem létezik az LTE hálózatában.

Általában minden távközlési jellegű hálózati rendszert funkcionálisan három diszjunkt egységre szokás bontani. A három csoport elnevezésben ugyan eltérhet a különböző rendszerekben, ám koncepcionálisan ugyanazokat a funkcionális entitásokat takarják. Mi a mobil hálózatok világára fókuszálunk a továbbiakban.

A mobil rendszerek három elemének elnevezése:

1. felhasználói berendezés (User Equipment – UE)
2. maghálózat (Core Network – CN)
3. rádiós hozzáférési hálózat (Radio Access Network – RAN)

Az LTE világában a maghálózatot a SAE rövidítéssel jellemzik (System Architecture Evolution – a rendszerarchitektúra evolúciója), a rádiós hozzáférési hálózat pedig az E-UTRAN (Evolved UMTS Terrestrial RAN – továbbfejlesztett UMTS földi rádiós hozzáférési hálózat) nevet kapta, mivel az UMTS megoldásaiból sokat merített. Az LTE teljes csomagkapcsolt hálózatát (amelyben benne foglaltatik a SAE és az E-UTRAN is) egységesen az EPS (Evolved Packet System – továbbfejlesztett csomagkapcsolt rendszer) rövidítéssel is szokták hivatkozni.

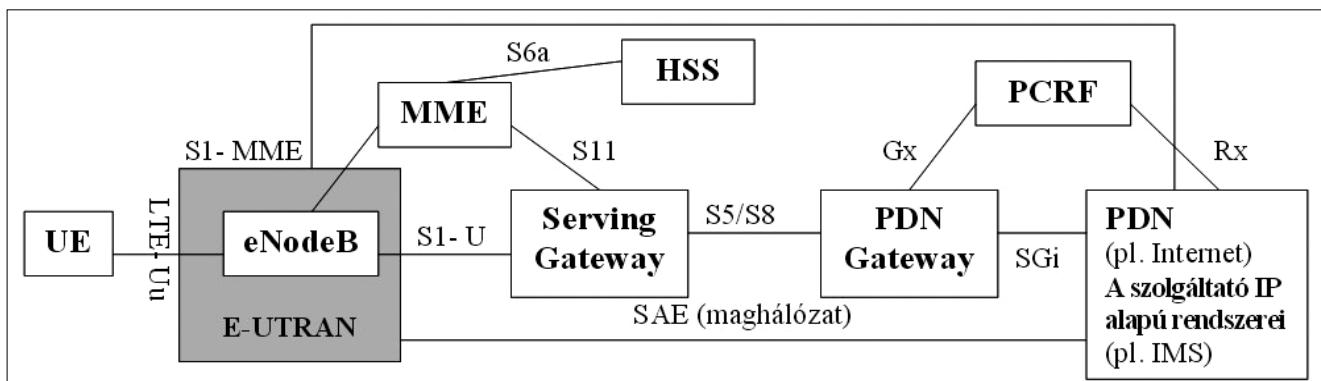
Az EPS feladata, hogy a nyilvános csomagkapcsolt hálózat (Public Data Network – PDN) és az UE közötti összeköttetést megteremtse és kiszolgálja. A PDN tetszőleges csomagkapcsolt hálózat lehet, de a leginkább használatos PDN-hálózat nyilván az Internet. Az információ tehát csomagokban továbbítódik, de minden kapcsolathoz egy úgynevezett EPS-vivőt (bearer) rendel a hálózat, hogy az erőforrások elosztása tervezhető és kontrollálható legyen. Az EPS funkcionális elemeiről és interfészéről a 4. ábra ad egy átfogó képet.

Az LTE-hálózatok architektúráis felépítése várhatóan hosszú távon befolyásolja majd a mobil rendszerek evolúcióját. Ezért célszerű annak elemeit részletesebben is szemügyre venni.

Az EPS elemei tehát az alábbiak:

- *eNodeB* (evolved Node-B): a rádiós hálózat kapcsolási pontja. A GSM-ben a BTS+BSC, az UMTS hálózatokban a Node-B+RNC felel meg ennek az elemnek. Amíg a GSM-ben és az UMTS-ben a makro (~10 km) és mikro (~1 km) és pikocellák (~100 m) voltak a legjellemzőbb cellaméretetek, az LTE hálózatokban várhatóan a lakásokba telepített femtocellák (~10 m) teszik ki majd a rádiós hálózat nagyobb részét.

4. ábra Az EPS funkcionális elemei



- *PCRF* (Policy Control and Charging Rules Function – hozzáférést vezérlő és számlázási szabályokat tartalmazó entitás) a döntéshozó entitás: a felhasználóhoz rendelt QoS- és adatsebesség-információk alapján az egyes adatfolyamok kezeléséről dönt.
- *HLR* (Home Location Register – honi előfizetői adatbázis) gyakorlatilag megegyezik a GSM és UMTS hálózatok HLR entitásával. A HLR tárolja az előfizetők EPS által biztosítandó QoS profilját és bármilyen hozzáférési korlátozást, ha a felhasználó roamingolni kezd. A HLR szintén tárolja azon PDN-ek listáját, melyekhez a felhasználó csatlakozhat. A kapcsolódási pont a GPRS-architektúrából már jól ismert APN (Access Point Name – kapcsolódási pont neve) rövidítéssel, vagy a PDN címével (például az előfizetett IP címmel) jellemezhető. A HLR tárol még dinamikus információkat is az előfizetők vonatkozásában, mint például az aktuálisan csatlakoztatott, vagy regisztrált MME azonosítója. A HLR általában együtt érkezik az AuC (Authentication Centre – azonosító központ) entitással, amely az azonosításhoz és titkosításhoz szükséges kriptográfiai módszerekért felel.
- *P-GW* (PDN Gateway – PDN átjáró) az UE IP cím foglálásáért felel, illetve a kapcsolódó QoS-t biztosítja. A P-GW végzi a számlázást a PCRF információi alapján. A P-GW szedi szét a felhasználó felé érkező adatfolyamokat a különböző QoS szintű EPS hordozókra. A GPRS architektúrában a GGSN bírt hasonló funkciókkal (bár ott a QoS biztosítása hiányos volt).
- *S-GW* (Serving Gateway – kiszolgáló átjáró) az entitás, amin minden felhasználói csomag keresztülhalad. Lokális horgonypontként képzelhető el, amely mindig kiszolgálja a mozgó felhasználót, függetlenül attól, hogy az eNodeB-k között mozog-e vagy sem. Az S-GW tárolja átmenetileg a vivők állapotát, illetve az UE felé küldött csomagokat, amíg a paging-üzenetre nem érkezik válasz. A GPRS architektúrában a SGSN végzett hasonló feladatokat.
- *MME* (Mobility Management Entity – mobilitást kezelő entitás) gondoskodik a jelzést váltásról az UE és a maghálózat között. Két lényeges feladatot kell ellátnia: kapcsolódásmenedzsment (fizikai kapcsolat és a kapcsolódó biztonsági funkciók) és vivőmenedzsment (vivők létrehozása, megszüntetése és karbantartása). A GSM és UMTS világban az MSC+VLR páros és a RNC, illetve BSC entitások látták el az itt felsorolt feladatok nagyobbik részét. Mivel az LTE-ben nincs áramkörkapcsolt összeköttetés, erre az új MME entításra van szükség.

Az LTE hálózatok egy fontos paradigmaváltás úttörői: a hagyományosan áramkörkapcsolt módon megvalósított szolgáltatások (mint a beszédátvitel) is csomagkapcsolt módon, az LTE vivők adta lehetőséggel valósulnak meg. Amennyiben sikeres lesz az LTE rendszer, az áramkörkapcsolt megoldások eltűnhetnek a távközlési piac minden szegmenséről.

## 7. Jövőkép

Az NTT Docomo már 2006 decemberében demonstrálta a 100 MHz sáv szélesség alkalmazásával történő 5 Gbit/s sebességű rádiós adatátviteli sebességet lassan mozgó terminál felé. Ennek eléréséhez a VSF-Spread OFDM technológiát alkalmazták, amely tulajdonképpen a CDMA és OFDM eljárások egyfajta keverékének tekinthető (idő- és frekvenciatartománybeli spektrumszórás). A rendkívül nagy sebesség eléréséhez továbbá 12x12 MIMO rendszert alkalmaztak, speciális jelfeldolgozó algoritmussal.

Várható tehát, hogy a közeljövőben legalább 100 MHz sáv szélességet használva Gbit/s nagyságrendű fizikai adatátviteli sebesség is elérhetővé válik a kereskedelmi lokális és közcélú vezeték nélküli hálózatokban. Előreláthatólag az új rendszerekben magasabb frekvenciasávok is megnyílnak a használat előtt, ezeket azonban a rosszabb rádiós terjedési tulajdonságok miatt a nagy forgalmú, de kis kiterjedésű területeken fogják alkalmazni, a nagy távolságokat lefedő cellákban pedig alacsonyabb vivőfrekvencián, többvivős megoldással érnek el nagy átviteli sebességet.

Előreláthatólag elterjednek és nagy szerepet kapnak a többantennás rendszerek, amelyeket az átviteli csatorna többszörözésén túl az irányított nyalábok megvalósítása és az interferencia elkerülése céljából is használni fognak. Alkalmazásba kerül a spektrum aggregáció, amellyel a szolgáltatók szétszórta, nem szomszédos sávjaikat egy rendszerként kezelhetik és használhatják nagy átviteli sebesség biztosítására.

Véglegesen megszűnik az áramkörkapcsolt és csomagkapcsolt forgalom szétválasztása, a teljes hálózatban végpontok között a csomagkapcsolt, IPv6 alapú átvitel válik általánossá, felváltva a jelenlegi rendszerek meglehetősen bonyolult protokollhierarchiáját. Az áramkörkapcsolt beszédátvitelt pedig teljesen felváltja a VoIP.

A cellás hálózatokban elterjed a femtocellás megoldás, azaz a beltéri lefedettséget a szolgáltató saját, otthoni bázisállomással oldja meg (amit például internet-előfizetéshez ad). A teljes hálózatban a berendezések nagyfokú autonómiája és koordinált működése válik meghatározóvá (erőforráskiosztás, spektrumallokáció, topológiafelderítés, forgalomvezetési összeköttetések megteremtése, telepítés stb. automatikusan, a bázisállomások között elosztott, de kooperatív módon). A bázisállomások egyidejűleg több, különböző technológia szerint működő rádiós interfészt lesznek képesek használni, a forgalmat képesek lesznek a különböző technológiák között megosztani.

A felhasználói készülékekben elterjed az opportunista, vagy kognitív rádió elnevezéssel illetett képesség. Ez abban áll, hogy a terminálok képesek lesznek érzékelni az elérhető technológiákat, az ezeken zajló aktuális forgalmakat, üres frekvenciasávokat, adási lehetőségeket, ezekről információt megosztani egymással és ennek megfelelően pillanatnyi adásukat az elérhető üres sávokban küldeni. A termináloldalon is megjelenik a többféle technológia egyidejű használata és a forgalom megosztása az egyes interfészek között.

## A szerzőkről



**FAZEKAS PÉTER** 1998-ban szerzett okleveles villamosmérnöki diplomát a Budapesti Műszaki Egyetemen. 2001 óta a BME Híradástechnikai Tanszékének munkatársa. Az IEEE és a HTE tagja. Főbb kutatási területei a cellás mobil hálózatok átviteli teljesítményképességének, forgalmának és kapacitásának elemzése, közeghozzáférési és erőforrásmenedzsment-eljárásainak fejlesztése.



**IMRE SÁNDOR** 1993-ban végzett a Budapesti Műszaki Egyetemen, mint villamosmérnök. 1999-ben szerezte meg Ph.D. fokozatát a BME Híradástechnikai Tanszékén. 2007-ben az MTA doktora lett. Jelenleg a BME Híradástechnikai Tanszékének tanszékvezetője, illetve a Mobil Innovációs Központ tudományos kutatási igazgatója. Kutatási területei közé többek között a szélessávú rádiós technológiák, az IP-mobilitás, a vezeték nélküli helyi hálózatok és ad hoc kiterjesztései, az RFID, a szoftverrádió technológiája, továbbá a kvantuminformatica és -kommunikáció tartozik.



**JENEI GÁBOR** 1998-ban szerzett okleveles villamosmérnöki diplomát a Budapesti Műszaki Egyetemen (BME). A Budapesti Közgazdaságtudományi és Államigazgatási Egyetemen mérnök közgazdász-ként végzett 2002-ben. A BME Híradástechnikai Tanszékén szerezte meg Ph.D. fokozatát 2005-ben. Jelenleg a Mobil Innovációs Központban, valamint a Híradástechnikai Tanszék Mobil Távközlési és Informatikai Laboratóriumában (MC2L) dolgozik kutatóként. Az IEEE és a HTE tagja. Kutatási területeihez tartozik a mobil távközlés és számítástechnika, az IPv6, valamint a különböző rádiós kérdések mobil környezetben.



**PAP LÁSZLÓ** 1967-ben szerzett villamosmérnöki oklevelet a Budapesti Műszaki Egyetemen (BME). 1980-ban a műszaki tudományok kandidátusa, 1992-ben az MTA doktora címet szerezte meg. 2001-ben az MTA levelező tagjává, 2007-ben az MTA rendes tagjává választották. Jelenleg a BME Híradástechnikai Tanszékén egyetemi tanár, illetve a BME Mobil Innovációs Központjának elnöke. Számos kitüntetés birtokosa, több rangos nemzetközi szervezet és szerkesztőbizottság tagja. Kutatási területei közé tartozik a távközlésemélet, kódolás, moduláció, a szinkronizáció és a modern rendszerek elmélete.



**SCHULCZ RÓBERT** 2000-ben szerzett okleveles villamosmérnöki távközlés és telematika szakirányú diplomát a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME) Híradástechnikai Tanszékén. Jelenleg a Mobil Innovációs Központban dolgozik teszt-hálózat-igazgatóként, valamint a Híradástechnikai Tanszék Mobil Távközlési és Informatikai Laboratóriumában (MC2L) kutatóként. Az IEEE és a HTE tagja. Kutatási területeihez tartoznak a mobil számítástechnika és a következő generációs mobil rendszerek témakörei.



**SZABÓ SÁNDOR** 1977-ben született. Egyetemi oklevelét a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Villamosmérnöki karán szerezte 2000-ben, ezt követően állami ösztöndíjas Ph.D. hallgató lett. Jelenleg tanársegédként dolgozik a Híradástechnikai tanszéken. Részt vesz kutatási projekteken, és a Mobil Innovációs Központ projektvezetője. Kutatási területei a vezeték és vezeték nélküli hálózatok integrálása, mobilitáskezelési eljárások, valamint az IMS (IP Multimedia Subsystem) rendszer vizsgálata.

## Irodalom

- [1] Dr Klaus Finkenzeller, RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification, ISBN 978-0-470-84402-1, Wiley (2nd ed.), 2003.
- [2] Matthew Gast, 802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide, ISBN 978-0-596-10052-0, O'Reilly (2nd ed.), 2005.
- [3] Ericsson White Paper: „Long Term Evolution (LTE): an introduction”, October 2007. [http://www.ericsson.com/technology/whitepapers/lte\\_overview.pdf](http://www.ericsson.com/technology/whitepapers/lte_overview.pdf)
- [4] 3GPP, „Evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA); physical layer procedures,” 3GPP, Tech. Spec. TS 36.213 V8.5.0, 2009.
- [5] 3GPP, „Requirements for Further Advancements for E-UTRA (LTE-Advanced)” 3GPP, Tech. Rep. TR 36.913 V8.0.0, 2008.
- [6] IEEE 802.11n, Amendment 4: Enhancements for Higher Throughput, IEEE P802.11n/D3.00, September 2007.
- [7] Y. Xiao, IEEE 802.11n: Enhancements for higher throughput in wireless LAN, IEEE Wireless Com., Vol.12, Nr. 6, December 2005.
- [8] Erik Dahlman, et al., 3G Evolution: HSPA and LTE for Mobile Broadband, Elsevier, ISBN 978-0-123-72533-2, 2007.
- [9] Pierre Lescuyer, Evolved packet system (EPS): The LTE and SAE evolution of 3G UMTS, Wiley, ISBN 978-0-470-05976-0, 2008.
- [10] Myung, Hyung G., Single carrier FDMA: A new air interface for long term evolution, Wiley, ISBN 978-0-470-72449-1, 2008.
- [11] Ghobad Heidari, WiMedia UWB: Technology of Choice for Wireless USB and Bluetooth, Wiley, ISBN 978-0-470-51834-2, 2008.
- [12] Dee M. Bakker, Diane McMichael Gilster, Bluetooth End to End, Wiley, ISBN 978-0-7645-4887-1, 2002.



# Kommunikációs hálózatok biztonsága

BENCSÁTH BOLDIZSÁR, BUTTYÁN LEVENTE, VAJDA ISTVÁN

BME Híradástechnikai Tanszék, CrySyS Adat- és Rendszerbiztonság Laboratórium  
{bencsath, buttyan, vajda}@crsys.hu

*Kulcsszavak:* adatbiztonság, Internet, vezeték nélküli szenzorhálózatok, gépjármű-kommunikáció, RFID rendszerek, kriptográfia, hálózati kódolás

**Ebben a cikkben először az Internet aktuális biztonsági problémáit tárgyaljuk, majd bemutatunk néhány jövőbe mutató kutatási irányt a hagyományos értelemben vett Internet-biztonság területén. Ezután az Internet egy tágabb értelmezését tekintjük, melyben a hálózat nemcsak PC-kből és szerverekből áll, hanem kiegészül különböző beágyazott számítógépekkel. Három példán keresztül mutatjuk be a beágyazott rendszerekkel kapcsolatos adatbiztonsági problémákat. Végül áttekintést adunk a kriptográfiai kódolási technikák helyzetéről, és bemutatjuk a hálózati kódolást, ami egy új, ígéretes kutatási terület.**

## 1. Bevezetés

A kommunikációs hálózatok, mint az Internet, a különböző vezetékes és vezeték nélküli távközlő hálózatok, a modern információs társadalom alapvető eszközei, olyan kritikus infrastruktúrák, melyek nélkül ma már elképzelhetetlen az élet. Éppen ezért fontos, hogy ezek a rendszerek mindig megbízhatóan működjenek, azaz elviseljék a véletlen hibákból származó problémákat, valamint ellenálljanak a szándékos támadásoknak. A szándékos támadásokkal szembeni ellenállóképesség biztosítása nehezebb feladatnak tűnik, mint a véletlen hibák elleni küzdelem, mert a lehetséges támadások tárháza kimeríthetetlen, s a támadó stratégiája sokszor nehezen megjósolható. Bár az általános hálózatbiztonsági követelmények rendszere mára nagyjából letisztult, s olyan klasszikus követelményeket tartalmaz, mint a titkosítás, az integritásvédelem, a hitelesítés, a letagadhatatlanság, az erőforrásokhoz való hozzáférés szabályozása, valamint a rendelkezésreállítás biztosítása, korántsem ennyire világos az, hogy hogyan kell ezeket a követelményeket kielégítő rendszert tervezni. Pontosabban fogalmazva, nehéz megtalálni a biztonság szintje, a rendszer használhatósága, valamint a megvalósítás költsége közötti megfelelő kompromisszumot.

Ebben a cikkben az Internet biztonsági kérdéseiről adunk rövid áttekintést. Először az Internet aktuális biztonsági problémáit tárgyaljuk, majd bemutatunk néhány jövőbe mutató kutatási irányt a hagyományos értelemben vett Internet-biztonság területén. Ezután az Internet egy tágabb értelmezését tekintjük, melyben a hálózat nemcsak PC-kből és szerverekből áll, hanem kiegészül különböző beágyazott számítógépekkel. Ezt a tágabb értelmezést szokás *Internet of Things* néven is emlegetni manapság. Három konkrét példán keresztül mutatjuk be a beágyazott rendszerekkel kapcsolatos adatbiztonsági (és adatvédelmi) problémákat, ezek a vezeték nélküli szenzorhálózatok, a gépjárművek közötti kommunikáció, és az RFID rendszerek. Sok bizton-

sági mechanizmus alapját különböző kódolási eljárások alkotják; a cikk harmadik részében ezekről szólnunk röviden. Áttekintést adunk a kriptográfiai kódolási technikák helyzetéről, és bemutatjuk a hálózati kódolást, ami egy új, ígéretes kutatási terület, mely várhatóan hatással lesz a jövő hálózati protokolljainak tervezésére.

A kommunikációs hálózatok biztonsága széles terület, melynek átfogó bemutatása jelen keretek között nem lehetséges. A fent említett, a cikkben tárgyalt részterületek kiválasztását a szerzők kutatási érdeklődési területei befolyásolták. Ezekben a részterületeken aktív kutatómunka folyik a BME Híradástechnikai tanszékének CrySyS Adat- és rendszerbiztonsági laboratóriumában. A laboratórium munkájáról, oktatási és kutatási tevékenységéről, eredményeiről bővebb információ található a [www.crsys.hu](http://www.crsys.hu) weboldalon.

## 2. Az Internet biztonsága

Az Internet fejlődése szempontjából a biztonság kulcsfontosságú szerepet játszott. Ma már elképzelhetetlennek tartanánk az Internetet rejtjelezett adatátvitel (SSL, SSH, PGP, IPsec stb.), fejlett hozzáférésvédelem (jelszavak, mobiltelefonos azonosítás, smart kártya, captcha), vagy éppen a szoftverbiztonság érdekében könnyen frissíthető programok és operációs rendszerek nélkül. Az említett biztonsági megoldások kifejlesztése az igények fejlődésével párhuzamosan történt, majd széleskörű elterjedésükkel egyre többen kezdték el felhasználni azokat. Korántsem mondhatjuk azonban, hogy nincsenek újabb biztonsági kihívások az Internettel kapcsolatban. Sajnos, ennek pont az ellenkezője igaz, az Internet már-már működőképességének határán van, és ez főként a biztonsági hiányosságoknak köszönhető. Ebben a fejezetben az Internet jelenlegi legnagyobb biztonsági problémáiból mutatunk be néhányat (a felsorolás természetesen nem lehet teljes) és röviden ismeretjük az aktuális kutatási irányokat is.

### Rosszindulatú kód, vírusok, férgek

Egyike az Internet legismertebb problémáinak a rosszindulatú kód kérdése. Számítógépes vírusokat már az 1980-as évek eleje óta ismerünk, azok azonban főként hagyományos adathordozókon terjedtek. A változást az jelenti, hogy napjainkban a rosszindulatú kód e-mailen, letöltött programokban, de weboldalakon, sőt, dokumentumokba, képekbe, zenébe és filmekbe ágyazva is megfertőzheti gépünket.

A vírusok fejlődésének trendje viszonylag egyértelmű volt: A hagyományos fertőzési módokról (floppy, CD) áttértek az internetes terjedésre. A fájlvírusok egyre ritkábbak, helyette a széleskörű funkcionalitással ellátott, akár távvezérelhető kódok kerültek előtérbe. A hatékony fertőzéshez jelentős mértékben kihasználják az operációs rendszer, továbbá a médiatartalmakat és más adatokat feldolgozó programok sérülékenységét.

A védekezés módszerek fejlődtek, de áttörő eredmények nincsenek.

### Botnetek

A rosszindulatú kóddal fertőzött gépen az esetek többségében a támadó jelenleg bármit megtehet. Lehallgathatja a billentyűzetet, megfigyelheti a gép kommunikációját, a felhasználó levelezését, vagy ellophatja adatait. Ezen túlmenően azonban a megtámadott gépeket távvezérléssel újabb támadásokra parancsolhatja. A távvezérlés egyrészt elrejtheti a támadót, másrészt újabb kapacitásokat ad a támadó kezébe. Amennyiben a támadáshoz számos ilyen gépet használ a támadó, úgy azokból napjainkban többnyire egy vezérelt hálózatot hoz létre, melyet botnetnek nevezünk. Az internetes botnetek száma már óriási, és az egyes hálózatok mérete is több milliós, bár a méretük becslése jelenleg is aktív kísérleti és kutatási terület ([2]).

### Spam

A kérértlen reklámlevelek, a spam kérdését sajnos szinte egyetlen internethasználónak sem kell bemutatni. A kérértlen reklámlevelek problémája szintén több tíz éves, mégsem sikerült máig megnyugtató megoldást találni rá. 2009. júliusában a spam a teljes levelezési forgalom 89.4%-át tette ki [1]. Ez az óriási arány, amely évek óta fennáll, jól mutatja, hogy az internetes levelezéssel komoly gondok vannak és nem sikerül megnyugtató megoldást találni a kérértlen levelek problémájára.

### Szolgáltatásmegtagadásos (Denial-of-Service) támadások

Egyike az Internet legérdekesebb problémáinak a szolgáltatásmegtagadásos támadások kérdése (Denial-of-Service, DoS). A támadó a DoS-támadás esetén nem azt célozza meg, hogy egy oldalt feltörjön, vagy adatot szerezzen meg, pusztán az a célja, hogy egy szerver, lap, vagy szolgáltatás működésképtelenné, vagy legalábbis a felhasználók számára elfogadhatatlan minőségben működjön. Az ilyen támadások korábban viszonylag ritkák voltak, az elmúlt években azonban elszaporodtak. A legnagyobb probléma azonban, hogy az Internet rendszereinek nagy része alapvetően, architektúrá-

ja miatt sebezhető DoS-támadásokkal szemben. Ennek alapján azt mondhatjuk el, hogy jelen pillanatban örülünk kell, hogy az ilyen esetek ritkák, és mindent meg kellene tenni annak érdekében, hogy valamilyen módon a DoS-támadások ellen is megnyugtató védelmet tudjunk biztosítani. Fel kell azonban vetni azt a lényegi kérdést is, hogy ha nem gyakori az ilyen támadás, pedig alapvetően könnyű kivitelezni, akkor vajon milyen, alapvetően játékelméleti megfontolásokkal modellezhető oka van a támadások relatív ritkaságának.

### Internetes weboldalak és szerverek feltörése

Az internetes oldalak feltörése, különösen olyan esetben, amikor komoly cégekről, vagy jelentős mennyiségű magánjellegű adat (hitelkártyaszám, lakcím stb.) megszerzéséről van szó, komoly aggodalmat kelt az átlagos felhasználóban. Az újságok és más médiumok pedig rendszeresen jeleznek egyre nagyobb jelentőségű eseményeket, az apróbb feltöréseket az átlagfelhasználó számára szinte ismeretlenek is maradnak. A feltörések hátterében többnyire az Interneten szokásos gyengeségek állnak: gyenge jelszavak, rosszul konfigurált rendszerek, nem javított ismert biztonsági hiányosságok, rosszul összerakott rendszer. Ezen problémák ellen a professzionális cégek esetében minden bizonnyal megoldható lenne védekezni, azaz nem kutatás, hanem a megfelelő minőségű munka és karbantartás az, amely védetté tehet a támadások jelentős része ellen. A támadások egy része azonban már más, az előzőekben is felsorolt internetes problémára vezethető vissza: például rosszindulatú kóddal fertőzött gépen keresztül megszerzett jelszóra.

Emellett egyre gyakoribbá vált az, hogy egy adott weboldal karbantartása, különösen a weboldal által alkalmazott szoftvercsomagok frissítése komoly kihívásokat hoz:

- A programcsomagot csak a weboldal gazdája frissítheti, a hozzáértő üzemeltető nem léphet helyette.
- A webes interaktív programcsomagok nem egy egységes egésznek alkotnak, moduláris felépítésük folytán elképzelhető, hogy egyes moduljaik sérülékenyek, amelyeket esetleg külön kell frissíteni, vagy más oknál fogva nem könnyen biztosítható, hogy a programcsomag mellett a modulok is biztonságosan frissek legyenek.
- A programcsomagok sok esetben testreszabáson esnek keresztül, azaz a weboldal fejlesztője az adatokat és a kódot részben átírja, testre szabja. Ennek pozitív eredményei mellett a program biztonsági frissítéseinek telepítése jelentősen megnövekedett. A telepítés nem egyszerűen egy frissebb verzió telepítését jelenti, hanem akár annak újbóli tesztelését is, amely jelentős kihívás, ha sűrűn derülnek ki biztonsági problémák.

A legnagyobb kihívás jelen pillanatban tehát egyszerűnek látszik. Ha a világban felmerül egy szoftverkomponens új sérülékenysége, úgy azt hogy lehet a legrövidebb idő alatt kijavítani, vagy a hibát megkerülni a világ összes rendszerében, a fenti problémák fennállása

mellett. A kihívásra egyelőre nem született megfelelő válasz. Programcsomagok és operációs rendszerek esetében széles körben elfogadottá vált az automatikus, interneten át zajló rendszeres szoftverfrissítés, amely jelentősen segítette a problémák kezelését, de nem oldotta meg azt.

### Szolgáltatások kiszervezése

A grid-computing, a cloud-computing, de még a hagyományos kliens-szerver számítógéprendszerek is arra épülnek, hogy bizonyos feladatokat ne a felhasználó kis kapacitású gépe, hanem egy jól karbantartott, óriási kapacitású rendszer szolgáljon ki. Biztonsági szempontból ez megnyugtató is lehet: a nagy cégek által nyújtott szolgáltatások többnyire igen magas rendelkezésre állási paramétereket mutatnak, megbízhatóak. Ugyanakkor semmire sincs garancia. Ha egy cég ingyenes szolgáltatása nem működik megfelelően napokig, akkor csak bízni lehet benne, hogy az rövidesen korrigálásra kerül. Egy még nagyobb probléma azonban az ilyen szolgáltatások esetén azok jogi háttere. Egy tipikus szolgáltató (cloud-computing, ASP) olyan licenz-kikötéseket is meg szokott tenni, hogy a rajta keresztül átmenő adatok, vagy azok egy része fölött rendelkezési jogot szerez. Ilyen esetekben komoly jogi problémák jelentkezhetnek. Ha ráadásul esetleg valamilyen jelentős biztonsági káresemény történne a szolgáltatónál, semmilyen garancia nem adható a károk rendezésére. Mindezek alapján a jelenlegi trendnek számító szolgáltatáskiszervezés a továbbiakban komoly kihívásokat tartalmaz, főleg jogi, politikai síkon.

### Kutatási irányok

Az Internet problémái mellett a megoldási lehetőségek, a problémákhoz való hozzáállás is jelentős változásokon ment keresztül az elmúlt években. Most néhány trendet mutatunk be a közeljövő kutatási irányjaiból.

#### *A jövő Internetje*

Több jelentős kutatási projekt indult a következő generációs hálózatok megtervezésére. Ezek közé tartozik a Global Environment for Network Innovations (GENI) [1], a Future Internet Design (FIND) [4], melyeket az amerikai National Science Foundation (NSF) támogat, vagy az Európai Unió 7. keretprogramjának (FP7) [5]. A tervek célja az Internet alapvető strukturájának megváltoztatása. Az Internet hagyományosan egy best-effort jellegű, alapvetően megbízhatatlan többretegű hálózat. Ezen belül is a szolgáltatások többsége a TCP/IP protokollokra épül, a hálózatot összefogó útvonalválasztók feladata pedig szinte csak a csomagok egyszerű továbbítása. A megoldatlan internetes problémák oka részben pontosan ez: A hálózat alapvető struktúrája (architektúrája, protokolljai stb.) folytán nem lehet jó védelmet létrehozni. (A „jó” jelző itt azt jelentené, hogy működőképes, és a felhasználók által is elfogadható megoldás kidolgozása lenne szükséges.) Csak akkor lehet számítani arra, hogy valóban megoldódnak bizonyos problémák, ha az Internet alapvető építőköveinek számító protokollokat és megoldásokat is merjük módosítani.

A jövő hálózatának tehát a hagyományos best-effort csomagtovábbításnál többet kell nyújtania: Nem csomagok továbbítását kell biztosítani, hanem szolgáltatásokat kell nyújtani a végfelhasználóknak. Szükség van arra, hogy a szolgáltatások minőségbiztosítása (QoS) tényleg működőképes lehessen. Az Interneten jelenleg nem megoldott a résztvevők valódi azonosítása, és így az (akár véletlen) károkozás miatti számonkérhetőség nem biztosított, csak fundamentális változtatásokkal lehetne egy biztos azonosítási szolgáltatást bevezetni. A felsorolás folytatható lenne, hiszen gyakorlatilag minden fejlesztést, vagy meglévő problémás területet felcímkézhetünk a „jövő Internetének megoldása” jelzővel. A kutatási projektek beindulásának mondanivalója azonban egyértelmű: Van igény és szándék arra, hogy a hálózatunk fejlesztése érdekében akár alapvető módosításokat és végrehajtsunk az Internet hálózati felépítésén.

#### *Intelligens behatolásdetekció*

A behatolásdetekciós eszközök (IDS, IPS, honeypot stb.) jelentős fejlődésen mentek át az elmúlt években. Kezdetben egyszerű eseményfigyelést végeztek és hasonlóan egyszerű riasztást, naplózást hajtottak végre. Tipikusan egy portscan felfedezése esetén a forrás IP-címét letiltották, vagy egy fájl megváltozása esetén naplóbejegyzést végeztek és e-mailt küldtek. Azóta a komplexebb behatolásdetektáló rendszerek is igen elterjedtek, amelyek már az információs rendszer szintjén képesek összegyűjteni az eseményeket és detektálni a támadásokat, támadási kísérleteket.

Ez a folyamat, a hozzá kapcsolódó kutatásokkal együtt tovább halad. A rendszerekbe telepített IDS-ek globálisá válhatnak, több védett rendszer tud egymással kommunikálni és a támadókat, vagy épp kéréstelen reklámlevelek küldőit felismerni. Hasonlóképpen, együttműködhetnek a rendszerek csapdákkal, csapda-hálózatokkal [6]. Az ilyen IDS-jellegű hálózatok modern hálózati megoldásokat, például P2P technológiákat használhatnak. Az ilyen kombinált rendszerek gyakorlatilag hosszútávon beépülnek az informatikai rendszer felügyeletébe és olyan új lehetőségeket biztosíthatnak, mint az incidensekre adott automatikus rekonfiguráció. Többek között ezen lehetőségek kiaknázására indult a DESE-REC FP7 projekt, amely a közelmúltban fejeződött be több magyar és nemzetközi partner mellett a CrySys Adat- és Rendszerbiztonság laboratóriumának részvételével [7].

#### *Bizalom és számonkérhetőség*

Az internetes támadások és biztonsági problémák nem mindig oldhatóak meg úgy, hogy tervezünk egy új algoritmust, protokollt, vagy hasonló dolgot, amely teljes egészében megoldja a problémát. Számos olyan különleges kutatási terület is van, amely jelentős befolyással bír az Internet biztonsági kérdéseire és azzal kecsegtetnek, hogy a korábban is említett, eddig megoldatlan problémák egyszer kezelhetővé válnak. A felsorolás itt sem lehet teljes és természetesen az is megemlíthető, hogy ilyen és hasonló módszereket a jövő internetes architektúrájának tervezését szolgáló projekteknél is felhasználni terveznek.

• *Támadási és védekezési ösztönzők feltárása és új fajta kezelése:* Ha egy számítógép gazdája ösztönözve van arra, hogy gépét biztonságosan, rosszindulatú kódtól mentesen tartsa, úgy az egész Interneten drasztikusan csökkenhet a zombi-számítógépek száma. Ha fel tudjuk tárni, hogy mik azok az ösztönzők, amelyek miatt a különféle biztonsági réseket kihasználják, vagy amelyek miatt támadásokat követnek el, és ösztönözni tudjuk, hogy a biztonsági rések vonatkozásában potenciális támadók azok kijavítását segítsék, a támadásokat pedig az ösztönzők miatt elkerüljék (például legyen ösztönző erő arra, hogy ne küldjenek kéretlen reklámleveleket, vagy fordítva: ne érje meg ilyen reklámleveleket küldeni), úgy az eddig megoldhatatlan problémáknak az Internetre gyakorolt káros hatása kordában tarthatóvá válhat. (Nem oldjuk meg a problémát, de többnyire elkerüljük.)

• *Játékelméleti módszerek:* Nem feltétlenül a támadásokat kell megelőzni, vagy lehetetlenné tenni, de a támadó számára nem szabad, hogy a támadás gazdaságilag-játékelméletileg profitábilis legyen. Játékelméleti megközelítéssel olyan megoldásokhoz juthatunk, ahol a támadásnak ugyan van esélye, de a támadónak egyszerűen nem éri meg a támadás, mert összességében nem nyer a támadással, vagy támadásokkal.

• *Szereplők azonosíthatósága és az anonimitás:* Ma az Interneten egy általános szolgáltatás esetén többnyire nem azonosítható, hogy ki az igénybevevő. Azaz, egy tipikus látogatás esetén a weboldal gazdája nem tudja, hogy ki nézte meg az oldalt, egy elkövetett támadás esetén pusztán a támadó IP-címe alapján többnyire nem deríthető ki, hogy ki áll mögötte. Amennyiben a támadások indítói, de legalábbis a támadó számítógépek gazdái azonosíthatóak, tájékoztathatóak, vagy akár beperelhetőek lennének, az sokat segítené abban, hogy az internetes támadások mennyisége csökkenjen. Ugyanakkor az Internet alapvetően az anonimitásra épül: senki nem szeretné, ha mindig mindenki azonosítható lenne. Ha olyan köztes megoldások kifejlesztését és méginkább eredményes elfogadtatását tudjuk megtenni a közeljövőben, ami által a támadók jobban azonosíthatóak lennének és eközben az anonimitás valamilyen szinten megmaradna, jelentős mértékben csökkenhetnének az internetes biztonsági problémák.

• Bizalom kezelése lokális és globális szinten.

*Biztonságos kliens, biztonságos szoftverplatform*

Amennyiben a végfelhasználók számítógépei biztonságosak lennének, azaz nem fertőződhetnének meg ártalmas kóddal, nem válnának reklámlevél-kiküldő zombikká és nem tudnának sehogy sem botnetek részévé válni, úgy jelentősen csökkenne az Internet biztonsági problémáinak mennyisége. A biztonságos kliens ma még részben elérhetetlen megoldás, és legfőbb oka nem is kutatás hiánya, hanem a létrehozott eredmények valós környezetben való felhasználásának problémája, többek között a felhasználók elfogadásának hiánya.

Számos olyan kutatási irányt említhetünk itt is, amelyek továbbvisznek a biztonságosabb internetes környezet, ezen belül különösen a biztonságosabb kliensek irányában:

- Biztonságos szoftverfejlesztés, módszertanok, biztonsági ellenőrzőmodulok, garantáltan biztonságos programok, nyelvek, operációs rendszerek.
- Formálisan ellenőrizhető szabályok, szabályrendszerek (pl. tűzfalak), protokollok, vagy ellenőrzött API [8].
- Biztonságos hitelesítési módszerek védett és védtelen környezetben is (smartkártyás hitelesítés, elektronikus személyi igazolvány, új autentikációs módszerek, megbízhatatlan terminál problémája).

Az Internet biztonsági problémáinak és aktív kutatási részterületeinek köre a fent említetteknel jóval tágabb, rövid összefoglalónkban megpróbáltuk azokat a legfontosabb irányvonalakat egy csokorban bemutatni, amelyek jelentős hatással bírnak a közeljövőben.

### 3. Vezeték nélküli beágyazott rendszerek biztonsága

A személyi számítógép, vagy röviden a PC valódi forradalmat jelentett a számítástechnikában bő 40 évvel ezelőtt. Kis méretének, könnyű kezelhetőségének és alacsony árának köszönhetően a PC lehetővé tette a számítástechnika elterjedését szélesebb társadalmi körökben és új alkalmazásokban. Ennek – s később az Internet, illetve a Web megjelenésének és elterjedésének – eredményeképpen a számítástechnika eljutott az átlagemberekhez és a mindennapi élet részévé vált. Ma már talán nincs is olyan háztartás a fejlett nyugati országokban, amelyben ne lenne legalább egy személyi számítógép.

Ennek ellenére nem a személyi számítógépek „uralják” a világot abban az értelemben, hogy nem az ilyen típusú számítógépekből adnak el ma a legtöbbet. Sokkal nagyobb számban található a világban a *beágyazott számítógépek*. Ezek környezetünk berendezéseibe és az általunk használt tárgyakba, eszközökbe épített célszámítógépek, melyek általában a befogadó rendszer – vagy annak egy része – vezérlését végzik. Ilyen beágyazott számítógépek találhatóak például a repülőgépekben, az autókban, háztartási gépeinkben, s egyre inkább a minket körülvevő tárgyakban és környezetünk különböző elemeiben.

Sok alkalmazásban szükség van arra, hogy több beágyazott számítógép egymással kommunikáljon, s közösen oldjanak meg valamilyen feladatot. Ez a kommunikáció ma jobbra vezetéseken keresztül zajlik, ám a jövőben a vezeték nélküli kommunikációs technológiák nagyobb elterjedése várható ebben a környezetben is. Itt említendő meg az IEEE 802.15.4 rádiókommunikációs szabvány, mely ZigBee néven is ismert, s melyet elsősorban kis energiafogyasztású, erőforráskorlátozott beágyazott számítógépek közötti vezeték nélküli kommunikáció megvalósítására terveztek.

A lokális rádiókommunikáción túl természetesen nincs elvi akadálya a beágyazott számítógépek Internetre tör-

ténő csatlakozásának sem, ami érdekes új alkalmazások lehetőségét teremti meg, melyek elsősorban objektumok, állatok, vagy személyek távoli megfigyeléséhez és felügyeletéhez kapcsolódnak. Egy ilyen érdekes alkalmazás az idős emberek vagy krónikus betegségben szenvedők távoli felügyelete, lehetővé téve ezáltal az otthoni elhelyezést és az egészségügyre fordított erőforrások optimalizálását, mely az idősödő nyugati társadalmakban egyre égetőbb probléma. A beágyazott számítógépek Internetbe integrálását célozza például az IETF 6LowPAN munkacsoport tevékenysége, mely azt vizsgálja, hogyan lehet az Internet IPv6 protokollját megvalósítani kis energiafogyasztású, erőforráskorlátozott beágyazott eszközökön, s ezáltal megteremteni az úgynevezett *Internet of Things* lehetőségét. Ezek a trendek egy olyan új Internet felé vezetnek, mely összekapcsolja majd a fizikai világot a jelenlegi Internet teremtette virtuális világgal, s ezáltal lehetővé teszi a minket körülvevő világ teljesebb megismerését.

Ezen szakasz hátralevő részében három konkrét példán keresztül szeretnénk bemutatni a fent vázolt trendekhez kapcsolódó biztonsági problémákat. Először a vezeték nélküli szenzorhálózatok biztonságát tárgyaljuk, majd bemutatjuk a gépjárművek kommunikációjával kapcsolatos adatbiztonsági és adatvédelmi problémákat, s végül az RFID rendszerekben felmerülő, a privátszférát (privacy) veszélyeztető problémákról adunk tömör áttekintést. Nem törekszünk teljességre, csupán rövid betekintést szeretnénk adni a vezeték nélküli beágyazott rendszerek néhány biztonsági problémájáról és kihívásairól, s egyúttal a BME Híradástechnikai tanszék CrySyS Adat- és Rendszerbiztonság laboratóriumának ehhez a tématerülethez kapcsolódó kutatási tevékenységéről. (Részletesebben lásd például [18]-ban.)

### Vezeték nélküli szenzorhálózatok biztonsága

A vezeték nélküli szenzorhálózatok nagy számú, de kevés erőforrással rendelkező szenzorból (és aktuátorból) valamint egy, vagy néhány, nagyobb számítási kapacitással rendelkező bázisállomásból állnak. A szenzorok sokszor elemről kapják a működéshez szükséges tápellátást, míg a bázisállomás esetében általában nincs ilyen korlátozás. A szenzorok a környezet különböző paramétereit mérik, mint a hőmérséklet, páratartalom, vibráció, akusztikai zaj, vagy fényerősség. A mérés lehet folyamatos vagy történhet alkalmanként, valamilyen esemény hatására. A szenzorok, saját kezdeményezésből vagy kérésre, a mért értékeket a bázisállomásnak továbbítják, mely vagy közvetlenül feldolgozza azokat vagy továbbküldi valamilyen központi feldolgozó egységnek. A bázisállomás lehet fixen telepített vagy mobil; utóbbi esetben az is elképzelhető, hogy a bázisállomás csak időszakosan van jelen a hálózatban, s ilyenkor begyűjti a szenzorok által mért adatokat. A feldolgozás eredményeként, a bázisállomás vezérlő parancsokat küld az aktuátoroknak és/vagy a szenzoroknak. A szenzorok és a bázisállomás, valamint a bázisállomás és az aktuátorok között a kommunikáció vezeték nélküli, általában rádiós csatornán zajlik. Nagyobb földrajzi kiterjedésű háló-

zatok esetén a szenzorok szűkös energiaellátása miatt a bázisállomástól távolabb található szenzorok nem érik el közvetlenül a bázisállomást; ilyenkor a szenzorok egy ad hoc mesh hálózatba szerveződnek, melyben a bázisállomáshoz közelebb található szenzorok továbbítják távolabb található társaik üzeneteit a bázisállomás felé (és a bázisállomástól vissza a szenzorokhoz vagy az aktuátorokhoz).

A vezeték nélküli szenzorhálózatoknak számos izgalmas alkalmazása lehetséges; mezőgazdaságban, ökológiai megfigyeléseknél, természeti katasztrófák előrejelzésénél, az épület-automatizálás területén, távfelügyeleti rendszerekben, az egészségügyben, az ipari automatizálás területén és – természetesen – taktikai, katonai alkalmazásokban. A vezeték nélküli szenzorhálózatokkal kapcsolatban bővebb információ és részletes áttekintés található [19]-ben.

Sok szenzorhálózati alkalmazásban felmerülnek adatbiztonsággal kapcsolatos kérdések. Bár a vezeték nélküli kommunikációs rendszerekben klasszikusan az egyik legfontosabb biztonsági követelménynek a bizalmasságot, a vezeték nélküli csatornán átküldött adatok titkosítását szokták tekinteni, a szenzorhálózatok esetében fontosabb szerepet kap az adatok integritásának védelme és hitelességének ellenőrzése. Hasonlóan fontos feladat a hálózat rendelkezésreállításának biztosítása, azaz a különböző DoS (Denial-of-Service) típusú támadások elleni védekezés.

Az integritásvédelem, az üzenethitelesítés és a rendelkezésreállítás nem új biztonsági követelmények, ezek hagyományos kommunikációs rendszerekben is fontosak. Sajnos azonban a hagyományos hálózatokban használt módszerek nem, vagy csak korlátozott mértékben alkalmazhatóak a szenzorhálózatokban. Ennek oka egyrészt az, hogy a szenzorok erősen erőforráskorlátozottak és nem képesek a hagyományos hálózatokban használt kriptográfiai védelmi mechanizmusok futtatására. Az egyik szűkös erőforrás az energia, hiszen a szenzorok sokszor elemmel működnek és az elemek töltése vagy cseréje a szenzorok nagy száma és esetlegesen nehéz megközelíthetősége miatt nem praktikus vagy egyenesen lehetetlen. Más szavakkal a hálózat élettartamának maximalizálása elsődleges tervezési követelmény.

Sok kriptográfiai primitív azonban, főleg a nyilvános kulcsú kriptográfiai műveletek (pl. digitális aláírás), annyira sok számítást és így sok energiát igényelnek, hogy alkalmazásuk a legtöbb szenzorplatformon szóba sem jöhet. Lehetséges lenne speciális kriptó-hardverrel ellátni a szenzorokat, de ez megnövelné az árakat, és mivel a legtöbb alkalmazásban sok szenzorra van szükség, ezért a szenzorok árának minimalizálása sokszor fontosabb, mint a hagyományos hálózatokban megszokott biztonsági szint elérése. Ezért többnyire csak szimmetrikus kulcsú kriptográfiai primitívek állnak rendelkezésre, ezekkel pedig nagy kihívás hatékonyan megvalósítani bizonyos biztonsági funkciókat. A legtöbb alkalmazásban például szükség van valamilyen broadcast hitelesítési mechanizmusra, többek között a bázisállomás broad-

cast üzeneteinek hitelesítésére. A klasszikus broadcast hitelesítési mechnizmus a digitális aláírás, de ez a fenti okok miatt nem mindig alkalmazható. Szerencsére ötletes megoldások születtek a probléma megoldására szimmetrikus kulcsú broadcast hitelesítő protokollok formájában.

Másrészt sokszor a szenzorhálózatok speciális működési körülményei vezetnek olyan feltételrendszerhez, mely kizárja a klasszikus kriptográfiai megoldásokat. Vegyük példának a kulcscsere problémáját, amit szenzorhálózatok esetében az nehezít, hogy telepítéskor nem mindig ismert előre, hogy melyik szenzor melyik másik szenzornak lesz majd rádiószomszédja, azaz kivel kell majd közös kulcsot megosztania. (Bizonyos – főként katonai – alkalmazások esetén a szenzorokat esetleg repülőgépből szórják le.) Publikus kulcsú kriptográfia segítségével a probléma könnyen kezelhető, de mint említettük, az nem mindig alkalmazható. A szimmetrikus kulcsú kulcscsere-protokollok általában egy központi kulcszszert igényelnek, mely lehetne ugyan a bázisállomás, de a bázisállomás eléréséhez a routingtáblákat kell beállítani, s már maga a routingprotokoll is igényelhet közös kulcsot a szomszédok között. A probléma kezelésére ötletes véletlen előzetes kulcskiosztási protokollok születtek.

Egy másik példa a hálózaton belül végzett adataggregáció biztonságának problémája. A hatékonyság növelése és az energiafogyasztás csökkentése érdekében, a szenzorok nem egyszerűen továbbítják a távoli szenzorok adatait a bázisállomás felé, hanem feldolgozzák a beérkező adatokat és egy tömör, aggregált értékkel helyettesíthetik azokat. Így kevesebb kommunikációra van szükség, azaz kevesebb energiát használnak a szenzorok. A kérdés az, hogy ha a szenzorok üzenetei integritásvédelemmel vannak ellátva, esetleg rejtjelezve is vannak a szenzor és a bázisállomás által megosztott kulccsal, akkor a köztes szenzorok hogyan tudják elvégezni az aggregációt úgy, hogy a bázis továbbra is dekódolni tudja a beérkező üzeneteket, és ellenőrizni tudja az aggregált adat integritását és hitelességét. A megoldást itt speciális, homomorf tulajdonsággal bíró kriptográfiai primitívek használata jelenti.

Végezetül, egy további kifejezetten szenzorhálózatokra jellemző probléma, hogy egy rosszul megtervezett protokoll (adatkapcsolati, hálózati, vagy transzport szinten) lehetővé teszi a támadó számára, hogy rákényszerítse a szenzorokat nagy energiafogyasztású műveletekre, s ezáltal jelentősen megrövidítse az elemek és a hálózat élettartamát. Például a legtöbb ad hoc útvonalfelderítő protokoll elárasztással működik; ha tehát a támadó sikeresen tud útvonalfelderítő üzenetet fabrikálni, akkor kevés befektetéssel nagy energiafogyasztásra veheti rá a szenzorokat. Ez bizonyos értelemben DoS-típusú támadás, hiszen DoS-szituációhoz vezethet, vagyis a teljes hálózatot használhatatlanná teheti. Érdeemes megemlíteni, hogy hasonló jellegű DoS-támadással hagyományos hálózatokban nem találkozunk.

A fenti problémákkal, azok megoldásával és számos más, a helyhiány miatt itt be nem mutatott problémával

és megoldással kapcsolatban jó áttekintés található [20]-ban. A CrySyS laboratóriumban, ezen problémakörön belül, útvonalválasztó protokollok biztonságával, adataggregáció biztonságával, klasztervezérlő választás biztonságával és transzportprotokollok biztonságával foglalkozunk a UbiSec&Sens ([www.ist-ubiseconsens.org](http://www.ist-ubiseconsens.org)) és a WSan4CIP ([www.wsan4cip.eu](http://www.wsan4cip.eu)) projektek keretében, melyeket az EU támogat.

### **Vezeték nélküli gépjármű-kommunikáció biztonsága**

Megdöbbenő, hogy évente körülbelül negyvenezer ember veszt el életét közúti balesetekben Európában. Sajnos a tengerentúli statisztikák is hasonlóak. Nagy probléma továbbá az egyre növekvő közúti forgalom, a nagyvárosokban rendszeresen kialakuló forgalmi dugókban elvesztegetett idő és üzemanyag. Mindkét esetben javítani lehetne a jelenlegi helyzeten, ha a gépjárművezetők megfelelő időben megfelelő információhoz jutnának a kialakult vagy kialakulóban levő veszélyes forgalmi szituációkat és a forgalom erősségét, vagy egyéb jellemzőit illetően. Ennek egyik eszköze lehetne a gépjárművek egymás közötti, valamint az utak mentén elhelyezett infrastruktúrális elemekkel folytatott kommunikációja. Természetesen az alkalmazás jellegéből adódóan mindkét esetben vezeték nélküli kommunikációról van szó.

Számos nagy autógyártó cég foglalkozik a gépjármű-kommunikáció gondolatával, többen közülük nemzetközi kutatási projekteknél vizsgálják ezen új technológia lehetőségeit és korlátait (NoW, CVIS, Safespot, Coopers projektek). A számos technikai nehézség mellett, felmerül a biztonság kérdése is: egyértelműnek látszik, hogy egy ilyen vezeték nélküli kommunikációra épülő kooperatív rendszer csak akkor kerülhet elfogadásra és bevezetésre, ha azt nem lehet rosszindulatúan kihasználni, megféveszteni, működését megzavarni, ellehetetleníteni. Amit mindenképpen szeretnénk elkerülni az az, hogy valaki egy út szélén elhelyezett számítógép segítségével fabrikált üzeneteket tudjon a rendszerbe juttatni és ezzel a forgalom alakulását befolyásolni, esetleg balesetet előidézni. Egy biztonsági lyuk itt emberéletekbe kerülhet. Ezért a legfontosabb biztonsági követelmény az üzenetek hitelesítése, valamint az üzenetek valóságtartalmának ellenőrzése, például több hasonló üzenettel való korreláció vizsgálatával.

Az üzenetek hitelesítéséhez egy broadcast hitelesítő mechanizmusra van szükség, mert tipikusan egy gépjármű üzeneteit a gépjármű rádiójának hatósugarában található minden más gépjármű veszi és feldolgozza. Kézenfekvőnek látszik a digitális aláírás alkalmazása, hiszen a gépjárművekbe beágyazott számítógépek erőforrásokban nem annyira szegények, mint akár a szenzorhálózatok szenzorai. A nehézséget itt az jelenti, hogy egy gépjármű potenciálisan több száz másik jármű üzeneteit veheti egy adott időpontban – főleg ha nagy a forgalom – és bizonyos balesetmegelőzést célzó alkalmazásokban a másodperc töredéke áll csak rendelkezésre ezen üzenetek aláírásainak ellenőrzésére. Szükséges továbbá az aláírásgeneráló kulcsok megfelelő védelme, azt feltételezve, hogy a szakszervezetekben dolgozó alkal-

mazottak nem megbízhatóak, azaz a kulcsokhoz senki, még a szakszervezetek alkalmazottai sem férhetnek hozzá. Ez valamilyen bontásellenálló modul beépítését igényli a gépjárművekbe és az útmenti infrastruktúra elemeibe egyaránt.

Több alkalmazás is azt igényli, hogy a gépjárművek folyamatosan informálják szomszédaikat az aktuális fizikai helyzetükről, haladási irányukról és sebességükről. Ezért a gépjárművek percenként több száz, úgynevezett heart beat üzenetet küldenek, mely ezeket az információkat tartalmazza. Ez azonban lehetővé teszi a gépjárművek nyomkövetését a heart beat üzenetek lehallgatásával. Érdeemes megjegyezni, hogy a gépjárművek nyomkövethetők a rendszám táblák vizuális megfigyelésével is, de az ezt lehetővé tevő kamerarendszer kiépítése egy nagyobb városban igen költséges (bár példák mutatják, hogy nem lehetetlen). A vezeték nélküli kommunikáció lehallgatása jóval kisebb költségű és a heart beat üzenetek nagy gyakorisága, valamint a bennük található explicit helyzet információ miatt, nagyobb pontosságú is. Szerencsére többek meggyőződése az, hogy egy új technológia nem teheti könnyebbé az emberek megfigyelését, mint amennyire a megfigyelés lehetséges a létező technológiákkal. Azaz a gépjármű-kommunikációs rendszert úgy kell megtervezni, hogy a lehallgatással történő nyomkövetés költsége legalább akkora legyen, mint a kamerás nyomkövetés költsége. A javasolt megoldások között vannak speciális kriptográfiai primitíveket (pl. csoportalírás-sémát) használó protokollok és az azonosítók (pl. fizikai és hálózati címek) folyamatos cseréjét végző protokollok.

A CrySyS laboratóriumban, ezen problémakörön belül, a gépjárművek illetéktelen nyomkövetését nehezítő azonosító cserélő protokollokkal, valamint a kriptográfiai kulcsok menedzsmentjével és a titkos kulcsok védelmét ellátó hardver modul funkcionális specifikációjával foglalkozunk a SeVeCom projekt ([www.sevecom.org](http://www.sevecom.org)) keretében, melyet az EU támogat.

#### Privátszféra védelme RFID rendszerekben

A gépjárművek nyomkövethetőségéhez hasonlóan, az egyes egyének is nyomkövethetővé válnak az általuk viselt, náluk levő RFID-címkék vezeték nélküli kommunikációjának lehallgatása által. Több típusú RFID címke létezik, a jövőben az olcsó, egyszerű címkék elterjedése várható, melyek hosszú távon helyettesíthetik a vonalkódot az egyes árucikkeken. Ez egyrészt az RFID címkék masszív elterjedését jelenti majd, másrészt, a nagyon alacsony ár miatt, ezek a címkék igen korlátozott számítási képességekkel rendelkeznek (még a korábban említett szenzorhálózatok szenzorainál is jóval korlátozottabbakkal). Minden valószínűség szerint nem lesznek alkalmasak a megszólitásukat és lekérdezésüket végző RFID-olvasó hitelesítésére, s így bárki kiolvashatja majd a bennük tárolt információt, mely alapján a címkét (vagy címkék egy bizonyos halmazát) viselő személy nyomkövethetővé válik.

A CrySyS laboratóriumban, ezen problémakörön belül, privát partnerazonosítási protokollokkal foglalkozunk,

melyek lehetővé teszik egy partner (jelen esetben egy RFID-címke) hatékony azonosítását egy másik partner (jelen esetben egy RFID-olvasó) által, úgy hogy minimalizálják egy külső megfigyelő által kinyerhető információ mennyiségét.

## 4. Kódolási technikák

### Kriptográfia

Napjainkra a kriptográfiai alapú adatbiztonsági algoritmusok a mindennapi információs és kommunikációs eszközök lényeges elemévé váltak; gondoljunk például az e-mail-re, a mobiltelefonos kommunikációra vagy a webes tranzakciókra. Ahogy a kereskedelem és a kommunikáció egyre inkább ráépül a számítógépes hálózatokra, a kriptográfia alkalmazása egyre alapvetőbbé válik.

A jó hír a kriptográfiával kapcsolatban az, hogy javarészt rendelkezésre állnak azon kriptográfiai primitívek és protokollok, amelyek a rendszereink algoritmikus alapú biztonságát garantálni képesek. Az alapvető primitívek kapcsán megemlíthetjük a szimmetrikus és aszimmetrikus kulcsú blokk-rejtjelezőket, a kriptográfiai hash-függvényeket, a digitális aláírást, míg a kriptográfiai alapprotokollok között a felhasználó- és üzenethitelesítő, a kulcsszétosztó/cserélő és hozzáférésvédelmi protokollokat [9].

Mondhatnánk tehát, hogy mára beérett és lezárt diszciplína a kriptográfia, de ez nem így van, mivel:

- Az alapvető építőelemek (kódok és protokollok) ugyan rendelkezésre állnak, azok implementálása, rendszerbe építése azonban számos buktatót hordoz: a kulcs-gondozás (kulcs-generálás, -tárolás, -szétosztás/cseré, -visszavonás/törlés), az ember-számítógép interfész biztonsága, a hozzáférésvédelem megoldása gyakran gyenge, és sokszor ezen a ponton bukik el a biztonság. Arról van szó, hogy egy implementációs mélységig részletezett kriptográfiai alrendszer lényegesen bővebb, mint az építőelemeik (kódok és protokollok) köre, s ezen teljes alrendszer egységes kezelésének módszertana még gyerekcipőben jár. Ezt még tovább rontja, hogy legtöbb kriptográfiát is használó rendszert – részben értelemszerűen – nem kriptográfusok, hanem mérnökök terveznek és implementálnak, akik a kriptográfiát egy további számítógépes technológiának tekintik, s utólag, mint egy „plusz szolgáltatáscsomagot” teszik az így emelt minőségűnek várt rendszerhez. Márpedig kriptográfia alkalmazása esetén a rendszertervezés és -implementálás minden egyes fázisában biztonságtudatos hozzáállás szükséges.
- Új infokommunikációs technológiák speciális igényét kell kielégíteni. Például a kis számítási erőforrású elemekből felépülő hálózatok (pl. szenzorhálózatok) esetén új, erőforrás-takarékos kriptográfiai megoldások kívánatosak.
- Az állítás, hogy biztonságos építőelemek tervezésének módszertanát birtokoljuk, csak részben igaz. Például igaz, hogy megnyugtatóan erős blokk-rejtjelezők állnak rendelkezésre (részleteiben ismert, az AES tervezése vagy az RSA biztonsága is „garantált”), ha

a jelenlegi számítógépes technológiák és feltételezett matematikai tudásbázis állnak a potenciális támadó mögött. Sőt, széleskörben elfogadott algoritmikus komplexitási feltételezések mellett, elméletileg ismert a bizonyított biztonságú rejtjelezőtervezés. Ugyanakkor ettől lemarad a kriptográfiai hash-függvények biztonságos tervezésével kapcsolatos ismeretanyag. A kriptográfiai protokollokkal kapcsolatban pedig az a helyzet, hogy néhány kivételtől eltekintve, csak ad-hoc módszertanok állnak mögöttük: konkrétan, kriptográfiai protokollok biztonságos tervezésével kapcsolatban néhány, bár biztató, de még csak kezdeti lépést tudott megtenni a kriptográfiai tudomány [10].

- d) A jelenlegi kriptográfiai technológiákra egy nem túl távoli jövőbeli veszély leselkedik: a kvantumszámítógépek megszületése. Rejtjelezőink biztonsága – a *one time pad* rejtjelező kivételével – alapvetően azon múlik, hogy a potenciális támadó nem képes felvonultatni a támadáshoz szükséges elegendően nagy számítási kapacitást, miután ezek mindegyike feltélesen biztonságosak csak. A *one time pad* kivételével minden rejtjelező feltörhető kimerítő kereséses támadással, ahol szimmetrikus kulcsú rejtjelezőnél a kulcsteret keresné végig támadó, aszimmetrikus kulcsú rejtjelezőnél pedig a mögöttes, algoritmikus nehéz problémát (RSA esetében az egészszám-faktorizációs problémát) támadhatná. A kvantumszámítógépek hihetetlenül nagy számítási kapacitása a jelenleg működő rendszereinket pillanatok alatt feltörné. Emiatt egy fontos kriptográfiai kutatási irány az, hogy a számításokomplexitás-alapú építőelemeket információelméleti biztonságú elemekkel tudjuk helyettesíteni. A *one time pad* rejtjelező ugyan ilyen, de ezt az előnyét a közismert kulcsgondozási problémája miatt jelenlegi infokommunikációs rendszereink nem tudják kihasználni.

**Hálózati kódolás**

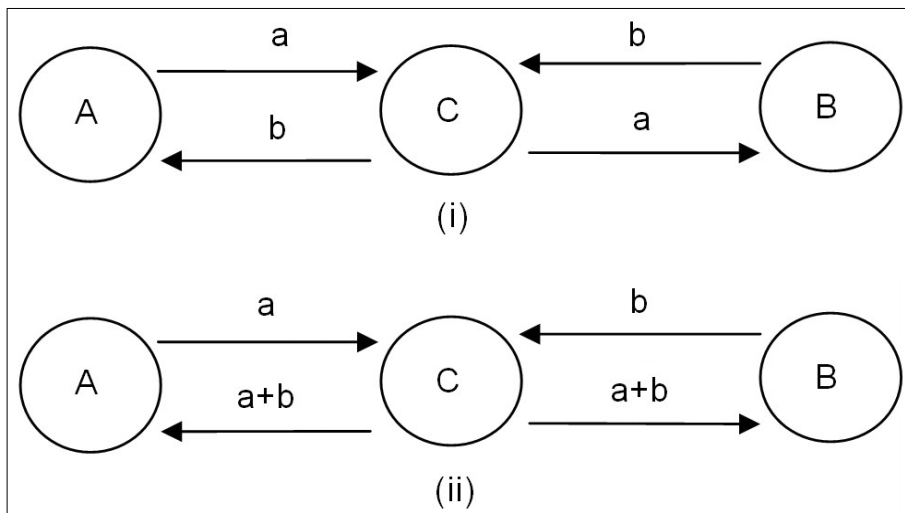
A hálózati kódolás új évezredünkben született nagy jelentőségű infokommunikációs innováció. Az információelmélet fejlődésének legutóbbi jelentős lépése, ahol

a kiindulást a Shannon-diszciplína indító elmélete jelenti, – ami a pont-pont kommunikáció információelméleti alapjainak lerakását jelentette immár 60 évvel ezelőtt –, míg a második lépcsőfok a 60-as évek végétől a és a 80-es évek közepéig tartott, amelynek elméleti középpontját kis/speciális hálózatok kapacitásának, a vizszo-csatolásos, illetve interferenciás csatornák vizsgálata képezte. A 70-es évek közepétől az ezredfordulóig a gyakorlat számára is izgalmas többhozzáférése-s csatornák, mint a véletlen elérésű csomagkommunikációs csatornák illetve kódosztásos többszörös hozzáférésű (CDMA) csatornák elmélete és gyakorlata virágzott [11-14]. 2000-ben fedezték fel a hálózati kódolást [15].

A hálózati kódolásnak talán a legegyszerűbb példáját mutatja az 1. ábra. A és B vezeték nélküli kommunikációs csomópontok C átjátszó felhasználásával szeretnék a illetve b bináris üzeneteiket cserélni. Ezt nyilván megtehetik az (i) verzió szerinti négy üzenetküldéssel, de megtehetik három küldéssel is a (ii) verzió szerint, ahol először A illetve B elküldi C-nek üzenetét, majd C XOR összeadja a két üzenetet (a+b) és broadcast módon egy lépésben elküldi A-nak és B-nek. A hálózati kódolás lényege tehát az, hogy a hálózat elemei képesek a vett csomagokat (lineárisan) kombinálni és a kombinációt továbbítani.

Egyszerűen látható, hogy ezzel a kódolással meghaladhatjuk a szokásos tárolj-s-továbbíts kommunikációs algoritmus hatékonyságát: tudniillik triviális kombináció a nem kombinálás. Az elv átvihető nembináris esetre, amikor megfelelő Galois-test feletti lineáris kombinációt végzünk. Felmerül a kérdés: míg a fenti példabeli kis hálózatnál kézenfekvő volt (legalábbis a hálózati kódolás gondolatának megismerése után) a kódolás módja; vajon egy nagyobb, általános hálózatban hogyan találjuk meg a legjobb kombinációkat? Szerencsére az derült ki, hogy véletlenül, (s hálózati csomópontként függetlenül választott) kombinációs együtthatókkal az optimalizálttal lényegében megegyező hatékonyságot érhetünk el.

Ha egy forrás (vagy források egy halmaza) üzenetek folyamát kívánja a hálózaton továbbítani, akkor a folyamat azonos számú üzenetet tartalmazó egységekre (generation) bontja (bontják), és a hálózati kódolás a kombinációkat csak a megfelelő (egy-idejű) egységek üzeneteiből képezi a hálózat. Egy-egy nyelőhöz az egységek méretének megfelelő számú, lineárisan független kombinációnak (innovatív üzenet) kell megérkeznie ahhoz, hogy rekonstruálhatók legyenek az egység üzenetei.



1. ábra  
A hálózati kódolás szemléltetése



A hálózati kódolás főbb előnyei között találjuk többek között, hogy alkalmazásával javíthatjuk a hálózat információátviteli képességét (throughput), hálózati elemek (csomópontok, linkek) kiesése elleni robusztusságát, energiakritikus (például elemekről táplált) csomópontok esetén az üzenetadások számát csökkenthetjük.

A továbbiakban a hálózati kódolás potenciális alkalmazási lehetőségeit tekintjük át röviden. Az alkalmazási rétegben találjuk a legtöbb javasolt hálózati kódolási alkalmazást: előnye, hogy nem kell a létező (és adott hálózatban működő) routing- és közeghozzáférési protokollon változtatni, csak az üzenetforrás és a nyelők csomópontok szoftverében kell csak a megfelelő bővítést elvégezni a hálózati kódolás kapcsán. Tipikus eset az overlay hálózati topológiák esete, mint például P2P fájlelosztó rendszerek.

A szállítási rétegben működő hálózati kódolás esetén egy vevő csomópont nem egy konkrét üzenetre küld vissza ACK-t, hanem azzal kapcsolatban küld vissza információt, hogy milyen kombinációk lennének számára innovatívak. A forráscsomópont a nyelőkől beérkező igények alapján olyan kombinációt küld, ami a legtöbb innovatív információt jelenti a nyelők teljes halmaza számára.

A hálózati rétegben a topológiafelderítés – a szokásosan is elárasztásos – fázisában előnyös a hálózati kódolás. Az adatkapcsolati rétegbeli hálózati kódolás alkalmazásra kiváló példa az opportunist hálózati kódolás ötlete vezeték nélküli hálózatokban [16], amelyben a hálózati csomópontok promiscuous módban követik a rádiós környezetükbeni kommunikációkat és ennek felhasználásával optimalizálják a hálózati kódolás lépésüket. A fizikai réteg szintjén az analóg hálózati kódolás született meg szintén vezeték nélküli esetre: például az 1. ábra topológiáját tekintve a C átjátszó veszi a levegőben összeadódo jeleket, majd felerősítve visszasugározza azt.

A hálózati kódolás biztonsági vonzatát illetően, az úgynevezett pollution támadással szembeni hátrányos érzékenysége kiemelendő. Ez azt jelenti, hogy miután a hálózati kódolás önmagában nem ellenőrzi a kombinálható csomagok sértetlenségét, elég, ha egy támadott csomópont illegálisan megváltoztatja a csomagtartalmat, akkor annak a hatása a kombinálások miatt szétterjed a hálózatban. A támadott csomagok detekciójával, majd eldobásával semlegesíteni lehet ezt a támadást. Ehhez – legalábbis elvileg – hálózati kódoláshoz illeszkedő kriptográfiai technika alkalmazható (MAC, digitális aláírás), illetve hiteles külön csatornák esetén hash-technikák. Erőforrásszegény hálózati elemek (például szenzorok) esetén – tipikusan – erőforrásigényes masszív kriptográfiai megoldások nem alkalmazhatók. A feladat megoldására ez esetben javasol algoritmust [17].

Összességében elmondható, hogy a hálózati kódolás elmélete és gyakorlata igen dinamikusan fejlődik, s ahogy fentebb is érzékeltettük izgalmas alkalmazási lehetőségei vannak, de még nyitott a kérdés, hogy mikorra lesz a hálózati kódolás mindenütt jelenlevő hálózati protokoll opció.

## 5. Összegzés

A kommunikációs hálózatok a modern információs társadalom alapvető eszközei, ezért fontos, hogy mindig megbízhatóan működjenek. A megbízható működés magában foglalja a szándékos támadásoknak való ellenállást, azaz a biztonságot is. Átfogó hálózatbiztonsági összefoglaló helyett ebben a cikkben néhány kiemelt témával foglalkoztunk, melyek kiválasztását a szerzők kutatási érdeklődési területei befolyásolták. Először az Internet aktuális biztonsági problémáit tárgyaltuk, majd bemutatunk néhány jövőbemutató kutatási irányt a hagyományos értelemben vett internetbiztonság területén. Ezután példákon keresztül mutattuk be a beágyazott rendszerekkel kapcsolatos adatbiztonsági (és adatvédelmi) problémákat. Végül áttekintést adtunk a kriptográfiai kódolási technikák helyzetéről és bemutattuk a hálózati kódolást, ami egy új, ígéretes kutatási terület.

Az itt felvázolt területek és a hálózatbiztonság itt be nem mutatott területei is számos kihívást tartalmaznak még az adatbiztonsági szakemberek és a kutatók számára. Mivel a kommunikációs hálózatok eddigi történe során egyértelművé vált, hogy a biztonságot, mint tervezési kritériumot nem lehet figyelmen kívül hagyni, ezért ezen kihívásoknak való megfelelés a jövő kommunikációs hálózatainak tervezése során kiemelt fontosságú feladat.

### A szerzőkről



**BENCSÁTH BOLDIZSÁR** 1976-ban született Budapesten. 2000-ben informatikus-mérnök oklevelet szerzett a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi egyetemen, 2001-ben pedig közgazdász diplomát a Budapesti Közgazdasági és Államigazgatási Egyetemen. 2000-től a BME Híradástechnikai Tanszékén a CrySyS Adat- és rendszerbiztonsági laboratóriumban kezdte meg Ph.D. tanulmányait, melynek ma is tagja. Tudományos érdeklődési területe főként az Internet-közei rendszerek gyakorlati biztonsági problémái.



**BUTTYÁN LEVENTE** 1970-ben született Salgótarjánban. 1995-ben informatikus-mérnöki oklevelet szerzett a Budapesti Műszaki Egyetemen, majd 2002-ben doktori (Ph.D.) fokozatot kapott az EPFL-től (École Polytechnique Fédérale de Lausanne). 2003 januárjában csatlakozott a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Híradástechnikai tanszékéhez, ahol jelenleg docensi pozíciót tölt be és a CrySyS Adat- és rendszerbiztonsági laboratórium tagja. Tudományos érdeklődési területe a vezeték nélküli beágyazott rendszerek biztonsága, különösen a vezeték nélküli szenzorhálózatok, a gépjármű-kommunikáció, az RFID rendszerek, a vezeték nélküli mesh hálózatok és a késleltetéstűrő ad hoc hálózatok biztonsága. Ezekben a területeken számos hazai és nemzetközi kutatási projekt témafelelője volt a Műegyetemen (UbiSec&Sens, WSAN4CIP, SeVeCom, EU-MESH).



**VAJDA ISTVÁN** 1953-ban született Nagyatádon. 1977-ben szerzett villamosmérnöki, majd 1979-ben híradástechnikai szakmérnöki oklevelet a Budapesti Műszaki Egyetemen. 1984-ben a műszaki tudományok kandidátusa, 1997-ben a műszaki tudományok doktora címet szerezte meg. Jelenleg a BME Híradástechnikai Tanszékének egyetemi tanára, valamint a CrySyS Adat- és rendszerbiztonsági laboratórium vezetője. Tudományos érdeklődési területe a kódelmélet valamint a kriptográfiai alapú adatbiztonság.

## Irodalom

- [1] MessageLabs Intelligence Reports, Symantec, July 2009.  
[http://www.messagelabs.com/mlireport/MLIReport\\_2009.07\\_July\\_FINAL.pdf](http://www.messagelabs.com/mlireport/MLIReport_2009.07_July_FINAL.pdf)
- [2] Rajab, M.A., Zarfoss, J., Monroe, F., Terzis, A., My botnet is bigger than yours (maybe, better than yours): Why size estimates remain challenging, Proceedings of 1st Workshop on Hot Topics in Understanding Botnets (HotBots'07), 2007.
- [3] Global Environment for Network Innovations (GENI), <http://www.geni.net/>
- [4] NFS NeTS FIND Initiative, <http://www.nets-find.net/>
- [5] Seventh Framework Program, <http://cordis-europa.eu/fp7/>  
<http://www.future-internet.eu/activities/fp7-projects.html>
- [6] The HoneyNet project, <http://www.honeynet.org/>
- [7] DEpendability and Security by Enhanced REConfigurability (DESEREC), FP7 Project, <http://www.deserec.eu/>
- [8] L. Buttyán, Ta Vinh Thong, Security API analysis with the spi-calculus, Híradástechnika, Vol. LXIII., January 2008.
- [9] Buttyán L., Vajda I., Kriptográfia és alkalmazásai, Typotex Kiadó, Budapest, 2004.
- [10] Ács, G., Buttyán, L., Vajda, I., „Provably secure on-demand source routing in mobile ad hoc networks”, IEEE Transactions on Mobile Computing, Vol. 5, No.11., 2006, pp.1533–1546.
- [11] Györfi, L., Vajda, I., „Constructions of Protocol Sequences for Multiple-access Collision Channel Without Feedback”, IEEE Transactions on Information Theory, Vol. IT-39, No. 5., 1993, pp.1762–1765.
- [12] Vajda, I., „Code Sequences for Frequency-hopping Multiple-access Systems”, IEEE Transactions on Communications”, Vol. COM-43, No.10., 1995, pp.2553–2554.
- [13] Györfi, L., Vajda, I., „Analysis of protocol sequences for slow frequency hopping”, Wireless Networks, Vol. 4, No. 5., 1998, pp.411–418.
- [14] Györfi L., Györi S., Vajda I., Információ- és kódelmélet, Typotex Kiadó, Budapest, 2000.
- [15] Ahlswede, R., et.al, „Network information flow.” IEEE Transactions on Information Theory, Vol. 46, No. 4., July 2000, pp.1204–1216.
- [16] Katti, S., et al., “XORs in the Air: Practical Wireless Network Coding”, SIGCOMM, Pisa, ACM, September 2006.
- [17] Czap, L., Buttyán, L., Vajda, I., „Securing Coding Based Distributed Storage in Wireless Sensor Networks”, In: The 5th IEEE International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Networks. Atlanta, GA, USA, 29. Sept.-02 Oct. 2008, pp.1–7.
- [18] L. Buttyán, J-P. Hubaux, Security and Cooperation in Wireless Networks, Cambridge University Press, 2008.
- [19] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, Wireless sensor networks: a survey. Computer Networks, No. 38, 2002, pp.393–422.
- [20] J. Lopez, J. Zhou (eds.), Wireless Sensor Network Security, IOS Press, 2008.

# Beszélgető gépek?! – A beszédtechnológia jelene és jövője Magyarországon

NÉMETH GÉZA, OLASZY GÁBOR, VICSÍ KLÁRA, FEGYÓ TIBOR

BME Távközlési és Médiainformatikai Tanszék  
{nemeth, olasz, vicsi, fegyo}@tmit.bme.hu

Kulcsszavak: beszédfelismerés, beszédtechnológia, beszédkeltés, dialógus-rendszerek

**A beszédtechnológia a világ sok országához hasonlóan hazánkban is több évtizede intenzíven kutatott terület. A jelen cikkben röviden áttekintjük a témakörrel kapcsolatos kihívásokat, eredményeket és felvillantjuk a technológia fejlesztésének és alkalmazásának jövőképét.**

## 1. Bevezetés – a beszédtechnológia kihívásai

A beszéd az emberek közötti kommunikáció legtermészetesebb és leggyakrabban használt eszköze. A beszéd alapvetően biológiai rendszerek között tölti be az információtovábbítás feladatát (1. ábra).

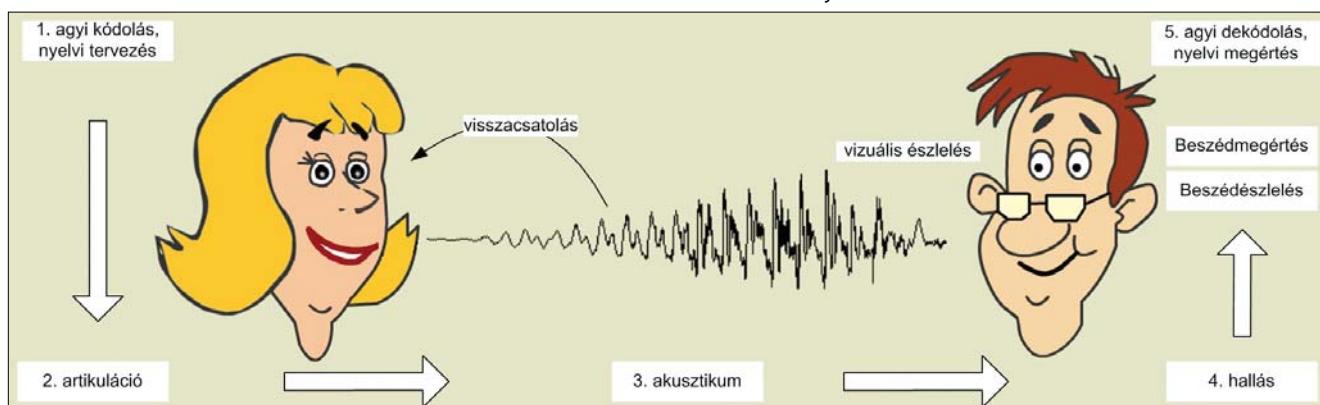
Néhány évtizede indult fejlődésnek a beszédtechnológia tudománya, melynek eredményeit felhasználva a természetes beszédlánc bizonyos elemeit gépekkel próbálják kiváltani (beszédfelismerés, beszéd-szintézis, ember-gép dialógus, beszédből való diagnózis, beszéd-tanítás, gépi hangú tolmácsolás két beszélő fél között stb.).

Az ábrán látható természetes beszédláncból a legtöbb gyakorlati alkalmazásban a mérnök az akusztikus jelre támaszkodik, a továbbiakban elsősorban ezzel foglalkozunk. E mellett azonban ne feledkezzünk meg arról, hogy a beszéd akusztikai formája mögött minden esetben ott áll a nyelv. A nyelvi információ határozza meg a kimondott közlés számos akusztikai építőelemét. Ahhoz tehát, hogy a nyelv- és beszédtechnológia sikeresen tudjon gépi formában is működni, a gépeknek nem csak az akusztikus forma feldolgozását kell megtanítani, hanem ehhez hozzá kell csatolni a mély nyelvi tudást is, és e két komponens együtteséből alakítható ki a természetes kommunikációhoz hasonló szintű gépi eredmény.

A beszédtechnológia gyakorlati felhasználásához a filmesek adtak jó előképet. Az 1968-ban bemutatott 2001: Űrodüsszeia [25] filmben a HAL 9000 beszélő számítógép szerepel. A Csillagok háborúja [1] 1977-ben megjelent részében a robotok értelmezik, tárolják és sokféleképpen megjelenítik a beszédkommunikáció során szerzett és közvetített információt. A fenti művészi víziók sokak számára keltették azt a benyomást, hogy mindez rövid időn belül megvalósítható. Azonban a csillagközi űrhajóhoz hasonlóan a beszélő és gondolkodó robotok megvalósítása is várat magára. A hatalmas elvárások és a jelentős, de az elvárásokhoz képest korlátozott technológiai fejlődés, valamint a rövidtávú piaci sikerekre vonatkozó elvárások miatt a beszédtechnológia fejlődésében egyfajta ciklikusság figyelhető meg, amit a 2. ábrán szemléltetünk a technológia piacérettsége (maturity) és a vele szemben támasztott elvárások (visibility) dimenziói között.

A Gartner cég információs és kommunikációs kulcs-technológiákra vonatkozó néhány 2002-es és 2006-os előrejelzését láthatjuk itt összevonva a beszédtechnológiához kapcsolódó területeken. Például a természetes nyelvű keresést (natural language search) az elemzők 2002-ben 2-5 éven belül elérhetőnek látták, ami 2006-ra 5-10 éven belüli időszakra változott. A beszédfelismerés általános irodai alkalmazására (speech recognition on

1. ábra A beszédkommunikáció folyamata



the desktop) vonatkozóan is hasonló tendenciákat figyelhetünk meg. Egyedül a hívásközpontokban alkalmazandó beszédfelismerési technológia (speech recognition in call centers) került a 2002-es 2-5 éves kategóriából a 2 éven belül piacérettek közé 2006-ra. A szövegfelolvasó rendszerek pedig 2002-ben és 2006-ban is a közeljövő ígéreteként (2 éven belüli felhasználás) szerepeltek. Fontos megjegyezni, hogy ezek az előrejelzések alapvetően a legfejlettebb, angol nyelvű amerikai piacra vonatkoznak, ahol már széles körben automatizálják például a telefonos ügyfélszolgálati rendszereket. A valós helyzetértékelés ezért a világon mindenhol, de Európában és azon belül hazánkban is folyamatos kihívást jelent.

## 2. A beszédtechnológia hazai és nemzetközi eredményei

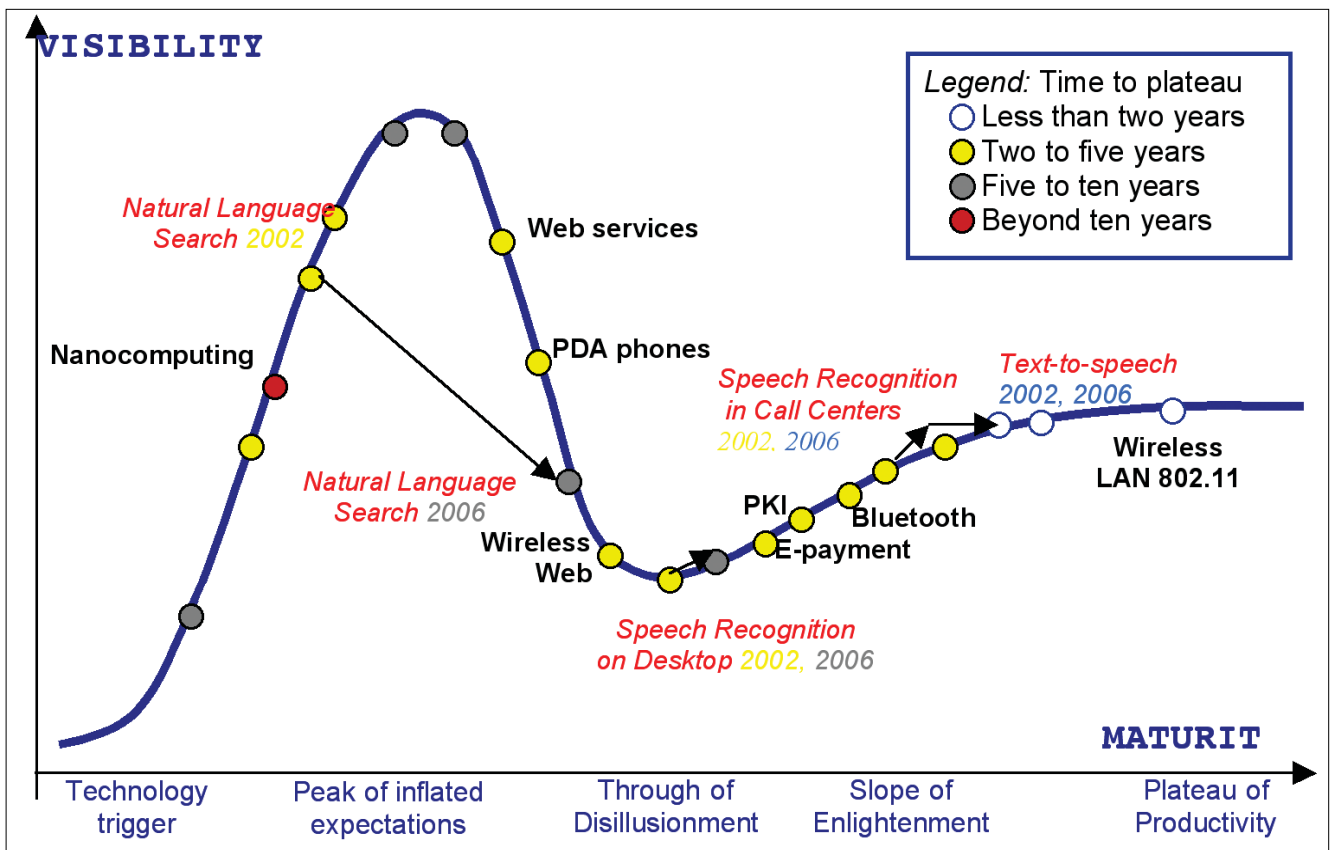
Érdekes mind hazai mind nemzetközi vonatkozásban áttekinteni, hogy honnan indultak és hova jutottak az eddigi fejlesztések. Itt megint hangsúlyozzuk, hogy a sikeres beszédtechnológiai fejlesztésekhez alapvetően két területet kell fejleszteni, a nyelvi elemzést, valamint az akusztikai jel feldolgozását.

A **gépi beszédeltetés** területén már a 80-as évek elején eljutottak oda a fejlesztők, hogy 1984-ben az Apple operációs rendszerébe beépült egy automatikus angol szövegfelolvasó (TTS) technológia [5]. Erre a lépésre a Windows-rendszerek angol változataiban a 2000-es években került sor.

A hazai fejlesztések a világ élvonalába tartoztak már a 80-as évek elején is, amikor az első általános célú, magyar nyelvű gépi felolvasó rendszer, a Hungarovox [4] megszületett az MTA Nyelvtudományi Intézetében. Azóta mind a nyelvi elemzési eredmények, mind az akusztikus jel feldolgozása sokat fejlődött. Az utóbbit illetően a technológiai fejlődésben már a negyedik generációnál tartunk. Az első rendszerek az emberi artikulációs folyamatot idővariáns szűrőssal és egyszerű gerjesztő jellel modellező, úgynevezett formánszintézis elvén alapultak és néhány kilobájt nagyságrendű kódolt adattárra épültek. Ezzel a technológiával készült a Hungarovox rendszer is. Ez erősen robotos hangon, lassan, ritmika és hangsúlyozás nélkül beszélt, de jól meg lehetett érteni. A BME TMIT-en 12 nyelvre fejlesztették ki az ezen az elven alapuló MultiVox rendszert [12]. A Multivox német változatának gyártási jogát megvásárolta egy osztrák és egy német cég. A Recognita optikai karakterfelismerő rendszer fejlesztőivel összefogva már 1987-ben magyar nyelvű könyvfelolvasó mintarendszert tudtunk demonstrálni. Az első, Commodore 64-hez csatlakoztatható, kereskedelmi forgalomban is kapható magyar beszéd szintetizátort is ezen a tanszéken fejlesztették [14].

A következő, második generációs megoldásokban (a 90-es évek elejétől) emberi hangból vágta ki hullámforma-részleteket (kettős, majd később hármás hangkapcsolatokat) majd a szintetizálандó beszédjelet ezek összekapcsolásával állították elő. Itt lépett be a beszéd szintézisbe a digitális jelfeldolgozás. Az összefűzött elemekből felépített hullámformára ráültették a prozódiai módosítá-

2. ábra A Gartner Hype Cycle kiegészített változata [Gartner Hype Cycle 2002, 2006]



sokat (dallam, hangsúly, ritmus) egy prozódiai modell alapján. Így az adott bemondóra emlékeztető hangminőséget lehetett elérni ezer-tízezer adatelem, megabájtos nagyságrendű tárigénye mellett. Tanszékünkön a ProfiVox rendszer tartozik ebbe a kategóriába [13]. Ennek segítségével jött létre már 1999-ben a MailMondó lakossági szolgáltatás, amellyel telefonon keresztül elektronikus leveleket lehetett felolvasatni [6]. Ilyen technológián alapul többek között a vezetékes telefonon magyar nyelvű SMS-eket felolvasó alkalmazás is, továbbá a mobil készülékekbe beépíthető SMS mondó [10]. A látássérült embereket támogató képernyőfelolvasó programban (Jaws for Windows) is a ProfiVox beszél.

A harmadik generációs (korpuszalapú) technológia fejlesztése a 90-es évek közepén kezdődött el. Ebben nincs szétválasztva a nyers beszédjel és a prozódia megvalósítása. A lényeg, hogy egy kiválasztott bemondó hangját tárolják több órás felolvasásból. Ez a beszédatadtbázis képezi a szintézishez felhasználható beszédjelállományt. Így jó tervezés esetén esély van arra, hogy minden hangkapcsolat többféle prozódiai formában is rendelkezésre álljon. Ezeknek a megoldásoknak a tárigénye a gigabájtos nagyságrendbe esik. Ezt a technológiát alkalmazza a BME TMIT név- és címfelolvasó célalkalmazása, ami már két mobilszolgáltatónál is lehetővé tette a szám szerinti tudakozó szolgáltatás automatizálását [8]. Kötött témakörökben ez a technológia az emberhez közelítő minőséget érhet el. A BME TMIT több területre is készített ilyen szövegfelolvasókat. Nyilvánosan hallgatható az időjárásjelentést felolvasó automata ([www.metnet.hu](http://www.metnet.hu)), napi alkalmazásban működik a mobiltelefonok árlistájának automatikus felolvasása egy mobil szolgáltatónál [11]. A TMIT legújabb mintarendszere egy vasútállomási tájékoztató, amelynek kísérleti változata Sárospatak állomáson hallgatható.

A negyedik generációs technológia a gépi szövegfelolvasásban a rejtett Markov-modell (HMM, Hidden Markov Model) alapú megoldás. Ez gyökeresen eltér az eddigi elvektől és azt mondhatjuk, hogy a gépi beszédfelismerésből nőtte ki magát. Az akusztikai alapot itt több beszélő több órás hangfelvételéből kialakított beszédatadtbázisok jelentik, amelyeket a betanításhoz használnak (a tárigény terabájt is lehet). Ezekből a beszédatadtbázisokból statisztikai módszerekkel származtatják a parametrikus beszédkódoló vezérlő adatait, amelyekből előáll a szintetizált hang. Az eljárás lényege, hogy a betanításhoz nagy beszédatadtbázisra van szükség, a szintézishez származtatott paraméter-adatbázis azonban kicsinek mondható (akár néhány megabájtra is csökkenhet). Ez széleskörű felhasználási lehetőséget jelent. Ezeknek a rendszereknek a beszédminősége nagyon jó lehet, közelíti a harmadik generációs szintetizátorok hangját, előnyük azokkal szemben az, hogy kötetlen szöveg felolvasására alkalmasak. Ennek a technológiának az alkalmazásba vételére is biztató kísérleteket folytatunk [16].

Fontos azonban figyelembe venni, hogy noha újabb és újabb megoldásokat dolgozunk ki, az egyes technológiai generációk életképessége ezzel nem szűnik meg, mindegyik korábbi technológiának is van valamilyen elő-

nye, ami egyes alkalmazásoknál kritikus lehet. Például a formáns- (vagy más parametrikus) szintézis esetében könnyedén lehet suttagó hangot előállítani és viszonylag egyszerűen gyorsítható, illetve lassítható az előállított beszéd, ami a korpusz-alapú vagy a HMM megoldásoknál csak nehezen valósítható meg.

**A gépi beszédfelismerés** a 20. század közepe óta intenzíven kutatott terület a világban. A kezdeti néhány szót felismerő mintaalapú rendszerektől [15] mára eljutottunk a nagyszótáros folyamatos felismerő technológiákig. Az első Apple operációs rendszerbe épített felismerési technológiát 1993-ban jelentették be [5].

A mai, gyakorlatban alkalmazott beszédfelismerő rendszerek rejtett Markov-modelleken alapulnak, amely technológia alapjait a 70-es években az IBM kutatói dolgozták ki. Eltelt azóta 40 év és mégsem találkozunk a mindennapjainkban beszédet tökéletesen értő „mindentudó” gépekkel, de szűkítve a témakört, számos részterületen már a gyakorlatban is használható megoldások születtek.

A mai beszédfelismerő rendszereknek az általános szoftverkomponenseken túl alapvetően két nyelv- és alkalmazásfüggő komponense van, az akusztikai és a nyelvi modell, mindkettőt az adott alkalmazási környezetnek megfelelően kell betanítani.

Az akusztikai modell tipikusan az egyes beszédhangokat reprezentálja sok embertől vett hangminta alapján. A hangmintákat olyan akusztikai környezetben kell rögzíteni, ahol a későbbi felhasználás várható, így megkülönböztetünk például telefonos és szélessávú modelleket. Az általános akusztikus modell adaptálható egy-egy beszélő hangjára, ezzel javítható a felismerés pontossága anélkül, hogy nagy mennyiségű tanító mintát gyűjtöttünk volna előzetesen az adott felhasználótól. Az akusztikus modellek önmagukban sajnos nem elég pontosak, a beszédfelismerés csak ezzel a komponenssel ma még nem megoldható, ezért szükség van egy következő, a nyelvi modellek szintjére. Ez nem meglepő, ha végiggondoljuk, hogy az emberi beszédértés is hasonlóan többszintű.

A nyelvi modellek segítik a felismerőt abban, hogy az akusztikai szinten kapott eredmény (hangsorozat) hogyan illeszthető a várható nyelvi tartalomhoz. Tulajdonképpen az egyes beszédhangokat kötik az alkalmazásnak megfelelően egy komplex hálózatba. Egyszerűbb esetben, például parancsszó-felismerés esetén, a nyelvi modell egy egyszerű szótárat jelent, de folyamatos felismerési feladat esetén már a szavak egymás utániségének nyelvi lehetőségét is meg kell határozni. Folyamatos beszédfelismeréshez a gyakorlatban nagy korpuszokon tanított statisztikai nyelvi modelleket alkalmaznak. A magyarhoz hasonló toldalékoló nyelvekben a szóalapú megoldások mellett a morféma-alapú megoldások is megjelentek, a különböző szóalakok nagy száma miatt. A nyelvi modell minden esetben tematikus, minél szűkebb a témakör, annál pontosabb felismerési eredmények várhatóak. Izolált szavas parancsszavak esetén nem ritka a 95% feletti pontosságú megoldás, míg spontán beszélgetésekben a 60%-os eredmény már nemzetközi összehasonlításban is jónak számít.

### Saját fejlesztési eredményeinkből

A BME-TMIT beszédfelismerési kutatócsoportjai részben ipari partnerekkel közösen, jelentős mértékű állami támogatás bevonásával számos, gyakorlatban is működő rendszer kidolgozásában és az ezekhez elengedhetetlen adatbázisok kialakításában vettek részt. Ezek bemutatása önmagában egy-egy cikket tenne ki, az alábbiakban csak vázoljuk a főbb eredményeinket.

- **MKBF 1.0** –

*beszédfelismerő motor és fejlesztői környezet*

A felismerő motor statisztikai, HMM alapú, valós idejű feldolgozást biztosít közepes (1-20 k) szótárméret mellett. Az eszköztár segítségével az akusztikai és nyelvi modellek is betaníthatóak, támogatja az N-gramm modelleket és a beszélő-adaptivitást [19,24].

- **Orvosi leletező**

A megvalósított rendszer támogatja szakorvosi vizsgálatok során a leletezések a közvetlen beszéd-szöveg átalakítást. [24].

- **Prozódiai osztályozás**

*és beszéd-folyam-szegmentálás*

A beszéd-szintézis mellett a gépi beszédfelismerés területén is előtérbe kerül a prozódiai-akusztikai beszédfeldolgozás. Elkészült egy hangsúly- és intonációs kontúrosztályozáson alapuló szó-, illetve frázishatár-detektáló alkalmazás magyar és finn nyelvekre, valamint a szemantikai feldolgozást segítő tagmondathatár-detektáló és modalitás felismerő modul [21].

- **Automatikus érzelemfelismerés beszéd alapján** [2,17]

- **Beszédadatbázisok**

A beszédfelismerő rendszerek tanításához nagy mennyiségű lejegyzett, ellenőrzött hanganyag van szükség. Az adatbázis előkészítése során statisztikai nyelvelemzési, nyelvi és fonetikai modellezési, korpusztervezési, adatbázis minősítési és validálási feladatokat kellett megoldani. Rögzítésre kerültek diagnosztikai célú beszédadatbázisok (gégészet, radiológia stb.), híryanagok (Broadcast News), valamint audiovizuális adatbázisok [22].

- **Többnyelvű beszédkorrektor (SPECO)**

Egy EU Copernicus program keretében elkészült a magyar nyelvű beszédkorrektor „Varázsdoboz” fantázia névvel. A rendszer audiovizuális módon nyújt segítséget beszédoktatáshoz és beszédterápiához beszéd- és hallássérültek részére, magyar, angol német, szlovén, svéd nyelveken. Az alkalmazást legújabb kutatási eredményeink alapján prozódiai modullal is bővítjük [18,20,23].

- **Kulcsszó-felismerő rendszer**

A kulcsszó közvetlen felismerése a megelőző és követő beszéd-részek felismerésének igénye nélkül. Mivel a mintaillesztési fázisba mind a koartikuláció, mind a magasabb szintű kiejtési szint be van vonva, a felismerési pontosság igen magas lehet. Ugyanakkor a nyelvi szint hiánya miatt ez a megközelítés nem alkalmas rövid kulcsszavak

felismerésére. Egy bemondásban csak egy kulcsszó megtalálása lehetséges. A technológia személynevek megtalálására és felismerésére kifejezetten alkalmas.

- **Nagyszótáros**

*folyamatos beszédfelismerő rendszer*

Beszélőfüggetlen, valós időben működő alkalmazás, amely kifejezetten hangzó híryanagok szöveges átalakítására alkalmas.

A megközelítés messzemenően figyelembe veszi a magyar nyelv morfológiáját, ami lehetővé teszi, hogy a hagyományos (szóalapú) technológiákhoz képest a felismerési hiba közel a felére csökkenjen. Beszélőadaptáció mellett a szófelismerési hibát 20% alá sikerült csökkenteni, adott, 1 órás teszt-anyagon, ami hasonló nyelvekhez viszonyítva élvonalbelinek mondható [7].

Noha a gépi beszéd-keltési és beszédfelismerési technológiák sokat fejlődtek, a „beszélgető gépek” – az úgynevezett **dialógus-rendszerek** – ma még csak erősen korlátozott körülmények között használhatók. Ennek oka az, hogy az emberi kommunikációban alapvető nyelvi, környezeti- és háttértudás modellezése még gyerekcipőben jár. Természetes dialógus esetén tudjuk, hogy hol és kivel beszélünk, korábbi tapasztalataink alapján pedig tisztában vagyunk vele, hogy a partnertől milyen témakörben, milyen beszédstílusra stb. számíthatunk. A mai beszédfelismerők többnyire például olyan alapvető információt sem közvetítenek, hogy milyen nemű az illető, vagy hogy milyen gyorsan beszél. A beszéd-szintetizátorok pedig nem tudnak stílust váltani, érzelmeket kifejezni, alkalmazkodni a másik partnerhez.

### Beszédalapú dialógus rendszerek

A fenti korlátokat tudatosan figyelembe véve működnek már hazánkban olyan beszédalapú dialógus-rendszerek, amelyeknél az ember beszélhet a géphez. Az ilyen rendszerek ma még csak akkor lehetnek sikeresek, ha kellően leszűkítjük a témakört és ha jelezzük az emberi felhasználó számára, hogy korlátozott intelligenciájú géppel beszél.

Egy ilyen hazai megoldásra példa a Gyógyszervonal ([www.gyogyszervonal.hu](http://www.gyogyszervonal.hu)) webes, wapos és telefonos információs rendszere [9], amely az Országos Gyógyszerészeti Intézet engedélyével forgalmazott gyógyszerek betegtájékoztató lapjának szövegét teszi többféle formában elérhetővé. A hangalapú dialógust a telefonos változatban valósítottuk meg (beszédfelismerő és szintetizátor dolgozik együtt). A rendszer telefonszáma: (06 1) 886 9490.

Az USA-ban már elterjedten használják azt a technológiát, amivel névbemondás alapján közvetlenül kapcsolható az ügyintéző, vagy a megfelelő osztály, a mellék bilentyűzése nélkül. Hasonló technológia hazánkban is elérhető [3], de egyelőre csak néhány önkormányzat és más kisebb szervezet használja, pedig a technológia igazi előnyeit inkább a nagy szervezetek (bankok, biztosítók, minisztériumok stb.) élvezhetnék.

### 3. A beszédtechnológia fejlesztésének és alkalmazásának jövőképe

A *beszédkeltés* témakörben a korpusz-alapú megközelítés minősége mellett a HMM rendszerek nagymértékben automatizálható technológiájának az alkalmazása az egyik fókuszban levő terület. Az előállított beszéd természetességének a növelése is egyre erősebb hangsúlyt kap. Ennek következtében az általános, minden témakör lefedését megcélzó megoldások mellett egyre erősebben megjelennek az egy kötött témakört kiemelkedő minőségben előállítani képes rendszerek.

A korábban említett témakörökön túl hazánkban ígéretes fejlődést lehetne már ma is elérni a menetrendek jó minőségű gépi, hang alapú hozzáférése (BKV, Volán, helyi közlekedés), a banki, biztosítói, állami és önkormányzati rendszerek (földhivatal, cégnyilvántartás stb.) adatainak telefonos hozzáférése (gyors, hatásos és időfüggetlen).

A *beszédfelismerés* területén egyrészt a jelenleg is alkalmazott technológiák segítségével számos speciális területen lehet hatékony alkalmazást készíteni, azonban mivel nem dobozos késztermékről van szó, minden egyes megoldás komoly előkészítést és előfeldolgozást igényel.

A szélesebb körű elterjedéshez azonban néhány területen számottevő előrelépés szükséges:

- A felismerés hatékonyságát legjobban a zaj korlátozza, ezért a zajrobosztus modellek és zajrezisztens előfeldolgozó eljárások kutatására nagy energiát kell fordítani. Ez a feladat nyelvfüggetlen, így egy adott nyelvre kapott eredmények általánosíthatók.
- Másik nagy kutatási terület a társalgási beszéd felismerése. Ha áttekintjük az elmúlt évtizedek rendszereit, láthatjuk, hogy az akusztikai és nyelvi szempontból is jól definiált olvasott beszéd-től haladunk a tervezett, majd a spontán beszédre át a spontán társalgási beszédig. Ez hasonlóan laza akusztikai és nyelvi szempontból is, mint például az internetes fórumok nyelvezete. A természetes nyelvű kommunikáció megértése miatt fontos a terület intenzív kutatása.
- A magyar nyelv és a hozzá hasonló nyelvek esetében a szóalakok sokszínűsége miatt a nyelvi modellek mérete hamar túllép a mai számítógépek korlátain, ezért a mostaninál hatékonyabb modellezési technológiákat kell kidolgozni, amely a gazdag morfológiájú nyelveken (magyar, finn, török, arab stb.) is hatékony.

#### Beszédtechnológia a lakossági tájékoztatás szolgálatában

A magyar népesség közel 50%-a nem internetfelhasználó, tehát a telefonos csatornán keresztüli interaktív, beszéddel megvalósított információszolgáltatás belátható ideig nem kerülhető meg. Ennek automatikus, költséghatékony megoldását a beszédtechnológia adja, amely

szintén egy hatékony lehetőség az információs szakadék áthidalására. A „digitális közmű” fogalmát talán érdemes lenne az „információs közmű” (az információhoz való hozzáférési csatorna) fogalmára is kiterjeszteni.

#### Köszönetnyilvánítás

A szerzők ezúton is köszönetet mondanak a BME TMIT beszédkutatással foglalkozó munkatársainak: Bartalis Mátyásnak, Béres Andrásnak, Bóhm Tamásnak, Csapó Tamásnak, Gordos Gézának, Juhász Krisztiánnak, Kiss Gézának, Laczkó Klárának, Mihajlik Péternek, Szaszák Györgynek, Tóth Bálintnak, Tüske Zoltánnak, Viktóriusz Ákosnak és Zainkó Csabának, hogy a cikkben bemutatott eredményekhez munkájukkal hozzájárultak.

A cikkben ismertetett kutatásokat többek között a GVOP, NKFP, Jedlik és NTP programok támogatták.

#### A szerzőkről



**NÉMETH GÉZA** villamosmérnök, híradástechnikai szakmérnök, a BME Villamosmérnöki Kar Híradástechnikai Szakán végzett (1983), a BME-n doktorált (dr. univ – 1987, PhD – 1997). A BME TMIT Beszédtechnológiai Laboratórium vezetője. Kutatási területei: beszédtechnológia, szolgáltatás-automatizálás, többnyelvű beszéd- és multimodális információs rendszerek, mobil felhasználói felületek és alkalmazások.



**OLASZY GÁBOR** villamosmérnök, fonetikus, a BME Villamosmérnöki Kar Híradástechnikai Szakán végzett (1967), a BME-n doktorált (1985), a nyelvtudomány kandidátusa (1988), az MTA doktora (2003), habilitált a BME-n (2004). Kutatási területei: a beszéd akusztikai szerkezete, szegmentális és szupraszegmentális elemek kutatása, fonetikai modellezés, beszédtervezés, címkézési hibajavító algoritmusok tervezése, többnyelvű szöveg-beszéd átalakító, beszéd-szintetizáló rendszerek tervezése, hullámforma-szintézis fonetikai alapjainak kutatása, professzionális beszédkeltők tervezése, készítése, tesztelése.



**FEGYŐ TIBOR** műszaki informatikus, a BME Villamosmérnöki és Informatikai Kar Műszaki Informatika Szakán végzett (1997). Kutatási területei: a beszéd számítógépes felismerése, akusztikai és nyelvi modellezése, beszédfelismerés-alapú rendszerek tervezése és fejlesztése, valamint távközlési csatornák beszédminőségének mérése.



**VICSI KLÁRA** akusztikus, az ELTE TTK-n szerzett tanári oklevelet (1971), doktorált (1982), a fizikai tudomány kandidátusa (1992), az MTA doktora (2005), habilitált a BME-n (2007). Kutatási területei: beszéd-akusztika, gépi beszédfelismerés, beszédadatbázis-készítés és a pszichológiai akusztika. A fonetikai kutatások valamint beszédfelismerési munkák alapjául szolgáló magyar nyelvű beszédadatbázisok megteremtője. A magyar nyelvű gépi beszédfelismeréssel igen korán kezdett foglalkozni. A multimodális beszédoktató és -fejlesztő eljárások kidolgozásában nemzetközi projektet vezetett. Számos nemzetközi konferenciát, nyári egyetemet szervezett, vagy részt vett a szervezésében.



## Irodalom

- [1] Csillagok háborúja,  
[http://hu.wikipedia.org/wiki/„Egy\\_új\\_remény.”](http://hu.wikipedia.org/wiki/„Egy_új_remény.”)
- [2] European COST Action 2102 (Cross-Modal Analysis of Verbal and Nonverbal Communication)  
<http://www.cost2102.eu/joomla/>
- [3] Fegyó, T., Mihajlik, P., Szarvas, M., Tatai, P., Tatai, G., "Voxenter – Intelligent Voice Enabled Call Center for Hungarian", In: EUROSPEECH 2003 – INTERSPEECH 2003: 8th European Conference on Speech Communication and Technology, ISCA, Geneva, Svájc, pp.1905–1908.
- [4] Kiss G., Olasz G.,  
A Hungarovox magyar nyelvű, szótár nélküli, valós idejű párbeszédés beszédszintetizáló rendszer. Információ Elektronika, 1984/2., Budapest, pp.98–111.
- [5] MacInTalk,  
[http://en.wikipedia.org/wiki/PlainTalk#The\\_original\\_MacInTalk](http://en.wikipedia.org/wiki/PlainTalk#The_original_MacInTalk)
- [6] Németh G., Zainkó Cs., Fekete L.,  
„Statistikai elemzések felhasználása e-levél felolvasó kialakításában és továbbfejlesztésében”, Híradástechnika, Vol. LVI., 2001/1, pp.23–30.
- [7] Mihajlik, P., Tarján, B., Tüske, Z., Fegyó, T.,  
Investigation of Morph-based Speech Recognition Improvements across Speech Genres, Proceedings of the Interspeech 2009, Brighton, UK.
- [8] Németh, G., Zainkó, Cs., Kiss, G., Olasz, G., Fekete, L., Tóth, D.,  
Replacing a Human Agent by an Automatic Reverse Directory Service, Proceedings of 15th International Conference on Information System Development, Budapest, Hungary, Springer LNCS, 2006, pp.323–331.
- [9] Németh, G., Olasz, G., Bartalis, M., Kiss, G., Zainkó, Cs., Mihajlik, P.,  
Speech based Drug Information System for Aged and Visually Impaired Persons, Proceedings of Interspeech 2007, Antwerp, Belgium, pp.2533–2536.
- [10] Németh, G., Kiss, G., Zainkó Cs., Olasz G., Tóth, B.,  
Speech Generation in Mobile Phones, In: D. Gardner-Bonneau and H. Blanchard (eds.), Human Factors and Interactive Voice Response Systems, 2nd Edition, Springer, 2008, pp.163–191.
- [11] Németh, G., Zainkó, Cs., Bartalis, M., Olasz, G., Kiss, G.,  
„Human Voice or Prompt Generation? Can they Co-exist in an Application?”, Interspeech 2009, Brighton, UK.
- [12] G. Olasz, G. Gordos, G. Németh,  
The MULTIVOX multilingual text-to-speech converter, In: G. Bailly, C. Benoit and T. Sawallis (eds.), Talking machines: Theories, Models and Applications, Elsevier, 1992, pp.385–411.
- [13] Olasz, G., Németh G., Olasz, P., Kiss, G., Gordos, G.,  
„PROFIVOX – A Hungarian Professional TTS System for Telecommunications Applications”, International Journal of Speech Technology, Kluwer Academic Publishers, Vol. 3, Nr. 3/4, December 2000, pp.201–216.
- [14] Olasz G.,  
Elektronikus beszédelőállítás. Műszaki Kiadó, Budapest, 1989.
- [15] Shoebox  
[http://www-03.ibm.com/ibm/history/exhibits/specialprod1/specialprod1\\_7.html](http://www-03.ibm.com/ibm/history/exhibits/specialprod1/specialprod1_7.html)
- [16] Tóth, B., Németh, G.,  
Rejtett Markov-modell alapú mesterséges beszédeltés magyar nyelven, Híradástechnika, 2008, pp.2–6.
- [17] Tóth, Sz.L., Sztahó, D., Vicsi, K.,  
Speech Emotion Perception by Human and Machine. Proceedings of COST Action 2102 Int. Conference, Patras, Greece, 9-31 October 2007. Revised Papers in Verbal and Nonverbal Features of Human-Human and Human-Machine Interaction, Springer 2007, pp.213–224.
- [18] Vicsi, K., Roach, P., Öster, A., Kacic, Z., Barczikay, P., Tantos, A., Csatári, F., Bakcsi, Zs, Sfakianaki, A.,  
A multimedia, multilingual teaching and training system for children with speech disorders. Int. Journal of Speech Technology, Vol. 3, 2000. Kluwer Academic Publisher, pp.289–300.
- [19] Vicsi K, Velkei Sz.,  
Középszótáras, folyamatos beszéd felismerő rendszer fejlesztési tapasztalatai, III. Magyar Számítógépes Nyelvészeti Konferencia, Szeged, 2005, pp.348–359.
- [20] Vicsi, K.,  
Computer Assisted Pronunciation Teaching and Training Methods Based on the Dynamic Spectro-Temporal Characteristics of Speech. "Dynamics of speech production and perception", Eds.: Pierre Divenyi and Georg Meyer, IOS Press, Amsterdam, 2006., pp.283–307.
- [21] Vicsi K, Szaszák Gy.,  
Using Prosody for the Improvement of ASR: Sentence Modality Recognition, In: Interspeech 2008, Brisbane, Ausztrália 2008. <http://www.isca-speech.org/archive>
- [22] <http://alpha.tmit.bme.hu/speech/databases.php>
- [23] <http://rcs.hu/sc.htm>
- [24] <http://alpha.tmit.bme.hu/speech/research.php>
- [25] [http://alpha.tmit.bme.hu/speech/ikta\\_gastro.php](http://alpha.tmit.bme.hu/speech/ikta_gastro.php)
- [26] [http://hu.wikipedia.org/wiki/2001.\\_%C5%B0rodisszeia](http://hu.wikipedia.org/wiki/2001._%C5%B0rodisszeia)



# Elemzési és tervezési módszerek a műszaki akusztikában: igények, korlátok és lehetőségek

AUGUSZTINOVICZ FÜLÖP, FIALA PÉTER, FÜRJES ANDOR TAMÁS, GULYÁS KRISZTIÁN,  
MÁRKI FERENC, NAGY ATTILA BALÁZS, PFLIEGEL PÉTER

BME Híradástechnikai Tanszék  
{fulop, fiala, furjes, gulyas, marki, nagyab, pfliegel}@hit.bme.hu

*Kulcsszavak: akusztika, hangtechnika, tervezés, modellezés, zaj- és rezgésmérés, zaj- és rezgéscsökkentés*

**Cikkünk a híradástechnika egyik speciális részterületéről, a műszaki tudomány mellett több más diszciplína: a fizika, matematika, építészet, sőt a zenetudomány elemeit is magában foglaló akusztika témaköréről igyekszik áttekintést adni. Témánkat a műszaki akusztika fejlődését meghatározó elemzési technikák és eszközök, valamint az ezekre épülő tervezési módszerek szemszögéből tárgyaljuk. A szerteágazó téma részletes kifejtésére természetesen nem vállalkozhatunk, ezért egy rövid történeti áttekintés keretében felvázoljuk a műszaki akusztika néhány részterületének kialakulását és a fejlődést meghatározó körülményeket és tényezőket, majd a műszaki akusztika néhány ma használatos és a jövőben is ígéretesnek látszó eljárásának alapjait ismertetjük.**

## 1. Történeti áttekintés

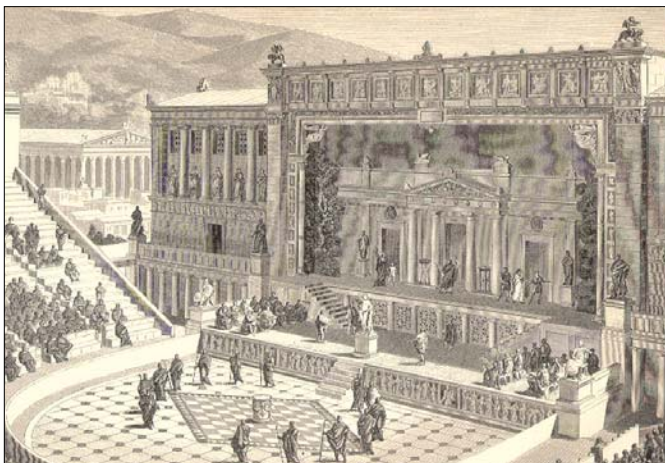
Mint a kultúra és tudomány annyi más területén, az akusztikában is joggal kezdhetjük a mondatot a közismert szófordulattal: „már a régi görögök is...” – hiszen már a szó is görög eredetű; *αχούειν* azt jelenti: hallani. Az ókori görög színházak kiváló hallhatósága a környezeti zajforrások hiányán túl elsősorban a hangterjedés és -visszaverődés jelenségeinek tudatos kihasználásán alapult. A görög színházépítők a jó akusztikát a tájolás, alakformálás, a játszó személyek és a játéktér környezetének összehangolt kialakításával érték el. Bár az ókori görög színházak egy része máig fennmaradt, azok mai, romos állapota miatt kevésbé ismert, hogy eredetileg a nyitott kúp alakú nézőteret (görögül: *theatron*) bezáró oldalon is állt kezdetben egy sátor (=szkéné), majd szilárd kőépítmény, amely a színházat és a színészeket kiszolgáló helyiségek elhelyezésén kívül a hangterelést is szol-

gálta (1. ábra). A hangellátást a szkéné előtti nagy, ke-rek sík felület, a táncosok számára készült *orkhesztra* is javította – a szó azt jelenti: ahol táncolnak –, sőt a színészek maszkjainak (=perszóna) is volt akusztikai funkciója a szájnyílás körül kialakított tölcészerű bemélyedés révén (2. ábra). (A görög színházak akusztikájáról részletesebben lásd [1].)

A görögök akusztikai tapasztalatait a rómaiak is kamatoztatták, de lényegesen nem fejlesztették tovább, a középkorban viszont többé-kevésbé feledésbe merült a hangok tudománya. A klasszikus fizika 18-19. századi kiteljesedése [4] hozta meg a hangtanban is az új eredményeket. A húrok, lemezek rezgései és önrezgései, a hullámterjedés és -visszaverődés tapasztalati jelenségei és törvényszerűségei Huyghens, Chladni és mások munkái alapján mindannyiunk számára ismerősek középiskolai tankönyveinkből, a hanghullámok tudományos leírását pedig olyan jelentős tudósok alkották meg,

1. ábra

Az athéni Dionüszosz-színház egy XIX. századi szerző feltételezése alapján  
(forrás: Pierers *Konversationslexikon*, Deutsche Verlagsgesellschaft, Stuttgart, 1891.) és napjainkban





2. ábra Tragikus és komikus színházi maszk  
Hadrianus császár villájának mozaikján

mint Euler, Lagrange és d'Alembert. A tudományos vizsgálatokon és felismeréseken alapuló, tudatos akusztikai tervezés ennek ellenére csak a 20. században vette kezdetét, elsősorban W.C. Sabine munkássága nyomán [5].

Sabine a Harvard egyetem fiatal fizikusaként 1895-ben kapott megbízást, hogy próbáljon megoldást keresni egy előadóterem problémájára, ahol a hallgatóság rendszeresen panaszkodott a nem megfelelő beszédérthetőségre. Orgonasíppokkal és zsebórával végzett kísérletei alapján, 1898-ban jutott el a modern teremakusztika tudományát megalapozó

$$T = 0,16 \frac{V}{A\alpha} \quad (1)$$

formulához, ami a terem  $V$  térfogatából és a benne elhelyezett  $A\alpha$  hangelnyelés mértékéből kiszámíthatóvá tette a  $T$  utózungési időt: azt az időtartamot, amennyi idő alatt a teremben felhalmozott hangenergia milliomodré-szére csökken. Eredményeit hamarosan a gyakorlatban is kamatoztathatta: az ő tervei alapján készült el az új Boston Music Hall, amit 1900. október 15-én avattak fel, és tervezője számára kiemelkedő sikert hozott. A *teremakusztika* témaköre ettől kezdve különböző intenzitású, de folyamatos fejlődést mutat napjainkig.

A *műszaki akusztika* fejlődésének fontos részterületei a telefóniához, később a rádiótechnikához és a hangrögzítéshez kötődtek. Amíg a beszédátvitelt célzó telefóniában ma is megelégszünk egy viszonylag keskeny sáv szélességgel és kielégítő beszédérthetőségi paraméterekkel, a műsorszórás – és különösen a hangrögzítés – a hanganyagok felvételét és visszajátszását végző eszközökkel, összefoglaló néven az *elektroakusztikai eszközökkel és rendszerekkel* szemben egyre magasabb követelményeket támaszt. A mind újabb digitális készülékek egyre magasabb minőségi igényeknek megfelelő elektroakusztikai átalakítók alkalmazását teszik – ten-nék – szükségessé, melyek kifejlesztése gondos akusztikai tervezés nélkül elképzelhetetlen.

A műszaki akusztika egyik legújabb ágát: a *zaj- és rezgés-csökkentést* az ipar – különösen a járműipar –, valamint a közlekedés 2. világháború utáni robbanássze-

rű fejlődése hívta életre [8]. A közúti és légi járművek száma napjainkban is folyamatosan növekszik, a nemzetközi szervezetek ezért egyre szigorúbb zajhatárértékeket írnak elő. A forgalom emelkedésével a közlekedési hálózat viszont gyakran nem tud lépést tartani: egy adott úthálózat (lakóterület) esetében a forgalomnagyság már nem növelhető, ezért újabb és újabb utakon (légitályosókon) jelenik meg a forgalom. Ennek eredményeként egyre nagyobb területeket terhel a továbbra is növekvő zaj és rezgés, amit a legkorszerűbb módszerekkel végzett járműipari fejlesztés és optimális közlekedéstervezés sem tud ellensúlyozni.

Végül itt kell megemlítenünk a lakóépületek minőségét jelentősen befolyásoló hangszigetelések témakörét, amivel az *épületakusztika* foglalkozik. A régi típusú téglalapú épületeket felváltó, vasbetonvázaz, paneles vagy könnyűszerkezetes épületekben összetett hang- és rezgésterjedési jelenségek lépnek fel, melyeket egymástól távoli épületrészek között is kialakulni képes, viszonylag kis csillapítású energiaátvitel (azaz a nem kielégítő hangszigetelés okozta áthallás) jellemez. A korszerű épületszerkezetekben minden egyes funkcióra külön szerkezeti elemek, illetve rétegek szolgálnak; az épületakusztikai tervezés célja ezek összehangolása és a hangenergia terjedésének lehetőség szerinti minimalizálása [6,7].

## 2. Az akusztikai tervezés alapjai

Az akusztikai rendszerekben lezajló folyamatok a hullámtani jelenségek csoportjába tartoznak, tehát alapjában véve hullámterjedési, -visszaverődési és -elhajlási jelenségeket kell leírunk, elemeznünk és a tervezés céljainak megfelelően befolyásolnunk. A nehézséget az okozza, hogy a gyakorlat szempontjából releváns – levegőben terjedő, és az emberi fül által érzékelhető – hanghullámok hullámhosszai (17 mm-17 m) összemérhetők a körülöttünk levő tárgyak jellemző méreteivel, és a hallástartomány relatív sáv szélessége igen nagy. (A 20 Hz-20 kHz közötti tartomány sáv szélességének a geometriai sáv-közép frekvenciájához viszonyított értéke 32, ami például egy AM-rádió relatív sáv szélességének még akkor is körülbelül kétszerese, ha a hosszú-, közép- és rövidhullámú sávokat együttesen tekintjük, nem is beszélve az FM-rádiók, a televíziókészülékek és a mobiltelefonok relatív sáv szélességéről.)

További bonyodalmakat jelent, hogy kevés akusztikai rendszer működésének pontos megértéséhez elegendő, ha kizárólag a levegőben terjedő hangokat vesszük figyelembe. Legyen szó akár mikrofonokról és hangszórókról, akár hangszerekről, belsőégésű motorokról vagy az utcán elhaladó villamos zajáról és rezgéséről, a léghangokon kívül mindig figyelembe kell vennünk a levegőben terjedő hanghullámok és a szilárd testekben kialakuló, keletkező és terjedő rezgések közötti kölcsönhatásokat is. Az akusztikai jelenségek komplexitása következtében a gyakorlati feladatok megoldása során legtöbbször erős közelítésekkel élünk, és a vizsgált rendszer működésében szerepet játszó jelenségek közül igyek-

szünk a legjellemzőbbeket kiragadni és számításba venni. Kellően nagyfokú egyszerűsítés és absztrakció esetén általában módunk van arra, hogy a rendszert leíró főbb paraméterek kapcsolatait zárt alakban adjuk meg, ami a műszaki gyakorlatban szokásos direkt szintézis alapja. Amennyiben azonban a valóságot jobban közelítő modellt kívánunk alkalmazni, rendszerint csak arra van lehetőségünk, hogy valamilyen előre feltételezett szerkezeten vagy rendszeren analízist végezzünk és a rendszer paramétereinek célszerű változtatásával, valamint ismételt analízisekkel közelítsük meg az elérti kívánt jellemzőket.

A következő fejezetben ezeket a módszereket tárgyaljuk: az egyszerűsítésekkel származtatott analitikus modelleket a 3.1., a pontosabb eredményeket szolgáltatató, modern eljárásokat pedig a 3.2-3.5. szakaszokban.

### 3. Akusztikai rendszerek számítási módszerei

#### 3.1. Analitikus akusztikai modellek

A hangteret leíró alapvető összefüggés az inhomogén skaláris hullámegyenlet, melynek legáltalánosabb alakja

$$\nabla^2 p(\mathbf{r}, t) - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p(\mathbf{r}, t)}{\partial t^2} = -\rho_0 \frac{\partial q(\mathbf{r}, t)}{\partial t} \quad (2)$$

- ahol  $p$  a tértől ( $r$ ) és időtől ( $t$ ) függő hangnyomás,  
 $c$  a hangsebesség levegőben,  
 $\rho_0$  a levegő nyugalmi sűrűsége,  
 $q$  a hangot keltő forrás térfogatsebességének térbeli eloszlása egységnyi térfogatra vonatkoztatva, és  
 $\nabla$  a nabla-operátor.

A gyakran Kirchhoff-Helmholtz egyenletnek is nevezett hullámegyenlet lehető legegyszerűbb megoldása érdekében korlátozó feltételezéseket tehetünk, így elemi, egyszerű megoldásokhoz, azaz a vizsgálni kívánt

rendszer könnyen kezelhető akusztikai modelljeihez juthatunk. (Néhány, a gyakorlatban gyakran alkalmazott modellel a 3. ábrán szemléltetünk.)

Az egyik legerősebb egyszerűsítő feltételezés az, hogy a hangtér változását csak egy térbeli koordináta (leggyakrabban a Descartes-féle koordináta-rendszer  $x$  tengelye) mentén vizsgáljuk (3/a. ábra). Ilyenkor egyszerű síkhullámú hangteret kapunk megoldásul, ami valójában soha nem létezik, mégis gyakran kielégítő pontosságú megoldást szolgáltat. Ha a hullámegyenletet gömbi koordináta-rendszerben írjuk fel, gömbhullámok formájában kapjuk meg a megoldást, ami jó közelítése a szabad térben elhelyezkedő viszonylag kis hangsugárzóknak (3/b. ábra), különösen, ha a valóságos sugárzók iránykarakterisztikáját (azaz a tér  $\vartheta$ - és  $\varphi$ -függését) is számításba vesszük.

Ezzel a két alapvető hullámmal már sok gyakorlati feladat megoldható. Példaként egy  $d$  vastagságú, ismert  $Z_a$  akusztikai impedanciával bíró falra  $\Theta$  szög alatt beeső síkhullámú hangteret feltételezve (3/c. ábra) megkapható a falról visszaverődő, illetve a fal túloldalán megjelenő síkhullám amplitúdója:

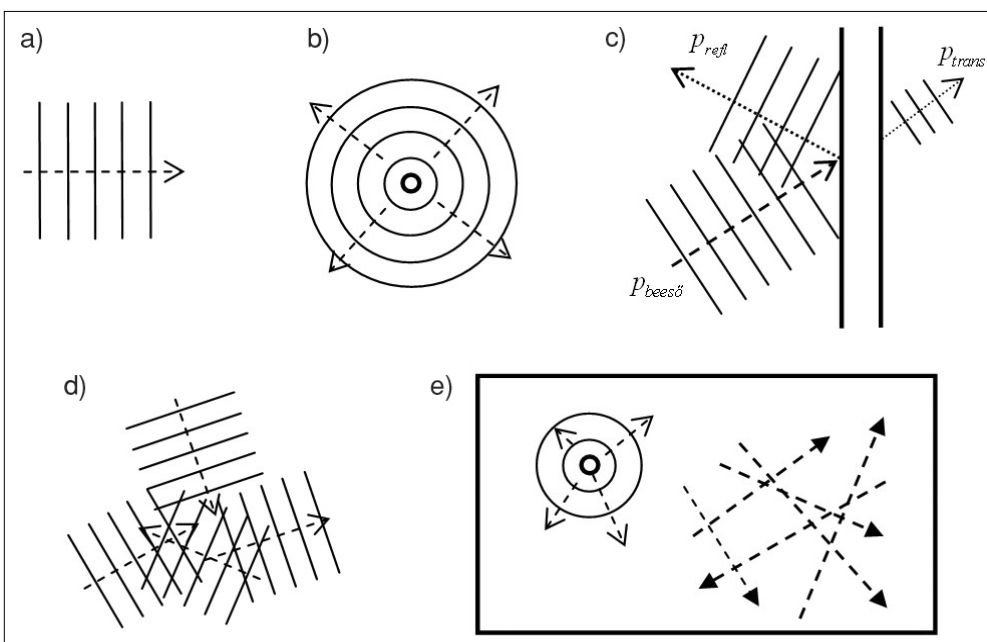
$$P_{refl} = P_{beeső} \frac{Z_a \cos \Theta - \rho_0 c \cos \Theta}{Z_a \cos \Theta + \rho_0 c \cos \Theta} \quad (3)$$

$$\frac{P_{beeső}^2}{P_{trans}^2} = \cos^2 k_0 d + \frac{1}{4} \left( \frac{\rho_0 c}{Z_a} + \frac{Z_a}{\rho_0 c} \right) \sin^2 k_0 d \cong 1 + \left( \frac{\omega m''}{2 \rho_0 c} \right)^2$$

ahoz az (4/a, b)

$$P_{trans} \cong P_{beeső} \frac{2 \rho_0 c}{\omega m''}$$

A (3) egyenlet a teremakusztikában bír nagy jelentőséggel, ahol is a kívánt hangtér létrehozásához a terem geometriája mellett elsősorban a falakról visszaverődő (vagy más szemszögből nézve a falakon elnyelődő) hangenergia arányát kell alkalmasan megválasztani. A (4) egyenlet a zajcsökkentés és az épületakusztika egyik



3. ábra  
Egyszerű modellek a hangterek analitikus meghatározásához:

- a) ideális síkhullám,
- b) pontforrás szabad térben,
- c) véges vastagságú falra eső ideális síkhullám,
- d) ideálisan diffúz tér,
- e) pontforrás zárt térben.

A hullámfrontokat vékony folytonos vonalak, az energiaáramlás irányát szaggatott nyilak jelölik.



igen gyakran alkalmazott összefüggése, amivel a terek, illetve a helyiségek közötti megfelelő hanggátlás tervezhető.

A szabad hangtér és a hangvisszaverődés együttes figyelembevétele a legtöbb akusztikai tervezési feladatnál fontos lehet. Ehhez azt a további egyszerűsítő feltételezést kell tennünk, hogy a hangtér diffúz (3/d. ábra). A hangtér diffuzitásának meghatározása nem triviális, ezért különféle szerzők gyakran meglehetősen eltérő módon határozzák meg a diffúz hangtér fogalmát. Nagyjából általánosan elfogadott álláspont szerint [10] akkor beszélhetünk ideálisan diffúz térről,

- ha a térben és a teret határoló felületekre beeső energiaáramlás irányának valószínűsége minden irányban egyenlő, vagy
- ha a kinetikus és potenciális energiasűrűség összege a hangtér minden pontjában egyenlő.

Ezen feltételezések alapján levezethető, hogy ha a térbe egy  $W$  hangteljesítményű,  $D(\vartheta, \varphi)$  irányítottságú hangforrást helyezünk (3/e. ábra), a forrástól  $r$  távolságban levő, egyébiránt tetszőleges pontban kialakuló hangnyomást a

$$p(r) = \sqrt{W \rho c \left( \frac{D(\vartheta, \rho)}{4\pi r^2} + \frac{4}{A\alpha} \right)} \quad (5)$$

egyenlet adja meg. Az összeg első tagja azt a térrészt írja le, ahol a közvetlenül kisugárzott hangenergia a mértékadó, míg a második tag a diffúz visszaverődések által determinált hangteret. Az összefüggés alkalmazásával adott hangforrások és teremjellemzők esetén számíthatók a várható hangnyomások, vagy megfordítva: adott hangnyomáshoz meghatározható a szükséges hangteljesítmény, esetleg a teremben elhelyezhető/elhelyezendő hangelnyelés mértéke. Mindkét feladat igen gyakori, legyen szó egy hangosító rendszer elhelyezéséről, a terem akusztikai kialakításáról vagy egy zajos ipari csarnok falain elhelyezendő hangelnyelő anyagok mennyiségéről.

Amennyiben a hullámterjedés nem a tér tetszőleges irányában, hanem különböző méretű hullámvezetők meghatározta, kitüntetett irányban zajlik, és bizonyos további egyszerűsítő feltételezések is megtehetőek, az egyes hullámvezető szakaszokat egyszerű helyettesítő elemekkel lehet modellezni. Ilyen módon úgynevezett koncentrált paraméterű helyettesítő képeket kapunk, amelyben az egyes elemek és az azok állapotát leíró üzemi paraméterek az elektromos hálózatok elemeivel és jellemzőivel messzemenő analógiát mutatnak [11,12]. Az akusztikai rendszerek koncentrált paraméteres helyettesítő képeit a mechanikai rendszerekre is adaptálhatjuk. Az akusztikai, mechanikai és elektromos helyettesítő képek és az ezek közötti kapcsolatokat létrehozó átalakítók együttesen egy olyan konzisztens modellezési eszköztárt és metodikát adnak az akusztikus kezébe, melynek segítségével számos összetett elemzési és tervezési feladat (a híradástechnikai alkalmazások terén elsősorban az elektroakusztikai átalakítók leírása és tervezése) könnyen és elfogadható pontossággal megoldható. A Híradástechnikai Tanszék műszaki akusztikai oktató-

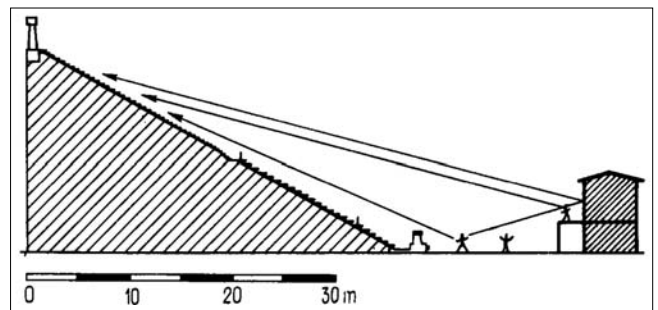
sa hosszú időn keresztül erre, a Barát Zoltán által kidolgozott és általa, valamint munkatársai és tanítványai által következetesen és sikeresen alkalmazott metodikára épült [12-15].

Az analitikus modellezés a műszaki akusztikában jelenleg is széles körben alkalmazott eszköztár, amely az ipari gyakorlat igényeit elfogadható pontossággal képes kielégíteni. Az egyes módszerek alkalmazási területe azonban mind térben, mind frekvenciatartományban korlátozott. A híradás- és hangtechnikai eszközök fejlődése, az energetikai kihívások, a környezettudatos szemlélet elterjedése és a gépekkel, járműveinkkel, épületeinkkel szemben támasztott egyre magasabb követelmények ellentmondásai azonban pontosabb és gyorsabb elemzési, tervezési módszereket igényelnek. A továbbiakban ezeket a módszereket tekintjük át.

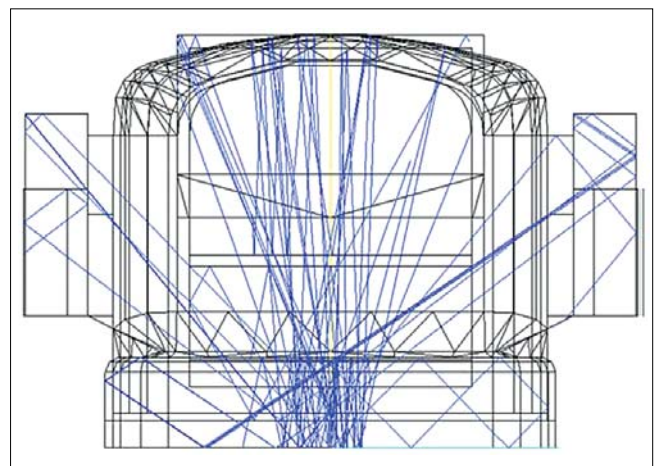
### 3.2. Az akusztikai sugárkövetés módszere

Amennyiben a vizsgálandó akusztikai rendszer jellemző méretei a hanghullámok hullámhosszánál jóval nagyobbak, a hangterjedés törvényszerűségei az optikából ismert geometriai visszaverődés törvényei alapján, egyenes vonal mentén haladó és visszaverődő hangsugarakkal közelíthetők. Egyszerűbb esetben a hangsugarak szerkesztése akár papíron is elvégezhető (4. ábra), nagyobb terek, bonyolultabb termek esetében azonban számítógépes sugárkövetési módszereket alkalmazunk (5. ábra).

4. ábra  
Hangvisszaverődések a priénéi görög színház metszetráján [3]



5. ábra  
Íves mennyezet alatt kialakuló potenciális csörgővisszhang elemzése számítógépes sugárkövetéssel



Kellően nagy számú hangsugár (illetve a pontosságot javító hangkúp vagy hanggúla) alkalmazása esetén az elemzés nemcsak az átlagos utózengezési időt, hanem a hangvisszaverődések idő- és térbeli struktúráját is szolgáltatni képes. Ezzel olyan eszközt kap a tervező a kezébe, mellyel a tervezett tér (általában zárt előadó- vagy hangversenyterem) akusztikai jellemzői még a tervezés fázisában meghatározhatók, sőt füllel is meghallgathatók. Az auralizációnak nevezett módszer lényege, hogy az időben egymás után beérkező számos visszhangból nyert echogramot a rendszerelméletből jól ismert impulzusválasszá alakítják. Egy visszhangmentes térben felvett, úgynevezett száraz hangfelvétel jelét az impulzusválasszal konvolválva olyan jelet kapunk, amit az adott forrás az impulzusválassz számítására kiválasztott pontban kelt majd a valóságban. Az elemzés tetszőleges forrásokra és tetszőleges számú megfigyelési pontra elvégezhető, így az akusztikai tervezés esetleges hibái idejekorán felismerhetők és korrigálhatók.

### 3.3. Numerikus elemzési módszerek

#### 3.3.1. A numerikus módszerek elvi alapjai

A (2) egyenlet a matematikából jól ismert parciális differenciálegyenlet, melynek numerikus megoldására számos módszer létezik. Az egyik megközelítés szerint az általános Kirchhoff-Helmholtz egyenletet közelítő feltételezések alapján Rayleigh-egyenletre egyszerűsítjük, ezzel a probléma már zárt alakban megoldható [16]. A diszkrét közelítések egyik egyszerű, de bonyolult rendszereket is jól közelítő módja a véges differencia módszere [17]. Az akusztikai tervezés gyakorlatában azonban a végelem- és peremelem-módszer, illetve az ezek kombinált és többféle szempont alapján optimalizált változatai terjedtek el a legnagyobb mértékben.

A diszkrét numerikus módszerek alap gondolata az, hogy a vizsgálandó teret olyan, megfelelően kis méretű részekre bontjuk, amelyben a tér és idő szerinti változás egyszerű, általában lineáris függvényekkel közelíthető. Egy-egy ilyen részen (szokásos elnevezéssel: elemen) belül a hangtérjellelmzők interpolációval kaphatók meg az elem csúcspontjain meghatározott értékekből. A csúcspontok összességére (szokásos elnevezéssel: a rácspontokra) vonatkozó megoldást a differenciálegyenlet integrálegyenletté való átalakítása és annak diszkrétizálása után adódó lineáris egyenletrendszer megoldása útján nyerjük.

Amennyiben a vizsgálandó probléma csak egy zárt térrészen belüli hangtér számítását igényli, az akusztikai végelem-módszer alkalmazható, melynek megoldandó egyenletrendszere

$$\left[ \underline{K}_a - \omega^2 \underline{M}_a \right] \underline{p} = -j\omega\rho G \quad (6)$$

alakú, ahol

$\underline{p}$  a rácspontokban kialakuló hangnyomások komplex amplitúdójának vektora,

$\underline{K}_a; \underline{M}_a$  az úgynevezett akusztikai merevség- és tömegmátrix,

$\underline{G}$  az akusztikai gerjesztés oszlopvektora.

Az egyenletben szereplő mátrixok elemei frekvenciafüggetlen, kizárólag geometriai adatok által meghatározott valós számok, amelyek bizonyos szabályok betartása esetén nagyon könnyen kezelhető szalagmátrixokba rendezhetők. (6) megoldása ezért viszonylag könnyű és gyors, és eredményként mind a rendszer sajátfrekvenciái, mind pedig a gerjesztett válaszok számíthatók.

Amennyiben a hangtér kialakításában vagy módosításában feltételezhetőleg a hangtérrel kölcsönhatásba lépő mechanikai elemeknek is szerepük lehet, a mechanikai részrendszert önmagában a (6) egyenlettel tökéletesen analóg

$$\left[ \underline{K}_s - \omega^2 \underline{M}_s \right] \underline{w} = \underline{F}_s \quad (7)$$

egyenlettel írhatjuk le, melyben most a megfelelő mechanikai merevség- és tömegmátrixok játszanak szerepet, és a mechanikai gerjesztést az  $\underline{F}_s$  erővektor adja meg. Az eredő rendszer viselkedése ebben az esetben a két rendszer csatolását is magában foglaló

$$\left[ \begin{array}{cc} \underline{K}_s & \underline{K}_c \\ \underline{0} & \underline{K}_a \end{array} \right] - \omega^2 \left[ \begin{array}{cc} \underline{M}_s & \underline{0} \\ -\rho_0 \underline{K}_c^T & \underline{M}_a \end{array} \right] \left\{ \begin{array}{c} \underline{w} \\ \underline{p} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{c} \underline{F}_s \\ -j\omega\rho_0 \underline{G} \end{array} \right\} \quad (8)$$

egyenletrendszerből számítható.

A csatolást az egyenletben a  $\underline{K}_c$  csatolási mátrix képviseli, ami az egyenletben transzponált formában is megjelenik, de egy  $-\rho_0$  konstanssal szorozva. Ez azt jelenti, hogy a csatolt, mechanikai és akusztikai részrendszert magában foglaló rezgésakusztikai rendszer leíró egyenletrendszere nem szimmetrikus.

Egy részletes elemzés [20] feltárta, hogy a szimmetria hiánya azonban nem jelenti egyúttal a reciprocitás sérülését is. A csatolt rezgésakusztikai rendszerek minden körülmények között reciprok viselkedésűek, ami első közelítésben azt jelenti, hogy a mechanikai rendszert annak  $i$  pontjában gerjesztve és a választ az akusztikai rendszer  $j$  pontjában vizsgálva ugyanazt a frekvenciaátvitelt tapasztalhatjuk, mint amikor a rendszert a  $j$  pontban akusztikai forrással gerjesztjük, és az  $i$  pontban mérjük a mechanikai választ.

A reciprocitási összefüggés pontos matematikai alakja

$$\left. \frac{p_j}{f_i} \right|_{q=0} = - \left. \frac{\ddot{x}_i}{\dot{q}_j} \right|_{f=0} \quad (9)$$

ahol

$x$  a vizsgált mechanikai pont kitérését és

$q$  az akusztikai forrás térfogatsebességét jelöli.

Elvi fontossága mellett ennek az összefüggésnek komoly gyakorlati haszna is van: összetett rezgésakusztikai rendszerek kísérleti vizsgálatainál nagyon komoly idő- és munkamegtakarítás érhető el azáltal, hogy a rendszert könnyen áthelyezhető hangszórókkal gerjesztjük, és a válaszokat gyorsulásérzékelővel mérjük ahelyett, hogy a vizsgálandó mechanikai pontokra rezgésgerjesztőket szerelnénk és a választ mérőmikrofonnal mérnénk.

A (6) vagy (8) egyenletrendszer ebben a formájában csak akkor használható a gyakorlatban, ha a vizsgált hangtér korlátos. Az akusztikai tervezési feladatok jelentős része azonban szabadba sugárzó források elemzését igényli, ami végtelen méretű mátrixokra vezetne.

A probléma megoldására a peremelem-módszer ad lehetőséget, melynél a (2) egyenletet más úton átalakítva az

$$\underline{A} \underline{p} = j \rho_0 \omega \underline{B} \underline{v} \quad (10)$$

egyenlethez jutunk, ahol

$\underline{p}$  és  $\underline{v}$  a forrás felületének rácsponthjaiban uralkodó rezgések és az ezek hatására kialakuló felületi hangnyomások vektora,

$\underline{A}$  és  $\underline{B}$  pedig pusztán geometriai adatok alapján meghatározott, frekvenciafüggő, sűrű mátrix.

Az egyenletrendszer megoldása ezért sokkal időigényesebb és nem alkalmas sajátfrekvenciák meghatározására; nagy előnye viszont, hogy a teljes hangtér térbeli, háromdimenziós diszkretizálása helyett elegendő a hangforrás felületén egy kétdimenziós rácsot generálni.

Mind a végeselem-, mind a peremelem-módszerek számos alfaja ismeretes, melyekkel az egyes módszerek hátrányai többé-kevésbé kiküszöbölhetők, a számítások gyorsíthatók és/vagy az alkalmazási területek bővíthetők. A peremelem-módszer részletesebb kifejtése és a hangforrások azonosítására különösen alkalmas inverz peremelem-technika ismertetése [21]-ben és Márki Ferenc PhD értekezésében [22] található meg. A peremelem-módszer talajrezgésekre való adaptációját, a talajjal kölcsönhatásba kerülő műtárgyak és építmények csatolt rezgéseit és az eredő hangkeltést Fiala Péter tárgyalta részletesen doktori értekezésében [23].

#### 4. Kísérleti technikák, mérési módszerek a modern akusztikai tervezésben

A műszaki akusztika története során mindig is erősen támaszkodott a méréssel megszerezhető adatokra és ismeretekre, ezek mellett pedig mindmáig főként a 3.1. szakaszban ismertetett egyszerű analitikus modelleket alkalmazta. A modern szimulációs technikák előretörése változtatott ugyan a mérések és számítások arányán az utóbbiak javára, a mérések azonban továbbra sem nélkülözhetők az akusztikai tervezés gyakorlatában. Az

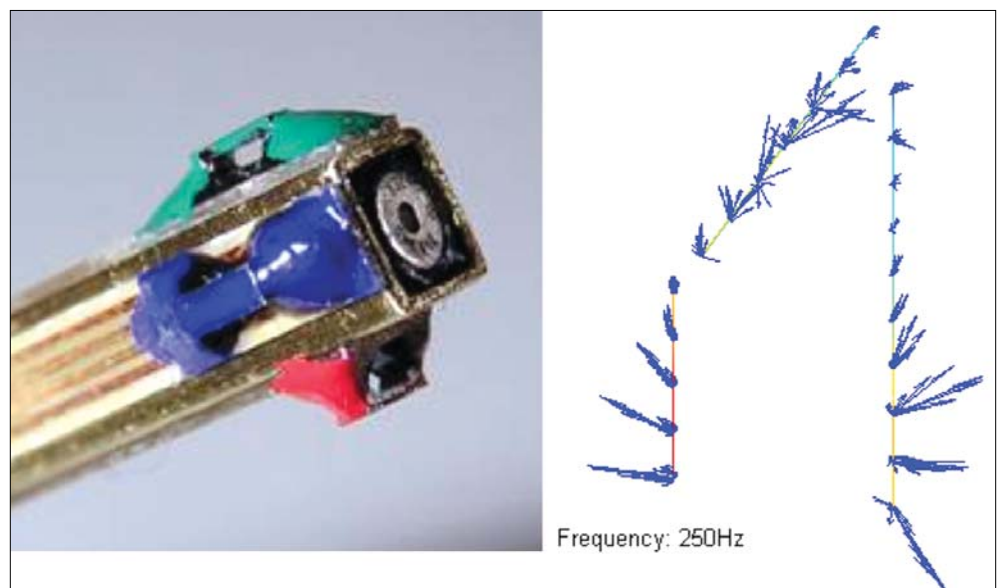
is kétségtelen, hogy a digitális módszerek és a számítástechnika fejlődése az akusztikai és a rezgésmérés-technikát is jelentősen átalakította, így műszereink jelentős része ma már tulajdonképpen nem más, mint érzékelőkkel, jelkondicionáló egységekkel és célirányos kijelzőkkel ellátott számítógép. Az alábbiakban ezért csak egy újfajta akusztikai érzékelőt és két hasznos, de hazánkban méltatlanul ritkán alkalmazott rezgéselemzési módszert ismertetünk.

Az akusztikai jelenségek tárgyalásánál eddig mindig a hangnyomást tekintettük üzemi paraméternek, holott a hangjelenségek leírásánál a részecskesebességnek és a kettő viszonyából származtatott akusztikai impedanciáknak is fontos szerepük van [9,11]. Ennek az egyoldalúságnak az emberi fül hangnyomás-érzékenysége mellett az is oka, hogy hosszú ideig nem rendelkezünk olyan, kellően robusztus akusztikai érzékelővel, amellyel a részecskesebesség megfelelő érzékenységgel és kielégítő frekvenciatartományban mérhető lenne. Egy újfajta érzékelő, egy holland kutatócsoport által kifejlesztett és ma már nagy sorozatban gyártott műszer azonban jelentősen módosított ezen az egyoldalúságon [24].

A *Microflown* márkanéven forgalmazott érzékelő tulajdonképpen egy rendkívül érzékeny kétdrótos anemométer. Ha nagyon vékony platinaszálon igen stabil áramgenerátor segítségével konstans áramot folytatunk keresztül, a huzal két vége között nyugvó levegőben a huzal ellenállásának megfelelő konstans feszültség ébred. Ha a huzalt valamely véges sebességgel mozgó levegőáramba helyezzük, akkor lehűl és ellenállása megváltozik, ami a feszültség változását hozza magával. Megfelelően kis méretek és alkalmas kialakítás esetén az ellenállásváltozás a statikus légáram mellett a hanghullám dinamikusan változó részecskesebességének mérésére is alkalmas feszültségváltozást indukál.

Az újfajta érzékelőről a közelmúltban jelent meg egy cikksorozat [26], ezért ezen a helyen csak egy háromdimenziós szonda fényképét és az annak segítségével az 5.1. szakaszban tárgyalt televíziókészülék közelében felvett intenzitástérképet mutatjuk be.

6. ábra  
a) Mikroflown USP típusú kombinált hangnyomás- és háromdimenziós részecskesebesség-érzékelő szonda  
b) a szonda segítségével egy DLP-technológiával működő televíziókészülék körül felvett hangintenzitás-térkép



A rezgésakusztikai rendszerek külső gerjesztésre adott válaszait működési frekvenciatartományuk jelentős részében a rendszer sajátrezgéseinek súlyozott összegéből határozhatjuk meg. (Amennyiben az adott frekvenciasávba nagyon sok sajátrezgés esik, ez a modális megközelítés már nem alkalmazható; ilyenkor más, statisztikus üzemi jellemzőket kell választanunk.) A 3.3.1. szakaszban tárgyalt alapegyenletek közül a (6), (7) és (8) egyenlet úgy alkalmazható egy akusztikai, mechanikai vagy csatolt rendszer sajátfrekvenciáinak számításával történő meghatározására, hogy az egyenletek jobb oldalát nullavektorral helyettesítjük és a kapott mátrixegyenletből meghatározzuk a sajátfrekvenciákat és a sajátvektorokat. A numerikus technikák mai fejlettsége, mindenekelőtt azonban az anyagjellemzőkre és egyéb peremfeltételekre vonatkozó adatok bizonytalansága miatt azonban feltétlenül szükség van a számítások mérésekkel történő ellenőrzésére.

Az alábbiakban a (7) egyenlet alapján, mechanikai rendszerekre mutatjuk be a kísérleti móduselemzés alap gondolatát. Vonjuk össze az egyenlet bal oldalát egy  $\underline{B}$ -vel jelölt rendszermátrixba, ami ilyenkor szükségszerűen frekvenciafüggő:

$$\underline{B}(\omega)\underline{w} = \underline{F} \quad (11)$$

Az egyenletet a rendszermátrix inverzével balról megszorozva a

$$\underline{H}(\omega)\underline{F} = \underline{w} \quad (12)$$

egyenletet kapjuk, aminek igen szemléletes tartalmat adhatunk: a  $\underline{H}$  frekvenciaátviteli mátrixot a rendszer rácspontjaiban gerjesztő külső erők vektorával megszorozva a rácspontok kitérése kapható meg. A frekvenciaátviteli függvényt viszonylag könnyű mérni: mérőkalapáccsal vagy erőmérő cellával meghatározhatók a gerjesztő erők, a válaszjel pedig a gyorsulásérzékelők jeléből származtatható.

A móduselemzéssel foglalkozó, bő szakirodalomból (pl. [25]) ismert, hogy nem szükséges a teljes frekvenciaátviteli mátrix minden vektorát kimérni; elvben (és a gyakorlatban is) elegendő, ha a rendszert csak egy pontban gerjesztjük és a választ mérjük végig minden pontján, vagy fordítva: egyetlen válaszjelből és a minden ponton elvégzett erőgerjesztésből regenerálható a teljes frekvenciaátviteli mátrix, így meghatározhatók a sajátfrekvenciák és módusalakok.

A módszer – *mutatis mutandis* – akusztikai rendszerekre és csatolt rezgésakusztikai rendszerekre is kiterjeszhető, amivel meglehetősen bonyolult, összetett rendszerek viselkedése is meghatározható mind kvalitatív, mind kvantitatív értelemben.

A frekvenciaátviteli mátrix mérése a sajátfrekvenciák extrakciója nélkül is jól használható eredményeket szolgáltat. Ha egy összetett rendszer pontjainak rezgését vagy hangját egy alkalmasan választott referencia ponthoz viszonyítva fázis- és amplitúdóhelyesen mérjük, és a mért jelet Fourier-transzformációnak vetjük alá, akkor tetszőleges frekvenciákon pontosan megadhatjuk a rendszer mért pontjainak egymáshoz viszonyított mozgását, viselkedését. Ha a mérés eredményeit

egy megfelelően leegyszerűsített geometrián grafikusan is ábrázoljuk, nagyon szemléletes ábrázolást kapunk, amiből hasznos következtetéseket vonhatunk le a vizsgált rendszer működési mechanizmusaira vonatkozóan. Az így kapott ábrákat az angol szakirodalomban ODS-ként jelölik (Operational Deflection Shapes); mi a saját gyakorlatunkban az üzemi rezgésállapot diagram kifejezést használjuk. Az 5.1. szakaszban egy ipari feladat kapcsán részletesen ismertetjük a módszer alkalmazását.

Amint a fejezet elején utaltunk rá, a korszerű akusztikai számítás- és méréstechnika eszköztára gyorsan közelít egymáshoz. Érdemes megemlíteni, hogy az akusztikai méréstechnika és a digitális hangtechnika viszonylatában is hasonló konvergencia figyelhető meg. A hangtechnikai eszközök piaci kereslete nagyságrendekkel nagyobb, mint amekkora igény akusztikai mérőberendezések iránt mutatkozik, ezért a műszaki fejlődés abban a szegmensben gyorsabb, és az árakban is jelentős átrendeződés figyelhető meg. A nagyteljesítményű, sokcsatornás mérőberendezések körében a 90-es években még egyeduralkodók voltak a drága, sokcsatornás mérésadatgyűjtőkkel összekapcsolt mainframe számítógépek vagy UNIX operációs rendszert futtató asztali munkaállomások. Ezeket mára mindenhol kiváltották a személyi számítógépeken, Windows alatt futó programok, amelyek olcsóbb mérésadatgyűjtőkkel, vagy újabban professzionális, broadcast minőségű hangkártyákkal kommunikálnak.

A hangtechnikai eszközök minőségi paraméterei: dinamikája, zavarérzékenysége is meghaladja a jelfeldolgozást végző akusztikai mérőeszközök tipikus jellemzőit. Az akusztikai méréstechnika fejlődésének iránya ezért ma elsősorban az érzékelők fejlesztése felé mutat. Részben gyártói érdekek, részben felhasználó igények miatt egyre nő a mérőrendszerek csatornaszáma, ezért megjelentek a TEDS (Transducer Electronic Data Sheet) technológiát alkalmazó érzékelők – amelyek a mérésadatgyűjtő által lekérdezhető digitális formátumban tárolják saját hitelesítési és azonosítási adataikat –, és terjednek a kábelezést nem igénylő érzékelők is. A jelfeldolgozó kapacitás egy részét a DSP kártyákon implementálják, és az adatfeldolgozás – főként kutatói környezetben – egyre többször nem drága célszoftverek, hanem modulárisan fejleszthető programcsomagok (pl. Labview) alkalmazásával, vagy univerzálisan programozható programnyelven (pl. MATLAB vagy Mathematica) történik.

## 5. Az akusztikai tervezés megalapozása részletes mérésekkel és szimulációs vizsgálatokkal

Cikkünkben példaként két olyan zajcsökkentési feladatot ismertetünk, melynek megoldásához a kísérleti és szimulációs módszerek viszonylag széles skáláját kellett alkalmaznunk a probléma feltárásához és a sikeres megoldások kimunkálásához.



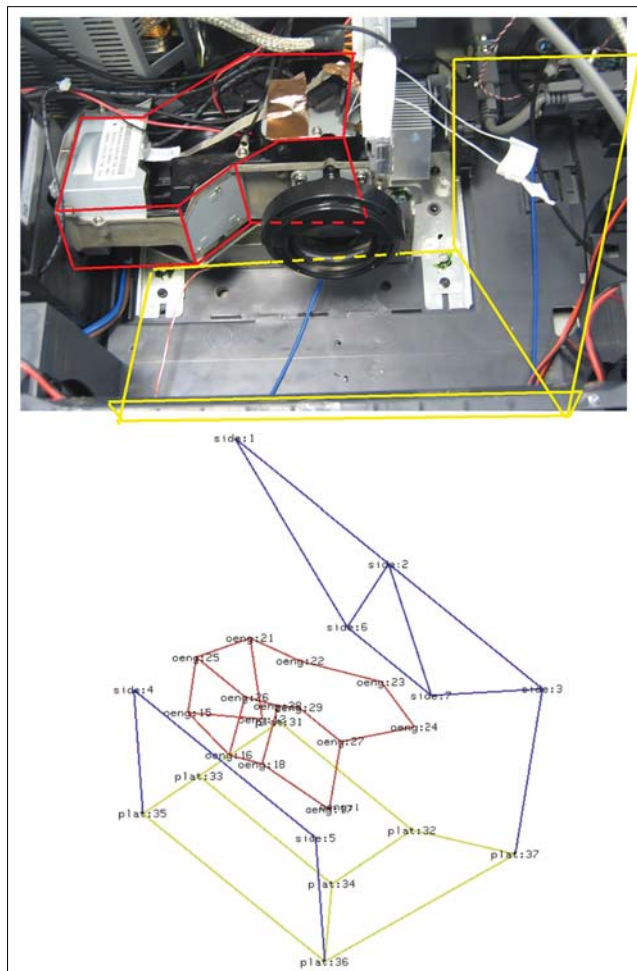
**5.1. Egy DLP típusú televíziókészülék zajforráselemzése**

A DLP (Digital Light Processing) technológiát alkalmazó kivetítők és televíziókészülékek pixelenként egy-egy mikrotüköröt tartalmaznak, melyet digitális vezérléssel két végállapot között billegtetnek. (A mikrotükör egyik állásában az optikai lencserendszerre, másik véghelyzetében pedig egy fénynyelőre vetíti a fénysugarat, így a vezérlés kitöltési tényezőjével lehet a változó világosságjelet előállítani.) A vizsgált készüléktípus emellett egy simakép modulnak (SM) nevezett, 50 Hz-es frekvenciával rezgő üveglemezt (ami a nagyméretű képernyő pixeles képét simítva javítja a képminőséget), valamint további forgó alkatrészeket: a színes kép előállításához szükséges színtárcsát és annak meghajtó elemeit is tartalmazta. Ezek a mozgó elemek rezgésbe hozták az optikai egységet, amelynek rögzítésén keresztül a készülék háza is rezgésbe jött és zavaró, bűgő hangot keltett. A gyártó azzal bízta meg tanszékünket, hogy tárjuk fel a zajkeltés okait és javasoljunk rezgéscsökkentési megoldásokat.

Az elemzés során több, kiemelkedően csendes, illetve zajos készüléken végeztünk összehasonlító vizsgálatokat: a rezgő tükör mozgatását végző elektromos jelen és a 7. ábra „drótmodelljének” sarokpontjaiban mért rezgésgyorsulás-jelen frekvenciaelemzést hajtottunk végre; a rezgésekből és geometriai adatokból üzemi rezgésállapot-diagramokat készítettünk; a komplett optikai egységen szerkezeti móduselemzést hajtottunk végre; végül a 6. ábrán már bemutatott intenzitásmérő szondával feltártuk a lesugárzás térbeli eloszlását is [28].

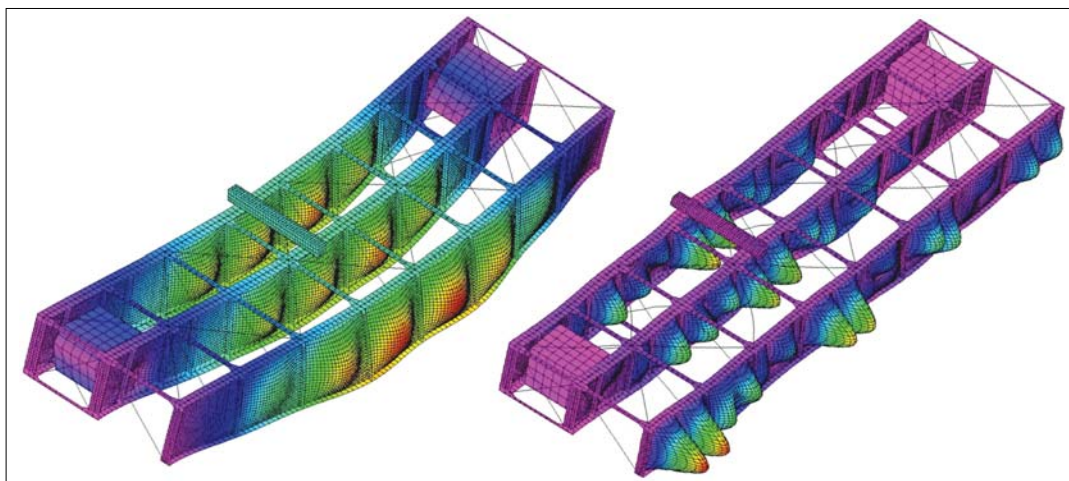
A vizsgálatok után a következő megállapításokat tettük:

- Mind a SM elektromos jelében, mind a rezgésekben az 50 és 150 Hz-es összetevők dominálnak.
- A kiemelkedően csendes, illetve feltűnően zajos készülékek elektromos jelében nincsen számottevő különbség, a rezgésekben viszont igen, így a zajosság oka a rendszer mechanikai kialakításában keresendő.
- Az optikai egység viselkedésében több saját-frekvencia is kimutatható, ezek azonban eltérnek a gerjesztés domináns frekvenciaösszetevőitől. A zajjelenség oka eszerint nem rezonancia, hanem gerjesztett rezgés.



7. ábra  
Egy DLP technológiával működő televíziókészülék optikai egysége és annak „drótmodellje”

- A rezgésállapot-diagramok és a lesugárzás jellemzőinek összevetéséből megállapítható volt, hogy az optikai egység minimális mértékű rezgés-csillapítással, túlságosan kis merevségű pontokon van a készülék házához rögzítve, a rezgések ezért szinte csillapítás nélkül kikerülnek a készülék házára. A létrejövő hajlító rezgések energiája viszonylag jó hatásfokkal, akusztikai energia formájában sugárzódik ki a környezetbe.



9. ábra  
A Déli vasúti híd főtartóinak numerikus sajátrezgés-szimulációja. Balra: 12 Hz, jobbra: 50 Hz-es sajátrezgés.

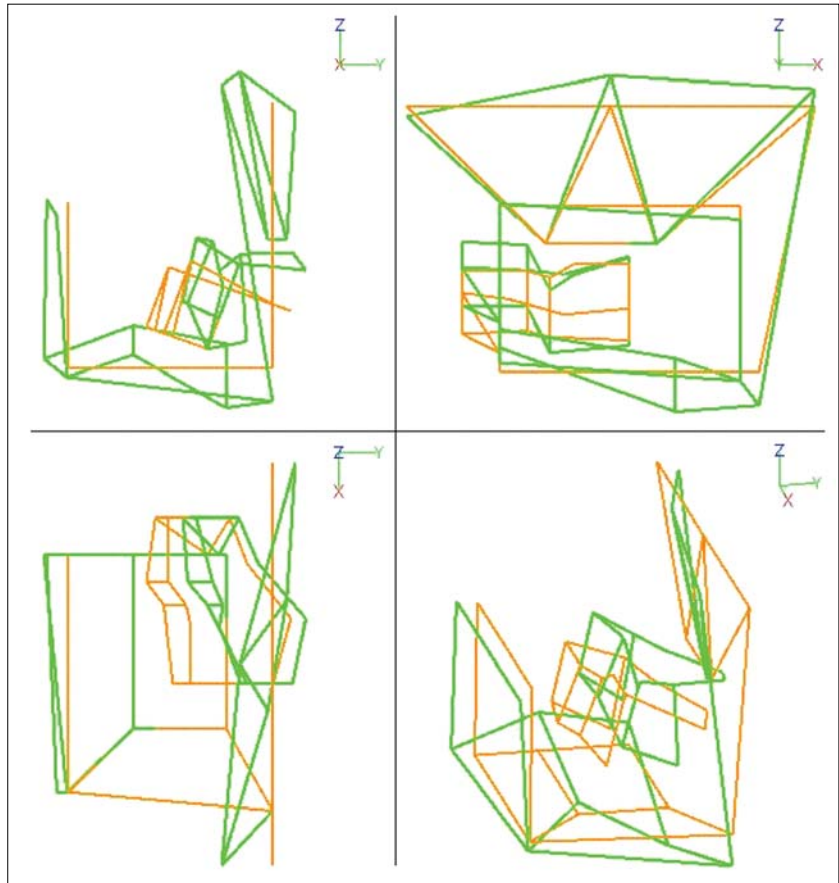
A vizsgálatok következtetése alapján a zajcsökkentés leghatásosabb módja a rögzítések rezgésátvitelének csökkentése lehet a készülékház merevségének növelésével és rugalmas elemek beiktatásával. A kísérleti mintapéldányon a rendelkezésünkre álló egyszerű szerzőkkel és közönséges anyagokkal 5 és 17 dB közötti csillapításnövekedést sikerült elérnünk, bár a készülékház néhány pontján nem csökkentek, hanem kis mértékben még nőttek is a rezgésértékek. A kísérlet azonban jól mutatta, hogy tudatos, kellően megalapozott és korrekt módon technológiázott szerkezeti módosításokkal jelentős zajcsökkentés érhető el.

Megemlítjük, hogy több más híradástechnikai készülékkel is hasonló tapasztalatokat szereztünk. Az elektronikus szempontból jó minőségben megvalósított készülékek egy részénél a transzformátorok, tápegységek és hűtőventilátorok a nem optimális vagy egyértelműen hibás beépítés és rögzítés következtében sajnos sok esetben zavaró zajforrásokká válhatnak.

## 5.2. A Déli vasúti híd zajcsökkentése

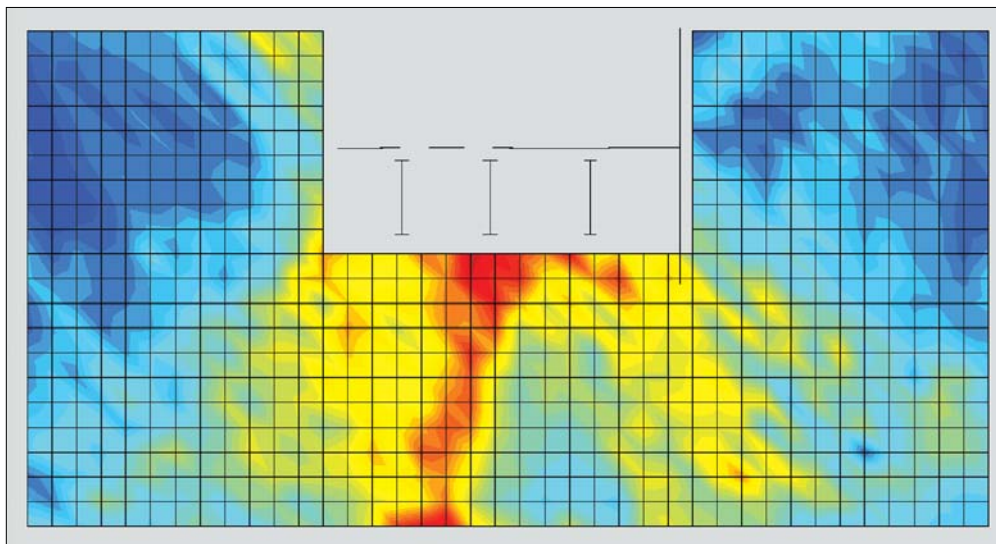
A budapesti Déli vasúti híd közel száz éves műtárgy: klasszikus szerkezetű vasúti híd, vágányonként három széles gerinclemez acélgerendával, melyeken a 25×15 cm keresztmetszetű tölgy hídfák behajlása biztosítja a – századelőn még elegendőnek vélt – rezgésállapítást. A hídfákon és mindkét vágány oldalán acél recéslemezekből épült járda húzódik.

A híd 2001-2002-es felújítása során fogalmazódott meg annak igénye, hogy az új Nemzeti Színház (és a később megépített Művészetek Palotája) környezetében jelentősen csökkenjen a hídon áthaladó vasúti szerelvények zaja.



8. ábra  
A vizsgált televíziókészülék optikai egységének üzemi rezgésállapot-diagramja

A Közlekedéstudományi Intézet által vezetett kutatócsoport részeként részletes méréseket, majd szimulációs számításokat végeztünk a hídszerkezeten és megállapítottuk, hogy az eredő zajkeltésben közel egyenlő súllyal vesznek részt a tartószerkezet gerinclemezei és a járdát alkotó recéslemezek [27]. (A hídszerkezet két frekvencián megállapított és kísérletileg is igazolt sajátrezgését a 9. ábra, a rezgések alapján, peremelem-módszerrel megállapított hanglesugárzást pedig a következő oldali 10. ábra szemlélteti.)



10. ábra  
A híd kétdimenziós, statisztikus peremelem-módszerrel számított hangtere.  
A hídtéstől lefelé balra és jobbra kb. 45 fokban jól megfigyelhető a főtartók és a járdalemezek lesugárzása, ami a hídtést alatt középen kialakuló, konstruktív interferencia révén hozza létre a legnagyobb hangnyomásszinteket.





1. ábra  
A vasúti hídon beépített rezgésszigetelő elemek

A zajcsökkentés érdekében az lett volna az optimális megoldás, ha a hídfák és a főtartók közé elhelyezett rezgéscsillapító anyaggal lehetett volna csökkenteni a le sugárzásban részt vevő elemek gerjesztését. Pénzügyi és vasútzemelési korlátok miatt erre nem volt mód, ezért a hídfák helyükön maradtak, és a sínleerősítések alá kerültek gumi-parafa keverékből készült, kevlárral erősített rezgéscsillapító elemek (11. ábra).

A beavatkozás következtében elért zajcsökkentés 5-8 dBA, ami az új kulturális épületek jól tervezett szerkezeteivel együtt már elegendő a messze nem optimális helyen felépült, akusztikailag igényes létesítmények zavartalan működéséhez.

## 6. Összefoglalás

Cikkünkben a kezdetektől napjainkig áttekintettük az akusztikai tervezés legfőbb eszközeit és módszereit, valamint – a terjedelem szabta korlátok között – részleteiben is elemeztünk néhány, a közeljövőben reményeink szerint mind szélesebb körű alkalmazás előtt álló modellezési, szimulációs és kísérleti technikát.

Úgy véljük, hogy ezek az akusztikai tervezési feladatok egy részénél jelentősen gyorsíthatják a munkát és javíthatják a pontosságot. Meg kell azonban jegyeznünk, hogy még a ma ismert legfejlettebb elemzési módszerek alkalmazása és pontossága is döntően függ a vizsgált szerkezetet vagy rendszert alkotó anyagok és részegységek jellemzőitől, azaz a hangelnyelési, rugalmassági és egyéb tulajdonságoktól, illetve az egyes részek összekapcsolásánál fellépő energiaátvitel módjára és mértékére vonatkozó adatok helyességétől. Az akusztikai tervezőknek ezért még sokáig nem lesz olyan eszköztár a kezükben, amellyel a felmerülő feladatok mindig rutinszerűen megoldhatók lennének, így a szakértelem, a sikereken és kudarcokon alapuló tapasztalat és az intuíció továbbra is fontos szerepet játszik majd tevékenységükben.

## A szerzőkről



**AUGUSZTINOVICZ FÜLÖP** 1972-ben fejezte be villamosmérnöki tanulmányait. 4 évig a Ganz-MÁVAG-ban kutatómérnökként, majd 15 évig a Közlekedéstudományi Intézetben tudományos kutatóként dolgozott. 1990 és 1996 között a Leuveni Katolikus Egyetem Gépészeti Intézete kutatási projektjeiben vett részt és oktatott, 1996 óta a Híradástechnikai Tanszék docense, az Akusztikai Laboratórium vezetője, tanszékvezető helyettes. Jelenlegi kutatási területe a komplex rezgésakusztikai rendszerek vizsgálata és analízise, zaj- és rezgés csökkentés, valamint az akusztikai tervezés numerikus módszerei.

**FIALA PÉTER** 2002-ben szerezte villamosmérnöki diplomáját, PhD disszertációját 2009-ben védte meg. Jelenleg a Híradástechnikai Tanszéken dolgozik az Akusztikai Laboratórium tanszéki mérnökként. Fő kutatási területe a numerikus akusztika és szerkezetdinamika. Hat hónapig a Leuveni Katolikus Egyetem két tanszékén volt meghívott kutató, az Akusztikai Szemle című folyóirat technikai szerkesztője.



**GULYÁS KRISZTIÁN** 1999-ben diplomázott villamosmérnökként a Híradástechnikai Tanszéken, ahol jelenleg tanársegéd. Aktív zajcsökkentéssel, digitális jelfeldolgozással és összetett rezgésakusztikai rendszerek analízisével foglalkozik. Ösztöndíjként 12 hónapig a Leuveni Katolikus Egyetemen, 6 hónapig meghívott kutatóként a finnországi VTT kutatóintézetben dolgozott. Az Akusztikai Szemle újraindító Rezi-duum Kft. ügyvezetője.



**NAGY ATTILA BALÁZS** 2000-ben végzett villamosmérnökként a BME Híradástechnikai Tanszékén. 2004-ig doktorandusz hallgatóként, majd tanszéki mérnök munkakörben dolgozott, 2009 óta tanársegéd. Kutatási területe a terem- és épületakusztika, emellett hangszintézissel és akusztikai mérés technikával is foglalkozik. Az OPAKFI Akusztikai Szakosztályának elnöke, az Akusztikai Szemle főszerkesztője.



**MÁRKI FERENC** 1998-ban szerzett diplomát a Híradástechnikai Tanszéken, ahol jelenleg adjunktus. Kezdetől fogva részt vett a Stoczek utcai akusztikai laboratórium korszerűsítésében, majd az I. épületi új laboratórium létrehozásában. Hangtechnikai tárgyakat oktat, idén benyújtott PhD értekezése a zajforráskeresés numerikus módszereivel foglalkozik.

**FÜRJES ANDOR TAMÁS** 1996-ban végezte villamosmérnöki tanulmányait. Az Elméleti Villamosságtan, majd a Híradástechnikai Tanszéken volt doktorandusz, később a tanszéken tanársegéd, és jelenleg is óraadó. Független akusztikai szakértőként dolgozik, szakterülete a teremakusztika, audio rendszerek tervezése és az épületakusztika.



**PFLIEGEL PÉTER** a Híradástechnikai Tanszék adjunktusa. Villamosmérnöki oklevelét a BME-n szerezte 1971-ben, ezt követően a Híradástechnikai Kutató Intézetben dolgozott. 1972-óta tartó egyetemi pályája kezdetén passzív híradástechnikai alkatrészek oktatásával és tervezésével foglalkozott, e területéről származik 1982-ben megvédett egyetemi doktori értekezése is. Ezt követően digitális jelfeldolgozási, illetve akusztikai zajcsökkentési projektekben vett részt, oktatási területe is ez irányban változott. 1986-óta folyamatosan részt vesz az angol nyelvű képzésben is.

## Irodalom

- [1] Tarnóczy T.,  
Teremakusztika – I. kötet: Visszhangok és utószögés.  
Akadémiai Kiadó, Budapest, 1986.
- [2] F.M. Colby,  
Outlines of general history.  
American Book Company, New York, 1899., p.124.
- [3] Tarnóczy T.,  
Akusztikai tervezés.  
Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1966., p.34.
- [4] Simonyi K.,  
A fizika kultúrtörténete a kezdetektől 1990-ig.  
4. átdolg. kiadás. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1998.
- [5] W.C. Sabine,  
Collected Papers on Acoustics.  
Peninsula Publishing, Los Altos.  
(Az eredeti, 1922-ben a Harvard University Press kiadónál megjelent kiadvány facsimile kiadása.)
- [6] P. Nagy J.,  
A hangszigetelés elmélete és gyakorlata.  
Akadémiai Kiadó, Budapest, 2004.
- [7] Reis F.,  
Az épületakusztika alapjai.  
Terc Kiadó, Budapest, 2008.
- [8] Szentmártony T.,  
Zajtalanítás.  
Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1963.
- [9] L.L. Beranek,  
Riding the waves.  
A life in sound, science and industry.  
The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 2008.
- [10] Schultz, T.J.,  
Diffusion in reverberation rooms.  
J. Sound Vib., Vol. 16, No.1, 1971, pp.17–28.
- [11] L.L. Beranek,  
Acoustics.  
American Institute of Physics, New York, 1988.  
(Az 1954-es kiadás 3., változatlan utánnomása.)
- [12] Barát Zoltán,  
Műszaki akusztika (kézirat).
- [13] Horváthné Gembiczky E.,  
Műszaki akusztika példatár.  
Tankönyvkiadó, Budapest, 1971.
- [14] Granát J., Horváthné Gembiczky E.,  
Műszaki akusztika.  
Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2002.
- [15] Angster J., Arató É.,  
Akusztikai példatár.  
Akadémiai Kiadó, Budapest, 1986.
- [16] Nagy A.B., Fiala P., Augusztinovicz F., Kotschy A.,  
Prediction of radiated noise in enclosures using  
a Rayleigh integral based technique.  
In: CD Proc. of InterNoise 2004,  
Prague, 22-25. August 2004, Paper 651.
- [17] Gulyás K.,  
Finite difference modelling of  
a layered audio element.  
InMAR Res. Report, Work Area 1.2, Budapest, 2007.
- [18] Nagy A.B., Kotschy A., Fürjes A., Augusztinovicz F.,  
Computer Aided Acoustic Design at a Theatre  
Reconstruction: Realities and Simulation Results.  
In: CD Proc. of InterNoise 2000,  
Nice, 27-30. August 2000.
- [19] Augusztinovicz F.,  
Az akusztikai tervezés számítógépi módszerei (kézirat).  
Budapest, 2001.
- [20] Wyckaert K., Augusztinovicz F., Sas P.,  
Vibro-acoustical Modal Analysis:  
Reciprocity, Model Symmetry, and Model Validity.  
J. Acoust. Soc. Amer., Vol. 100. No.5, 1996.  
pp.3172–3181.
- [21] Augusztinovicz F., Tournour M.,  
Reconstruction of source strength distribution by  
inversing the Boundary Element Method.  
In: O. von Estorff (ed.), Boundary elements in acoustics.  
WIT Press, Southampton, 2000., Ch. 8, pp.243–284.
- [22] Márki F.,  
Zajforrások azonosítása  
peremelem-módszer alapokon.  
PhD értekezés, Budapest, 2009.
- [23] Fiala P.,  
Development of a numerical model for the prediction  
of ground-borne noise and vibration.  
PhD Thesis, Budapest, 2008.
- [24] H-E. de Bree,  
An overview of Microflown technologies.  
Acta Acustica, Vol. 89, 2003., pp.163–172.
- [25] Heylen W., Lammens S., Sas P.,  
Modal Analysis Theory and Testing.  
Katholieke Universiteit Leuven, Leuven, 1998.
- [26] Pfliegel P.,  
Microflown –  
Az akusztikai mérések újszerű eszköze I-III.  
Akusztikai Szemle, 2009., II., III. és IV. szám.
- [27] Augusztinovicz F., Márki F., Carels P.,  
Bite M., Dombi I.,  
Noise and Vibration Control of The South Railway  
Bridge of Budapest.  
Proc. of 10th Int. Congr. Sound Vib., Stockholm, 2003.  
pp.1713–1720.
- [28] Morvay D.,  
Speciális részecskesebesség mérő mikrofon  
alkalmazástechnikája,  
I. díjas TDK dolgozat, 2005. november.

# „3D Internet” alapú kognitív infokommunikáció

BARANYI PÉTER, NÉMETH GÉZA

*BME Távközlési és Médiainformatikai Tanszék*  
baranyi@tmit.bme.hu

KORONDI PÉTER

*BME Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék*

*Kulcsszavak: „3D Internet”, kognitív infokommunikáció, virtuális valóság, intelligens tér, kiegészített valóság*

**A „3D Internet” és a kognitív infokommunikáció két egymást jól kiegészítő olyan terület, amelyek várhatóan a közeljövőben jelentős fejlődés előtt állnak. E területen számos új nemzetközi kutatásra és fejlesztésre van szükség ahhoz, hogy megjelenhessenek az otthonainkban és a mindennapjainkban. Ezek a kutatások Magyarországon is elkezdődtek – ezekből ad egy kis ízelítőt a cikk. Ismerteti a témában kialakult alapfogalmakat és definíciókat, azok egymáshoz való viszonyát és kialakulását, valamint a kapcsolódó nemzetközi trendeket és nagyobb nemzetközi projekteket, kutatólaboratóriumokat, továbbá röviden példákat mutat be az e területen elért kísérleti eredményekből.**

## 1. Bevezetés

A mindennapi tevékenységeink egyre nagyobb része köthető a „digitális szociális viselkedéshez”. Az ipar fejlesztői – jól látva ezeket a trendeket – egyre nagyobb erőforrásokat fektetnek az új termékek személyre szabhatóságának fejlesztésébe, hogy termékeik ne csak használhatóak legyenek, hanem nélkülözhetetlenek legyenek felhasználói (gazdái) számára és akár kifejezzék gazdájuk kulturális, társadalmi hovatartozását, mint például az új generációs mobiltelefonok esetén megfigyelhető. Minél bonyolultabb egy eszköz használata, annál kevésbé használható a mindennapokban, annál kevésbé vagyunk hajlandók az eszköz funkcióinak megtanulására. Ezért jogos igénye a felhasználóknak, hogy a lehető legmagasabb szinten a bonyolult dolgokat is egyszerűen tudják eszközeikkel, személyes informatikájukkal „megbeszélni”, azaz segítőtársuk legyen az eszköz.

Az ember háromdimenziós világban él, háromdimenziós világról alkotott tudást, valamint ezt a három dimenziót is használja non- és para-verbális kommunikációja során. Így természetes igénye az embernek, hogy a saját személyes informatikai eszközeivel is hasonló módon kommunikáljon, és azokban tudásának háromdimenziós részét megfelelően tudja ábrázolni. Ennek megfelelően igénye például az, hogy az általa felhalmozott kollektív tudásnak az informatikai reprezentációját, az internetet is háromdimenzióssá tegye. A háromdimenziós informatikai lehetőségek jelentősen segítik a kommunikációt és információink ábrázolását.

Mindezek következményeképpen szinte napról napra jelennek meg újabb háromdimenziós informatikai eszközök. Például Japánban 3D-s TV műsorszórás van és Európában is hamarosan megindul, 3D-s TV-k és monitorok kereskedelemben is kaphatóak elérhető áron és számos új technológiákon alapuló 3D-s megjelenítő eszközök látnak napvilágot. Mobiltelefon is kapható 3D-fe-

lülettel melynek 3D-s mozgatása és mozgása (iPhone) kapcsolatot teremt informatikai eszközeinkkel és azok 3D-s tartalmával. Mindezeket összefogó háló az Internet. A jelenlegi Internet és tartalma különösen nagy sikerrel szötte át mindennapjainkat és hasonlóan jósolható, hogy annak 3D-s verziója is fontos része lesz életünknek. A legnagyobb internetes szoftvercégek jelentették be, hogy hamarosan megjelennek a „3D Internet”-et kiszolgáló felületeik. A fentiek megváltoztatják a hagyományos billentyűzet- és egéralapú adatbeviteli lehetőségeinket és hatékonyabb kommunikációs lehetőségeket igényelnek, amit átfogóan a kognitív infokommunikációval foglalkozó kutatások ölelnek fel. A 3D-s megjelenítés és annak manipulálására alkalmas kognitív infokommunikáció megteremtí a 3D-s médiakutatási irányokat, ami tulajdonképpen a 3D-s tartalomkezelésnek és ábrázolásnak az összefogója.

A jelen hálózatait és kommunikációs, valamint tartalomkezelő eszközeit gyökeresen másképpen kell elképzelni a jövő „3D-Internet”-ében. A hálózati média egy olyan technológia, amely segítségével bárki készíthet, szerkeszthet, használhat és élvezhet tetszőleges elektronikusmédia-tartalmat, bárhol is tartózkodik. A tartalom nem csupán hangból és képből épül fel, mint ahogyan a mai telefonos és televíziós szolgáltatások, hanem az interaktív szolgáltatások széles skáláját nyújtja az információ, oktatás és szórakozás területén, ezáltal új üzleti lehetőségeket teremtve. Jelenleg a legtöbb médiatartalmat műsorszórás vagy zene/film eladás számára gyártják. Európában a műsorszórás éppen az analog-digitális átállás fázisában tart. A digitális műsorszórás, amellyel, hogy gazdaságosabb spektrumkihasználással bír, lehetőséget nyújt adatszolgáltatások és interaktivitás integrálására is. A digitális műsorszórásban megfigyelhető, hogy az otthoni rögzítésen vagy a szolgáltatók által kínált funkciókon keresztül a tartalom a felhasználó számára közel tetszőleges időpontban elér-

hetővé és egyre inkább interaktívvá válik. Röviden összefoglalva, a jövő hálózati médiájáról elmondható, hogy az egy olyan szolgáltatás, amely mindenütt egyszerűen és könnyen elérhető bárki számára professzionális vagy szabadidős célokra. Természetesen technikailag az egyszerűség mögött több szintű komplexitás húzódik, de a felhasználónak nem kell ismernie ezt a bonyolultságot.

Ahhoz, hogy ez megvalósulhasson, a következő alapvető dolgoknak kell megváltozniuk:

- A médiának a hálózat részévé kell válnia, szemben a mai gyakorlattal, ahol ez csak valami, amit A-ból B-be kell szállítani.
- A tartalom bárkitől származhat, intelligens és felhasználóbarát indexelő motoroknak kell a megfelelő metaadat-tartalmat hozzágenerálni.
- Intuitív és multimodális beviteli egységeknek kell a mainál sokkal természetesebb interakciót kínálnia a médiakörnyezettel és azon belül is.
- A tartalom megjelenésének észrevétlen adaptálódnia kell a felhasználóhoz, környezethez, illetve a megjelenítő képességeihez.

A „3D Internet” és „3D Média” világméretű megjelenését mutatja az Európai Unió új innovatív irányainak meghatározása is. Az FP7-es keretprogramot előkészítő anyagok közül a „Research on Future Media and 3D Internet” és a „Future Internet and NGN, Design requirements and principles for future media and 3D Internet” című tanulmányok az egész világ tendenciáit alaposan átvilágítva 35 kiemelt európai és amerikai szakértőnek összesített véleményét foglalja össze a „Future Media 3D Internet” (FM3DI) témakörben, mint az európai versenyképesség szempontjából egyik leglényegesebb témakörben. Mindkét tanulmányt a „Future Media and 3D Internet task force” készítette, melyet a „five FP7 Networks of Excellence” koordinálta a Networked Media Unit of the DG information Society és a Society & Media of the European Commission támogatásával.

Az „EU ICT 2009 Workprogramme Cooperation Theme 3 European Commission C(2008)6827 of 17 November 2008” című kiadvány már, mint eldöntött stratégia fő elemeként konkretizálja és részletezi azokat az irányokat,

melyekre az európai unió finanszírozási keretet vállal. Ebben az anyagban, a fenti felmérésekre építve kiemelt szerepet képez a „3D Internet” (Objective ICT-2009.1.5: Networked Media and 3D Internet).

Világviszonylatban is jelentős innováció figyelhető meg, csak néhány pontot kiemelve:

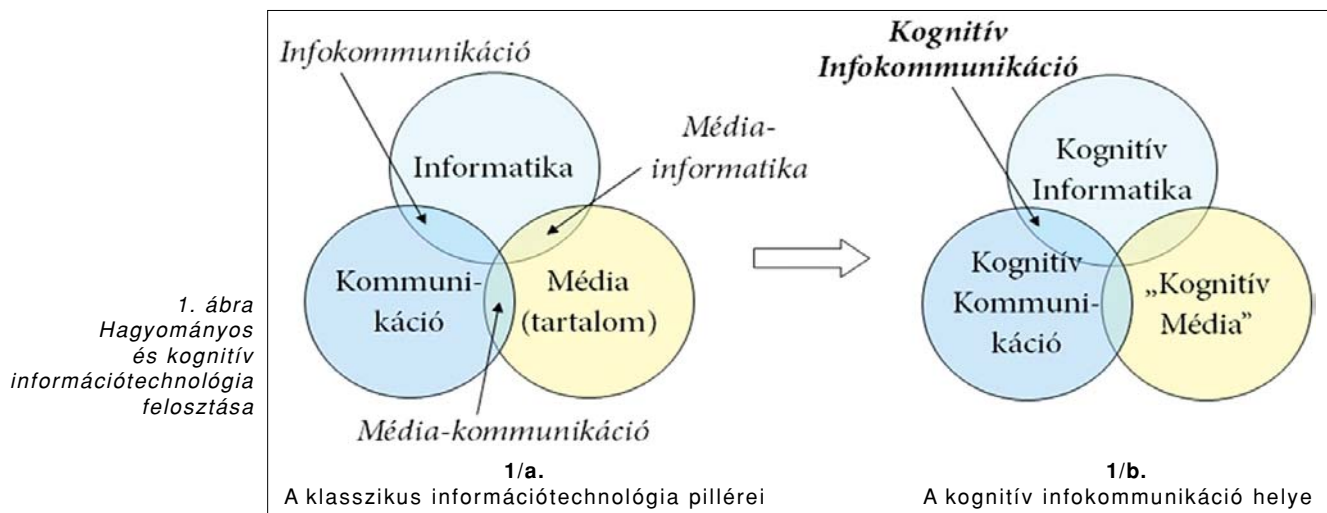
- EU Future Internet Research and Experimentations, FIRE ([www.cordis.europa.eu/fp7/ict/fire](http://www.cordis.europa.eu/fp7/ict/fire));
- NSF Future Internet Design & GENI Programmes, FIND ([www.nets-find.net](http://www.nets-find.net)); GENI ([www.geni.net/office/office/.html](http://www.geni.net/office/office/.html));
- China Science and Technology Network, ([www.cstnet.net.cn](http://www.cstnet.net.cn));
- Japánban: AKARI Architecture Design Project ([akari-project.nict.go.jp/eng/overview.htm](http://akari-project.nict.go.jp/eng/overview.htm));
- Koreában is készülnek a hamarosan a hétköznapokat is elérő 3D internetre ([mmlab.snu.ac.kr/fiw2007/presentations/architecture\\_tschoi.pdf](http://mmlab.snu.ac.kr/fiw2007/presentations/architecture_tschoi.pdf)).

## 2. A kognitív infokommunikáció és a „3D Internet” alapfogalmai

A klasszikus információtechnológiának három alappillére van (1/a. ábra):

- A *média* foglalkozik információ tartalmak létrehozásával és manipulálásával.
- A *kommunikáció* feladata az információanyagok továbbítása.
- Az *informatika* tárgya az információ feldolgozása. Napjainkban a három pillér közötti határok egyre inkább elmosódnak, amit az informatikai szakirodalomban konvergenciátételnek neveznek. Így a köztes területek kerülnek a figyelem középpontjába:

- A *médiakommunikáció* feladata az információs anyagok eljuttatása széles tömegekhez.
- A *médiainformatika* az informatika erejére építi az interaktív médiát.
- Az *infokommunikáció* az emberek és az információtechnológiai eszközök, illetve az eszközök egymás közötti kommunikációjával foglalkozik.



**2.1. Kognitív infokommunikáció**

Az információtechnológia-hármas minden szegletében megjelennek a kognitív irányokba tekintő kutatások. A *kognitív tudomány*, vagy más szóval *megismeréstudomány* az ötvenes években kialakult interdiszciplináris tudományág, amely az érzet és annak megértése között lejátszódó agyműködéssel és az emberi intelligencia megértésével foglalkozik. A jelen cikk a kognitív infokommunikációra koncentrál, annak helye az 1/b. ábrán látható.

A korábbi definíciókat a következő interdiszciplináris tudományokkal egészíthetjük ki:

- A *kognitív kommunikáció* inkább a kognitív tudományhoz áll közelebb, és feladata az információ továbbításának vizsgálata kognitív információs csatornákon keresztül, ide soroljuk a kognitív nyelvészetet és más a kognitív tudomány által felölelt non- és para-verbális csatornákat, valamint az olyan eseteket, amikor az érzékszerveinket nem a szokásos módon használjuk, például amikor a vakok a kezükkel látnak.
- A *kognitív informatika* már inkább az informatikai tudományok ága. Az információ feldolgozásának egy olyan módja, amely az emberi agy belső megismerési, illetve a kognitív tudomány által vizsgált kommunikációs és egyéb érzékszervi folyamataihoz hasonló kíván informatikai eszközökkel megvalósítani és azt mérnöki műszaki feladatokban alkalmazni.
- A *kognitív infokommunikáció* az emberek és az információtechnológiai eszközök kognitív csatornákra, illetve kognitív informatikai folyamatokra alapozott kommunikációjával foglalkozik.

A kognitív infokommunikációnak az 1/b. ábrából levezetett definíciója valójában szélesebb körű.

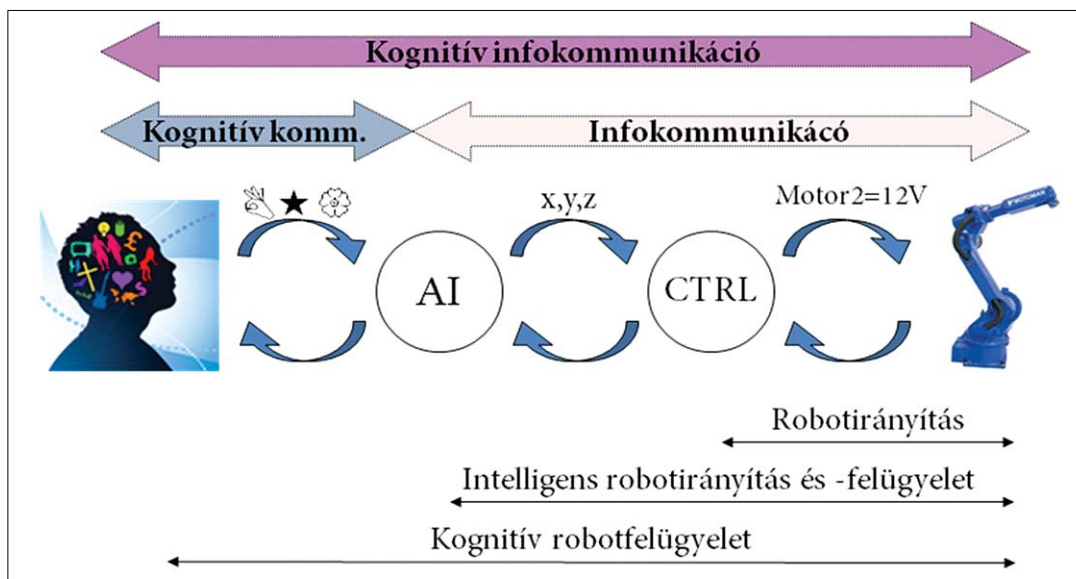
A 2. ábrán egy példát látunk a kognitív infokommunikációra. A robot vagy intelligens eszköz és az alacsony szintű vezérlő között gépi szintű kommunikáció van. A robot és egy magasabb szintű intelligens vezérlő adatcseréje az infokommunikációs szint. Ugyancsak info-

kommunikációnak nevezzük, ha az operátor közvetlen parancsokat ad a robotnak. A kognitív infokommunikációs szintre akkor lépünk, ha a teljes kommunikációs folyamatot egyben vizsgáljuk az értelem és az irányított feladat között.

Meg kell különböztetni két esetet. Az egyikben az emberek kommunikálnak (a kommunikációs csatorna mindkét végén emberi értelem van) és ekkor a kognitív informatikai eszköz célja a lehető legjobban átadni a non- és para-verbális információkat is.

Egy teljesen más eset, amikor ténylegesen egy géppel, illetve mesterséges intelligenciával kommunikálunk. Valamikor a gépek programozása egy teljesen elvont nyelven történt és ennek képessége csak néhány szakember kiváltsága volt. Napjainkban nem csak a szakemberek szűk rétege kényszerül arra, hogy gépekkel kommunikáljon, így ezen a területen még erősebb az igény a kognitív információs csatornák kialakítására. Itt külön ki kell emelni a személyes informatikai eszközök testre szabását a tulajdonos kívánalmai szerint. A felhasználó számára a személyes informatikai eszközök szinte már „társak”, azokkal úgy szeretnénk kommunikálni, mint ahogy egy másik emberrel tesszük. A személyesség egyik legfontosabb feltétele, hogy beszélni tudjunk az eszközzel és ezen túl a para- és nonverbális csatornán is működjenek, lehetőleg mindkét irányban és 3D-környezetben, mert az a természetes közegünk.

Itt különösen nagy kihívás az, amikor az intelligens mesterséges eszköz kommunikál az ember felé, hiszen ezen mesterséges rendszereknek az „érzeteik” az embertől távol esnek; feszültség, áramerősség, nyomatékperdület, fogysztás stb. Mindezen érzeteket át kell transzformálni az emberi érzékszervekre és úgy, hogy megfelelő felbontású és sebességű érzékszerveket csatoljunk össze, vagy annak kombinációit, hiszen sok esetben nem is tudjuk lebontani, hogy mely érzetek miatt is hoztuk döntésünket. Például egy versenyautót vezető robotpilóta a motor nyomatéka, fordulatszám és sok, más ember számára nem nagyon érthető paraméter alap-



2. ábra  
A kognitív infokommunikáció



**Szemüveget igénylő technológiák**

- Passzív szemüveg
  - anaglif
  - polárszűrős
  - infitec
- Aktív szemüveg

**Szemüveget nem igénylő technológiák**

- Párhuzamos akadályokon alapuló optikai szűrő
- Lentikuláris (hengeres) optikai szűrő

1. táblázat  
A térhatású megjelenítés technológiái

ján irányít, az ember viszont az elmozduló táj, a motor hangja és a testben lévő sok irányba szétágazó gyorsulásérzések alapján. Ekkor, ha egy robotpilótát irányítunk, azáltal, hogy egy virtuális térben vezetjük az autót, akkor a robotpilóta „érzeteit” át kell kognitív infokommunikációs eszközök segítségével transzformálni az emberi érzékszervekre.

**2.2. „3D Internet”**

A „3D Internet” olyan tartalomszolgáltatás, amely az internet lehetőségeit kiaknázva a felhasználóhoz sztereoszkópikus háromdimenziós képi élményt, vagy ilyet is tartalmazó multimédiás (interaktív) tartalmat juttat el.

A jelen cikk írásakor futó SIGGRAPH Computer Graphics konferencián a Mozilla, Google, és Opera bejelentette a WebGL-t, amellyel 3D-grafikák építhetők a honlapokba külön külső plug-in nélkül. A szabvány az OpenGL-re épül és az első verzió pár hónapon belül már elérhető lesz. Ehhez alapvetően új beviteli és megjelenítő hardver- és szoftvereszközök kellene, ezek közül a kulcselem a sztereoszkópikus képi megjelenítés. Ezeket többféleképp csoportosíthatjuk. Ezeknek a technológiáknak részletes bemutatása messze túlmutatna ennek a cikknek a határain, ezért ezeket az 1. táblázatban foglaltuk össze.

Fontos itt kiemelni, hogy számos, a hagyományos monitorszereű eszköztől jelentősen eltérő, új technológiák törnek előre ezen a téren (hazai vonatkozásban példa az ígéretes holografikus TV). Az otthoni felhasználás területén jelenleg az anaglif technika a legelterjedtebb, mert ehhez egy egyszerű monitor és egy akár házilag is elkészíthető anaglif (színszűrős) szemüveg is elegendő. Ez a technológia a YouTube-on is megjelent. A fájlcsere nélkülön számos anaglif technikával sztereósított filmet találunk.

Az első sztereó mozik polárszűrős technológiát alkalmaztak, így ennek is több évtizedes hagyománya van, napjainkban a korszerű sztereó mozik áttértek az infitec technológiára. Mindkét esetben a kivetítőre helyeznek egy megfelelő optikai szűrőt, így ezt a technológiát túl bonyolult lenne monitoroknál alkalmazni. Ezzel szemben már 100 ezer forintot alig meghaladó áron lehet kapni olyan 120 Hz-es monitort, amely képes felváltva 60-60 Hz frekvenciával egymás után kivetíteni a jobb és a bal szem számára a sztereó képet. A monitor tartozéka egy olyan elsőtétülni képes aktív szemüveg, amely a monitorhoz szinkronizálva szét tudja választani a jobb és bal szem számára előállított képeket. A jövő azonban valószínűleg a szemüveg nélküli 3D-kivetítőké. Az ilyen monitorkok is megjelentek a piacon, de az árak több mint kétszerese a szemüveges társaiknál.

**2.3. „3D Internet”-alapú telemanipuláció és monitoring**

Amikor „3D Interneten” keresztül kognitív infokommunikációs eszközeinkkel egy robotnak feladatot adunk, akkor elérkeztünk a „3D Internet”-alapú telemanipulációhoz. Ugyanígy a monitorozás is ide tartozik. A 3D-s megjelenítés a monitorozott információtömegnek az ember kognitív folyamatait, perceptuális képességeit, valamint az információk sebességét és fontosságát összevető megjelenítése külön tudomány.

**2.4. 3D+1 audió**

Az emberi kommunikáció egyik legfontosabb alapja a hang és a beszéd. Nagyon fontos számunkra, hogy azonosítsuk a beszélőt, hiszen ettől függően jelentősen eltérő tartalmat érthetünk ki a hallott beszédből.

Az azonosítás egyik alapja a 3D-s világunk, vagyis a beszélő azonosítása helye szerint. A geometriai meghatározásba beletartozik a beszélés iránya is, mert lehet, hogy nem is felénk beszél az azonosított beszélő, azaz másnak szánja üzenetét. A másik azonosítás pedig a beszélő egyedi hangja alapján történik. Így a kognitív infokommunikációs eszköztárban megjelenik az audiórendszerek 3D-s geometriája és +1 dimenzió, ami nem geometriai információt, hanem típusosságot jelöl. Ha egy virtuális térben eszközökkel beszélgetünk, akkor beszédünk iránya meghatározható, ha éppen nem szólítjuk nevén, hogy mely eszköznek szántuk a parancsot. De ha hallunk egy üzenetet, például „out of memory”, akkor a hang típusából és irányából azonnal tudhatjuk, hogy mely eszközre kell figyelni, vagy egyáltalán geometriával és iránnyal nem rendelkezően például maga a virtuális tér szól hozzánk, amiben manipulálunk. Összekapcsolt virtuális tereknek több kiszolgáló szoftvere is van, melyek kommunikálhatnak velünk, és ezek mind hely- és geometria-függetlenek, megkülönböztetésük hangtípusuk alapján természetes az ember számára.

**2.5. Intelligens tér, mint a „3D Internet”-alapú kognitív infokommunikáció előfutára**

Az „Intelligens tér” a 3D-s virtuális valóság egy kiterjesztése, felruházása intelligenciával. Ebben az értelemben túlmutat a „3D Interneten”, de mindenképp annak egy előzményének és egyben továbbra is egy fontos alkalmazási területének tekinthető, mert az intelligens tér koncepciójában meghatározó szerepe van az internetes kapcsolatban álló elosztott intelligenciának. Olyan körülhatárolt teret tekintünk intelligens térnek (például egy szobát), amely elosztott érzékelőkkel és aktuátorokkal vagy robotokkal van ellátva, melyek együttese „érti”, figyelemmel kíséri a térben zajló eseményeket és azt befolyásolni vagy a benne lévő embert segíteni is tudja.





3. ábra Virtuális és valóságos laboratórium

Az „Intelligens tér” kifejezés és az első ilyen megvalósított rendszer iSpace márkaneve a kilencvenes években robbant be a köztudatba Hideki Hashimoto, a Tokió Egyetem professzorának munkássága nyomán. A „3D Internet” és kognitív infokommunikáció ideális eszközei az iSpace-k.

### 3. Az intelligens térhez kapcsolódó kutatások

Több esemény is zajlott párhuzamosan az elmúlt 15-20 évben, kezdetben talán kicsit elszigetelten, melyek eredményeképpen fogalmazta meg a Távközlési és Média-informatikai Tanszék (TMIT) a kognitív infokommunikáció definícióját, és tett szert kompetenciára a „3D Internet”, valamint az előző fejezetben említett fogalmak területén. Ebben a fejezetben a párhuzamosan futó események közül az intelligens térhez kapcsolódó kutatásokat emeljük ki.

A kilencvenes évek elején a Tokió Egyetemen Hashimoto professzor laboratóriumában megszületett az iSpace-fogalom, majd a kezdeti eszközrendszer is. Ebben a pillanatban kapcsolódott be a BME Elektrotechnika Tanszéke (ET) ezekbe a kutatásokba. Eleinte folyamatos magyar

kutatói jelenlétet biztosított a Tokiói Egyetemen a sikeres együttműködés, majd rövidesen iSpace projektek vezetését is részben a BME ET kutatói végezheték. Ezzel párhuzamosan, de szoros együttműködésben a TMIT (akkori nevén Távközlési és Telematikai Tanszék) kutatói a Tokyo Institute of Technology egyetemen és később a Gifu Megyei Kutatóintézetben szereztek laboratóriumvezetői tapasztalatot intelligens rendszerek, valamint 6 oldalas, CAVE (Cave Automatic Virtual Environments) rendszerű 3D-s virtuális valóság kutatásában. Az együttműködés eredményei is ígéretesek voltak, ezért a TMIT kezdeményezte és közösen az Elektrotechnika Tanszékkel megszervezte az IISL (Integrated Intelligent System Hungarian-Japanese Laboratory – [www.iisl-lab.org](http://www.iisl-lab.org)) megalapítását.

Az IISL keretében elkészült a Tokió Egyetem egy laboratóriumának egy egyszerűsített virtuális 3D-s modellje még a 90-es évek végén (3. ábra), amelyben egy virtuális robotot lehet irányítani. Kezdetben ezt a 3D-s modellt a 2D-s képernyőre kivetítve lehetett tanulmányozni. Később, amikor az ELTE Vizualizációs Centruma is csatlakozott a kutatáshoz, a 3D-s modellt egy speciális szemüveg segítségével sztereóban is lehetett szemlélni. Japán és norvég támogatással a BME TMIT+MOGI-

4. ábra Az ELTE 3D-s Vizualizációs Centruma

a) A 3D-s kivetítő vászon

b) A tokiói labor kivetített képe



ELTE-MTA SZTAKI együttműködés több olyan demonstrációt hozott létre, amely „3D Internet”-alapú kognitív infokommunikációs alkalmazásnak tekinthető.

### 3.1. Internet alapú robotirányítás 3D-s virtuális valóság segítségével

A demonstráció célja az volt, hogy a korábban közel egy évtizedes közös kutatások eredményeként magyar és japán oldalon elkészült szoftver- és hardver-eszköz-tárat miként lehet integrálni a „3D Internet” és a sztereó megjelenítés szolgálatában. A Budapesten tartózkodó operátor a 3D-s virtuális laboratóriumban egy virtuális joystick segítségével irányította a virtuális robotot. A robot mozgását leíró információt az interneten keresztül közvetítette a tokiói iSpace-szel, amely ennek megfelelően irányította a valóságos robotot. A két robot nem áll egymással közvetlen kapcsolatban, csak a virtuális 3D-s modell és a valóságos iSpace között cserélődött a robotra vonatkozó 3D-s információ. Az egyik legnagyobb kihívást az internet okozta időkésleltetés, illetve az interneten küldött adatcsomagok sorrendjének felcserélődése okozta. Az átlagos időkésleltetést folyamatosan mérve, egy predikciós algoritmus becsülte meg a robot helyzetét a virtuális robot számára.

### 3.2. Fizikailag távol lévő eszközök együttműködése egy 3D-s virtuális valóságban

A demonstráció célja annak bemutatása, hogy fizikailag egymástól távol lévő eszközök miként tudnak virtuálisan együttműködni egy közös virtuális térben, például egy virtuális labdát mozgatva (<http://dfs.iis.u-tokyo.ac.jp/~barna/VIRCA/>). A demonstráció látványos részében egy robotkar és egy mobil robot szerepelt, ezek egymástól kb. 1 km távolságra voltak. Mindkét robot animált képe egy közös 3D-s virtuális valóságban jelent meg, ahol még található volt egy virtuális labda. Először a mobil robotot úgy mozgattuk, hogy az animált mása a virtuális térben a virtuális labdát a robotkar animált képe elé tolja, ekkor a robotkar olyan módon nyúlt le, hogy az animált mása meg tudja fogni a virtuális labdát. Az animált robotkar megragadta és arrébb helyezte a virtuális labdát, közben a valóságos robot is mozgott látszólag a levegőt megfogva.

E látványosságoknál fontosabb, hogy a demonstrációban a fizikai eszközök és a grafikai modulok egy szabványosított protokollon keresztül lettek összekötve, így bármikor újabb robotot vagy más eszközt helyezhetünk a közös virtuális térbe. Az ennek alapjául szolgáló Open AIST RT\_middleware-t állami támogatással Japánban fejlesztették ki és ez az első európai alkalmazása. A japán szabványt kiegészítve egy kognitív infokommunikációs middleware felületté fejlesztettük, és kialakítottuk a felhasználók által is szabadon konfigurálható „3D Internet”-alapú rendszerünket a VIRCA-t (Virtual Communication Arena). Ebben kap helyet a szabványosított kognitív infokommunikációs rendszer is, ahol szabadon variálhatók más 3D-s virtuális objektumokkal vagy a szobába belépők kommunikációs eszközeivel is. Ebben a rendszerben már helyet kap a különböző kognitív csator-

nák kombinálhatósága is az intelligens rendszerekkel való hatékonyabb kommunikáció érdekében.

A „3D Internet” hálózati aspektusainak vizsgálatai, tervezése és egyéb fejlesztései egy nagyobb 3D-s virtuális hálózat kiépítését igényli. Ezért a BME TMIT és MOGI valamint az MTA SZTAKI konzorciumot hozott létre egy nagyméretű 3DICC (*3D Internet based Communication & Control*) laboratórium kiépítésére az IISL keretei között szerzett szakmai kompetenciára és nagyobb méretű pályázati forrásokra támaszkodva. A laboratóriumban Magyarországon elsőként épül egy 3D CAVE (Cave Automatic Virtual Environments) is. Ezt a CAVE-t az ELTE Vizualizációs Centrum kivetítőjével összekapcsolva Európában is egyedülálló rendszer alakul ki, mely két nagy 3D-s virtuális térből és azt összekötő nagysebességű hálózatból, illetve az ehhez kapcsolódó kognitív infokommunikációs csatornákból áll. A kialakítandó rendszer kapcsolódni képes nemzetközi 3D-s virtuális és kommunikációs hálózatokhoz. A két 3D-s rendszer fizikai közelsége a „3D Internet” hálózati aspektusainak vizsgálatát és tesztelhetőségét is lehetővé teszi.

A VIRCA az alapja a közeljövőben kialakítandó *iSpace Laboratory Network*-nek, amelybe „3D Internet” kutatásával foglalkozó műhelyek léphetnek be, és amely új dimenziót nyithat távoli laboratóriumok (ezek lehetnek kutatási, illetve ipari célúak) együttműködésében. Előzetesen Európából, Ázsiából és Amerikából közel húsz kutatócsoport jelezte belépési szándékát, többségükben olyan intézményekből vagy egyetemekről, amelyek hazájukban vezető szerepet töltenek be. Itt kiemelhetjük azokat a japán kutatócsoportokat, amelyek az új generációs robotok kommunikációs szabványán dolgoznak a japán kormány támogatásával. Az iSpace Laboratory Network-ön keresztül ezek a szabványok még a fejlesztési fázisban eljutnak a tagokhoz, így a iSpace Laboratory Network fontos szerepet tölt be e szabványok világméretű elterjesztésében és részben kidolgozásában.

A kialakítandó iSpace Laboratory Network-ben találhatóak lesznek valós robotok, azok virtuális animált 3D-s modelljeik, továbbá mozgáskövető rendszerek. Tegyük fel, hogy egy Norvégiában lévő kisvállalkozásnak (amely tagja az iSpace Laboratory Network-nek) egy robotos gyártócellával kell elvégezni egy feladatot, de a kedvezőbb órabér miatt egy magyar szakemberrel (aki szintén be tud lépni az iSpace Laboratory Network-be) kívánja a robotot betaníttatni. A magyar szakember felvesz egy mozgáskövető adatrúhát és belép az iSpace Laboratory Network-be (5. ábra). Ott kiválasztja az elvégzendő feladathoz felhasználandó robotok és szerszámgépek 3D-s animációs ikonját. Az ikonokat grafikusán összekötve és a szükséges adatforgalmat meghatározva, létrejöhet a tényleges kapcsolat. A távoli szakember a feladatot elvégzi virtuálisan, majd végül ez alapján automatikusan generálódik az a program, amelyik segítségével a tényleges robot is el tudja végezni a kívánt feladatot.

Ez ugyan csak egy ipari jellegű példa, de feltételezhetően a számítógépes játékoktól az emberi kapcsolat-tartásig számos felhasználási lehetőség rejlik egy ilyen 3D-s alapkiépítésben.

#### 4. „3D Internet”-alapú robotkommunikáció és -programozás

Ez tulajdonképpen három nagy projektnek egy integrált és fókuszált közös távlati célja, így alkalmas lehet a jelenleg futó kutatások összefoglaló jellegű szakmai bemutatására. Ez egy olyan nagyléptékű cél, amely csak széleskörű nemzetközi összefogásban valósítható meg, amelyben a TMIT magas szintű, „3D Internet”-alapú kognitív infokommunikációs lehetőségek kidolgozásával vesz részt. A projektek kifejezetten ipari alkalmazásokra koncentrálnak, különböző módon a kis- és középméretű vállalatok versenyképességét kívánják növelni a robotizáció egy új paradigmájának bevezetésével.

A motiváció kettős. A kisebb szériák gyártásánál a robotizált folyamat gyakori átállítása a hagyományos robotprogramozási módszerekkel a költségeket annyira megnöveli, hogy a robotizálást teljesen versenyképtelenné teszi. További gond, hogy a robotok programozása olyan szaktudást igényel, amely a kis- és középméretű vállalatoknál nincsen jelen. Viszont, ha a robotfolyamattal a tulajdonos különösebb informatikai tudás nélkül is tud kommunikálni és „elmagyarázni” az átállás lényegét, mint egy kollégának, és az nagyobb részt automatikusan elő tudja állítani a szükséges robotprogramokat, akkor az átállás ideje, szakemberigénye és költsége jelentősen csökkenthető. Így tehát ez a projekt ilyen rendszerek elkészítésére fókuszál.

Ha a 100%-os automatizálásra törekszünk, akkor a biztonság, a felkészülés minden extrém esetre ismételt túlzottan megköveteli a költségeket. A megoldás, ha felügyeleti szinten bevonjuk az emberi intelligenciát (azaz „brain in the control loop” folyamatot valósítunk meg). Ez ismételt a kognitív infokommunikációs kompetenciát igényli. A megfelelő pillanatban hozott döntés – vagy magas intelligenciájú kommunikáció és irányítás – az egyébként automatizált folyamatban igen nagy hatáskönnövelést hozhat. A mesterséges rendszereink szituáció-felismerési, globális átlátási és intuícións hiányai miatt nem alkalmasak bonyolult flexibilis folyamatok ön-

álló elvégzésére. Ezen javíthat az, ha a legfelsőbb irányításban az ember mégis részt vehet, de ehhez a kapcsolathoz szükséges, hogy nagy hatáskönnökkel kommunikálni tudjon az adott rendszerrel.

A BME TMIT+MOGI-MTA/SZTAKI-NUC (NUC-Narviki Egyetem, Norvégia) közös demonstrációjában egy olyan munkadarab szerepel, amelynek a felszíne gyártási hibákat tartalmazott. Ezeket a hibákat általában csiszolással, köszörüléssel, kézi erővel távolítják el, egyedileg minden egyes legyártott munkadarabon. A munka elvégzése nagy egészségügyi kockázatot rejt magában (káros anyagok belélegzése, szemkárosodás stb.), így ennek a munkaszakasznak az automatizálása ipari robotokkal sok területen szükséges lehet. Ugyanakkor a gyártási hibák automatikus felismerése meglehetősen bonyolult.

A kidolgozott felügyeleti rendszerben az operátor a munkadarabon vagy annak virtuális modelljén egyszerűen meg tudja mutatni, hogy melyik részen szükséges köszörülni. Ezzel kapcsolatban több demonstráció született. Volt olyan demonstráció, amikor az operátor egy mozgáskövető ruhában mozgott, és a ruha által küldött adatokat kapta meg a robot. Volt olyan eset, amikor valamilyen vizuális információ alapján kapta a robot a parancsokat, de egyik esetben sem volt az operátor felől érkező információ önmagában elegendően pontos. Ezzel szemben, ha az operátor felől érkező kicsit pontatlan információt összevetettük a CAD modellel, akkor jól be tudtuk azonosítani, majd generálni a köszörülést végző robot pályáját (6. ábra).

#### A szerzőkről



**NÉMETH GÉZA** villamosmérnök, híradástechnikai szakmérnök, a BME Villamosmérnöki Kar Híradástechnikai Szakán végzett (1983), a BME-n doktorált (dr. univ – 1987, PhD – 1997). A BME TMIT Beszédtechnológiai Laboratórium vezetője. Kutatási területei: beszédtechnológia, szolgáltatás-automatizálás, többnyelvű beszéd- és multimodális információs rendszerek, mobil felhasználói felületek és alkalmazások.

5. ábra „3D Internet”-re alapozott robotbetanítás koncepciója az iSpace Laboratory Network segítségével  
a) A távoli szakember b) A szakember által látott 3D virtuális valóság

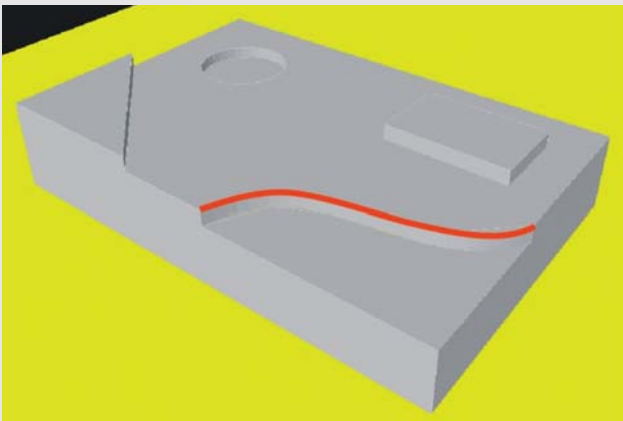




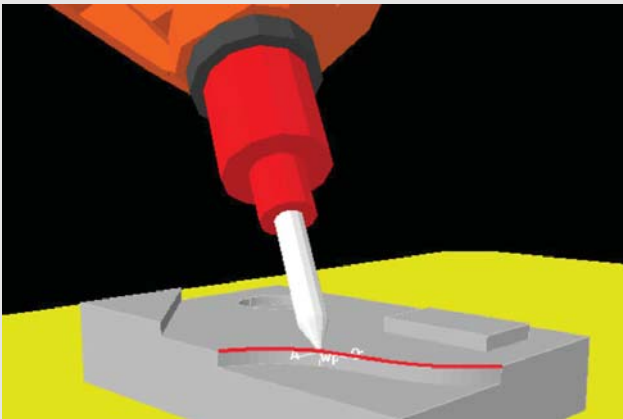
a) a munkadarab



c) a robot pályájának azonosítása



d) a művelet 3D animációja



b) a robot pályájának kijelölése



e) a feladat végrehajtása

6. ábra Robotok beprogramozása mozgáskövető adatrúha segítségével



**BARANYI PÉTER** 1994-ben M.Sc., 1999-ben Ph.D., valamint 2006-ban MTA doktori fokozatot szerzett. A Magyar Mérnökakadémia, az IEEE és a NJSZT tagja. 1996-óta néhány év meghívott külföldi kutatói és projektvezetői pozíció kivételével (Hull Egyetemen – Anglia, Tokio Egyetem, Gifu Kutaintézet – Japán, Sidney Egyetem, Ausztrália, CRNS, Franciaország, Duisburg Egyetem Németország, Hong Kongi Kínai Egyetem stb.) folyamatosan végzett a BME TMIT-n kutatásokat és részt vett az egyetemi oktatásban. Jelenleg a tanszék tudományos tanácsadója. Közel 300 tudományos közlemény szerzője, mely több mint 700 független hivatkozást kapott a szakirodalomban. Az IISL és ITM nemzetközi laboratóriumoknak kezdeményezője és alapító tagja.



**KORONDI PÉTER** 1984-ben végzett a BME Villamosmérnöki karán, majd 1996-ban szerzett Ph.D. fokozatot ugyanott. 2008-ban elnyerte az MTA Doktora címet. 2009-ben habilitált és ugyanebben az évben kapott egyetemi tanári kinevezést a BME-n. 2008-tól mellékállásban az MTA SZTAKI tudományos tanácsadója. 1993-95 között a Tokió Egyetemen vendégkutató, majd 1995-óta évente legalább egy hónapot tölt Japánban. Az IFAC – 4.3 Robotika Műszaki Bizottságának alelnöke, az „IEEE IES-Computational Intelligence” albizottságának elnöke, valamint az IEEE-ASME közös Advanced Intelligent Mechatronics (AIM'11) elnevezésű konferenciájának általános elnöke.

# Multimédia-kommunikáció ma és holnap

SZABÓ CSABA ATTILA, DO VAN TIEN, KOVÁCS IMRE,  
LOIS LÁSZLÓ, SEBESTYÉN ÁKOS

*BME Híradástechnikai Tanszék*  
{szabo, do, kovacs, lois, sebestyen}@hit.bme.hu

*Kulcsszavak: DVB-T, DVB-S, IPTV, IMS, mobil multimédia, Web2.0*

**Cikkünk a multimédia kommunikáció négy korszerű részterületével foglalkozik. A műholdas és földfelszíni digitális műsorszórás kapcsán bemutatjuk a szabványok második generációja által biztosított új lehetőségeket. Az IP-hálózatokon történő média-kommunikáció területén ismertetjük a fő rendszerteknikai megoldásokat, a streaming-típusú szolgáltatásokat, az IPTV-t, és röviden érintve az interaktív médiakommunikációs szolgáltatásokat, illetve a mobil multimédiát. Bemutatjuk a szolgáltatásnyújtási platformok legfontosabbját, az IMS-rendszert. Összefoglaljuk az internetes multimédia mai formáit és a Web2.0 technikákon és szolgáltatásokon alapuló közösségi részvételű alkalmazásokat.**

## 1. Bevezetés

A multimédia kommunikáció, vagy *hálózati multimédia* (networked multimedia) egy „rég-új” terület: hiszen ide sorolható egyfelől a múlt század első felében létrejött *tv műsorszórás*, a több, mint húszéves *kábeltéves műsorszórtás*, másfelől pedig a nem sokkal több, mint egy évtizedre visszatekintő *internet alapú multimédia* és legújabban a *mobil multimédia*. A szakterület sajátossága, hogy ma a multimédia tartalom továbbítására a *hagyományos és az új generációs hálózatok teljes körét alkalmazzuk*, tehát a kommunikációs vonatkozásai igen érdekesek és kihívást jelentő műszaki feladatkitűzéseket jelentenek.

A következő oldalakon a multimédia kommunikáció korszerű részterületeit mutatjuk be: a műholdas és földfelszíni digitális műsorszórást, az IP-hálózatokon történő médiakommunikációt, a szolgáltatásnyújtási platformokat és az internetes közösségi médiát.

Mindenekelőtt a műsorszórás mai korszerű rendszereivel és szolgáltatásaival foglalkozunk: a következő szakaszban a második generációs digitális műholdas és földfelszíni műsorszóró rendszereket mutatjuk be. A digitális műholdas és földfelszíni műsorszórás szabványainak megjelenése és elterjedése után több, mint tíz évvel megjelent a szabványok második generációja is. Ezekbe olyan új megoldások kerültek be, amelyek azonos körülmények mellett nagyobb adatsebességet, vagy azonos adatsebességek mellett nagyobb távolságú vértelt biztosítanak. Röviden összefoglaljuk a digitális műholdas és földfelszíni televíziós szabványok újdonságait, valamint bemutatjuk, hogy az általuk biztosított adatsebesség-növekedés lehetővé teszi a normál felbontású programok számának jelentős növelését.

Az IP-alapú hálózatok – ideértve a nyilvános Internetet is – egyre nagyobb adatátviteli sebességet ígérnek a felhasználóknak, amely sávzsélesség már a valós idejű videóátvitelt is egyre inkább lehetővé teszi. Eközben

a videó- és hang-forráskódolás területén végbemenő fejlődés eredményeként a médiakommunikációhoz szükséges sávzsélességigény is egyre kisebb lesz, így az IP-alapú hálózatokon a növekvő sávzsélességnek köszönhetően is egyre nagyobb számban jelennek meg a médiakommunikációs alkalmazások és szolgáltatások. A 3. szakaszban az IP hálózatokon történő médiakommunikációval foglalkozunk, bemutatva a fő rendszerteknikai megoldásokat, a streaming-típusú szolgáltatásokat, az IPTV-t és röviden érintve az interaktív médiakommunikációs szolgáltatásokat és a mobil multimédiát.

A különböző hálózati infrastruktúrákon történő mediatovábbítás új szolgáltatásnyújtási modelleket és architektúrákat igényel; a 4. szakaszban a terjedőben lévő és perspektivikusnak tűnő új generációs hálózatokra kidolgozott IMS (IP Multimedia Subsystem) rendszerteknikát ismertetjük. Az ezt követő részben az internetes multimédia mai formáit foglaljuk össze, amelyek egyrészt azt az újdonságot jelentik, hogy a felhasználó nemcsak fogyasztója lehet a „professzionális” tartalomnak, hanem előállítója is, megjelent a „prosumer” (producer and consumer), másrészt a Web2.0 technikákon és szolgáltatásokon alapuló közösségi részvételű formákat, a tartalommegosztó szolgáltatásoktól kezdve a közösségi tudásmegosztáson (wikipedia) át a sokszereplős multimédia szerepjátékokig.

Az összefoglalásban előtekintést is adunk: az új irányzatok közül azt vázoljuk fel, amely az interaktív televíziózástól a Web2.0 alapú médiafogyasztásig vezet.

Az elmúlt évek során a BME Híradástechnikai Tanszékének Multimédia-hálózatok Laboratóriuma több olyan ipari együttműködési projektben vett részt, amelynek célja a digitális műsorszórás, azon belül is a földfelszíni műsorszórás bevezetésének támogatása, valamint az általa kínált új szolgáltatások feltérképezése és alkalmazása volt. Az évek során együtt dolgoztunk az Antenna Hungária munkatársaival interaktív szolgáltatások ki-fejlesztésén, bevételező rendszert fejlesztettünk a Nem-

zeti Audiovizuális Archívum számára, illetve több olyan projektben vállaltunk szerepet, ahol kamatoztatni tudtuk a digitális televíziózás és stúdiótechnika területén szerzett tapasztalatainkat. Aktívan részt vettünk az interaktív televíziós kísérletekben a DVB-T magyarországi tesztelésének időszakában, az MHP platform kiválasztásában, néhány interaktív tv-szolgáltatás kifejlesztését a team végezte. Egy másik IPTV-projektben DVB-T szolgáltatás vételére, a programok demultiplexelésére és egy ftp-szerverre való továbbítására alkalmas rendszert fejlesztettünk ki és valósítottunk meg.

Részt veszünk az EU 7. keretprogramja által támogatott OPTIMIX (OPTImisation of Multimedia over wireless IP links via X-layer design) projektben, melynek célja IP alapú, vezeték nélküli, heterogén környezetben pont-sok-pont között hatékony, adatfolyamként történő videótovábbítást (stream-elést) lehetővé tevő innovatív megoldások kutatása és fejlesztése.

A nemrég lezárult MESSENGER (MEdia Streaming Services in a Next GEneration aRchitecture) című NKFP-támogatású K+F-projektünk célja olyan új média-streaming rendszertechnika kidolgozása és kísérleti megvalósítása volt, amelyben a felhasználó sima átmenettel térhet át egyik hozzáférési hálózatról a másikra, miközben a médiafolyam minősége alkalmazkodik az adott hálózat és felhasználói végkészülék képességeihez.

A Magyar Telekom számára IPTV-szolgáltatásának támogatására hibajavító teszt-architektúrát dolgoztunk ki. Az NKTH Jedlik-programja által támogatott MobilVideo-projektben adaptív videostreaming-rendszer kifejlesztése volt a cél. A Magyar Telekom–T-Mobile megbízásából az ATV és a TV2 televíziócsatornák számára azt vizsgáltuk, hogy egyes mobilmultimédia-megoldások a gyakorlatban hogyan segíthetik a műsorkészítést.

A szolgáltatásnyújtási platformok terén a Nokia budapesti központjában folyó IMS-fejlesztés számára dolgoztunk ki tesztelési szoftvermegoldásokat több éven át.

A új média-hálózatok terén kitűzött egyik kutatási irányunk célja olyan szolgáltatások, szolgáltatási modellek, architektúrák, platformok és eszközök kidolgozása, amelyek kiaknázzák a Web2.0-ban rejlő szociális momentum lehetőségeit a médiafogyasztás élményének kiterjesztésére, bővítésére internet-alapú elemekkel a nézők saját közösségeiben, megőrizve eközben az otthoni környezetű digitális televíziózás minőségét, egyszerűségét és kényelmét. Kapcsolatokat építettünk ki egyes, a médiaipar területén működő európai vállalatokkal, szolgáltatókkal és az e területen kiváló kutatóhelyekkel (Create-Net, Tampere Univ. of Technology, Aristotle Univ. of Thessaloniki) és folyamatban vannak EU FP7 és COST pályázatok.

## 2. A második generációs digitális műholdas és földfelszíni műsorszóró rendszer

A digitális televíziós szabványok megalkotásának egyik legfőbb mozgatórugója a korábbi analóg rendszerek felváltása gazdaságosabb megoldásokkal. A gazdaságos-

ság növelését természetesen nem a szolgáltatás minőségének csökkentése árán, sokkal inkább a szűkös erőforrások – a frekvenciakincs – hatékonyabb felhasználásával lehet és kell biztosítani, mind a műholdas műsorszórás, mind a földfelszíni műsorszórás esetén.

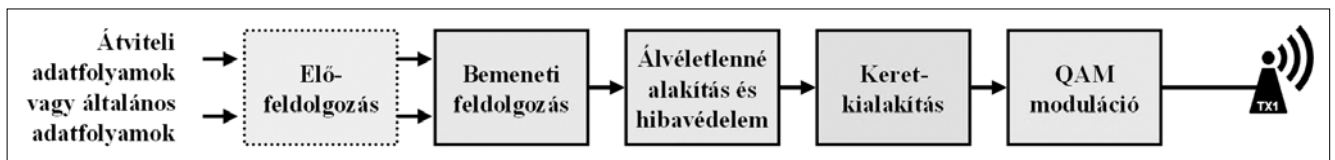
A 1990-es évek elejétől kezdve a digitális technika vívmányai és eredményei a stúdiótechnika, valamint a műsorszórásban is egyre nagyobb teret nyertek. A számítási kapacitás növekedésének köszönhetően lehetőség nyílt új forráskódolási megoldások kidolgozására: megjelent az *MPEG-1*, majd pedig az *MPEG-2* kódolás. Az előbbi ugyan még nem volt alkalmas a műsorszórásban megszokott minőség biztosítására, az utóbbi viszont a fejlesztéseknek és későbbi kiegészítéseknek köszönhetően már annál jobb minőséget és nagyobb felbontást is lehetővé tett. A forráskódolás mellett a csatornakódolási megoldások fejlődése szintén hozzájárult a digitális televíziózás elterjedéséhez. A hibakorlátozó kódolással kiegészített moduláció a korábbiaknál jóval alacsonyabb kisugárzott teljesítmény mellett volt képes az analóg rendszereknél megszokott lefedettséget biztosítani.

Az elért eredményekre alapozva végül 1993-ban megszületett és meglehetősen gyorsan el is terjedt az európai műholdas műsorszóró szabvány, a *DVB-S* (Digital Video Broadcasting – Satellite) [1], majd 1997-ben ennek földfelszíni változata, a *DVB-T* (Digital Video Broadcasting – Terrestrial) [2]. A *DVB-S* szabványnak köszönhetően az egy műholdas transzponder által továbbítható egyetlen analóg program helyett lehetőség nyílik transzponderenkénti 8-10, újabban pedig akár ennél is több *MPEG-2* forráskódolású, speciális felépítésű, úgynevezett átviteli adatfolyammá (transport stream-mé) szervezett digitális program továbbítására. A *DVB-T* szabvány esetén egyetlen földfelszíni csatornában a korábbi egy analóg program helyett körülbelül 6 digitális program továbbítható. (A *DVB-T* szabvány ezen túlmenően lehetőséget nyújt úgynevezett egyfrekvenciás hálózatok kiépítésére is, amivel tovább növelhető az országos lefedettségű televíziós programok száma.)

### 2.1. Az első generációs megoldás áttekintése

A digitális műholdas és földfelszíni műsorszóró rendszer csatornakódolásának és modulációjának megválasztása során a fejlesztők arra törekedtek, hogy a szabványokba a fejlesztés idejében rendelkezésre álló lehető leghatékonyabb, de azért még megvalósítható megoldások kerüljenek be, olyanok, amelyek *DVB-S* esetén jól illeszkednek a műholdas csatorna jellemzőihez, *DVB-T* esetén pedig a földfelszíni csatorna tulajdonságaihoz. Mindkét csatorna esetén többféle zavaró tényezővel kell számolni, így a jellemzően kis vivő-zaj viszonytal, amely a bemeneti adatfolyam bájtjainak és bitjeinek meghibásodásához vezet. A bájt- és bithibák elleni védelem érdekében mindkét szabvány esetén az egymás után végrehajtott Reed-Solomon kódolás, átszövés és konvolúciós kódolás biztosítja.

A földfelszíni csatornában továbbá a többutas terjedéssel is számolni kell, amely az egyes jelutak külön-



1. ábra A DVB-S2 rendszer vázlatja

bőző késleltetése miatt szimbólumközi áthallást okoz. Ellene a szimbólumok időbeli eltávolításával lehet védekezni védelmi intervallumok beültetésével. Hogy emiatt csak kis mértékben csökkentjen az átviteli kapacitás, a szimbólumidőt az átviteli kapacitás jelentős csökkenése nélkül növelni kell.

Az ezt szolgáló megoldás az úgynevezett *ortogonális frekvenciaosztásos nyalábolás* (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM), ahol az információt nem egyetlen rövid periódusú vivő, hanem több, külön-külön modulált, hosszabb periódusú vivő továbbítja. Az egyes vivők modulációja a DVB-T rendszerben QPSK, 16QAM, valamint 64QAM módszer szerint történhet. A DVB-S rendszer ezzel szemben egyvivős modulációt alkalmaz, ahol a szimbólumközi áthallást 0,35-ös lekerekítési tényezővel rendelkező Nyquist-szűrés korlátozza. A vivő modulációja az alacsony vivő-zaj viszony következtében QPSK szerinti.

## 2.2. A második generációs megoldások áttekintése

A 2000-es évek mind a forrás-, mind a csatornakódolás területén további fejlődést hoztak: megjelent az MPEG-2 videókódolás utódjának tekinthető, annál jóval bonyolultabb és hatékonyabb MPEG-4 AVC (Advanced Video Coding) videókódolás, valamint megjelentek új, a korábbiaknál jobban teljesítő hibakorlátozó kódolások. A hatékonyabb forráskódolásnak és hibakorlátozó kódolásnak köszönhetően mind a műholdas, mind pedig a földfelszíni csatornában még több program továbbítására nyílik lehetőség, illetve megnyílt az út a nagy felbontású (High Definition, HD) programok kisugárzása előtt is.

A második generációs műholdas [3] és földfelszíni szabványok [4] mind a bemeneti adatfolyam formátuma, mind az alkalmazott hibakorlátozó kódolás, mind pedig a moduláció és keretszervezés tekintetében számos újdonságot kínálnak.

### 2.2.1.

*A DVB-S2 szabvány legfontosabb újdonságai [3,5,6]*

A 2005-ben megjelent DVB-S2 szabvány – elődjével ellentétben – nem kizárólag műsorszóró alkalmazásokban használható megoldást kínál, hanem egyes speciális elemei lehetővé teszik az interaktív szolgáltatások-

ban, valamint a professzionális hírgyűjtő szolgáltatásokban történő felhasználást is. Mindemellett a szabvány megalkotói arra is törekedtek, hogy – az átállást elősegítendő – lehetőség legyen az új szabványt visszafelé kompatibilis módon, hierarchikus modulációt alkalmazva használni. A rendszer általános blokkdiagramját az 1. ábra szemlélteti.

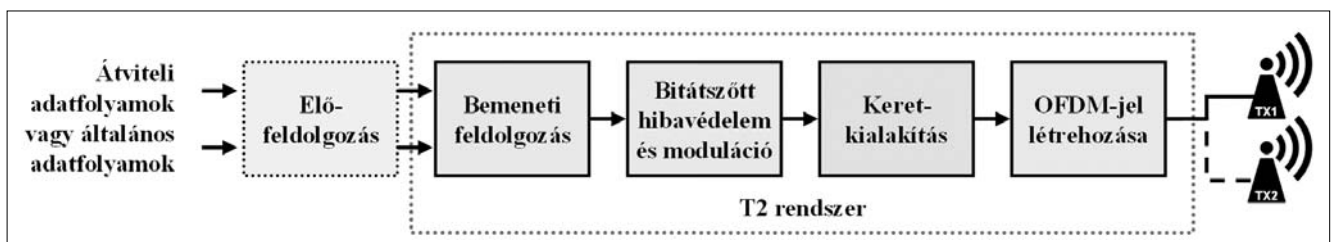
A DVB-S rendszerrel ellentétben a DVB-S2 nem kizárólag MPEG átviteli adatfolyamot képes fogadni, hanem általános adatfolyamot is. Ennek megfelelően nincs szükség az általános adatfolyamok MPEG átviteli adatfolyamba ágyazására. Ezen túlmenően a DVB-S2 szabvány egyszerre több bemeneti adatfolyamot is képes feldolgozni és frekvenciaosztásos elven egy kimeneti adatfolyammá egyesíteni.

A DVB-S2 rendszerben a külső Reed-Solomon kódolásból és belső konvolúciós kódolásból álló hibakorlátozó kódolást felváltotta a BCH (Bose-Chaudhuri-Hocquenghem) kódolást és alacsony sűrűségű paritásellenőrző (Low Density Parity Check, LDPC) kódolást alkalmazó megoldás. A DVB-S rendszerénél megszokottakon kívül további kódarányok is megjelentek, melyek megbízható működést biztosítanak még szélsőségesen rossz körülmények között is. A korábbi egyetlen, kvázi egyenletes burkolót biztosító QPSK moduláció mellett megjelent a szintén kvázi egyenletes burkolójú 8PSK moduláció, illetve a szabványba került a nem kifejezetten műsorszóró célra alkalmas, az adótól nagyobb linearitást követelő 16APSK és 32APSK is.

Az említett csatornakódolási eljárások mellett a rendszerben átalakult az adatok keretszerkezete is, ám a változásokra itt helyhiány miatt nem térünk ki. A megváltozott keretszervezésnek köszönhetően azonban lehetőség nyílik adaptív vagy változó moduláció alkalmazására, mely során az alkalmazott modulációs paraméterek a külső körülmények függvényében akár keretről keretre módosíthatók.

A DVB-S2 rendszer a legrobustusabb módban (QPSK moduláció és 1/4-es kódarány mellett) – ideális demodulátort és additív fehér Gauss-zajos csatornát feltételezve – már akár -2,4 dB-es vivő-zaj viszony esetén is kvázi hibamentesen működik, azaz az átviteli adatfo-

2. ábra A DVB-T2 rendszer vázlatja



lyam-csomagok közül a hibajavítás után csak minden  $10^7$ -ik lesz hibás. A legkevésbé védett módban (32APSK moduláció, 9/10-es kódarány) pedig a kvázi hibamentes vételhez elegendő 16 dB vivő-zaj viszonyt biztosítani. Mindez azt eredményezi, hogy hasonló körülmények között a DVB-S rendszerrel összevetve a második generációs műholdas műsorszóró szabvány mintegy 20-35% átviteli kapacitás-növekedést tesz lehetővé. Másik oldalról megközelítve az is elmondható, hogy ha a cél adott spektrumhatékonyság biztosítása, akkor ehhez a DVB-S2 rendszer esetén a DVB-S rendszerhez képest 2-2,5 dB-lel alacsonyabb vivő-zaj viszony is elegendő. Amennyiben a DVB-S2 rendszer forráskódolásaként AVC kódolást alkalmazunk, a 36 MHz sáv szélességű műholdas csatornában 21-26 normál felbontású adatfolyam, illetve 5-6 nagy felbontású adatfolyam továbbítható.

Mindezekon túlmenően a rendszer a visszafelé kompatibilis hierarchikus módnak köszönhetően arra is alkalmas, hogy egyszerre szolgáljon ki hagyományos DVB-S vevőkészülékeket és nyújtson szolgáltatásokat a DVB-S2 vevőkészülékek számára. Ez persze azt is jelenti, hogy kellő hosszúságú átmeneti időszak biztosítható: a DVB-S vevőkészülékeket nem kell egyik pillanatról a másikra lecserélni.

2.2.2.

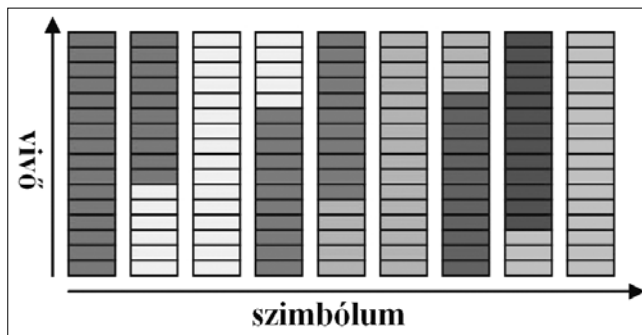
A DVB-T2 szabvány által kínált újdonságok [4,7,8]

A 2008-ban megjelent DVB-T2a DVB-S2 szabványhoz hasonlóan szintén nem csak MPEG átviteli adatfolyamot továbbíthat, hanem itt is lehetőség van általános adatfolyam továbbítására (2. ábra). Sőt, a csatornakódoló bemenetére akár több általános adatfolyam is érkezhethet, amelyből aztán egyetlen kimeneti adatfolyam állítható elő.

A bemenetre érkező adatfolyamok hibavédelmét a DVB-T2 szabvány esetén is egymás után végrehajtott BCH és LDPC kódolás szolgálja. A DVB-T2 és DVB-S2 ugyanazokat a kódarányokat támogatja, így a két rendszer ilyen tekintetben ugyanúgy skálázható.

A hibakorlátozó kódolással védett adatok továbbítására a DVB-T rendszerhez hasonlóan OFDM modulációt használunk, ám ennek paraméterei is némiképp módosultak. A robusztusabb hibavédelemnek köszönhetően

az egyes vivők a korábbi QPSK, 16QAM és 64QAM mellett 256QAM konstelláció szerint is modulálhatók. Ezen túlmenően a csatorna átviteli karakterisztikájának becslésére szolgáló pilotvivők struktúrája is szabadabban választható meg.



3. ábra A DVB-T2 rendszer keretszerkezete. A különböző árnyalatok különböző szolgáltatásokat jelölnek.

A DVB-T2 rendszerrel szemben támasztott egyik legfontosabb követelmény, hogy a közös nyalábban továbbított különböző szolgáltatások esetén különféle hibatűrő képességet lehessen beállítani. Ennek érdekében a DVB-T2 rendszer az OFDM-szimbólumokat keretekbe szervezi. Az egyes keretek a különböző szolgáltatásokhoz tartozó egységekből, „szeletekből” épülnek fel (3. ábra). A szeletek a mélyebb időátszövés érdekében tovább bonthatók rész-szeletekre és cellákra, amelyek pedig a keretekben belül és a keretek között is átszűrhetők. A szolgáltatások ilyen csoportosítása a hagyományos DVB-T rendszerben alkalmazott megoldástól meglehetősen távol áll. Természetesen ezt az új lehetőséget nem kötelező használni, megfelelő beállításokkal a DVB-T rendszerhez hasonló működés is biztosítható.

A DVB-T rendszer további újítása az úgynevezett Alamouti-kódolás, amely adódiverzitás segítségével növeli a lefedettséget úgy, hogy ugyanazon adatfolyam megfelelően módosított változatát egyszerre több adó sugározza ki. Végül, de nem utolsósorban az új szabvány kétféle megoldást is kínál az OFDM modulációra jellemző nagy csúcsteljesítmény-átlagteljesítmény viszony csökkentésére.

A DVB-T2 szabvánnyal szemben támasztott egyik követelmény az volt, hogy az első generációs szabványhoz képesti kapacitásnövekedés elérje a DVB-S2 rendszer által a DVB-S rendszerhez képest biztosított növekedést. Példaképpen az Egyesült Királyságban alkalmazott beállítások mellett a DVB-T, illetve a DVB-T2 rendszer közel azonos védeltséget biztosít, ám a DVB-T2 rendszer mintegy 47%-kal nagyobb adatátviteli sebességet képes nyújtani. Az adatátviteli sebesség növekedése lehetővé teszi a normál felbontású programok számának jelentős növelését vagy nagy felbontású prog-

1. táblázat A DVB-T és DVB-T2 rendszer paraméterei

|                              | DVB-T                               | DVB-T2                                      |
|------------------------------|-------------------------------------|---|
| <b>Hibakorlátozó kódolás</b> | Reed-Solomon és konvolúciós kódolás | BCH és LDPC kódolás                         |
| <b>Kódarány</b>              | 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8             | 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6                |
| <b>Leképzés</b>              | QPSK, 16QAM, 64QAM                  | QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM                  |
| <b>Védelmi intervallum</b>   | 1/4, 1/8, 1/16, 1/32                | 1/4, 19/256, 1/8, 19/128, 1/16, 1/32, 1/128 |
| <b>FFT-méret</b>             | 2k, 8k                              | 1k, 2k, 4k, 8k, 16k, 32k                    |
| <b>Szórt pilotok</b>         | Összes vivő 8%-a                    | Összes vivő 1, 2, 4 vagy 8%-a               |
| <b>Folytonos pilotok</b>     | Összes vivő 2,6%-a                  | Összes vivő 0,35%-a                         |

Megjegyzés: A félkövérrel szedett értékek a DVB-T rendszer által biztosított paraméterek.



ramok biztosítását, különösen akkor, ha a forráskódolás az AVC szabvány szerint történik.

Az előzetes várakozások szerint a DVB-S2 és DVB-T2 rendszerre történő átállítás mintegy 15 évet vesz majd igénybe. A DVB-T2 esetén különösen azon országokban kell majd hosszú átállási időre számítani, ahol csak nemrég vezették be az első generációs rendszereket.

### 3. Médiakommunikáció IP-alapú hálózatokon

#### 3.1. Az IP alapú hálózaton történő médiaátvitel rendszertechnikai alapjai

A videó- és hangcsatornák lejátszása azt igényli, hogy a képkockák, illetve a hangkeretek a képváltási, illetve a hang-mintavételi frekvenciának megfelelő időközönként érkezzenek be a dekódolóba, valamint a kép és hang közötti szinkron (úgynevezett ajakszinkron) is megmaradjon. A képkockák és hangkeretek bitfolyamának átvitele csomagokban történik, így értelemszerűen ezt az időbeli szabályszerűséget ezen csomagokra is biztosítani kellene. Mivel az IP-hálózat ilyen szolgáltatást jellemzően nem nyújt, ezért ezt a médiakommunikációs alkalmazásoknak kell megoldani. A megoldás alapját a vevőkészüléken belül puffereles adja és ezzel a pufferelessel nemcsak a késleltetés ingadozása, hanem egyúttal az ajakszinkron is kezelhető.

A másik fontos szempont a hibamentes átvitel és a hibatűrés kérdése. A videó és hang forráskódolásával kapott bitfolyam érzékeny az átviteli hibákra. Hibamentes átvitel esetében a forráskódolás tömörítésének erősségét úgy választják meg a médiakommunikációs alkalmazások, hogy a pillanatnyi csatornkapacitás mellett a bitfolyam átvihető legyen.

Egy csomag elvesztése csatornahibaként jelenik meg, de a médialejátszás szempontjából ugyanígy elveszítettnek számít egy csomag akkor is, ha később érke-

zik meg, mint amikor a dekódolását el kellene kezdeni. Azonban a hibával rendelkező csatornának is van kapacitása és a forráskódolás tömörítésének erősségét olyan módon kell beállítani, hogy a média-bitfolyam átvihető legyen a becsült csatornkapacitáson. Ez a szabályozás a küldési sebesség vezérlése, amely igen fontos része az IP feletti médiakommunikációs alkalmazásoknak.

#### 3.1.1.

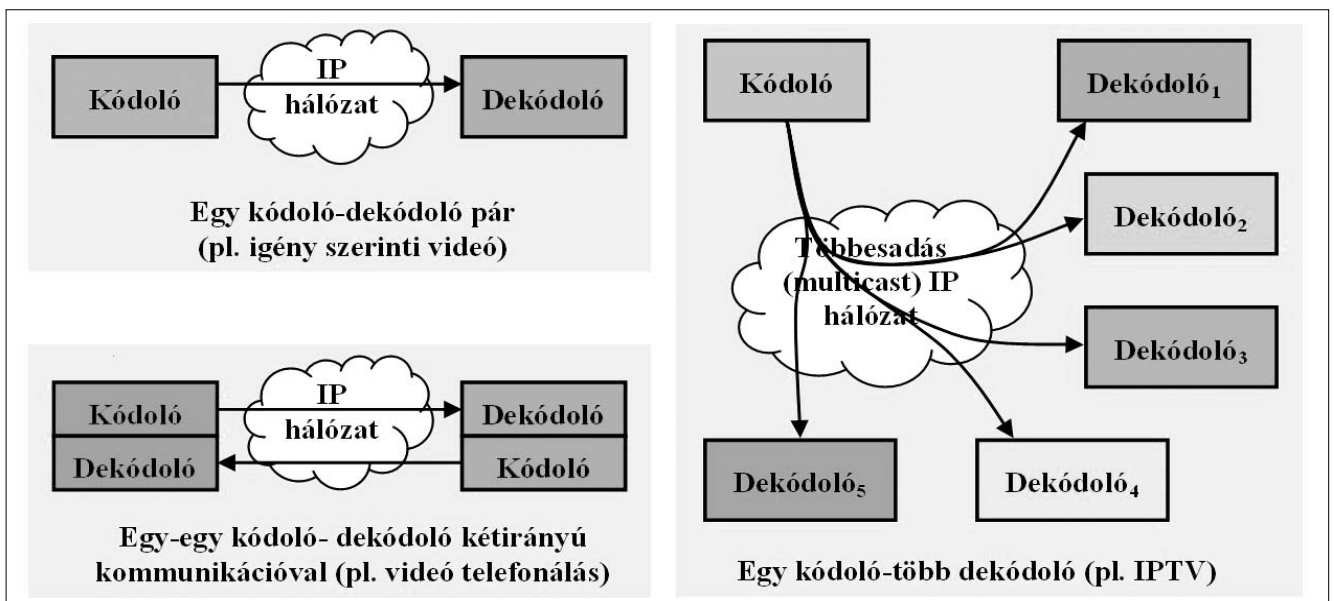
*A médiakommunikációs alkalmazások jellemző felépítése*

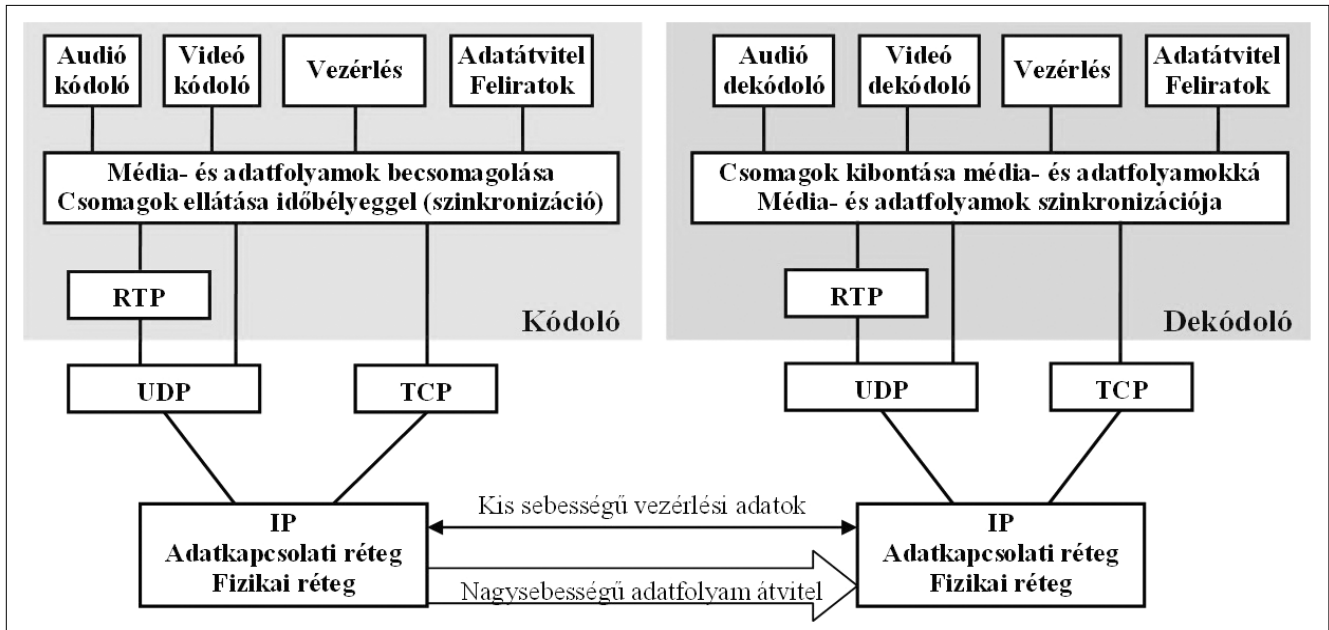
Egy médiakommunikációs alkalmazáson alapuló szolgáltatás minőségét alapvetően négy tényező határozza meg:

- a szolgáltatással kapcsolatos fogyasztói és szolgáltatói minőségi követelmények,
- az alkalmazott felhasználói végberendezések,
- a szolgáltató által használt vagy használható kiszolgáló elemek és médiaformátumok,
- az alkalmazott hálózat vagy heterogén hálózatok szolgáltatásminőségi (QoS – Quality of Service) paraméterei.

A médiakommunikációs alkalmazások alapeleme a kódoló és dekódoló, amelyek a hálózat két különböző részén foglalnak helyet. A kódoló és dekódoló tartalmazhatja kép, hang, felirat és egyéb járulékos adatfolyam forráskódolását is, ráadásul ezeket egymáshoz szinkronizáltan kell megjeleníteni. Egy kódolóból és dekódolóból már létrehozható egy médiakommunikációs alkalmazás (pl. igény szerinti videózás), ha mindkét fél rendelkezik kódolóval és dekódolóval, akkor ezekkel már telefonálás vagy videótelefonálás valósítható meg, amely több fél bevonásával videókonferenciává válik. Többesadást (multicast) támogató IP-hálózat esetén pedig egyetlen adó is képes több dekódolót kiszolgálni úgy, hogy a kódoló csak egyetlen adatfolyamot bocsát ki a sok dekódoló számára, a többesadású IP-hálózat pedig elvégzi a szükséges csomagtöbbszörözéseket a hálózatra kapcsolódó dekódolók számára (4. ábra).

4. ábra Különböző jellegű médiakommunikációs alkalmazások felépítése kódoló és dekódoló alapelemekből





5. ábra IP feletti médiakommunikációs alkalmazás kódolójának és dekódolójának réteges modellje

Az 5. ábra az IP feletti, a kódoló (szerver) és a dekódoló (kliens) közötti médiakommunikáció réteges architektúráját mutatja.

3.1.2.

*Médiakommunikációs sémák a lejátszás időbeli hűségére*

A médiakommunikáció a lejátszás időbeli hűségének szempontjából is kategorizálható és ez alapján alapvetően három séma létezik. Az időbeli hűség szempontjából elsősorban két paramétert kell vizsgálni, a lejátszás időbeli folytonosságát, valamint a vétel és lejátszás között eltelt időkülönbséget. Az átviteli séma ennek megfelelően lehet off-line, near-line és on-line séma. E három séma fő tulajdonságait az 2. táblázat foglalja össze.

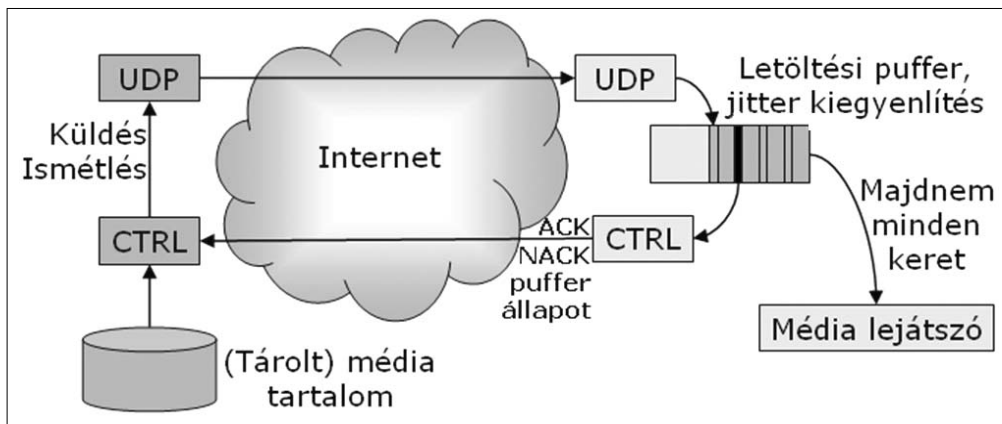
Nyilvánvalóan mindegyik séma esetében törekedni kell a lehető legjobb kép- és hangminőség elérésére. Ennek egyik fontos eszköze a megfelelő pufferelesi stratégia, amivel nemcsak a késleltetés ingadozását (jitter),

hanem az időbeli folytonosságot is lehetséges biztosítani, továbbá a csomagvesztés kezelése is lehetséges kérésre történő újraküldéssel vagy átszövéses hibajavítással.

Az off-line szolgáltatásokat általában TCP/IP vagy HTTP felett valósítják meg és céljuk a tartalom letöltése ideiglenesen vagy állandó jelleggel. A szolgáltatás lényege, hogy egy igen nagy kapacitású tárolóval rendelkezik a végkészülék, vagy a végberendezés közelében valamilyen hálózati elem, és erről a tárolóról lényegében elhanyagolható késleltetéssel képes a végberendezés a tárolt tartalmat kijátszani. A cél itt a tartalom biztonságos eljuttatása ebbe a tárolóba, a késleltetés csak másodlagos szempont vagy nem is szempont. A lejátszás már akkor is megindulhat, ha már elegendő mennyiség megérkezett ahhoz, hogy a lejátszást el lehessen kezdeni az elejétől úgy, hogy ne kelljen megállni, de szükség esetén a megállás elfogadható.

|   | Off-line séma                       | Near-line séma  | On-line séma   |
|---|-------------------------------------|---|--|
| <b>Elsődleges cél</b>                               | A teljes anyag letöltése            | Időben folytonos lejátszás  | Azonnali lejátszás, minimális késleltetés                |
| <b>Időbeli folytonosság</b>                         | Nem számít                          | Igen  | Igen   |
| <b>Keret megjelenítése, lejátszása a vétel után</b> | Nem szempont                        | Vételt követő szükséges pufferelesi késleltetés után                    | A vétel után azonnal                                     |
| <b>Pufferelés</b>                                   | Nincs szerepe                       | Időbeli folytonosság és hibakezelés érdekében                           | Minimális  |
| <b>Elvesztett csomagok pótlása</b>                  | Mindig: hibajavítás vagy újraküldés | Ha a pufferelés lehetővé teszi, akkor újraküldéssel vagy hibajavítással | Nincs idő az újraküldésre, esetleg kis hibajavítás lehet |
| <b>Jellemző alkalmazás</b>                          | Média fájl letöltése                | Adatfolyam jellegű média-átvitel (media streaming)                      | Videótelefonálás, videokonferencia                       |

2. táblázat  
Médiakommunikációs alkalmazások kategorizálása az időbeli hűség alapján



6. ábra  
Near-line média streaming  
jellemző megvalósítása  
UDP-hálózaton

A jelenlegi streaming- (adattfolyam jellegű továbbításos) alkalmazások tipikusan near-line jellegűek, ahol egy vagy néhány másodperces puffereles után indul csak el a lejátszás, éppen az előbbi célok miatt.

Az UDP-alapú near-line médiaátvitel jellemző megvalósítása a 6. ábrán látható. Ez a struktúra megfelel az RTP (Real-time Transport Protocol) protokollnak [9], ahol a médiakommunikáció minden egyes csatornáját (videó, hang stb.) külön UDP-porton továbbítja a kódoló a dekódolónak, a vezérlés pedig csatornánként egy-egy RTCP (Real-time Transport Control Protocol) csatornán valósul meg. Egyes formátumok esetén a hang- és a képadatokat már csomagolva és összefésülve (multiplexálva) tárolják és továbbítják, ilyen esetben a multiplex csomagok részére csak egyetlen RTP-kapcsolat szükséges.

Az on-line átvitel jellemző példája a videokonferencia. Ekkor a cél a küldési és a lejátszóoldali megjelenítés közötti időkülönbség minimalizálása, amely idő a videokonferenciában részt vevő partner reakcióidejét jelentősen növelő tényező. Az on-line séma esetén a csomaghiba és szolgáltatáskiesés általában nem korrigálható. Ennek megfelelően az on-line átviteli séma megvalósítása hasonló a fenti ábrán láthatóhoz annyi különbséggel, hogy itt a letöltési puffer hossza mindössze legfeljebb egy-két képernyő lehet, elsősorban csak a késleltetésingadozás (jitter) kiegyenlítése és a csomagsorrend visszaállítása céljából. Itt a vezérlésnek (CTRL) és a vételről való visszajelzésnek sokkal kisebb a szerepe.

### 3.2. Adattfolyam-átvitelen alapuló szolgáltatások, IPTV

A streaming-szolgáltatásokat, amelyek jellemzően a near-line sémához tartoznak, általában UDP/IP vagy RTP felett valósítják meg. Itt nem csak egyedül a tartalom célba juttatása, hanem az időbeli hűség is fontos. Néhány másodperces késleltetést elviselünk az indulásig, de ha már elegendő mennyiség megérkezett ahhoz, hogy a lejátszást el tudjuk kezdeni, akkor folyamatos lejátszást kell biztosítani. Ezek a szolgáltatások tehát megengednek kismértékű késleltetést, azonban a késleltetés minimalizálása és az időbeli folyamatosság már itt is cél, ezért az UDP-átvitel terjedt el inkább. A legjellegzetesebb ilyen médiakommunikációs szolgáltatás az IPTV.

A digitális TV adások továbbítását IP-hálózaton keresztül IPTV-rendszernek nevezik. Az IPTV szolgáltatás egy zárt IP-hálózaton keresztül érhető el, a nyilvános Interne-

ten biztosított TV adásokat Internet TV-nek vagy WebTV-nek nevezik. Ezt a kettőt gyakran összekeverik, pedig két lényegesen eltérő megoldásról van szó. Az IPTV-rendszerben a szolgáltató üzemelteti a hálózati infrastruktúrát, implementálja a programok IPTV-hálózatra történő bejuttatását, a felhasználók feltételes hozzáférést, valamint sok esetben a végberendezéseket (Set-Top-Box) is a szolgáltató biztosítja. A szolgáltató a privát IP-hálózatán a televíziós programokat hordozó adattfolyamok számára precedenciát biztosíthat, amely egy általános nyílt IP-hálózat esetén nem történik meg.

Az IPTV szolgáltatást gyakran más médiakommunikációs és egyéb szolgáltatásokkal összekapcsolva adják. Ilyen médiakommunikációs szolgáltatás például a VoD (Video on Demand) és a VoIP (Voice over IP), valamint járulékos adatátviteli szolgáltatásként az internet-elérés. Az IPTV-t, a VoIP-ot és az internetelérést együttesen biztosító szolgáltatás a *Triple Play*. Az IPTV hálózat egy úgynevezett SDV (Switched Digital Video – Kapcsolt Digitális Videó) architektúra, ami azt jelenti, hogy mindig csak az aktuálisan lekért programok vannak a hálózaton, a nézők által nem igényelt programok azonban nem, így sávszélesség marad szabadon. Ez lehetőséget ad a szolgáltatóknak, hogy a szabadon maradt sávszélességet más szolgáltatásokra fordítsák, illetve arra is, hogy a felhasználók felé csak az előfizetésnek megfelelő legnagyobb csatornkapacitású hozzáférési hálózatot építhesse ki. Így a hozzáférési hálózat szükséges átviteli kapacitását már nem az átvitt programok száma, hanem az egy időben igényelhető programok száma határozza meg. Ez például SD felbontású H.264 videó [10,11] esetén 2,4 Mbit/s-ot jelent akkor, ha a néző egy időben csak egy programot kérhet le.

Az IPTV-hálózaton a legjellemzőbb fogyasztói szokás az élő TV program nézése. Mivel egy időben egy programot általában több néző is lekér, ezért ezt az igényt a rendszer többesadás (multicast) jelleggel szolgálja ki, azaz az átviteli hálózat gondoskodik a megfelelő csomagtöbbszörözésről. A csatornaváltást pedig a rendszer az egyik multicast csoportból a másikba átlépéssel valósítja meg, és mivel ez egy viszonylag lassú folyamat, ezért a csatornaváltás alatt az új belépők egy ideig az új csatorna adattfolyamát VoD-alapon kapja meg és csak a multicast csoportba átlépés után vált át a dekódoló a multicast csoport adattfolyamának a dekódolására.

Az IPTV-hálózat másik jellemző alkalmazása a VoD, itt azonban az egyedi kérelem miatt nem többesadás (multicast), hanem egyesadás (unicast) jellegű a kiszolgálás. Mint a TV program nézése, mind pedig a VoD szolgáltatás a near-line átviteli séma szerint valósul meg, jellemzően RTP-protokoll alkalmazásával.

### 3.3. Interaktív médiakommunikációs szolgáltatások

Az interaktív szolgáltatásokat az különbözteti meg a streaming szolgáltatásoktól, hogy itt az időbeli hűség az elsődleges szempont és a megbízhatóság ennek alá van rendelve. A jellegzetes interaktív szolgáltatás az IP feletti telefonálás, a videókonferencia vagy videós telefonhívás.

Interaktív videós szolgáltatások esetén az azonnali indulás fogadható csak el, a körbefordulási idő ideálisan 200 msec, de legfeljebb is csak 400 msec lehet. A megbízhatóság csak másodlagos szempont: a kódolás és átvitel minőségét természetesen a lehető legjobbra kell választani, de ez semmiképpen sem ronthat az időbeliségen.

Fontos szempont lehet még az, hogy a végberendezés képes legyen a videó kis késleltetésű kódolására is úgy, hogy közben dekódolnia kell a többi résztvevőtől kapott videófolyamokat is, ami sok résztvevő esetében már önmagában jelentős komplexitás lehet, ami nagyon drága végberendezéssel valósítható csak meg. Emiatt az átlagos felhasználók szemszögéből egy sok résztvevős videókonferencia-rendszer csak kisebb komplexitású, ezért rosszabb kódolási minőségű kódolást alkalmazhat csak, de a nagyobb vállalatok már megengedhetik maguknak a legjobb minőségű forráskódolás alkalmazását is, amely ugyan jelentős beruházási költséget, de hosszútávon mégis gazdaságos lehet.

### 3.4. Médiakommunikációs szolgáltatások mobil készülékekre

Az újabb mobil készülékek egyszerű videós szolgáltatásokat is képesek nyújtani, amelyek a fenti osztályokba is besorolhatók, de a videó minősége még jelentősen alatta van annak, amit a számítógépes környezetben biztosítani lehet. A jelenlegi helyzetben alapvetően 4 kategóriát lehet meghatározni mobil készülék és számítógép (bizonyos esetben ide értve a videószervert is) közötti médiaátvitelre, ezek egy része IP feletti kommunikáción alapul:

- rögzített kép vagy videó küldése MMS-üzenetként,
- streaming videó megtekintése mobilkészülékkel, jellemzően IP-alapú átvitelrel,
- kép- vagy mozgóképfelvételek elküldése IP felett,
- videótelefon-hívás mobil készülék és számítógép között; az IP-alapú átvitel az egyik lehetséges megoldás.

Röviden érdemes megemlíteni, hogy IP-csomagokat használ a DVB-H és a DMB is a médiaátvitel során, de mivel az átviteli hálózat nem IP-alapú kapcsológépekből és útvonalválasztókból épül fel, ezért ezek pusztán a csomagformátum miatt nem mondhatók IP-alapú hálózatnak.

## 4. Szolgáltatásnyújtási modellek és architektúrák

A *szolgáltatásnyújtási platformok* (SDP – Service Delivery Platforms) fontos szerepet játszanak a multimédia-hálózatokban, a médiaszolgáltatások megvalósításában és a fogyasztókhöz történő eljuttatásában. Az SDP – az *újgenerációs hálózati koncepció* (NGN – Next Generation Networks) részeként – szakítást jelent a klasszikus távközlési szolgáltatói modelltől, amelyre a vertikálisan integrált architektúra volt jellemző. Az új architektúra a hozzáférési hálózatok széles skáláján alapulva egy új horizontális réteget vagy platformot alkalmaz, amely előmozdítja az olyan új szolgáltatók (pl. tartalomszolgáltatók) piacra lépését, amelyeknek nincsen saját hálózati infrastruktúrájuk, de maguknak a „vertikális” szolgáltatóknak is megkönnyíti a beszéd-adat-videószolgáltatások integrált megvalósítását.

Napjaink telekommunikációjában sokszor hallhatunk az **IMS (IP Multimedia Subsystem)** varázsszóról, amely az újgenerációs hálózatok koncepciójának egyik megvalósításaként értelmezhető. Az IMS-t kezdetben a 3rd Generation Partnership Project (3GPP) definiálta, a GSM hálózatok evolúciójának szabványosítása folyamán. Legelőször a 3GPP Release 5 tesz róla említést, ebben a SIP protokollt választották az IMS fő protokolljának. Egy másik szabványosító szervezet, a 3rd Generation Partnership Project 2 (3GPP2) úgyszintén definiált IMS-t. Céljuk az Észak-Amerikában és Ázsiában található telekommunikációs hálózatokkal való együttműködés. A 3GPP és a 3GPP2 mellett az Open Mobile Alliance (OMA) IMS szolgáltatások szabványosítását specifikálja. Az OMA által definiált szolgáltatások az IMS felett helyezkednek el, ilyen például az azonnali üzenetküldés (Instant Messaging) vagy a presence szolgáltatás. Az IMS-t az ETSI TISPAN is adoptálta az új generációs hálózat architektúrájának részeként.

Az IMS lényegében a harmadik generációs hálózat „szívét” jelenti, azaz a hálózati architektúrában egy olyan logikai entitást, amely a multimédia session-ök jelzéskezelésével menedzseli a felhasználókat, azoknak hívásait, multimédia-kapcsolatait, hogy a rendszer segítségével értéknövelt szolgáltatásokat nyújthassunk. Néhány ilyen szolgáltatást már definiáltak, de a használt protokoll rugalmassága miatt csak a fantázia szabhatárt a szolgáltatások választékának.

Mivel a legtöbb szolgáltatás valamilyen formában már létezik, de legalábbis a jelenlegi technológiával is megoldható lenne, feltehetjük a kérdést, miért van szükségünk az IMS-re? Négy szempontból vizsgáljuk meg az IMS által kínált előnyöket:

- Az IMS szabványos interfészt biztosít, így az új multimédia szolgáltatások piacra kerülési ideje lecsökken. Az új multimédia szolgáltatás létrehozásának költségcsökkentéséhez az IMS infrastruktúra szabványosított platformot és újra felhasználható komponenseket ad. Ezáltal a szolgáltató egy külső cég fejlesztését is könnyen integrálhatja rendszerébe, könnyen együtt tudnak működni a többi szolgáltatással. A szabványos felület

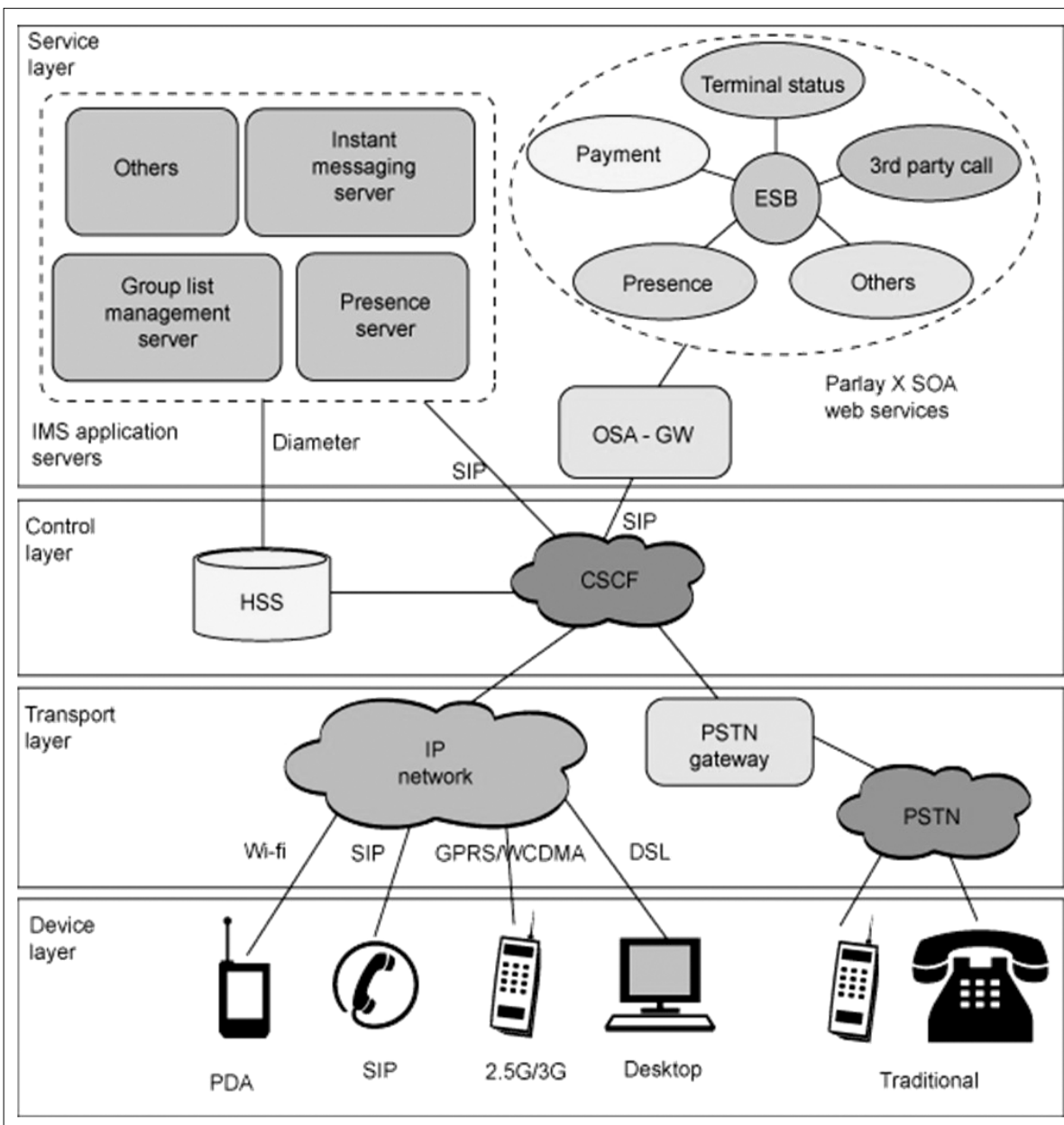
egyrészt versenyhelyzetet teremt a hardvergyártók között, másrészt pedig a szolgáltató kiválaszthatja a számára legkedvezőbb ajánlatot.

- Az IMS és az IP QoS megoldások lehetőséget teremtenek arra, hogy szolgáltatásminőséget (Quality of Service – QoS) biztosítson a szolgáltató, az alapvetően „best effort” továbbítást nyújtó IP-hálózaton. A probléma megoldására QoS mechanizmusokat fejlesztettek ki, hogy a „best effort” helyett adott sáv szélességet biztosítsunk az alkalmazások számára.

- A szolgáltató a szolgáltatásnak megfelelően számlázhat az IMS rendszerben. Ha például egy felhasználó videokonferenciát bonyolít le, az általában költséges, mert a szolgáltatók legtöbb esetben az átvitt adatmennyiség alapján számláznak s ez akadályozza a szolgáltatás terjedését. Az IMS információt ad a felhasználó által igényelt szolgáltatásról, így a szolgáltató eldöntheti, milyen számlázást alkalmaz: átvitt adatmennyiség, a kapcsolat ideje vagy valami más elv szerint.

- Az IMS-sel a szolgáltatások a felhasználó elhelyezkedésétől függetlenül nyújthatók. Általános és zavaró probléma a mobil hálózatokban, hogy bizonyos szolgáltatások nem elérhetőek roaming-ban, ha más országban van a felhasználó. Mivel az IMS az Internet technológiáit használja fel, a szolgáltatásokat a világ bármelyik részén igénybe tudjuk venni.

Az IMS rendszerben az értéknövelt szolgáltatásokat alkalmazáserverek nyújtják. A szabványos felület biztosítja azt, hogy egy adott alkalmazáserver bármelyik IMS rendszerrel együtt tud működni, az alkalmazáserver fejlesztőjének nem kell tudnia arról, melyik gyártó rendszerével kell majd együttműködni. Amennyiben üzletileg is indokolt, a meglévő alkalmazásokat adoptálhatjuk IMS rendszerbe. Olyan alkalmazásokkal is gazdagíthatjuk a szolgáltatásválasztékot a mobil előfizetők számára, amelyekkel eddig csak interneten tudtunk elérni. A következőkben két alapvető alkalmazáservert mutatunk be röviden.



7. ábra  
Az IMS réteg-szerkezete

- A „presence” szolgáltatás valós időben összegyűjti, kezeli és szétosztja a felhasználók elérhetőségeiről és kommunikációs lehetőségeiről szóló információt. A felhasználó közzéteheti az állapotát, illetve más felhasználó állapotáról kaphat információt. Az IMS rendszerben azt is láthatjuk, hogy éppen mit csinál (például „On meeting until 10h30”), amennyiben közzéteszi azt. Úgy néz majd ki a telefonunk névjegyzéke, mint egy most Instant Messaging szoftver (például Yahoo Messenger, MSN Messenger) névlistája.
- *Instant Messaging* (IM) – Emberek milliói használják már most ezt a szolgáltatást... az interneten. A jelenlegi IM-szolgáltatás a netes chat-ből nőtt ki. A beszélgetésen kívül most már közös whiteboard-on rajzolhatunk, egymással játszhatunk a szolgáltató által felkínált játékokkal, megoszthatjuk a fotóalbumunkat, fájlt küldhetünk egymásnak. Az IMS mobil környezetbe fogja ültetni e szolgáltatást.

Az IMS a SIP protokoll segítségével sokféle szolgáltatást tesz lehetővé. Mint ahogy a 7. ábrán láthatjuk, az IMS szolgáltatásait különböző eszközzel IP-alapon igénybe tudjuk venni, akár a hagyományos vezetékes vagy mobil telefonkészülék segítségével is. A szolgáltatási réteg alatt elhelyezkedő hálózati architektúrát három részre oszthatjuk fel:

- az eszközzétegre,
- a szállítási (transzport) rétegre
- és a vezérlő (kontroll) rétegre.

Az eszközzéteg igen változó. Számítógépek, mobiltelefonok, PDA-k, SIP telefonok lehetnek a rendszer felhasználói végpontjai. Az olyan készülékek, mint például a vezetékes telefonok, melyek nem tudnak közvetlenül IP-kapcsolatot az IMS-sel létesíteni, egy PSTN-átjáró segítségével használják.

A szállítási réteg IP-alapú. A hozzáférések változatosak: Wi-Fi, DSL, kábel, GPRS, WCDMA lehetnek a hozzáférés típusai. A kapcsolat kezdeményezése PSTN hálózatról is jöhet, ezért egy PSTN-átjáróval biztosítják a két hálózat közötti kommunikációt. Emiatt a szállítási réteg további feladata az analóg vagy digitális úton küldött jeleket IP-csomagokra való átalakítása.

A vezérlő réteg legfontosabb eleme a *Call Session Control Function* (CSCF), ami tulajdonképpen SIP proxyből áll. Regisztrációkat, hívásokat és más SIP-viszonyok jelzéseit kezeli. A *Home Subscriber Server* (HSS) egy adatbázis, ami minden egyes végfelhasználó adatait tartalmazza.

Az IMS feletti szolgáltatási rétegben – amit akár a negyedik rétegnek is nevezhetjük – a másik három réteg nyújtotta integrált és szabványos hálózati platform segítségével az alkalmazásszerverek multimédia szolgáltatásokra képesek. Az alkalmazásszerver nem csak szolgáltatáselérési és -végrehajtási pont, hanem a vezérlő réteg felé SIP protokoll segítségével interfészt biztosít.

Az alkalmazásszerverek a rétegszerkezetben a szolgáltatási rétegben helyezkednek el. Szerepük az, hogy a szabványos ISC interfészen többlétszolgáltatást nyúj-

tsanak a felhasználó számára. Ilyen szolgáltatások például a presence szolgáltatás, a push-to-talk, a konferencia, vagy éppen egy streaming-szerver. IMS-környezetbe többféle alkalmazásszervert integrálhatunk. A SIP-al alkalmazásszerverek közvetlenül használják a SIP protokollt, ennélfogva rugalmasságot biztosítanak a SIP-üzenet kezelést illetően. Azonban a fejlesztőnek ismernie kell a SIP-üzenetek felépítését és a különböző szabványok rendelkezéseit, ami hosszabb fejlesztési idővel és magasabb költségekkel jár.

Az *Open Service Architecture* (OSA) a harmadik generációs mobil telekommunikációs hálózat része. Programozási interfészt nyújt – ez a Parlay API –, hogy a hálózati technológia ismerete nélkül is lehessen telekommunikációs alkalmazásokat fejleszteni.

## 5. Internetes közösségi média

Amint azt a 3. szakaszban bemutattuk, az interaktív televíziózás elve, technikai és az ezen alapuló szolgáltatások lehetővé teszik, hogy a néző kiválaszthassa az adott időszakban nézni kívánt műsort, tehát ebben az értelemben saját maga szerkesztőjévé válik. Az interneten ehhez képest egy jóval nagyobb lépés megtételére is lehetőség nyílik: közzétehetjük a saját magunk által előállított tartalmat korlátozott kör (pl. barátok, rokonaink), vagy a teljes nyilvánosság számára. Ily módon a felhasználó egyben tartalom-előállítóvá is válik, az utóbbi években közkeletűvé vált angol szóval élve „prosumer”-ré (producer+customer).

A továbbiakban röviden a *tartalommegosztásról* (content sharing) a *közösségi, szociális hálózatokról* (social networks), a *tudásmegosztás* (knowledge sharing) és hasonló internetes szolgáltatásokról lesz szó.

A tartalommegosztás története már majdnem tíz évre nyúlik vissza, az első fájlcsere szolgáltatás, a *NAPSTER* 1999-ben jött létre, amelynek alapja egy majdnem peer-to-peer kommunikációt használó fájlcsere program volt. A felhasználók motivációi egyszerűek és érthetőek voltak: mindenekelőtt az ingyenesség, aztán az, hogy egy kedvenc számért nem kell megvenni az egész albumot, ehelyett saját gyűjteményeket készíthetnek. 2001 februárjában már 26,4 millió felhasználó volt világszerte. Szinte közvetlenül ezután megindultak ellenük a jogi procedúrák a szerzői jogok megsértése miatt. Az előadók komolyabb következményeket is sérelmeztek: a rádiók nem veszik majd meg a műveket, mert már fent van a világhálón (újabb bevételkiesés), sőt a művek előbb fent vannak a világhálón, mint hogy kiadnák őket! A *NAPSTER*-nek 26 millió dollár büntetést kell fizetnie, majd 2002-ben meg kellett szüntetniük az ingyenes letöltést és fizetősé tenni a szolgáltatást (*NAPSTER* 3.0).

A fájlcsere programok terjedésének azonban már nem lehetett gátat vetni. A következő ilyen – a Skype feltalálóinak műve – a 2001-ben debütált *Kazaa* volt. A *Kazaa* már teljesen peer-to-peer alapon működött, *Fast-Track* protokollt használatával. MP3 fájlok cseréjére használják leginkább. Működéséhez adware-t és spyware-t

telepít a gépekre. Ellenük is számos pert indítanak mind a mai napig. Ezt követően az internetes média több irányban fejlődött tovább.

Az egyik irány a médialetöltés fizetős változata, amelynek legelterjedtebb szolgáltatását az Apple valósította meg, a másik pedig a személyes médiatartalom közzététele és cseréje. Az Apple a digitális médiafájlok letöltésére és lejátszására alkalmas programját, az *iTunes*-t 2001-ben mutatta be. Az iTunes Store „zeneáruházban” fizetés ellenében már kezdettől fogva kínálnak zeneszámokat letöltésre, 2005, illetve 2006 óta pedig videókat és filmeket is. Az innen megvásárolható zenetartalom nagy része írásvédett, ezeket a jogokat a digitális jogkezelő rendszer (Digital Rights Management) kezeli.

A személyes médiatartalmak (fotók, videók) tárolása, továbbítása, hozzáférhetővé tétele, letöltése mára az internet legnagyobb adatvolument jelentő alkalmazásává vált (user-generated content).

Fotók tárolására, továbbítására, megosztására az első és talán ma is a legnépszerűbb website a *flickr*, melyet 2004-ben adott ki egy kanadai cég (Ludicorp), és eredetileg azonnali fényképbemutatóra találták ki a weben fellelt képekből. Lehetőséget nyújt a képek kategorizálására kulcsszavak és címkék segítségével (ezeket a feltöltők adják a képekhez), valamint keresésre – ez a kulcsszavak és címkék segítségével igen gyors és hatékony lehet). Jelenleg több, mint 3,5 milliárd kép van a *flickr*-en.

A legnépszerűbb videómegosztó website a *YouTube*, amely ma a Google leányvállalatoként működik. Célja és sikerének titka az, hogy bárki közzétehesen vagy megnézhesen neki tetsző videórészleteket. Használatának számszerű mutatói impresszívek: közelmúltbéli adatok szerint havonta 3 milliárd le-, illetve feltöltés jellemzi. Elvileg csak jogtiszta anyagokat lehet rajta elhelyezni, erre explicit felszólítást kap a felhasználó, azonban a tartalomtulajdonosok és szerzői jogvédő irodák gyakran bírálják és időnként be is perlik amiatt, hogy nem tesz meg mindent a nem jogtiszta anyagok közzétételének megakadályozásáért.

Az internetes médiakommunikációban rejlő lehetőségekre jellemző a hagyományos tévével való összehasonlítás: míg például a CBS tévétársaság 23.000 dolgozója hozza létre a műsorokat, addig a *YouTube*-ot – amelyen a felhasználók napi több, mint egymillió videoklip mennyiségű tartalmat produkálnak –, 60 munkatárs működteti [12].

A „*digital storytelling*” (digitális történetmondás) az internet nyújtotta lehetőség hétköznapi emberek számára, hogy megosszák másokkal saját életük eseményeit. Általában rövid 2-5 perces anyagok készülnek, amelyek a legegyszerűbb esetekben hangbemondással kísért állóképsorozatok személyes élményekről, amelyek az egészen hétköznapi események digitális elmodásától útleírásokig terjedhetnek. A digital storytelling hasznos oktatási és nevelési eszköz, ezért igen gyakran készítik csoportmunka formájában, pedagógusi, szakemberi segítséggel. Többek szerint a jövőben az egyik „killer application” lesz az Interneten [13].

A felhasználók személyre szabott tartalomfogyasztási igényeit elégítik ki a „*podcast*”-ok. A szó eredetileg az Apple iPod-jának és a „broadcast”-nak az összevonásából keletkezett, de ma már nem Apple-specifikus szolgáltatás, nemcsak iPod-ra, hanem gyakorlatilag bármilyen lejátszóra, ma már egyre inkább mobil eszközre (PDA, okostelefon) lehet letölteni rádióadásokat, szakmai híreket, előadásokat, többségében mp3-as hanganyagok formájában. A letöltést egy kliensprogram végzi, mely automatikusan megkeresi az általunk igényelt letölthető anyagokat (például egy rádiósorozat következő adását).

A szociális/közösségi hálózatok – *social networks* – terminust, amely egy szociológiai megnevezés, a „social network service” szinonimájaként használják a Web 2.0 kontextusában, amely utóbbi azokat az internetes szolgáltatásokat, konkrétan website-okat jelentik, amelyek lehetővé teszik online közösségek létrehozását, fenntartását és a közösségek egymás közötti kapcsolatait, nem utolsósorban a médiakommunikációt közöttük.

Az első igazi közösségi website a 2002-ben alapított Friendster volt, de ma már számos utóda létezik – egy nem teljes listán 157 található [14]! Sokáig a legnagyobb a 2003-ban indult *MySpace* volt (Murdoch cége 2005-ben vásárolta meg 580 millió dollárért), a 2007-es adatok szerint 130 millió felhasználóval [12]. Több, mint másfél milliárd kép, 25 millió zeneszám, 60 terabájtnyi videó, többmillió napi feltöltés jellemzi. Jelenleg azonban már a legnagyobb a *Facebook*, amely egyetemi körökben indult, de ma már mindenki számára elérhető, és 200 millió felhasználót tudhat a magáénak (ezzel az 5. legnagyobb „ország” a világon). A közösségi hálózatok egy speciális csoportjába tartozik a LinkedIn vagy a Plaxo Pulse, amely professzionális kapcsolatok és karrierépítés célját szolgálja. Végül említsük meg a hazai *iWiW* közösséget, amely Magyarországon a legnagyobb és a T-Online/Origo tulajdonában van.

Az internetes közösségi média nem szórakoztató célú alkalmazása a tudásmegosztás – a mindenki által jól ismert és gyakran használt Wikipedia. 2001 óta létezik és fejlődik az egyének és közösségek folyamatos fejlesztésében. A legszükségesebb koordinációt a Floridában bejegyzett non-profit Wikimedia-alapítvány végzi. Több, mint 2 millió szócikkével a világ legnagyobb enciklopédiája, 250 nyelven léteznek változatai. Nyílt forráskódú szoftveren alapul, egyedülálló jellemzője a közösségi szerkesztés és bővítés. Ebből erednek előnyei és hátrányai egyaránt. Az előnyök között kétségkívül kiemelendő a nyitottsága és szerves fejlődése. Természetesen az ingyenessége és a bárhonnán-bármikor elérhetősege is nagy vonzereje. Hátrányai a pontatlanság és szubjektivitás, valamint az, hogy sosem teljes. Ha az adott szócikk elegendő és pontos, nyilvánosan elérhető hivatkozást tartalmaz, akkor ellenőrizhető és mértékadónak tekinthető.

Végül szólnunk kell az internetes játékokról, amelyek a médiaforgalom jelentős hányadát teszik ki. Az egyszerűbb, „*network-based games*” esetében a játékosok megtalálják egymást az interneten és utána peer-to-peer ösz-

szekítettetés keretében folyik a kommunikáció. Alapvetően két-, illetve néhány résztvevős szerepjátékokról van szó (role games). A valóban nagy forgalmat a nagyon sok szereplős online szerepjátékok (*MMORPG* – Massively Multiplayer Online Role-Playing Game) jelentik. Ezek rendkívül népszerűek, sokszor akár millióian is játszanak egyszerre a világhálón. Ilyenek a World Of Warcraft, az Eternal Lands, a Lineage I-II, a Guild Wars, vagy például a Runescape. Technikailag kliens-szerver architektúrát használnak.

Az utóbbi időben az online szerencsejátékok is egyre népszerűbbek a kényelem miatt. Leggyakoribb formáik a kártyajátékok (főleg a póker) és a sportfogadások, amikor lehetőség van élőben (akár a sportesemény alatt is) fogadni.

## 6. Összefoglalás, kitekintés

Cikkünkben megkíséreltük áttekinteni a média-kommunikáció néhány jellegzetes, ma még részben elkülönült, de egymáshoz közeledő területén a jelenlegi helyzetet és a fejlődés irányait. Megnéztük a digitális műsorszórás technológiáinak új generációját, az IP feletti mediakommunikáció rendszerteknikáit, az IPTV-szolgáltatások nyújtásának kérdéseit, az új szolgáltatásnyújtási platform, az IMS adta lehetőségeket és az internetes közösségi média eszköztárát.

A jövőt illetően elmondhatjuk, hogy a fenti területek fokozódó integrációja várható. Így például nagy kérdés, hogy vajon a „hagyományos média”, tehát a – ma már elsősorban digitális – műsorszórás alapú médiafogyasztás és az internetes (közösségi momentummal bővített) médiafogyasztás és előállítás két külön világ marad-e? Igazából már ma sem az, ha például a technológiai megvalósításokat tekintjük: a korábban különálló hálózati technológiákon sugárzott és terjesztett televíziózás egyre inkább IP-alapra helyeződik át. A távközlő hálózatokon terjed az IPTV, az interneten megtalálhatók a rádió- és tv-állomások műsorai, az újgenerációs hálózatok egyik lényeges pillére az egységes IP-alapú szolgáltatás-támogató platform, amely lehetővé teszi, hogy a hálózati szolgáltató és a tartalomszolgáltatók szerepei elkülönüljenek, így a korábbi vertikális távközlési szolgáltató hálózatán elvileg bárki nyújthasson tartalom-szolgáltatást.

A jövő egyik ígéretes kutatási iránya az eddigiekben többé-kevésbé elkülönülten fejlődő területek, a digitális, HD minőségű televíziózás otthoni környezete és eszköztára, a médiafogyasztás internetes változatai és a Web 2.0 alapú szociális hálózatok alkalmazása a médiatartalmak közzétételére, cseréjére, annotációjára és kombinációjára, illetve ennek konvergenciája és integrációja. Mindezek olyan új szolgáltatások, szolgáltatási modellek, architektúrák, platformok és eszközök kidolgozását jelentik, amelyek kiaknázzák a Web2.0-ban rejlő szociális momentum lehetőségeit a médiafogyasztás élményének kiterjesztésére és bővítésére internet-alapú elemekkel [15].

## A szerzőkről



**SZABÓ CSABA ATTILA** kandidátusi (Ph.D.) és műszaki tudomány doktora fokozatot szerzett, jelenleg a Budapesti Műszaki Egyetem professzora, a Híradástechnikai Tanszéken a „Multimédia-hálózatok” laboratóriumot vezeti. Évek óta vezető tanácsadója a Create-Net trentói székhelyű nemzetközi kutatóközpontnak. Több nemzetközi folyóirat, köztük a „Computer networks and ISDN System” szerkesztőbizottsági tagja volt, jelenleg a Híradástechnika folyóirat főszerkesztője. Elnöki, társelnöki és Steering Committee társelnöki minőségben számos nemzetközi konferenciát szervezett, köztük a Multimedia Services Access Networks-ot, a Tridentcom konferencia-sorozatot 2005 és 2008 között, az „1st Int'l Workshop on Telemedicine over Broadband”-ot. A Wiley-nél 2005-ben megjelent Broadband Services könyv társszerkesztője és társszerzője. Tagja az „Int'l Society for Telemedicine and e-health”-nak és alapító tagja a magyar tagegyesületnek. Az IEEE Senior Member fokozatú tagja.



**DO VAN TIEN** okleveles villamosmérnök, PhD, egyetemi docens, 1995 óta dolgozik a Híradástechnikai Tanszéken. Pályája során számos sikeres nemzetközi kutatási és ipari projektben vett részt szoftverfejlesztőként, kutatóként és projektvezetőként. Kutatási területei: hálózati technológiák, hálózatok hatékony üzemeltetése és tesztelése, sorbanállási elmélet alkalmazása a hálózati problémák elemzésére, hatékony numerikus megoldások, tesztelési módszertan.



**LOIS LÁSZLÓ** 1971-ben született Tatabányán. 1995-ben okleveles mérnök-informatikus diplomát szerzett a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen, majd 2005-ben ugyanitt szerezte meg a PhD fokozatát. 1998 óta a BME Híradástechnikai Tanszékén dolgozik, jelenlegi beosztása egyetemi adjunktus. Főbb kutatási területei a videó- és hangjelek forráskódolása és átvitele műsorterjesztő és adatátviteli hálózatokon.



**SEBESTYÉN ÁKOS** 1977-ben született Budapesten. 2002-ben okleveles villamosmérnöki diplomát szerzett a BME Híradástechnikai Tanszékén. Jelenleg tudományos segédmunkatársként vesz részt a tanszéken folyó oktatási és kutatási-fejlesztési feladatokban. Kutatási területei közé tartozik a digitális műsorszórás (DVB-T/S/C/H/T2), illetve az IP televízió.



**KOVÁCS IMRE** okleveles villamosmérnök, egyetemi doktor, a BME Híradástechnikai Tanszékének adjunktusa. Szakterületei a digitális műsorszórás, műsorterjesztés és a tv-stúdiótechnika.

## Irodalom

- [1] ETSI EN 300 421:  
„Digital Video Broadcasting (DVB);  
Framing structure, channel coding and modulation  
for 11/12 GHz satellite services”, August 1997.



- [2] ETSI EN 300 744:  
„Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television”, January 2009.
- [3] ETSI EN 302 307:  
„Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications (DVB-S2)”, April 2009.
- [4] ETSI EN 302 755:  
„Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)”, July 2009.
- [5] „2nd Generation Satellite – The most advanced Satellite Broadcasting system in the world”, DVB Fact Sheet, April 2008.
- [6] Morello A., Mignone V.,  
„DVB-S2 – Ready for lift off”, EBU Technical review, No. 300, October 2004.
- [7] Wells, N.,  
„A Spec is Born”, DVB Scene, No. 27, September 2008, pp.8–9.
- [8] „2nd Generation Terrestrial – The world’s most advanced Digital Terrestrial TV system”, DVB Fact Sheet, April 2009.
- [9] RFC 3550,  
RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications.
- [10] ITU-T Recommendation H.264:  
Advanced video coding for generic audiovisual services.
- [11] ISO/IEC 14496-10: Information technology – Coding of audio-visual objects, Part 10: Advanced Video Coding”.
- [12] Michael L. Brodie,  
Keynote presentation – IEEE Digital Ecosystems and Technologies Conf., Phitsanulok, Thailand, February 2008.
- [13] Charles N. Judice,  
Digital Storytelling: The Next Killer Application. Keynote lecture at Conference on Multimedia Services Access Networks, Orlando, Florida, 2005.
- [14] [http://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_social\\_networking\\_websites](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_social_networking_websites), (letöltve: 2009. augusztus 17.)
- [15] L. Galli, R. Guarneri, J. Huhtamaki,  
„VERTIGO: Find, Enjoy and Share Media Trails across Physical and Social Contexts”, Proc. of Digibiz’2009, London, UK, June 2009.

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME)  
Híradástechnikai Tanszéke (HT), valamint Távközlési és Médiainformatikai Tanszéke (TMIT)

**a két tanszék fennállásának 60. évfordulója alkalmából**  
**2009. november 13-án**

**ünnepi tudományos ülést rendez a BME Informatikai épület IB025 termében**

*Az ünnepi tudományos ülés programja:*

- |   |   |   |
|---|---|---|
| <b>8:30</b>   | <b>Regisztráció</b>   |   |
| <b>9:00</b>   | <b>Rektori köszöntő</b><br><i>Péceli Gábor</i> , egyetemi tanár, a BME rektora  | <i>Malomsoky Szabolcs</i> , Ericsson Hungary, kutatási igazgató                                       |
| <b>9:20</b>   | <b>Történeti visszaemlékezések</b><br><i>Gordos Géza</i> (TMIT), professzor emeritus és <i>Pap László</i> (HT), az MTA rendes tagja, korábbi tanszékvezetők | <b>11:20</b> <b>Szakmai tudományos előadások</b>  |
| <b>9:50</b>   | <b>Szakmai tudományos előadások</b>   | • Hangtervezés akusztikai szimulációval<br>– <i>Augusztinovicz Fülöp</i> (HT)                         |
| • Adatbiztonság erőforrás korlátozott környezetben<br>– <i>Buttyán Levente</i> (HT)   |   | • Új eredmények a magyar nyelvű beszédtechnológiában<br>– <i>Németh Géza</i> (TMIT)                   |
| • Internet: múlt, jelen, jövő<br>– <i>Szabó Róbert</i> (TMIT)   |   | • Kognitív infokommunikáció<br>– <i>Baranyi Péter</i> (TMIT)  |
| <b>10:30</b> <b>Szünet</b>  |   | • Adatkommunikáció közcélú mobil hálózatokban<br>– <i>Fazekas Péter</i> (HT)                          |
| <b>11:00</b> <b>Együttműködések az innováció jegyében</b><br><i>Maradi István</i> , Magyar Telekom, vezérigazgató helyettes |   | <b>12:20</b> <b>Zárszó</b><br><i>Vajta László</i> , dékán,<br>BME Villamosmérnöki és Informatikai Kar |
|   |   | <b>12:30</b> <b>Fogadás</b>   |

# Médiatartalom-kezelés és -szolgáltatás

MAGYAR GÁBOR, KARDKOVÁCS ZSOLT, SZÚCS GÁBOR

BME Távközlési és Médiainformatikai Tanszék  
 {magyar, kardkovacs, szucs}@tmit.bme.hu

*Kulcsszavak: tartalomkezelés, kontextus, szövegbányászat, multimédia tartalomkeresés, kognitív médiainformatika, 3D, virtuális valóság*

**A médiatartalmak mindennapjaink részévé váltak. A távközlés, informatika és elektronikus média világának konvergenciája a médiatartalom-kezelést és -szolgáltatást is új kihívások elé állította. A tartalom előállításának és újrafelhasználásának többszörös, sokféle publikáláshoz kell igazodnia, miközben kitüntetett szempont a megtalálhatóság, illetve a visszakereshetőség. A megjelenítő felülettől független és a kontextustól függő tartalomkezelés, továbbá a médiatartalmak rendezése, szerkesztése, okos kereshetősége a legforróbb kutatási témák közé tartoznak. A cikkben e tématerület legfontosabb kihívásait, kutatás-fejlesztési trendjeit, látható korlátozó tényezőit és megoldási irányait tekintjük át.**

## 1. Bevezetés

A médiatartalom-szolgáltatások éppúgy a hétköznapi életünk részévé válnak, mint a lakáskulcs vagy a telefon. „Médiatizálódik” szinte minden. Húzóágazatként a szórakoztatás mellett egyre nagyobb súllyal jelennek meg a teljesebb vagy könnyebb életvitelt támogató megoldások, az egészségügy, a tanulás, a kereskedelmi szektor újabb résztvevői jutnak el az internetes felhasználókhoz [1]. A médiatechnológiák beépülnek a biztonsági és felügyeleti rendszerekbe: felismerő alkalmazások mellett elterjednek az eseményfigyelő, forgalomszámoló és más, járulékos információkat gyűjtő és értékelő szolgáltatások. Medikai technológiákban a mindenhol jelenlévő monitorozó és előrejelző rendszerek gyors terjedésére lehet számítani. A mesterséges szakértők, tanácsadók terjedése a valós/virtuális világban – a számtalan ellenérv és kockázat mellett is – igen valószínű.

A médiatartalom egy vagy több célra felhasználható formátumban adott információ. (A médiatartalom évtizedeken át közmegegyezéssel használt meghatározása – azaz: információ kevesektől egyidejűleg sokaknak, a közönségnek – mára túlhaladottá vált.)

A tartalomkezelés a különböző típusú információk (szöveg, kép, hang stb.) előállításával, rendezésével, visszakeresésével, publikálásával és tárolásával foglalkozik [2]. E műveletek mindegyikében intenzív kutatások irányulnak világszerte az automatizálásra, mindenekelőtt azért, mert a médiatartalom mennyiségének növekedése miatt a hagyományos technikák elégtelenné váltak.

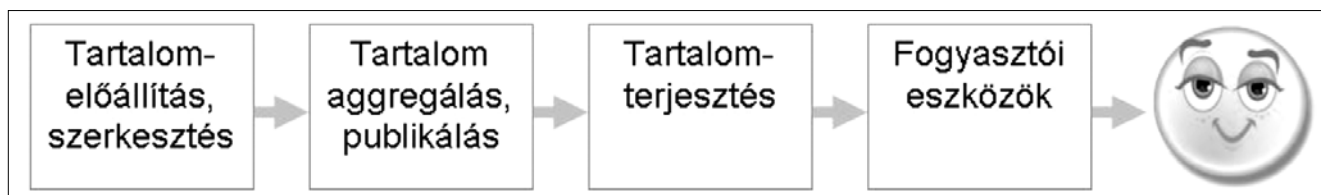
A médiatartalom jelentésének gépi felismerésére, elemzésére irányuló kutatások az egyszerűbb, segéd-eszköztől mentes vezérlőfelületek megjelenését, a le-tisztult, emberközeli, kevesebb interakciót igénylő kommunikáció létrehozását célozzák. Az eszközintegrációs törekvések azt ígérik, hogy kevesebb eszközzel több funkciót fogunk birtokolni. Számottevő eredmények várhatóak az agy sajátosságaira és viselkedéskutatásokra építő fejlesztésektől.

Cikkünkben a témakör helyzetét a médiatartalom-értéklánc felépítésének megfelelően mutatjuk be (*lásd az ábrát*). Kitekintésünk „jövőbe néző”, azaz a tartalomkezelés legfontosabb aktuális kutatás-fejlesztési feladatain van a hangsúly. A BME TMIT saját K+F eredményeire (terjedelmi és szerkesztési okokból) az irodalmi hivatkozások utalnak.

## 2. Tartalom-előállítás, szerkesztés

A médiatartalommal közölt információknak a felhasználók (a közönség) számára bizonyos kontextusban van értéke. Hagyományosan (például a klasszikus rádió-, televíziószerkesztés során) a médiatartalmat már eleve bizonyos kontextusban állították elő. A digitális konvergencia gyökeres változást hozott ebben: a tartalom darabkáit többszörösen (újra)felhasználjuk, az eredeti előállítás során a szerzőben élő kontextustól eltérő környezetekben is. A szerzőnek ugyan van elképzelése, hogy „kinek készíti a tartalmat”, termékét azonban más

*Médiatartalom-értéklánc*



összefüggésekben is felhasználhatják. Ez a tartalom-előállítás új eljárásait és technikáit igényelte. Alapvető ezekben a tartalom önmagukban is értelmezhető komponensekre darabolása valamint ezek olyan egyszerű jellemzése, ami a komponensek kereshetőségét, megtalálását és adott kontextus szerinti összeillesztését segíti. A mai technológiák azt a feladatot döntően metaadatok segítségével oldják meg. Uralkodó trend a szerzői-szerkesztői tevékenység részleges automatizálása is.

A tartalom-előállítás és szerkesztés megváltoztatja a kiinduló információ értékét. Válogatjuk, rendezzük, szétválasztjuk vagy egyesítjük az információ darabjait, tipikusan adott (cél)közönség számára. Például valamilyen rendező elv szerint strukturálunk egy információhalmazt. Más esetekben jelölő elemeket („tag”-eket) illesztünk a forrásanyaghoz: például digitális fényképhez a fájl formátumát, elkészítésének földrajzi koordinátáit, az expozíció értékeit stb. Jelölő elemek adott forrásanyag jelentésére is vonatkozhatnak (például tematikus kulcsszavak formájában). A forrásanyag formázása is rendezés, ami az anyag jelentését is gyarapítja vagy pontosítja. A tartalomkezelésnek ez a feladatköre különösen fontos napjainkban, mert annyira sok, különböző tulajdonságokkal bíró terjesztési lehetőség van, hogy a már létező tartalmak újrahaznárlása nélkülözhetetlen. Más szavakkal: kiadók, médiavállalatok tevékenységében az eredeti (korábban nem létezett) tartalom előállítása mellett egyre nagyobb szerepet kap a tartalom átalakítása. Ezzel egyrészt átalakított tartalom elemek (magazinok, filmek, portálok stb.) jönnek létre, másrészt a régi tartalmakat új megjelenési formákhoz igazítják (például egy könyv tartalmát böngészhető formába).

A tartalom előállításának és átalakításának gépi támogatására a kutatások két főirányban folynak. Az egyik: egyszerűsített (az adott tartalom sokrétű jelentését csak viszonylag durván kifejezni képes) jelentéstervek kidolgozása és szabványosítása, amelyek egyaránt kezelhetők ember és gép számára. Az ilyen transzformáció mindenképpen szemantikus veszteséggel, ám sok gyakorlati előnnyel is jár és számos életszerű helyzetben hasznos. A másik irány a tartalom minél teljesebb automatikus elemzése, felismerése. A két kutatási irány hat egymásra, például a mai eszközökkel megcsinálható jelentéskinyerés jellemzően egy szűkített jelentéstér elemeit rendeli össze a tartalom részleteivel.

A szöveges tartalmak esetében már jelentős eredményeket értünk el [3]. A szövegfeldolgozást és -bányászatot illetően a közeli jövőben megjelenhetnek az első összefoglaló alkalmazások, amelyek hosszabb emberi szövegek egyszerű, talán nyelvtanilag még nem helyes, de értelmezhető rövid átiratát fogják tartalmazni. Mivel a szabadon írt szövegek többsége jelentős információmentisítést tartalmaz, ugyanakkor az ember olvasási kapacitása korlátos (mára sokkal több írott szöveg létezik, mint amit egy emberi élet alatt elolvashatunk, s a gyarapodási ütem igen gyors), a fontosabb szövegek gépi feldolgozásra alkalmas átírása terén is jelentős áttörés várható. Aktuálisan az orvosi területen látszik ennek a legnagyobb létjogosultsága.

A kontextus azonosításának a hiánya a szöveg alapú keresés legfontosabb hátráltató tényezője jelenleg. Javarészt ennek köszönhető, hogy az interneten egy-egy egyszerű kereső kifejezésre a találatok száma kezelhetetlen nagyságú és igen sok felesleges elemet tartalmaz. A keresésnél az el nem mondott információk, az érdeklődési fókusz azonosítása alapján a keresési tér szűkítése a legfontosabb fejlesztési probléma.

Az el nem mondott információk egy másik családja az érzelmi töltetben és a témához, a tárgyakhoz való viszonyban jelenik meg. Mind a termékek megítélése, mind a keresés, mind a tartalomszolgáltatás és hirdetési politika szempontjából is kritikus feltárni, hogy egy adott szöveget író és az azt olvasó felhasználó hogyan viszonyul bizonyos dolgokhoz. Az érzelmi hatás-analízis területén már rövidtávon is várunk olyan megoldásokat, amelyek termékek megítélésének automatikus mérését lehetővé teszik.

A jelenlegi csúcstechnikát képviselő ajánló rendszerek és közösségi szűrők segítenek majd eligazodni a keresésben [7-11]. Ezen a téren az adaptív, viselkedésalapú modellek előretörése jósolható. Az irányzat sikere azonban nagyban függ a közösségi hálók kutatási eredményeitől, a két terület erősen hat egymásra.

A hangsúly ugyanakkor a szöveg irányából a komplex, többdimenziós médiatartalmak (kép, videó, térképeszeti adatok, idősorok) előállításának és feldolgozásának irányába [4,5] tolódik el. A képi és videótartalomban való keresés általános megoldása talán egy hasonló forradalmat indít majd el, mint amit a szöveges tartalmak esetében korábban már láthattunk –, ugyanakkor jelenleg kétséges, hogy egyáltalán mi valósítható meg racionális mértékű erőforrások felhasználásával. Az arc-, az aláírás-, hang- és képfelismerő alkalmazások terjedése abba az irányba mutat, hogy a specifikus megoldások hamarosan az életünk részévé válnak [6].

A multimédia tartalmak előállításának és kezelésének gyorsan bővülő terei a virtuális világok. A játékprogramok és konzolok esetében a valóság-hű (vagy valószerű) leképezés, az életközeli élmény átadásában a kiváló megjelenítés a legfontosabb. A virtualitást jelenleg két irányból közelítik; egyfelől a teljesen virtuális valóság megteremtésén fáradoznak, amelyben a valóságot és annak szabályait egy szoftverprogram adja, másfelől pedig az úgynevezett kiterjesztett (augmented) valóság felől, amely a valós élet egy kiegészítését adja. Mindkét területen látszanak valós igények; az előbbi esetén a játékipar, az utóbbi esetében pedig olyan hétköznapi eszközök megjelenése várható, mint a virtuális billentyűzet, a mobil lexikon, vagy a 3D ruhatár [4,12,13].

Ezen a ponton határterületre érkezünk: a tartalomkezelés illetve az érzékelés és emberi tényezők találkozásához, a kognitív médiainformatikához. A médiatartalom-kezelés és szolgáltatás szoros kapcsolatot mutat az emberi agy kognitív modellezésével, hiszen a látásmódokat, a reagálásokat, hatásokat elemzése nem lehet független az emberi képességektől, agytevékenységektől, sőt, a kultúrától, a közösségi hatásoktól sem. Nem véletlen, hogy a médiatartalom-feldolgozás sikeressége

szorosan összefügg az agykutatás látványos fejlődésével, illetve általában az orvostudományok, a szociológia és a pszichológia újabb eredményeivel. (Gondoljunk csak a beszélő robotokra, a robotpilótákra, a robotdiagnosztákra, ház- és betegőrző készülékekre, de tágabb értelemben ide sorolhatóak a vizualizációval, a kiterjesztett és virtuális valósággal foglalkozó tudományterületek is.)

Az agyra fókuszáló tartalmak között kiemelendő az EEG-alapú (Electro-encephalography – elektro-enkefalográfia) beszédértéssel, képfejtéssel foglalkozó kutatások. Az előbbi tématerület elsősorban arra fókuszál, hogy egy-egy jellegzetes agyműködési mintát beszédhangokká alakítson, míg az utóbbi képek, érzetek, hatások közvetlen agyi „behatásával” foglalkozik. Utóbbira azért merült fel igény, mert néhány játékprogram epilepsziás rohamokat váltott ki egyes gyermekekben. Hasonlóan, egyre nagyobb szerepet kap a médiatartalmak pszichés hatásainak vizsgálata is. Ezen a területen egyre több kutatás indult, remélhetően az akusztikai és vizuális forrású érzelmi minták egy jelentős részét meg fogják fejteni.

A szaglás és az ízeletés a modern informatika két mostohagyereke. A szaglás esetében a legfontosabb áttörést az jelentheti, ha végre sikerül az orr egy mesterséges modelljét előállítani. A „műorr” létrehozása nagyon izgalmas lehetőségnek nyit kaput. Az ízeletés esetében jelenleg nem világos, hogy az informatika hogyan és milyen többletinformációt tud átvenni. Az emberiség eddigi története azt mutatja, hogy a gasztronómián kívül az ízeletés átadása nem volt kritikus kérdés.

### 3. Tartalomaggregálás, -publikálás

Az előző szakaszban érintettük már, hogy míg korábban adott célközönség számára, ismert kontextusban készítették tartalmakat, ma rugalmasabb tartalomelőállítást és -(újra)felhasználást kell szolgálnia a gépi rendszereknek. A tartalom-értékláncban ezért különvált, illetve felértékelődött a tartalomaggregálás, az előállított tartalmak összeállításának-átszervezésének művelete. A közzététel, a publikálás többértű lett (adott tartalomkomponensekből többféle publikációt is össze kell állítani, például könyvet, magazint, multimédia műsort, kereshető portáltartalmat). A tartalom többszörös felhasználása tehát újrafelhasználást és több formában, több terjesztési csatornán való hasznosítást is jelent.

Az internet a legdinamikusabban fejlődő média, gyakorlatilag minden, amit publikálásra szán valaki, az interneten is megjelenik valamilyen formában. Az így elérhető tartalmakra nyitott legfontosabb ablakunk pedig a tartalomkeresés. Az interneten elérhető audiovizuális tartalom mennyiségi gyarapodása kiélezte e tartalmak kereshetőségének és (újra)felhasználhatóságának kérdéseit. Egyre reménytelenebbnek látszik, hogy az élőmunka-igényes kézi annotálás lépést tartson a tartalom keletkezésével. A médiatartalom automatikus elemzése nélkülözhetetlenné vált. A viszonylag kisszámú metaadattal való annotálás ráadásul nagy szemantikai rést

eredményez az eredeti tartalom és a szöveges leírók jelentésteri között. A keresést végző személy valójában a leíró (index) állományokban kutakodik, tehát információs igényét szükségszerűen pontatlanul és kis hatékonysággal tudja csak kielégíteni. A tartalomalapú technológiákkal a releváns tartalom fellelése pontosabb lesz.

A tartalomkezelő rendszerekben a keresési feladat kétféle módon fordulhat elő. Egyik az adat(vissza)keresés, amikor adott kifejezésnek eleget tevő tartalom visszazaadása a cél. A keresési művelet végignézi egy vagy több adatbázis összes elemét, s felderíti az egyezéseket a kereső kifejezéssel. A másik keresési feladat az információ-visszakeresés [14]. Ez esetben nem a kereső kifejezéssel való teljes egyezéssel van a hangsúly, hanem valamilyen okosan értelmezett részleges megfelelésen, azaz, hogy mennyire sikerült kielégíteni a felhasználó információs igényét.

A keresési modellek és a keresőmotorok fejlesztése több irányban történik. A metakereső [15] olyan szolgáltatás, ami lekérdezéseket küld különböző keresőkhöz, gyűjti és egyesíti azok válaszait. Megjelent vertikális (tematikusan, valamint földrajzilag szűkített részalmban történő) keresés is. A természetes nyelvű („teljes mondatos”) kérdések a felhasználó információs igényének életszerűbb megfogalmazására adnak lehetőséget [17,18]. Személyre szabott keresők is lehetségesek (egyéni szokásokhoz, földrajzi helyzethez igazodva), amelyek ráadásul a valóságos és a virtuális világokban egyaránt eligazodnak. A személyes profilok és a kontextus helyes felismerése a kulcs ehhez.

Az adatok értelmezésével keletkező információ többnyire nem jár egyedül, s az információ tömeges befogadása az emberben kialakult tudásra épül, ezért az ember több és mélyebb ismeretet tud leszűrni, mint amire gépi feldolgozással képesek vagyunk. Sok kutatási feladat van tehát a tudásreprezentáció és az ember-gép kommunikáció javításában. Az emberi párbeszédben is vannak szemantikus távolságok, hiszen mindannyiunk tudásreprezentációs modellje egyedi (persze adott kulturális közegben ennek szórása kicsi). Az eltéréseket azonban megbeszéljük, ezzel csökkentjük. Felismerjük, amikor a megértéshez hiányzik egy nem is említett adat. Ezt a tudásreprezentációs és következtetési képességet gépi úton is előállíthatjuk bizonyos mértékig.

A tartalomelemzés végső célja a jelentés meghatározása – legalább közelítőleg. Ide sorolhatjuk mozgókép-folyam jelenetek szerinti darabolását is, hiszen például a közeli és távoli képek közötti váltás jelentéshordozó. Az emberi érzékelés sokkal általánosabb megközelítést is célul tűzheti ki ma már a kutatás, nem lehetetlen a jelentéskinyerés multimédia folyamatokból, a videó és audió darabolása (szegmentálása) információkeresési céllal, a fogalomészlelés audiovizuális híryanagokból stb. Mindez elvezet a tartalomban való közvetlen böngészés (audio/video browsing) feladatához.

A médiatartalom annotálásának másik fontos megközelítése a közösségi részvétel. A szociális hálózat alkalmazásaiban a felhasználók értékeléssel és jelentés-

re (is) vonatkozó jelölésekkel (metaadatokkal) láthatják el a médiatartalmat. Az egymást kiegészítő automatikus és közösségi annotálás a kívánt tartalom megtalálásának és kezelésének hatékonyabb megoldását eredményezi.

#### 4. Tartalomterjesztés

A tartalom terjesztése valamilyen médium segítségével történik (például rádió, televízió, internet, könyv). A tartalom terjesztése egyrészt átkerül az infokommunikációs hálózatra, másrészt egyszerűen megszűnnek az egycsatornás, egyplatformos terjesztési módok. (A telefon már nem pusztán hang továbbítására szolgál, a digitális televíziózás többfunkciós és interaktív, a zenelejátszó egyúttal telefon és egyben kamera is stb.) Az előző pontokban felvillantott kutatások és fejlesztések azt is szolgálják, hogy a tartalom előállítás és aggregálása a többplatformos terjesztés rugalmas követelményeinek megfelelő legyen.

Ugyanakkor igény mutatkozik arra, hogy a spontán adatáramlás jobban irányított legyen. A tartalom pontosabb, a jelentésre is kiterjedő formális reprezentációja ebben az előrelépés alapja.

Gyakran olvashatunk ma tartalomterjesztő hálózatokról (Content Delivery Networks), ennek értelmezése azonban bizonytalan. A feladatra, hogy adott tartalmat eljuttassunk a fogyasztóhoz, ma több architektúra is működik. A klasszikus műsorszórás „egy pont-sok pont” felépítésű. Valójában az interneten történő műsorterjesztés nagy része is ilyen logikai architektúrában valósul meg (egy médiaszerverről sok felhasználóhoz jut el a tartalom). A peer-to-peer és az állománymegosztó (file sharing) architektúrák azonban lényegi eltérést mutatnak.

#### 4. Fogyasztói eszközök

A látható tartalommal a felhasználó ma döntően síkképernyős megjelenítő felületeken találkozhat. Ehhez jellemzően hang is társul (audiovizuális tartalom). A hangzó anyagok fogyasztása önállóan is életképes, továbbra is nagy jövője van. Az akusztikus térhatás, az összetett hangzásterek létrehozása és szabványosítása nem áll meg a házimozzi hangrendszereknél. A fejlesztések egyik iránya a minél hatékonyabb átvitel illetve rögzítés érdekében a felhasználói élményt, a hatást állítja előtérbe a pontossággal, a hangzashűséggel szemben.

Az akusztikai viszonyok pontos visszaadására is vannak törekvések. Az Ultra HD formában a hangok számára nem kevesebb, mint 24 hangsávot tartanak fenn. A 24 csatorna (azaz a 20.4) már alkalmas lehet akár egy koncertterem, vagy egy stadion akusztikai jellemzőinek más helyszínre való áthelyezésére.

A látásélmény fokozása érdekében a megjelenítésre szánt leíró bitek számát növelik – ilyen az 1080p HD-szabvány, ami 16:9-es képátló mellett 1080 vízszintes

képpontot és 25 teljes képet jelent másodpercenként. Az Ultra HD 16-szor több képpontot tartalmaz, mint az 1080p HD, amit 125 teljes képben visznek át a megjelenítő felületre másodpercenként. A képernyők méretnövekedése is dinamikus, közben pedig csökken az energiafogyasztásuk.

A megjelenítő eszközök terén jelenleg a háromdimenziós vizualizáció képviseli a legperspektivikusabb fejlődési irányt. Megjelentek már a segédeszközökkel élvezhető 3D-tartalmak és lejátszók, kísérleti 3D-kamerák és különböző nézőszögekkel (multi-view) rendelkező megjelenítők, sőt a 3D-nyomatók is. Több 3D-kódolási és megjelenítési szabvány kidolgozása és elfogadása van folyamatban. A nézőpontok számában ma még nincs egyetértés, sokféleképpen értelmezik magát a 3D-megjelenítést is. A tartalmaknak csupán kis része készül jelenleg 3D-formátumban – ezek is jellemzően animációk –, a megjelenítők pedig ma még nagyon költség- és energiaigényesek. A sikerhez olcsó és megbízható 3D-megjelenítés, továbbá nagy mennyiségű közvetíthető tartalom lenne szükséges, ezért felmerül a hagyományos médiatartalmak dimenziónövelése is, ennek megoldását azonban nem tartjuk valószínűnek a következő néhány esztendőben.

A virtuális és kiterjesztett valóságok területén két átörösi pont látszik a következő évekre; az elektronikus polimerek hétköznapi megjelenése (ruha, papír és más használati anyag formájában), illetve az átlátszó kijelzők családja.

A médiatechnológiában a vezérlés súlypontja a csatolt eszközökről („távkapcsoló”) az emberi test felé mozdu. Ezt a trendet a mozgásdetekciós eljárások, a kéz- és hangvezérlést biztosító kutatások és alkalmazások, a gesztusvezérlés, a virtuális beviteli eszközök, továbbá az EEG-kutatások egyaránt támogatják. Előny, hogy az alternatív beviteli eszközöknek döntően biológiai energiaforrásuk van.

Az eszköz- és szolgáltatásintegráció révén mind a hordozható, személyes eszközökben, mind az otthoni médiaátjáró-rendszerekben új, eddig elképzelhetetlen színergiák lesznek lehetségesek. A vezeték nélküli megoldások teret nyernek (terjedésük gátjai a korlátos frekvenciakészlet, az energiaprobléma, kockázata a ma még ismeretlen egészségügyi hatás).

A kutatás-fejlesztési irányok áttekintéséből ma természetesen nem maradhat ki az eszközök energiaigényének kérdése sem. A háttértárolók esetében a kisebb méret és a fajlagos kapacitásnövekedés együtt jár a csökkenő energiaszükséglettel, ugyanakkor még mindig magas a (mozgó alkatrészekre alapuló) médiatárak fogyasztása. A kijelzők esetében nagy előrelépések történtek, ám a legtöbb médiatechnológiai eszköz továbbra is energiaigényes, miközben a szükséges számítási teljesítmény mértéke nem csökken. A vezeték nélküli rendszerek esetében – főleg a testközelű hálózatokban – a kommunikáció energiaköltsége lehet a legmeghatározóbb korlátozó tényező, ezért a tárolás és a kommunikáció energiaköltsége között a jövőben optimálisabb egyensúlyt kell teremteni.

## A szerzőkről



**MAGYAR GÁBOR** a BME Villamosmérnöki Karán végzett 1981-ban. 1995-ben műszaki tudomány kandidátusa fokozatot szerzett. 1981-től oktat a BME-n (Híradástechnikai Elektronikai Intézet, Távközlési és Telematikai Tanszék, Távközlési és Médiainformaticai Tanszék), 1996 óta egyetemi docens, 2003-tól az Adatbázisok és multimédia laboratórium vezetője és a médiainformatica szakirány felelőse, 2004 és 2008 között egyidejűleg a BME stratégiai igazgatója. 2002-2005 között Széchenyi István ösztöndíjas volt. A HTE-nek 1985, a Neumann János Számítógéptudományi Társaságnak 1992, a Nemzeti Hírközlési és Informatikai Tanácsnak 2002 óta tagja. A HTE választmány tagja, a Médiainformatica Szakosztály elnöke. A Mobilitás és Multimédia Klaszter, valamint a Mobilitás és Multimédia Nemzeti Technológiai Platform alelnöke.



**KARDKOVÁCS ZSOLT TIVADAR** tanársegédként a tudásreprezentációval és tudásfeltárással kapcsolatos kutatási és oktatási feladatokat látja el 2005 óta a BME Távközlési és Médiainformaticai Tanszékén. A tématerületen 8 nemzetközi és 2 hazai díj, elismerés, 2 könyv, 7 könyvfejezet, és további közel 30 nemzetközi publikáció fűződik a nevéhez, 2 nemzetközi folyóirat és 3 éves rendszeres konferencia bizottsági tagja.



**SZŰCS GÁBOR** a BME Villamosmérnöki Karán végzett 1994-ban. A Mérés- és Számítástechnikai Kutató Intézetben kezdte pályafutását, majd 1997-től a Budapest Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen kutat és oktat. 2002-ben PhD doktori fokozatot szerzett. Bekapcsolódott a hazai és nemzetközi szakmai életbe, jelenleg a Hungarian Simulation Society (EUROSIM) alelnöke, valamint a McLeod Institute of Simulation Sciences Hungarian Center igazgatóhelyettese. Több hazai és nemzetközi projektben vett részt. A HTE Médiainformaticai Szakosztály titkára. Kutatási területei: a diszkrét szimuláció, döntésmélet, adatbányászat, közlekedési rendszerek. 2008-tól elnyerte Magyar Tudományos Akadémia Bolyai ösztöndíját.

## Irodalom

- [1] Magyar G., Hutter O., Mlinarits J., e-Learning, Műszaki könyvkiadó, 2005.
- [2] Magyar G., Tartalomkezelés a médiakonvergenciában. Magyar Tudomány, 168. évf., 7. szám, 2007. július, pp.923–929.
- [3] D. Tikk, Szövegbányászat. In: J. Abonyi (ed.), Adatbányászat – a hatékonyság eszköze. ComputerBooks, 2006.
- [4] Fink G.A., Markov Models for Pattern Recognition – From Theory to Application. Springer, 2008.
- [5] Manolopoulos Y., Papadopoulos A.N., Vassilakopoulos M.Gr., Spatial Databases. IDEA, 2004.
- [6] Jain A.K., Flynn P., Ross A.A., Handbook of Biometrics. Springer, 2008.

- [7] Zs.T. Kardkovács, D. Tikk, Z. Bánsághi, A 2005-ös KDD kupa feladatának megoldása a Fürkész algoritlussal. Híradástechnika, 61(8):50-58, 2006.
- [8] G. Takács, I. Pilászy, B. Németh, D. Tikk, Scalable collaborative filtering approaches for large recommender systems. J. of Machine Learning Res., 10:623-656, 2009.
- [9] G. Takács, I. Pilászy, B. Németh, D. Tikk, Major components of the Gravity Recommendation System. ACM SIGKDD Explorations Newsl., 9(2):80-83, 2007.
- [10] G. Takács, I. Pilászy, B. Németh, D. Tikk, Investigation of various matrix factorization methods for large recommender systems. In: Proc. of 2nd Netflix-KDD Workshop at SIGKDD'08, 14th ACM Int. Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining, Las Vegas, Nevada, USA, 24 August 2008, pp.21–28.
- [11] I. Solt, D. Tikk, V. Gál, Zs. T. Kardkovács, Context-aware rule based classifier for semantic classification of diseases in discharge summaries. J. Am. Med. Inform. Assoc., 16(4):580-584, July/August 2009.
- [12] Hainich R.R., The end of Hardware: A Novel Approach to Augmented Reality (3rd ed.), Booksurge, 2009.
- [13] Haller M., Billinghamurst M., Thomas B., Emerging Technologies of Augmented Reality: Interfaces and Design. Idea Group Publishing, 2006.
- [14] Baeza-Yates R., Ribeiro-Neto B., Modern Information Retrieval. ACM Press, Addison Wesley, New York, 1999.
- [15] Aslam J.A., Pavlu V., Rei C., „The Hedge Algorithm for Metasearch at TREC 2006”, In: Proc. of 15th Text REtrieval Conference, TREC-2006.
- [16] O'Driscoll G., Next Generation IPTV Services and Technologies. Wiley, Hoboken, New Jersey, 2008.
- [17] D. Tikk, Zs.T. Kardkovács, G. Magyar, A. Babarczy, I. Szakadát, Natural language question processing for Hungarian deep web searcher. In: W. Elmenreich, J.A. Tenreiro Machado, I.J. Rudas (eds.), Intelligent Systems at the Service of Mankind, Vol. II., pp.463–476. Köglowitz Verlag, 2006 (ISBN-13: 978-3866080522).
- [18] Tikk D., Szidarovszky F.P., Kardkovács Zs., Magyar G., Entity Recognizer in Hungarian Question Processing. In: Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag GmbH, 2005 (ISSN: 0302-9743).

# Adaptív jelfeldolgozási algoritmusok a kommunikációs technológiákban

LEVENDOVSZKY JÁNOS, ELEK KÁLMÁN, GAÁL JÓZSEF

BME Híradástechnikai Tanszék  
{levendov, elek, gaal}@hit.bme.hu

*Kulcsszavak: csatorna-kiegyenlítés, adaptív algoritmusok, energiatakarékos útkeresés*

**A cikk a 60 éves BME Híradástechnikai Tanszék „Kommunikációs algoritmusok és jelfeldolgozás” laboratóriumának kutatási és fejlesztési tevékenységét mutatja be. A laboratóriumhoz kapcsolódó sokfajta kutatás közül elsősorban azokra az eredményekre összpontosít, amelyekkel a vezeték nélküli technológiák spektrális kihasználtsága és megbízhatósága növelhető a csatorna kiegyenlítési algoritmusok és szenzorhálózatok útvonalválasztási protokolljai területén.**

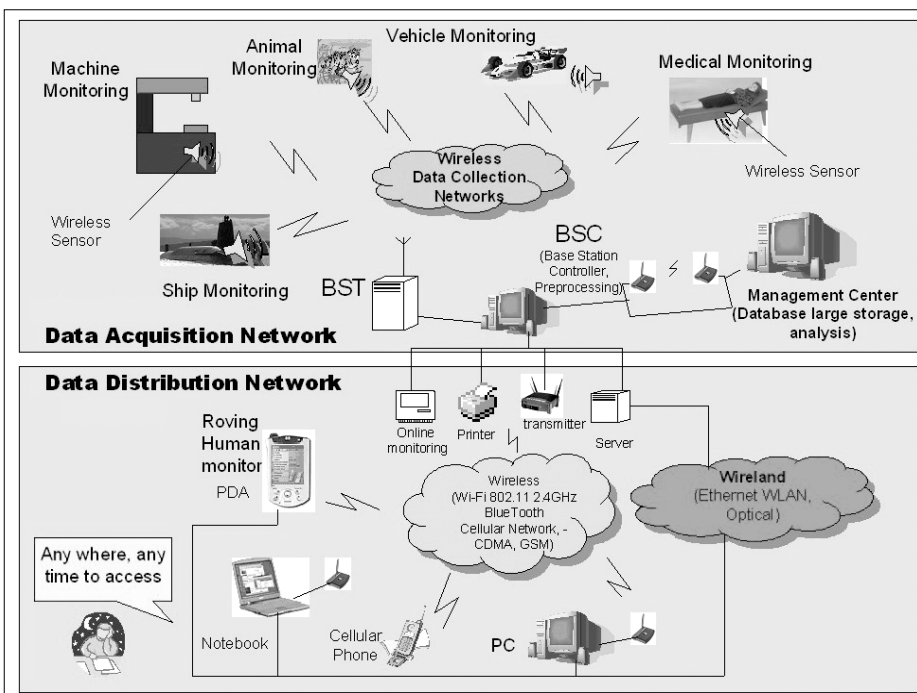
## 1. Bevezetés

Napjaink kommunikációs technológiáinak fejlődését a következő elvárások motiválják:

- (i) minél nagyobb adatátviteli sebesség elérése,
- (ii) előírt megbízhatóság és minőség biztosítása az adatátvitel során,
- (iii) mindenhol való jelenlét és
- (iv) mobilitás.

Ezen igényeket a jelenlegi technológiák mellett csak korlátozott erőforrásokkal lehet kielégíteni. Például a mobil, vagy szenzoriális eszközök kis mérete miatt az adóteljesítmény limitált, amely a zajos rádiócsatornán megbízhatatlan átvitelt eredményez, illetve az adattovábbításra rendelkezésre álló rádióspektrum erősen korlátozott jellege nem támogatja a nagy adatátviteli sebességet.

1. ábra Adatgyűjtés és adatszétosztás globális méretekben



Ezért az erőforrások szűkössége miatt a jelenlegi kommunikációs rendszerek alapkérdése a következő: *hogyan lehet a teljesítőképességet algoritmusok segítségével növelni?*

A BME Híradástechnikai Tanszék fennállásának hatvan éve alatt a tudományos tevékenység egyik meghatározó része a fenti kihívásokhoz kapcsolódott.

A probléma még pregnánsabban jelenik meg az informatika fejlődésének harmadik hullámában, amelyet az olcsón és tömeges formában elérhető érzékelők elterjedése miatt „szenzoriális forradalomnak” is szoktak nevezni. Ezen alkalmazásokban egy szenzorokból álló adatgyűjtő hálózat juttatja el az érzékelt mennyiségeket a bázisállomásra, ahonnan hagyományos internet-alapú vagy egyéb hálózaton kerülnek szétosztásra a megfigyelések további feldolgozás céljából. Egy ilyen rendszer működését az 1. ábra demonstrálja.

Az erőforrások korlátozottsága főleg a szenzorokból álló adatgyűjtő hálózatra érvényes [1,2], hiszen itt a rendelkezésre álló energia nem nyerhető egy központi energiaforrásból, illetve a szenzorok nem tölthetők újra. Ezért új kihívás olyan kommunikációs protokollok és algoritmusok kutatása, amelyek a limitált erőforrások hatékony kihasználására és adott teljesítőképesség elérésére képesek.

Másrészt a frekvenciagazdálkodás miatti keskenysávú rádiócsatorna nagyon érzékeny a többutas terjedésből fakadó torzításokra. Ráadásul a csatornaállapot az idő függvényében változhat, amelyről nincs apriori ismeret a kommunikációs felek számára. Ezért alapvető kérdés olyan adaptív csatorna-



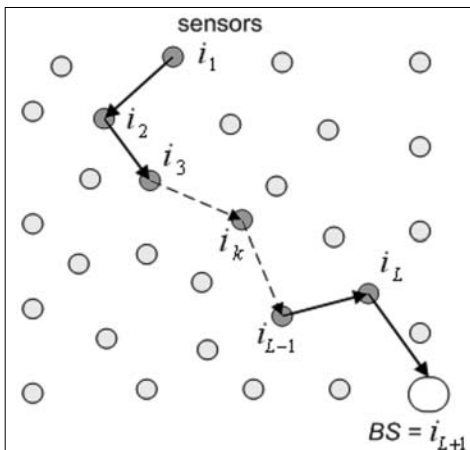
kiegyenlítő algoritmusok kidolgozása, amelyek – az adatátvitel megbízhatóságának biztosítása érdekében – egy előre ismert tanulóhalmaz (néhány vevőben is ismert le-adott információs bit hatására megfigyelt vett jel a vételi oldalon) alapján képesek a csatorna „megtanulására” és torzításainak a kompenzálására. Ezen kérdéskör a digitális kommunikáció kezdetétől ismert [3,4], azonban az eredmények főleg csak a négyzetes hiba és a csúcstorzítás minimalizálásán alapuló kiegyenlítő algoritmusokra vonatkoztak [3].

Továbbra is nyitva maradt az a probléma, hogyan lehet olyan algoritmusokat kidolgozni, amelyek a négyzetes hiba helyett a kommunikáció minősége szempontjából sokkal fontosabb bit-hiba-valószínűséget minimalizálják. Ez a kérdéskör a hagyományos lineáris adaptív algoritmusok helyett nemlineáris algoritmusok kifejlesztését igényli. Másrészt a fenti módszerek alkalmazásához tanulóhalmazra van szükség. Mivel az időben változó csatorna miatt ezt gyakran kell ismételni, ez súlyos adatátviteli sebességbeli csökkenéshez vezethet a csomagkapcsolt hálózatokban. Ezért került előtérbe az úgynevezett „vak” tanulási algoritmusok kutatása, amelyek képesek az ismeretlen csatorna identifikációjára tanulóhalmaz nélkül, csak a vételi jeleket megfigyelve. Matematikailag ez a sztochasztikus approximációs feladatok egy új osztályához vezet, amelyek konvergenciájára eddig még nincs általános bizonyítás.

A fenti jelfeldolgozási és algoritmikus problémák kutatásának alapvető kihatása van a jelenlegi kommunikációs technológiákra. Így ezeken keresztül a laboratóriumban folyó kutatási projektek a jelen és a jövő kommunikációs technológiáit is formálják.

## 2. Szenzoriális kommunikáció – modell és eredmények

A szenzoriális hálózatot egy kétdimenziós gráf reprezentálja, amelynek csomópontjaiban az egyes szenzorok állnak, amelyek véges energiával rendelkeznek és a bázisállomáshoz szeretnék az érzékelt adatokat eljuttatni a rádiókommunikáció segítségével (2. ábra).



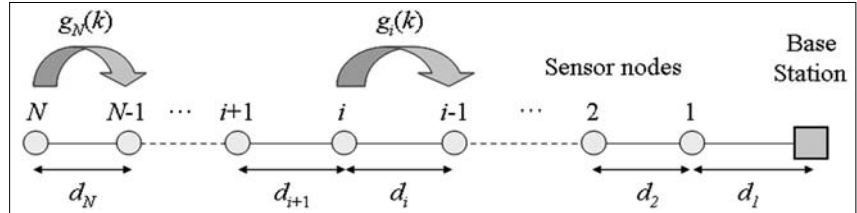
2. ábra  
Multihop kommunikáció a bázisállomásra kétdimenziós szenzor-hálózatban

A  $d$  távolságú adatátvitelhez szükséges energia  $P$  valószínűséggel történő helyes vételéhez a Rayleigh csatornamoddell feltételezve

$$P^{(r)} = \exp\left\{-\frac{d^\alpha \Theta \sigma_z^2}{g}\right\}$$

energia szükséges [7,8,12].

Abban az esetben, ha a csomagküldés útvonala adott, akkor a szenzorok közötti adattovábbítás egy egydimenziós lánc topológiával írható le (3. ábra).



3. ábra  
Egydimenziós láncmodell a csomagtovábbadásra

A hálózatot ilyenkor a  $\mathbf{d}=(d_1, \dots, d_N)$  egymáshoz képesti távolságvektor írja le,  $C$  jelöli a kezdetkor rendelkezésre álló energiát, valamint egy véletlen bináris vektor  $\mathbf{y}=(y_1, \dots, y_N) \in \{0, 1\}^N$  komponensei írják le, hogy generálódott-e adat az  $i$ -ik szenzoron ( $y_i=1$ ), vagy sem ( $y_i=0$ ). Ezen vektor valószínűségeloszlása

$$p(\mathbf{y}) = \prod_{i=1}^N p_i^{y_i} (1-p_i)^{1-y_i},$$

ahol  $p_i$  annak a valószínűsége, hogy az  $i$ -ik szenzoron csomag generálódott. A feladat olyan adattovábbítási stratégiák kidolgozása, amelyekkel az energiafogyasztás farokeloszlása optimális, azaz  $\tilde{K}$ -val jelölt élettartam maximális, ahol

$$\tilde{K}: P\left(\sum_{k=1}^K \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i(k) G_i < C\right) = e^{-\alpha} \quad \text{és} \quad G_i := \sum_{j=1}^i g_j$$

Azért, hogy ne a bázisállomáshoz legközelebbi szenzor terhelődjön túl – hiszen ez a node az egydimenziós topológia miatt minden máshonnan érkező adatot is továbbít –, minden egyes szenzoron egy véletlen sorsolás zajlik, amely  $a_i$  valószínűséggel a bázisállomásra küldi az adatot (ezzel ugyan a nagy távolság miatt ez a node több energiát fogyaszt, ugyanakkor a többi node tehermentesül az adattovábbítástól), illetve  $1-a_i$  valószínűséggel a következőnek a láncban. A cél az  $\mathbf{a}=(a_1, \dots, a_N)$  optimális valószínűségek meghatározása, amely a legkisebb energiafogyasztást, azaz a maximális élettartamot eredményezi.

Az egydimenziós modellen végrehajtott optimalizáláshoz a nagy eltérések elméletét alkalmazva, az energiafogyasztás farokeloszlása a következőképpen becsülhető:

$$P\left(\sum_{k=1}^K \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i(k) G_i > C\right) \leq \exp\left(\sum_{i=1}^N \mu_i(\hat{s}, G_i) - \frac{\hat{s}NC}{K}\right)$$

$$\text{ahol } \mu_i(s, G_i) := \log\left(\mathbb{E}\left[e^{s y_i G_i}\right]\right) = \log\left(1-p_i + p_i e^{s G_i}\right)$$

$$\text{és } \hat{s} := \min_s K \sum_{i=1}^N \mu_i(s, G_i) - \frac{sNC}{K}.$$

Annak a valószínűsége, hogy éppen  $l_i$  hosszan utazik a láncban, majd az adott node „rövidrezárja” a bázisállomás felé:

$$P(\lambda_i = l_i) = a_{i-l_i} \prod_{j=i-l_i+1}^i (1-a_j).$$

Az optimalizáláshoz a farokeloszlást sikerült a statisztikai sávszélességet általánosítva a következőképpen felülről becsülni:

$$P\left(\sum_{k=1}^K \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \left(\sum_{j=i-l_i+1}^i g_j + \gamma_{i-l_i}\right) > C\right) \leq e^{-\frac{sNC}{K}} \prod_{i=1}^N e^{\beta_i(s, V_i)}$$

$$= e^{\sum_{i=1}^N \beta_i(s, V_i) - \frac{sNC}{K}}$$

ahol  $\beta_i(s, V_i) := \log\left(\sum_{l_i} \left(e^{u_{l_i}(s, V_i)} a_{i-l_i} \prod_{j=i-l_i+1}^i (1-a_j)\right)\right)$

általánosított log-momentgeneráló függvény [15],  
valamint  $V_i := \sum_{j=i-l_i+1}^i g_j + \gamma_{i-l_i}$ .

Ezen formulák szerint az  $\mathbf{a}$  vektor optimalizálása történhet gradienskeresési módszer alapján:

$$a_i(n+1) = a_i(n) - \Delta \operatorname{sgn}\left\{\frac{\Psi(\mathbf{a}(n)) - \Psi(\mathbf{a}(n-1))}{a_i(n) - a_i(n-1)}\right\}, i = 1, \dots, N.$$

Ugyanakkor, ha a 2D topológiát tekintjük, akkor a feladat egy olyan optimális útvonal  $\mathfrak{R}_{opt} = \{i_1, i_2, \dots, i_L\}$  megtalálása, amely minimalizálja az adattovábbításhoz szükséges összenergiát, ugyanakkor garantálja a megbízhatóságot (az adatok szenzorról szenzorra továbbítva előírt valószínűséggel érik el a bázisállomást). Ez a következő kényszeres optimalizálási feladathoz vezet:

$$\mathfrak{R}_{opt} : \min_{\mathfrak{R}} \sum_{l=1}^L G_{i_l i_{l+1}}$$

$$P(\text{adatérkezés a BS-re}) = \prod_{l=1}^L \exp\left\{-\frac{d_{i_l i_{l+1}}^\alpha \Theta \sigma_Z^2}{g}\right\} \geq 1-\varepsilon$$

A fenti kényszeres optimalizálási feladathoz sikerült polinomiális komplexitású útvonalkereső algoritmust konstruálni. Így lehetővé válik az energiahatékony, valós idejű kommunikáció, amely az élettartamot maximalizálja. Az eredmény elérése a következő lépésekre támaszkodott:

1. Rayleigh-fading esetén a feladat Lagrange-multiplikátoros alakjából sikerült levezetni [17,18], hogy egy útvonalon az optimális energiákat a következő formula adja:

$$E(\mathfrak{R}) = \left(\sqrt{a_{i_1 i_2}} + \sqrt{a_{i_2 i_3}} + \dots + \sqrt{a_{i_L i_{L+1}}}\right)^2$$

ahol  $a_{i_l i_{l+1}} = \frac{-d_{i_l i_{l+1}}^\alpha \Theta \sigma_Z^2}{\ln(1-\varepsilon)}$   $\mathfrak{R}_{opt} : \min_{\mathfrak{R}} \sum_{(u,v) \in \mathfrak{R}} w(e_{(u,v)})$

2. A fenti eredmény alapján:

$$\mathfrak{R}_{opt} : \min_{\mathfrak{R}} \sqrt{E(\mathfrak{R})} \square \mathfrak{R}_{opt} : \min_{\mathfrak{R}} \left(\sqrt{a_{i_1 i_2}} + \sqrt{a_{i_2 i_3}} + \dots + \sqrt{a_{i_L i_{L+1}}}\right)$$

amiből az optimális útvonal polinomiális időben a Bellman-Ford algoritmussal meghatározható a

$$\mathfrak{R}_{opt} : \min_{\mathfrak{R}} \sum_{(u,v) \in \mathfrak{R}} w(e_{(u,v)})$$

feladat megoldásával a  $w(e_{(u,v)}) = \sqrt{a_{u,v}}$  linkmértékek alkalmazásával.

3. Abban az esetben, ha az elektronika fix adási és vételi energiafogyasztását is figyelembe vesszük, a feladat az

$$\mathfrak{R}_{opt} : \min_{\mathfrak{R}} \sum_{l=1}^L G_{i_l i_{l+1}} + |\mathfrak{R}| G_T + (|\mathfrak{R}|-1) G_R$$

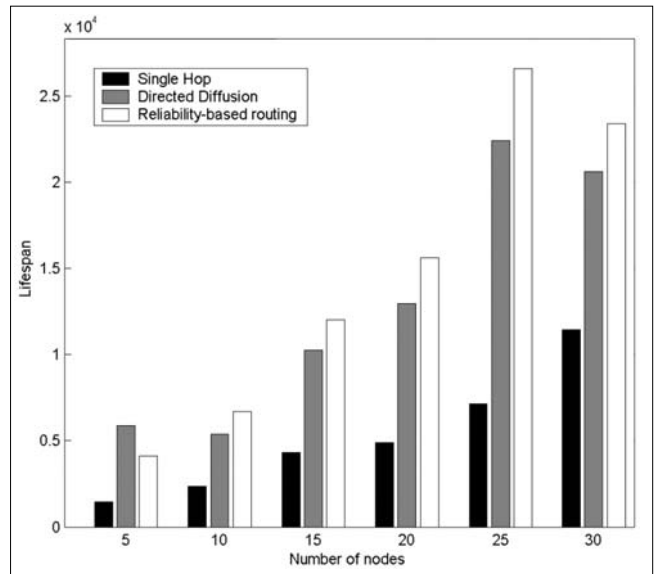
optimális útvonal meghatározása (ahol  $G_T$  és  $G_R$  a fix – a távolsággal nem arányos – energiafogyasztási rész). A megbízhatósági kényszer itt is

$$P_{reliab.} = \prod_{l=1}^L P_{rl} = \prod_{l=1}^L e^{-\frac{\Theta_j \sigma_Z^2}{P_{oj} d_{j,j+1}^\alpha}} = \exp\left(\sum_{l=1}^L \frac{-d_{i_l i_{l+1}}^\alpha \Theta \sigma_Z^2}{G_{i_l i_{l+1}}}\right) \geq (1-\varepsilon).$$

Ebben az esetben a célfüggvény az élek számától is függ, ezért nem additív, így a Bellman-Ford algoritmus direkt módon nem alkalmazható. Azonban a feladatot egy gráftranszformációval sikerült egy polinomiális időben futó iteratív algoritmussal megoldani.

Az új eredménnyel elért élettartam-növekedést a 4. ábra szemlélteti, ahol a két jelenleg használt adattovábbítási módszer (Single Hop és Directed Diffusion), valamint az új módszer (Reliability-based Routing) élettartama van feltüntetve különböző méretű szenzorális hálók esetén. Az élettartam az elküldött csomagok számában van kifejezve, amíg a hálózat egy szenzora le nem merül.

4. ábra  
Vezeték nélküli szenzorális élettartam különböző protokollok esetén a hálózat méretének függvényében



Jól látható, hogy az új módszerrel jelentősen növelhető az élettartam.

### 3. Spektrális hatékonyság növelése adaptív csatornakiégénylítéssel – modell és eredmények

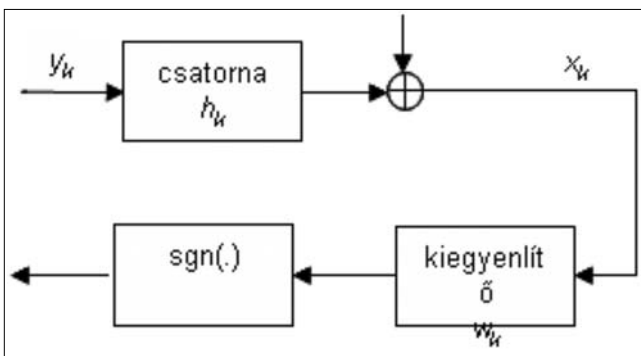
A vezeték nélküli kommunikáció másik kihívása a spektrális kihasználtság növelése. Mivel a rendelkezésre álló fizikai sávszélesség véges (és rendkívül drága), ezért a rendszerek spektrális kihasználtságának a növelése a cél. A spektrális hatékonyságot az 1 Hz-es nominális sávszélességen adott minőség mellett elérhető adatát-

viteli sebesség definiálja. Ennek javítása érdekében a digitális kommunikációt minél keskenyebb rádióspektrumban szeretnénk implementálni. A keskenysávú kommunikáció azonban nagyon érzékeny a többutas terjedésből fakadó fadingjelenségekre, amelyek súlyos lineáris torzításokat okozhatnak. Ennek csökkentése különös fontosságú a mobil rendszerekben, melyek napjainkban két irányban fejlődnek: egyrészt a 3G rendszerek CDMA-alapúak; másrészt a 2G rendszereket (GSM, IS-136) fejlesztik tovább oly módon, hogy a meglévő technológia segítségével nagyobb sávzélességű szolgáltatásokat lehessen nyújtani [1].

Ezen utóbbi megoldások alapja a 2G rendszerekhez bevezetett új fizikai réteg, az *EDGE* (Enhanced Data rates for GSM Evolution). Az EDGE legfontosabb újítása a két-állapotú GMSK moduláció leváltása 8PSK-val, amely segítségével jelentősen javul a spektrális kihasználtság. A többállapotú moduláció bevezetése miatt irreálisan megnő a 2G rendszerekben használt Viterbi-algoritmus komplexitása, amely a jelenlegi DSP technológia mellett nem kezelhető [1,14]. Ezért egyszerű MMSE kiegyenlítő megoldást alkalmaznak, amely azonban nem képes a bithibaarány jelentős csökkentésére a többállapotú moduláció esetén. Így továbbra is nyitott kérdés a bithiba- valószínűséget hatékonyan javító kis komplexitású algoritmusok kutatása.

Jelen esetben a kiegyenlítő egy FIR szűrő. A hagyományos megközelítés szerint ennek súlyait azonban a négyzetes minimuma alapján állítja be a kiegyenlítő algoritmus, ami azonban igen rossz bithibaarányt (szolgáltatásminőséget) eredményez. Ezért célszerű közvetlenül a bithibaarányt minimalizálni, amely azonban exponenciális komplexitású számítási feladathoz vezet. Annak érdekében, hogy real-time algoritmust kapjunk, a számítási komplexitást Li-Sylvester féle mintavételezési technikával csökkentjük.

A fentiek pontosabb leírására a rendszermodell az 5. ábrán látható.



5. ábra A rendszermodell és az alkalmazott jelölések

A csatorna diszkrét idejű modelljének szabad paramétereit jelölje  $h_k, k=0, \dots, M$  ahol  $M$  a lineáris torzítás tartója. A jelhez adódó zajt  $v_k$  jelöli, amelyről feltételezzük, hogy zérus várható értékű,  $N_0$  spektrális sűrűségű fehér Gauss-zaj [5]. A vett sorozatot  $x_k$  jelöli, amely lineárisan torzított és zajos változata az elküldött  $y_k$  információs sorozatnak:

$$x_k = \sum_{j=0}^M h_j y_{k-j} + v_k \quad (3.1)$$

A döntőkészülék a kiegyenlítőből (FIR szűrő) és egy küszöbdetektorból áll. A FIR szűrő a

$$\tilde{y}_k = \sum_{j=0}^J w_j x_{k-j} \quad (3.2)$$

leképezést valósítja meg, ahol a  $w_k, k=0, \dots, J$  együtt-hatók jelölik a kiegyenlítő szabad paramétereit. A döntést előjeldetektorral képezzük:  $y_k = \text{sgn}\{\tilde{y}_k\}$ . A csatorna és a kiegyenlítő kaszkádjára külön jelölést vezetünk be:

$$q_k = \sum_{j=0}^M h_j w_{k-j} \quad (3.3)$$

A hagyományos kiegyenlítők vagy a csúcstorzítást (PD, Peak Distortion),

$$\mathbf{w}_{opt} : \min \sum_{j=1}^L |q_j| \quad (3.4)$$

vagy a négyzetes középhibát (MSE, Mean Square Error)

$$\mathbf{w}_{opt} : \min E \left\{ \left( y_k - \sum_{j=0}^J w_j x_{k-j} \right)^2 \right\} \quad (3.5)$$

minimalizálják az egyszerű realizálhatóság érdekében [5]. Azonban ezen költségfüggvények nincsenek direkt kapcsolatban a bithibaarányal és a teljesítőképességük ennek megfelelően szerény. A hatékonyság javítása érdekében közvetlenül a bithiba- valószínűséget minimalizáló algoritmusokra van szükség.

A bithiba- valószínűség ( $P_b$ ) a kiegyenlítő együtt-hatóinak a függvényeként a korábbi irodalomból már ismert [2,3]:

$$P_b(\mathbf{w}) = \frac{1}{2^L} \sum_{\mathbf{y} \in \Psi} \Phi \left( \frac{\sum_{n=0}^J w_n \sum_{l=n}^{M+n} h_{l-n} y_l}{\sqrt{N_0 \sum_{n=0}^J w_n^2}} \right) \quad (3.6)$$

ahol  $L=J+M$  az eredő átvitel tartója,

$\Phi(\cdot)$  a standard normális eloszlás eloszlásfüggvényét, továbbá a  $\Psi = \{\mathbf{y} = [-1, y_1, \dots, y_L], y_i \in \{-1, 1\}\}$  halmazt jelöli.

A bithiba (3.6) szerinti kifejezését azon szűrőegység-hatók optimalizálják, amelyekre igaz, hogy kielégítik az alábbi egyenletet:  $\mathbf{w}_{opt} : \text{grad } P_b(\mathbf{w}) = 0$

A (3.6) gradiense analitikusan kifejezhető a következő formában:

$$\frac{\partial P_b(\mathbf{w})}{\partial w_i} = \frac{1}{2^L \sqrt{2\pi N_0} \left( \sum_{n=0}^J w_n^2 \right)^{3/2}} \sum_{\mathbf{y} \in \Psi} \exp \left( - \frac{\left( \sum_{n=0}^J w_n \sum_{l=n}^{M+n} h_{l-n} y_l \right)^2}{2 N_0 \sum_{n=0}^J w_n^2} \right) \cdot \left[ \left( \sum_{n=0}^J w_n^2 \right) \left( \sum_{l=i}^{M+i} h_{l-i} y_l \right) - w_i \left( \sum_{n=0}^J w_n \sum_{l=n}^{M+n} h_{l-n} y_l \right) \right]$$

A gradiensekeresés hátránya, hogy megakadhat lokális minimumokban, viszont a globális optimalizálást biztosító statisztikus módszerekhez (pl. szimulált lehűtés) nagyon gyors a konvergenciája.

Így a bithibavalószínűség a gradiens módszerrel a következőképpen optimalizálható: (3.7)

$$w_i(k+1) = w_i(k) - \Delta \frac{\partial P_b(\mathbf{w})}{\partial w_i} =$$

$$= w_i(k) - \Delta \left\{ \frac{1}{2^L \sqrt{2\pi} N_0 \left( \sum_{n=0}^J w_n^2 \right)^3} \sum_{y \in \Psi} \exp \left( \frac{- \left( \sum_{n=0}^J w_n \sum_{l=n}^{M+n} h_{l-n} y_l \right)^2}{2 N_0 \sum_{n=0}^J w_n^2} \right) \cdot \right.$$

$$\left. \cdot \left[ \left( \sum_{n=0}^J w_n^2 \right) \left( \sum_{l=i}^{M+i} h_{l-i} y_l \right) - w_i \left( \sum_{n=0}^J w_n \sum_{l=n}^{M+n} h_{l-n} y_l \right) \right] \right\}$$

ahol  $\mathbf{w}(k)$  a szűrőegyütthatók  $k$ -adik iterációbeli értékeit jelenti, illetve  $\Delta$  a konvergenciát szabályozó lépéskonstans. Ez az algoritmus azonban a gradiensben szereplő exponenciálisan sok tagot tartalmazó összegzés miatt csak erősen korlátozott  $L$  értékekre (csatorna- és kiegyenlítő-együtthatók száma) futtatható valós időben, hiszen minden lépésben  $O(2^L)$  számítást kell végezni a szűrőegyütthatók adaptálásakor.

Azonban a bithiba-valószínűség (3.6) szerinti kifejezése egy várhatóértékként is értelmezhető, feltéve hogy a leadott információs sorozatok egyforma valószínűséggel fordulnak elő (ez az optimális forráskódolás jelenléte miatt általában fennáll). Így a  $G(\mathbf{w})=P_b(\mathbf{w})$  jelölést használva írhatjuk, hogy

$$\frac{\partial P_b(\mathbf{w})}{\partial w_i} = \frac{1}{2^L} \sum_{y \in \Psi} \Phi \left( \frac{\sum_{n=0}^J w_n \sum_{l=n}^{M+n} h_{l-n} y_l}{2 N_0 \sum_{n=0}^J w_n^2} \right) =$$

$$= \frac{1}{2^L} \sum_{y \in \Psi} \Phi \left( \frac{\sum_{l=0}^L q_l y_l}{2 N_0 \sum_{n=0}^J w_n^2} \right) = \quad (3.8)$$

$$= \frac{1}{2^L} \sum_{y \in \Psi} G(\mathbf{w}, \mathbf{y}) = E\{G(\mathbf{w}, \mathbf{y})\}$$

továbbá vezessük be a következő jelöléseket:

$$g(\mathbf{w}) = \text{grad}_{\mathbf{w}} G(\mathbf{w}) = \text{grad}_{\mathbf{w}} E_y \{G(\mathbf{w}, \mathbf{y})\} = E_y \{g(\mathbf{w}, \mathbf{y})\}$$

A bithiba-valószínűség (3.6) szerinti kifejezéséből látható, hogy a  $\Psi$  halmaz fölötti szummázás egyes tagjai a  $q_i$  együtthatók lineáris kombinációjának egy nemlineáris függvényeként állnak elő. A jel-zaj-viszony növekedésével a standard normális eloszlásfüggvény mindinkább tart a  $\text{sgn}(\cdot)$  függvényhez, azaz vagy 0-hoz közeli, vagy 1-hez közeli értékeket vesz föl, kivéve akkor, ha a függvényargumentum közelítőleg zérus.

Ebből a tényből arra következtethetünk, hogy nagy jel-zaj viszony esetén a szummázás egyes tagjai között nagyságrendnyi eltérések adódhatnak, ami lehetővé teszi, hogy a teljes szummázást néhány domináns tag összegével közelítsük. Így egy kis komplexitásban kiszámolható, de éles alsó becslést kaphatunk. (Lásd a statisztikai megbízhatóság-analízisből már ismert Li-Silvester-módszert [18].)

Pontosabban, osszuk fel a  $\Psi$  teret két diszjunkt halmazra, jelölje ezeket  $\Psi_1$  és  $\Psi_2$ . Az  $\Psi_1$  halmaz számossága legyen  $K$ , méghozzá úgy, hogy azt a  $K$  db vektort tartalmazza, amelyre igaz, hogy

$$G(\mathbf{w}, \mathbf{y}_1) > G(\mathbf{w}, \mathbf{y}_2) > \dots > G(\mathbf{w}, \mathbf{y}_K) > G(\mathbf{w}, \mathbf{y}_i)$$

ahol  $i=K+1, \dots, 2^L$ . A  $\Phi(\cdot)$  függvény tulajdonságaiból következően  $0 \leq G(\mathbf{w}, \mathbf{y}_i) \leq 1$ . Ezt kihasználva a bithiba alábbi korlátaihoz jutunk:

$$\frac{1}{2^L} \left( \sum_{y_i \in \Psi_1} G(\mathbf{w}, \mathbf{y}_i) + \sum_{y_i \in \Psi_2} 0 \right) < P_b(\mathbf{w}) <$$

$$< \frac{1}{2^L} \left( \sum_{y_i \in \Psi_1} G(\mathbf{w}, \mathbf{y}_i) + \sum_{y_i \in \Psi_2} 1 \right)$$

azaz

$$\frac{1}{2^L} \sum_{y_i \in \Psi_1} G(\mathbf{w}, \mathbf{y}_i) < P_b(\mathbf{w}) < \frac{1}{2^L} \left( \sum_{y_i \in \Psi_1} G(\mathbf{w}, \mathbf{y}_i) + |\Psi_2| \right) \quad (3.9)$$

ahol  $|\Psi_2|$  a halmaz számosságát jelenti. Esetünkben az  $\mathbf{y}$  vektorok előfordulása egyenletes valószínűségű, így a (3.9) baloldalán szereplő alsó korlát bár igen szoros lehet, ugyanakkor a felső korlát nagyon laza, mivel a  $\Psi_2$ -ben lévő  $G$  tagokat nagyon durván becsültük felülről.

A módszer egyedüli kihívása a domináns tagok gyors megtalálása a (3.6) kifejezésben. Látható, hogy  $P_b(\mathbf{w})$  invariáns  $\mathbf{w}$  normájára, ezért – kihasználva az ebből adódó szabadságot – éljünk a  $w_0=1/h_0$  választással, amiből következik, hogy  $q_0=1$ . (3.6)-ból minden olyan tag elhagyható, amely nem tartalmazza  $\mathbf{y}$ -t, hiszen  $\mathbf{y}$  szerint szeretnénk maximalizálni. Ezek szerint a

$$\Phi \left( \sum_{l=0}^L q_l y_l \right) = \Phi \left( -1 + \sum_{l=1}^L q_l y_l \right)$$

kifejezést kell maximalizálni (hiszen a  $\Psi$  halmaz definiálásakor  $y_0=-1$ -t megkötöttük). A standard normális eloszlásfüggvény monotonitása miatt elég a függvényargumentumot maximalizálni.  $\sum_{l=1}^L q_l y_l$  maximuma éppen a csúcstorzítás (Peak Distortion – PD), ilyenkor  $\mathbf{y}_1$  (mely a legjelentősebb tagot eredményezi):

$$\mathbf{y}_1 = [-1, \text{sgn}\{q_1\}, \dots, \text{sgn}\{q_L\}.$$

Hasonló gondolatmenettel a legnagyobb tagot követő tagok megadhatók a következőképpen:

$$\mathbf{y}_k = [-1, \text{sgn}\{q_1\}, \dots, -\text{sgn}\{q_i\}, \dots, -\text{sgn}\{q_{i_N}\}, \dots, \text{sgn}\{q_L\}$$

$$\text{ahol } \{i_1, \dots, i_N\} = C_k = \arg \min \{ |q_{i_1}| + \dots + |q_{i_N}| \},$$

$$N = 1, 2, \dots, L \text{ és } C_k \neq C_{k-j}, j = 1, \dots, k-1.$$

A problémát a  $C_k$  halmazok megkeresése jelenti. Amennyiben ragaszkodunk a fix első  $K$  legnagyobb tag megkereséséhez, az indexhalmazok megtalálása exponenciális komplexitású, hiszen az összes lehetséges  $\mathbf{y}$ -ra ki kell számolni a  $\mathbf{q}^T \mathbf{y}$  szorzatot, utána a szorzat értéke szerint sorba rendezni, valamint a megfelelő  $\mathbf{y}$ -okat kiűjteni.

Azonban az első négy domináns tag az alábbi egyszerű algoritmussal megkapható (amely a szimulációs eredmények szerint sok gyakorlati alkalmazásban teljesen elegendő). Ennek belátására vezessük be a következő jelöléseket:

$$\mathbf{q}' = [q_1, |q_2|, \dots, |q_L|]^T \text{ és } \mathbf{r} = S(\mathbf{q}'),$$

ahol  $S(\cdot)$  a csökkenő sorbarendezés operátora.

Továbbá  $\tilde{\mathbf{r}} = [q_0 | \mathbf{r}] = \tilde{S}(\mathbf{q})$  ahol  $\tilde{S}(\cdot)$  az első tagot nem érintő csökkenő sorbarendezés operátora és  $s_i = \sum_{j=0}^i \tilde{\mathbf{r}}_{L-j}$ .

Az algoritmus lépései a következők:

1. Legyen  $K=4$ ;

2.  $\mathbf{y}_0 = [-1, 1, \dots, 1]$

3.  $\mathbf{y}_1 = \tilde{S}^{-1}[-1, 1, \dots, 1, -1]$

4.  $\mathbf{y}_2 = \tilde{S}^{-1}[-1, 1, \dots, -1, 1]$

5. IF  $s_1 + s_2 \leq s_3$

THEN  $\mathbf{y}_3 = \tilde{S}^{-1}[-1, 1, \dots, -1, -1]$

ELSE  $\mathbf{y}_3 = \tilde{S}^{-1}[-1, 1, \dots, -1, 1, 1]$

6.  $N = \{\mathbf{y}_1, \mathbf{y}_2, \mathbf{y}_3, \mathbf{y}_4\}$

7. A Li-Silvester-módszerrel kapott alsó becslőt jelölje  $F(\mathbf{w}) \leq G(\mathbf{w})$ .

Ezen becslő gradiense  $f(\mathbf{w})$  nem más, mint  $g(\mathbf{w})$ , azzal a különbséggel, hogy a szummázás  $\psi$  helyett  $N$  fölött történik.

8. Adaptáljuk a szűrősúlyokat a

$w_i(k+1) = w_i(k) - \Delta f_i(\mathbf{w})$  algoritmus szerint,

ahol  $f_i(\mathbf{w})$  a gradiens  $i$ -edik komponensét jelöli.

Az algoritmus sztochasztikus konvergenciáját a Kushner-Clark tétel alapján lehet bizonyítani [6].

Az új algoritmus teljesítőképesség-vizsgálatát az olyan tipikus csatornamodellekre végeztük el, amelyek impulzusválasz-függvénye a következő:

$$h_1 = [1; 0.6; -0.3] \quad h_2 = [1; 0.6; -0.45];$$

$$h_3 = [1; -0.12; 0.3; -0.8]$$

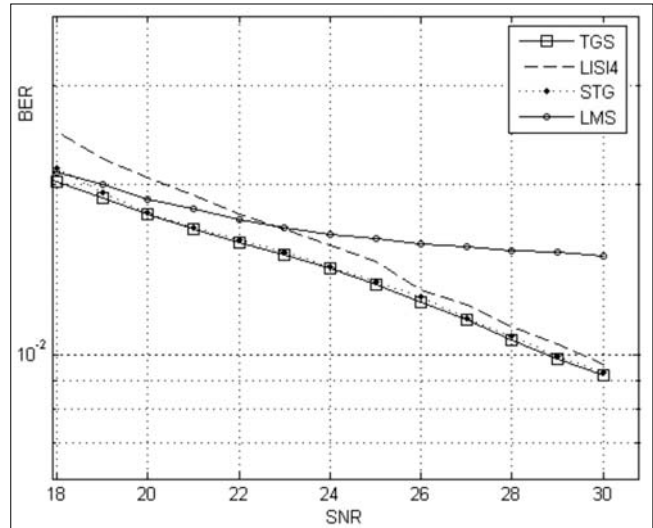
(Megjegyzendő, hogy a  $h_3$ -as csatorna nem minimálfázisú, amelynek a kiegyenlítésére a totális torzítás minimalizálását megvalósító algoritmusok alkalmazhatatlanok.)

A teljesítőképességet a 6-8. ábrák mutatják, ahol a bithibavalószínűség a jel-zaj viszony függvényében került ábrázolásra, adott rádiócsatorna esetén.

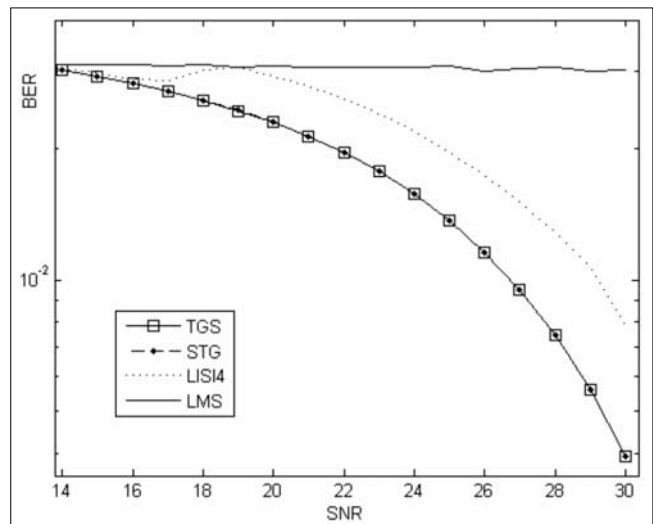
A fenti ábrákból látható, hogy adott jel-zaj viszony mellett a hagyományos (LMS) módszerhez képest az új algoritmus jelentősen kisebb hibavalószínűséget képes elérni, megközelítve a teljesítőképesség elvi optimumát.

## 6. Összefoglalás, konklúziók

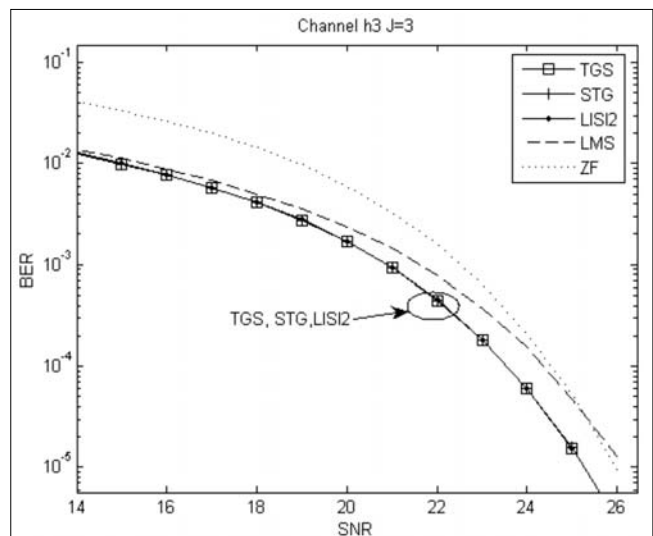
A fenti eredmények fontos hozzájárulásokat nyújtanak a sávzélesség- és energiakritikus alkalmazások esetén, amelyeknél az élettartam, illetve a rendelkezésre álló rádióspektrum mérete kritikus faktor. Így lehetővé válik a spektrálisan hatékony adattovábbítás, valamint a betegekben implantált szenzorok egészségügyi monitorozása, környezeti folyamatok felügyelete, állatfajok migrációjának nyomonkövetése is, ahol a szenzorok feltöltésére nincs lehetőség, ezért az élettartam növelése és a spektrálisan hatékony kommunikáció alapvető fontosságú.



6. ábra  
Bithibaarány a jel-zaj-viszony függvényében a  $h_1$  csatorna és 3 kiegyenlítő-együttható esetén



7. ábra  
Bithibaarány a jel-zaj-viszony függvényében a  $h_2$ -es csatorna és 6 kiegyenlítő-együttható esetén



8. ábra  
Bithibaarány a jel-zaj-viszony függvényében a  $h_2$ -es csatorna és 6 kiegyenlítő-együttható esetén

## A szerzőkről



**LEVENDOVSZKY JÁNOS** a BME Híradástechnika tanszékén egyetemi tanár, valamint a BME VIK Informatikai Doktori Iskola vezetője és a tudományos ügyek dékánhelyettese. Diplomáját a BME-n szerezte 1986-ban. Az MTA ösztöndíjasaként Műszaki Tudományok Kandidátusa címet szerzett 1989-ben. 1989-től egy évig Soros-ösztöndíjasként University of Oxford (UK) mérnöki fakultásán neurális hálózatokkal és ezek optikai implementációjával foglalkozott. 1990-től, 1993-ig a Katholieke Universiteit Leuven Matematika Tanszékén Senior Research Fellowként az adaptív algoritmusok, tanulás és neurális approximáció matematikai elméletét kutatta. Számos nemzetközi projekt vezetője, illetve résztvevője. 1994-től rendszeres nyári kurzusok tartója a Katholieke Universiteit Leuven Matematika Tanszékén és más európai, délkelet-ázsiai, tengerentúli egyetemen. Számos szakcikk, könyvfejezet és konferencia publikáció szerzője. Jelenleg a pénzügyi matematika és informatika területén végez kutatásokat.



**ELEK KÁLMÁN** 1971-ben végzett a BME villamosmérnöki karán, híradástechnika szakon, azóta dolgozik a Híradástechnika Tanszéken. Egyetemi doktori fokozatot 1980-ban szerzett, piezoelektromos létraszűrők tervezése témakörben. Kezdetben a Tanszék (majd Intézet) akusztikai csoportjában az elektromechanikus szűrők területén végzett kutatási tevékenységet. A nyolcvanas évek közepe óta digitális jelfeldolgozással foglalkozik. Részt vett számos digitális modulációs eljárást alkalmazó rendszer megvalósításában.



**GAÁL JÓZSEF** 1976-ban végzett a BME Villamosmérnöki Karán Híradástechnika ágazaton, 1979-ben egyetemi doktori fokozatot szerzett. 1975-óta dolgozik a BME Híradástechnikai Elektronika Intézetben, majd 1990-től a jogutód Híradástechnikai Tanszéken adjunktusként. Kezdetben a hálózatelméleti csoport tagjaként a toleranciaelmélet Monte Carlo módszereit kutatta, majd a nyolcvanas évek közepétől oktatási és kutatási területe a digitális jelfeldolgozás. Több évtizedes tapasztalatra tett szert DSP-alapú jelfeldolgozó kártyák fejlesztésében, ezeken történő adatátviteli modem-algoritmusok kutatásában, implementálásában.

## Irodalom

- [1] W. Gerstacker, R. Schober, „Equalization Concepts for EDGE”, IEEE Trans. Wireless Comm., Vol. 1, No.1., pp.190–199., Januar 2002.
- [2] O. Shimbo, M. Celebiler, „The probability of error due to intersymbol interference and gaussian noise in digital communication systems”, IEEE Trans. on Comm. Techn., COM-19:113-119, 1971.
- [3] C. Yeh, J.R. Barry, „Adaptive minimum bit-error rate equalization for binary signaling”, IEEE Trans. Comm., Vol. 48, pp.1226–1235., July 2000.
- [4] R. Steele, L. Hanzo (editors), „Mobile Radio Communications”, Wiley, 1999.
- [5] J.G. Proakis, „Digital Communications”, McGrawHill, 1995.
- [6] H.J. Kushner, D.S. Clark, „Stochastic approximation methods for constrained and unconstrained systems”, Springer Verlag, 1978.
- [7] Huseyin Ozgur Tan, Ibrahim Korpeoglu, Power Efficient Data Gathering and Aggregation in Wireless Sensor Networks. ACM SIGMOD Record 32 (4): 66-71., December 2003.
- [8] C.Y. Chong, S.P. Kumar, Sensor networks: Evolution, opportunities and challenges. IEEE Proceedings, pp.1247–1254., August 2003.
- [9] J.G. Proakis, Digital Communications, McGrawHill, 1995.
- [10] A. Goldsmith, S. Wicker, Design challenges for energy-constrained ad hoc wireless networks. IEEE Wireless Comm. Mag., No.9., pp.8–27., 2002.
- [11] J. Levendovszky, L. Kovács, E.C. van der Meulen, „Minimum probability of error based equalization algorithms for fading channels”, EURASIP Journal on Wireless Comm. and Networking, Vol. 2007, Part I, doi: 10.1155/2007/14683, pp.1–12.
- [12] J. Levendovszky, B. Hegyi, „Optimal statistical energy balancing protocols for wireless sensor networks”, WSEAS Transaction on Communications, Issue 5, Vol.6., May 2007, pp.689–695.
- [13] J. Levendovszky, L. Kovacs, E.C. Van der Meulen, „A novel blind channel equalization algorithm minimizing the peak distortion in DS-CDMA systems”, WSEAS Transaction on Communications, Issue 2, Vol.6., February 2007, pp.289–295.
- [14] J. Levendovszky, A. Olah, „Statistical sampling based equalization algorithms for fading channels and multiuser detection”, WSEAS Transaction on Communications, Issue 5, Vol.5., May 2006, pp.656–665.
- [15] J. Levendovszky, Cs. Orosz, „Generalized statistical bandwidth for optimal resource management”, WSEAS Transaction on Communications, Issue 10, Vol.5., October 2006, pp.1863–1869.
- [16] J. Levendovszky, M. Molnar P. Legesdrun, „QoS routing with uncertain link state information”, Proc. of INOC07, Spa, Belgium, April 2007.
- [17] J. Levendovszky, „Reliability based routing algorithms for wireless sensor and ad hoc networks by combinatorial optimization”, Accepted paper for publication in Performance Models and Risk Management in Communication Systems, Springer Verlag, 2009.
- [18] J. Levendovszky, „A novel reliability based routing protocol for energy aware communication in Wireless Sensor Networks”, Accepted paper for Heterogeneous Networks, Riverside publication, 2009.
- [19] J. Levendovszky, „Adaptive statistical algorithms in network reliability analysis”, Performance Evaluation – Elsevier, Vol. 48, 2002, pp.225–236.

## On the 60 years old Departments of Wireline and Wireless Communications...

The article present the history of the two departments of Wireline and Wireless Communications from their founding in 1949, through the various organizational changes till the present, and summarizes the research and education areas and presents the key people of the Dept. of Telecommunications and Dept. of Telecommunications and Media Informatics.

## State-of-the-art of telecommunications, 1988

Excerpts of the study prepared by the Committee of Telecommunications Systems of the Hungarian Academy of Sciences are presented to show to what extent the specialists could foresee the dramatic changes occurred in the various fields of telecommunications during the past 20 years.

## Dimensions of infocommunication convergence

Convergence of the world of the telecommunications, information and media technologies is manifested in the unification of their technologies, in the integration of their markets and in the harmonization of their regulation. Infocommunication convergence is an intertwining process of the telecommunications with the information and media technologies, which has a relevant role in the deployment of the information society, the networked knowledge society. The paper presents the models and forms of the infocommunication convergence, discusses its levels, impacts and trends.

## Research related to Future Internet

Future Internet research programs try to ignore and overcome the barriers of incremental development and encourage clean slate designs, which propose new visions, architectures and paradigms for the coming 10-20 years. The exponential growth of the Internet makes it hardly impossible to manage the network with traditional centralized approaches; hence research results of complex networks are expected to spread over the Internet with its autonomic behaviors. On the other hand socio-economic considerations begin to come to the front in deciding technological alternatives or simply influencing requirements, hence having emerging architectural and fundamental impact.

## High-speed wireless networks – technologies for the near future

This paper gives an overview of the deployment of existing and emerging technical advances in high-speed wireless networks. After a brief theoretical summary, the state-of-the-art personal, local and cellular systems are introduced. Already standardized solutions, which are operational, are detailed. The possible improvement paths and steps are also emphasized in the paper.

## Security of communication networks

In this paper, we first discuss some security issues in the Internet, and we sketch some future research directions in this field. Then, we consider a broader interpretation of the Internet, where, besides PCs and servers, the network also contains embedded computers. We discuss the security issues in wireless networked

embedded systems through three examples: sensor networks, vehicular communications, and RFID systems.

## Talking Machines?! –

### State report and future trends of speech technology in Hungary

Speech technology has been an area of intensive research worldwide – including Hungary – for several decades. This paper gives a short overview of the challenges and results of the domain and the vision of the development and the application of the technology is also introduced.

### Analysis and design methods in engineering acoustics: demands, limitations and prospects

Traditional methods of acoustical design are based on highly simplified models of acoustic wave propagation and interactions of sound waves and mechanical vibrations. The paper attempts to give a wide overview of the development of acoustical design, ranging from the outset of ancient greek acoustics through basic analytical approach to the most up-to-date numerical techniques, including some future trends as well.

### 3D Internet-based cognitive infocommunications

The paper describes the new research areas related to 3D Internet and cognitive info-communication. It introduces the basic concepts and definitions in this field furthermore their development and relationship. The recent international trends, projects and research laboratories are presented. Some related examples of experimental results are shown briefly.

### Multimedia communications: state-of-the-art and beyond

The paper presents four areas of current multimedia communications. Second generation of satellite and terrestrial digital broadcasting standards are introduced and the new possibilities are outlined. Within the area media communications over IP networks, main system architectures, streaming services, IPTV, interactive and mobile multimedia solutions are briefly summarized. The most important service delivery platform, the IMS system is presented. Finally the main forms of internet-based multimedia and the Web2.0 based social applications are outlined.

### Media content management and services

Media content became a part of everyday life. The convergence of telecommunications, informatics and electronic media presented new challenges for media content management and services. The article gives an overview of the most important challenges, research and development trends, identified limitations and solution directions.

### Adaptive signal processing algorithms in wireless communication technologies

The paper summarizes the research and development activities performed in the Laboratory of Signal Processing and Communication Algorithms. Among numerous different R&D projects, the paper is concerned with the results obtained on increasing the efficiency of wireless networking technologies. The performance has been investigated by extensive numerical analysis.

## Szerkesztőség

HTE Budapest V., Kossuth L. tér 6-8.  
Tel.: 353-1027, Fax: 353-0451, e-mail: info@hte.hu

## Hirdetési árak

*Belív 1/1* (205x290 mm) FF, 120.000 Ft + áfa  
*Borító II-III* (205x290mm) 4C, 180.000 Ft + áfa  
*Borító IV* (205x290mm) 4C, 240.000 Ft + áfa

## Cikkek eljuttathatók az alábbi címre is

Szabó A. Csaba, BME Híradástechnikai Tanszék  
Tel.: 463-3261, Fax: 463-3263  
e-mail: szabo@hit.bme.hu

## Előfizetés

HTE Budapest V., Kossuth L. tér 6-8.  
Tel.: 353-1027, Fax: 353-0451  
e-mail: info@hte.hu

## 2009-es előfizetési díjak

*Közületi előfizetők részére:* bruttó 32.130 Ft/év  
*Hazai egyéni előfizetők részére:* bruttó 7.140 Ft/év  
*HTE egyéni tagok részére:* bruttó 3.570 Ft/év

## Subscription rates for foreign subscribers:

4 issues (on english) 50 USD, single copies 15 USD  
+ postage

[www.hte.hu](http://www.hte.hu)

Felelős kiadó: NAGY PÉTER • Lapmenedzser: DANKÓ ANDRÁS

HU ISSN 0018-2028

Layout: MATT DTP Bt. • Printed by: Regiszter Kft.



## Tanszéki közösségeink – 2009

### BME Híradástechnikai Tanszék

**Tanszékvezető: Imre Sándor DSc**

**Tanszékvezető-helyettes: Augusztinovicz Fülöp CSc**

Ács Gergely, Arató Éva, Bacsárdi László, Bajor Péter, Barát Zoltán CSc, Bartha Bendegúz, Belső Zoltán, Bencsáth Boldizsár, Benkő Borbála, Bodrog Levente, Bokor László, Bozóki Sándor PhD, Budai Károly dr, Buttyán Levente PhD, Czap László, Csurgay Árpádné dr, Dallos György CSc, Do Hoai Nam, Do Van Tien PhD, Dóra László, Egresits Gábor, Elek Kálmán dr, Emődi Lőrinc, Faigl Zoltán, Farkas Balázs András, Farkas Károly PhD, Farkas Sándor, Fazekas Péter, Ferencz Csaba DSc, Fiala Péter PhD, Filp András dr, Földes Ádám, Fülöp Péter, Fülöp Tamás dr, Gaál József dr, Gajdáty Péter, Geréb Gábor, Gódor Győző, Granát János CSc, Gruber Gábor dr, Gulyás Gábor György, Gulyás Krisztián, Gyöngyösi László, Győri Jenő, Hainné Balázs Melinda, Halászné Tóth Ildikó, Hanicsek Ildikó, Hegyi Barbara, Hidvégi Gáborné, Holczer Tamás, Horváth Ákos, Horváth Andrásné, Horváth Gábor PhD, Horváth László dr, Horváth Zoltán, Horváthné Gembiczky Erzsébet dr, Huszák Árpád, Huszty Csaba György, Izsó Tamás, Jakab Tivadar, Jeney Gábor PhD, Jereb László DSc, Juhász Ágnes, Kaczúrné Tóth Katalin, Kanizsai Zoltán, Kimpfián Tibor, Koller István dr, Koroknai Istvánné, Kovács Benedek, Kovács Imre dr, Kreisz Mátyásné, Leitem Balázs, Lencse Gábor Sándor PhD, Lendvai Károly, Levendovszky János DSc, Lois László PhD, Madarassy László, Mahó Zoltánné, Mares Edit Judit, Márki Ferenc, Mészáros Mihály, Mihály Zsigmond dr, Mócsai Tamás, Mráz Albert, Nagy Attila Balázs, Nagy Péter dr, Nemes Mihály dr, Németh Gábor CSc, Németh Zoltán, Nováczki Szabolcs, Pál Károly, Pálincás Zsolt, Pálinszki Antal CSc, Pap László akadémikus, Pápay Zsolt CSc, Pfliegel Péter dr, Prónay Gábor dr, Rác Gábor, Radvánszki Tamás, Roca Ádám, Rucz Péter, Schaffer Péter, Schulcz Róbert, Sebestyén Ákos, Simon Gyula CSc, Simon Vilmos PhD, Sipos Attila, Suskovics Péter, Szabó Csaba Attila DSc, Szabó Sándor, Szálka Tamás, Szandi Lajos, Székely Levente dr, Szilágyi Tamás, Ta Vinh Thong, Takács Géza, Takács Ferenc CSc, Takács Imre, Telek Miklós DSc, Temesi Ágoston dr, Theisz Péter CSc, Törös István, Tran Minh Tri, Tran Thanh Long, Truong Thi Xuan Mai, Ujházy László, Vajda István DSc, Van Tuan Cuong, Vannai Nándor dr, Varga Endre Sándor, Varga György, Vitéz András, Wagner Ambrus, Wagner Margit Katalin, Zsiros Attila, Zsóka Zoltán PhD

### BME Távközlési és Médiainformatikai Tanszék

**Tanszékvezető: Sallai Gyula DSc**

**Tanszékvezető-helyettes: Szabó Róbert PhD**

Abos Imre CSc, Adamis Gusztáv dr, Ambrus Sándor, Babarcsi Péter, Balázs Krisztián, Baranoff Tivadarné, Baranyi Péter DSc, Bartalis István Mátyás, Bartolits István dr, Baumann Ferenc, Béres András, Biczók Gergely, Bíró József DSc, Bock Györgyi, Boda Miklós PhD, Bozóki Ferenc, Bóhm Tamás, Cinkler Tibor PhD, Csapó Ádám, Csapó Tamás Gábor, Csopaki Gyula CSc, Csöndes Tibor PhD, Dániel István, Dankó Dóra, Dibuz Sarolta CSc, Éltető Tamás PhD, Erős Levente, Farkas Márk, Fábíán Ferenc, Fegyő Tibor, Fehér Gábor PhD, Flesch István dr, Fodor Péter, Főző Csaba, Frajka Béla CSc, Gajdos Sándor dr, Gáspár-Papanek Csaba, Gefferth László PhD, Gerháth Gábor, Gordos Géza DSc, Gulyás András PhD, Gyarmati László, Győri Erzsébet, Halász Edit CSc, Hegyi Péter, Henk Tamás CSc, Heszberger Zalán PhD, Horváth György, Horváth Róbert, Illényi András CSc, Juhász Krisztián, Kardkovács Zsolt Tivadar PhD, Kenyeres Péter, Keszler Győzőné, Kis-Szölgyémi Ferencné, Kiss Géza, Kóczy László Tamás DSc, Korn András, Kósa Zsuzsanna PhD, Kovács Gábor, Kovács Pál, Kőrösi Attila, Kulik Ivett, Kunsági László, Lajtha Balázs, Lajtha György DSc, Lukátsiné Farkas Róza, Lukovszki Csaba, Magyar Gábor CSc, Maliosz Markosz PhD, Marosi Gyula, Marosits Tamás, Marton József Ernő, Mazroa Dániel, Máté Miklós, Mezny Balázs, Mihajlik Péter, Mitcsenkov Attila, Moldován István, Molnár Sándor PhD, Mozsolics Tamás, Nagy Ildikó, Nagy István, Nagy Katalin, Németh Felicián, Németh Gábor, Németh Gábor Árpád, Németh Géza PhD, Németh Krisztián, Novák Zoltán, Olasz Gábor DSc, Osváth László dr, Öllös Gergely, Paksy Géza, Paller Gábor PhD, Pap Zoltán PhD, Pályi Pál László, Perényi Marcell PhD, Petrőczy István Attila, Plósz Sándor, Prekopcsák Zoltán, Reider Norbert, Rétvári Gábor PhD, Róka András, Silye Ferencné, Simon Csaba, Solt Illés, Solymosi János CSc, Sonkoly Balázs, Soproni Péter, Szabó Áron Dénes, Szaszák György PhD, Szendrei Anita, Szentgyörgyi Attila, Szittyá Ottokár dr, Szöllősi Lóránd, Sztahó Dávid, Szűcs Gábor PhD, Takács György CSc, Tapolcai János PhD, Tarján Balázs, Tarnay Katalin DSc, Tatai Péter, Tikk Domonkos PhD, Tobler Zoltán, Toka László, Tóth Bálint Pál, Tóth László DSc, Trinh Anh Tuan PhD, Tüske Zoltán, Vámos Péter, Varga Pál, Vicsi Klára DSc, Vida László, Vida Rolland PhD, Vidács Attila PhD, Viktóriusz Ákos, Vincze Gábor, Zahemszky András, Zainkó Csaba, Ziegler Gábor dr, Zömbik László, Zsigmond Szilárd, Zsoldosné Molnár Mariann