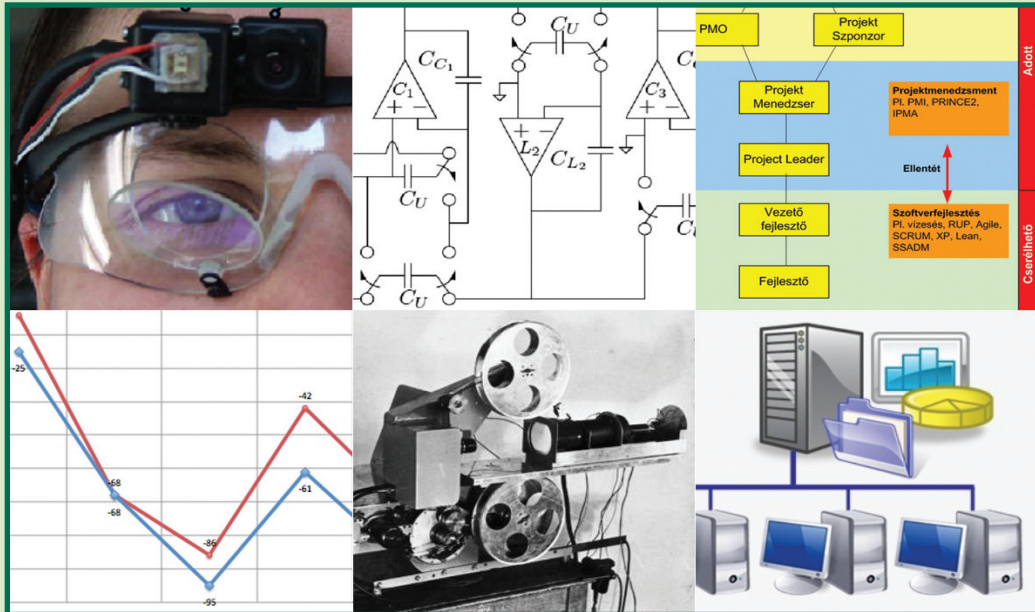


# híradástechnika

1945 VOLUME LXVI. 2011

## hírközlés ■ informatika



### A televíziózás történetéből

### Telemedicina

### Videotelefonálás 3G-n

### Fuzzy rendszerek

# 2011/4

A Hírközlési és Informatikai Tudományos Egyesület folyóirata  
a Nemzeti Kulturális Alap támogatásával

nka

# Tartalom

<b>BEKÖSZÖNTŐ</b>	1
<b>Falus László</b> A televízió kezdeti lépései Magyarországon az 1930-as években	2
<b>Daragó László, Engi Csaba, Ferenczi György, Pesti István, Vass Dezső</b> Telemedicina – IKT-n alapuló egészségügyi szolgáltatás, III. rész: Pénzügyi, üzleti modell	6
<b>Molnár Gábor, Schnell Henrik, Szarvas Attila, Szeberényi Imre</b> Munkában a böngészők	11
<b>III Gergely, Milánkovich Ákos, Lendvai Károly, Imre Sándor, Szabó Sándor</b> DASH7 alapú smart metering	16
<b>Kara Péter András, Bokor László, Imre Sándor</b> A mérőalanyok prekonceptiói által okozott torzítások hatása 3G videotelefonálás QoE kiértékelési eredményeire	22
<b>Helfenbein Tamás</b> Élpont osztályozáson alapuló robusztus tekintetkövetés	29
<b>Szalai Albin, Horváth Gyula</b> Kapcsolt kapacitású szűrő tervezése orvosi biológiai alkalmazásokhoz	35
<b>Balázs Krisztián, Kóczy T. László</b> Fuzzy szabályalapú modellek és rendszerek felépítése evolúciós technikák segítségével	44
<b>Csutorás Zoltán, Kocsis Árpád</b> Projektmenedzsment és az agilis szoftverfejlesztés	51
<b>Gergely György</b> 10 éve hunyt el Simonyi Károly	56

---

## Védnök

Dr. HUSZTY GÁBOR a HTE elnöke

A folyóirat a Nemzeti Civil Alapprogram  támogatásával valósult meg.

---

## 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

# Beköszöntő

szabo@hit.bme.hu

**R**eméljük, hogy a szakmánk történetéről szóló eddig megjelent cikkeinkhez hasonlóan *Falus László* áttekintése is érdekes lesz olvasóink számára, amely a hazai televíziózás kezdeteiről szól. Az eredeti képekkel illusztrált írás a televíziózás hazai megjelenésének időszakának, a 30-as éveknek az érdekességeit mutatja be, többek között a Tungstramnál és a Posta Kísérleti Állomáson folytatott fejlesztéseket.

Eben a számban zárjuk a telemedicináról szóló három részes cikksorozatunkat. *Daragó László és szerzőtársai* „Telemedicina: IKT-n alapuló egészségügyi szolgáltatás” című, az ‘eHealth8’ projekt eredményeit felhasználó munkájának fejezetei bemutatták a telemedicina kulcsfontosságú dimenzióit: az egészségügyi protokollok kialakításának menetét, a rendszer műszaki architektúráját, a végponti eszközöket és kommunikációjukat, valamint – a jelen, záró fejezetben – a pénzügyi, üzleti modellt, illetve a működtetés finansziális paramétereit.

A gridek napjainkban jelentős szerepet töltenek be a nagyszabású tudományos számítások kivitelezésében. Terjednek az önkéntes gridek is, amelyben hétköznapi felhasználók is a kutatások rendelkezésére bocsátják számítógépeik kapacitását. *Molnár Gábor és szerzőtársai* „Munkában a böngészők” című cikkükben a BOINC elosztott számítási menedzsmentrendszer ismertetik, amely egy bejáratos és kiforrott eszközt biztosít az az önkéntes gridek működtetéséhez. Az eddigieknél jelentősen nagyobb közönség élhet ezzel a lehetőséggel azáltal, hogy a módszer lehetővé teszi a számítások böngészőkben való futtatását.

Napjainkban egyre nagyobb figyelmet fordítanak az áram-, víz- és gázfogyasztás megtakarítására. Ez olyan mérnöki megoldások kifejlesztését igényli, mint a smart metering alkalmazások, amelyek segítségével a szolgáltatók és felhasználók is pontos képet kaphatnak az energiafogyasz-

tásról. *III Gergely és szerzőtársainak* „DASH7 alapú smart metering” című írása összefoglalja a smart metering technológiák lényegét, bemutatásra kerül a DASH7 (ISO/IEC 18000-7) aktív RFID szabvány és annak működése, továbbá szemlélteti a szerzők által különböző környezetekben mért, a DASH7 által használt (433,92 MHz) frekvencia terjedési tulajdonságait.

A telekommunikációs szolgáltatások terén az objektív szolgáltatásminőségi paraméterek (Quality of Service) mellett egyre nagyobb szerepet tölt be a szubjektív minősítés (Quality of Experience). Ehhez szükséges, hogy a szolgáltatás minősítésére használt mérés eredménye minél inkább tükrözze a valóságot, amelynek elérése koránt sem tekinthető egyszerű feladatnak, hisz a tényleges minőségérzethez képest a minősítés torzításokat szenved. *Kara Péter és szerzőtársai* „A mérőanyagok preconcepciói által okozott torzítások hatása 3G videotelefonálás QoE kiértékelési eredményeire” című cikke a szakmai előismeretekből adódó preconcepciók okozta torzításokkal foglalkozik.

A billentyűzet és az egér után maga az ember is a modern számítógépek perifériájává vált. Az emberi mozgulatokat felismerő perifériák mellett a tekintetkövető rendszerek is egyre nagyobb szerephez jutnak az embergép kapcsolat megvalósításában. A mobilis, képfeldolgozáson alapuló tekintetkövető eszközök hatékonyságát a változó fényviszonyok nagymértékben csökkentik, ezért a hagyományos technológiák ilyen körülmények között nem használhatóak. *Helfenbein Tamás* az „Élpont osztályozáson alapuló robusztus tekintetkövetés” című írásában olyan módszert mutat be, amely képes az emberi szem pupilla-paramétereinek robusztus meghatározására változó fényviszonyok között is.

A mai elektronikus alkalmazások egy kiemelten fontos területe az orvosbiológia. A testbe ültetett implantátumok különös kihívások elé állít-

ják a tervezőmérnököt. *Szalai Albin és Horváth Gyula* „Kapcsolt kapacitású szűrő tervezése orvosbiológiai alkalmazásokhoz” című cikkükben egy extrém alacsony frekvencián vágó, nagy meredekségű aluláteresztő szűrő tervezésének problémakörét járják körül. Mivel a szűrőt szilíciumon kell megvalósítani, ezért a megvalósítható ellenállás- és kapacitásértékek korlátozottak. Ezt a kapcsolt kapacitású technikával lehet kiküszöbölni oly módon, hogy a szűrő tervezésekor a kapacitások értékeit a megvalósítható tartományba csökkentjük.

*Balázs Krisztián és Kóczy T. László* „Fuzzy szabályalapú modellek és rendszerek felépítése evolúciós technikák segítségével” című cikke összefoglalást ad a fuzzy szabályalapú gépi tanuló architektúrák koncepciójáról, illetve e rendszerek evolúciós számítási technikák segítségével történő létrehozásának lehetőségéről. Ennek során a fuzzy következtetés koncepciójának ismertetése, az evolúciós algoritmusokba nyújtott betekintés, valamint az ellenőrzött gépi tanulás sémájának felvázolását követően a fuzzy szabályalapú tanuló architektúrák kialakításának mikéntje kerül tárgyalásra. A cikk bevezetője jó összefoglalást ad a „lágy számítástechnikai módszerekről”, amelyek közé a fuzzy eljárások is tartoznak.

Projektmenedzsment-rovatunkban most *Csutorás Zoltán és Kocsis Árpád* „Projektmenedzsment és az agilis szoftverfejlesztés” címet viselő írását adjuk közre, amely egy új és érdekes téma, amelyről egyre többet hallani. Vajon milyen viszonyban áll a projektvezető és a szoftverfejlesztő, hogyan lehet összeilleszteni az agilitást a jól bevált projektvezetési módszerekkel? A szerzők arra a kérdésre keresik a választ, milyen egy igazi, „éles” agilis szoftverfejlesztés üzleti környezetben, azaz olyan vállalatok kontextusában, ahol az IT üzleti célokat szolgál ki, tehát a kiszolgáló folyamatok része.

*Szabó Csaba Attila* főszerkesztő

# A televízió kezdeti lépései Magyarországon az 1930-as években

FALUS LÁSZLÓ

*l.falus@chello.hu*

*Kulcsszavak: televízió, műsorszórás, ikonoszkóp, kamera, stúdió*

**Az eredeti képekkel illusztrált írás a televíziózás magyarországi megjelenésének időszakának, a 30-as éveknek az érdekességeit mutatja be, többek között a Tungstramnál és a Posta Kísérleti Állomáson folytatott kezdeti fejlesztéseket.**

A rádiózás 1920-as években megvalósult elterjedésével párhuzamosan fokozódott az igény a képek továbbítására, a televízió megszületésére. Ehhez az elsődleges feladat a képek átalakítása elektromos jellé, a képbontás megoldása volt. A mechanikus képbontókra több, nagyhírű megoldás született Paul Nipkow 1884-ben bejelentett szabadalmát követően. E téren híresek a magyarok közül *Mihály Dénes* Telehorja, *Okolicsányi Ferenc* tükörcsavaros megoldása és *Wikkenhauser Géza* konstrukciói. A fejlődés nem állt meg, gondolkodó elmék sokasága kereste az elektronikus megoldást. Ezek közül elsősorban *Tihanyi Kálmán* és *Vladimir Zworykin* szabadalmait kell megemlíteni, amelyek alapján elkezdtek az elektronikus képbontó eszközök, az ikonoszkópok gyártását. Ezekből aztán más laboratóriumokban kamerákat építettek, amelyekből létrejöttek az első televíziós stúdiók. A kezdetben fekete-fehér képbontó eszközöket a színesek, az ikonoszkópokat az ortikonok, a vidikonok, majd a félvezetős eszközök követték, amelyek mára a nagyfelbontású képek csodáját varázsolják a nézők készülékeire.

## 1. Televíziós fejlesztés a Tungstramnál

Az 1930-as évekre a Tungstram nemzetközi nagyvállalat, Magyarország egyik legszámozottabb ipari óriása lett [1]. Szoros kapcsolata volt a külföldi nagyvállalatokkal és képviselőket működtetett a nagyobb országokban. Exportszervezete gondosan figyelte a fejlődést, de a szakma nagyvállalatai is tartották a Tungstrammal a kapcsolatot. 1932 szeptemberében Aschner Lipót vezérigazgatónak címzett belső anyag készült, amely tájékoztat a televízió helyzetéről és fejlődésének várható irányáról. Rámutat a Braun-féle cső, azaz a katódsugárcső jelentőségére és arra, hogy ezzel lényegesen jobb minőség lesz elérhető a mechanikus megoldásokénál.

1933 novemberében kelt az 1929-ben alapított német Fernseh AG és budapesti képviselőjének levele, amely javaslatot körvonalaz a televízió magyarországi bevezetésének módjára. Ebben összefoglalják a tech-

nika állását, és megállapítják, hogy a színpadi felvételeknek nincs meg a lehetősége. A mintegy három évvel később általuk is alkalmazott elektronikus képbontásról még nem tesznek említést.

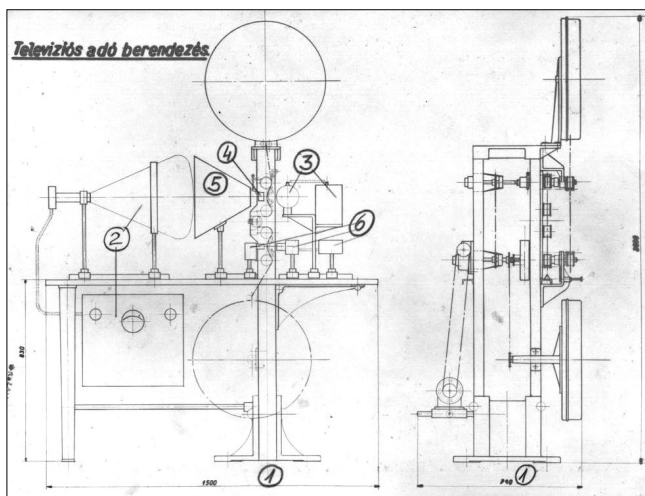
A Tungstram belső szervezetei és külföldi képviselői több jelentésben is tájékoztattak a televízió fejlődéséről. Így az Export Eladás részleg, Fehér aláírású, 1935 februári jelentésében, a külföldi helyzet ismertetése után javasolta televíziós laboratórium felállítását. Újabb lökést adott a témának a Londonból hazatért dr. Czukor Károly, aki 1936. október 5.-i jelentésében televíziós laboratórium felállítását javasolta. Összefoglalta a televízió megvalósításának állását és rámutatott arra, hogy ennek lényeges részét a katódsugárcső fogja képezni, ami beleillik a Tungstram gyártmányai közé. A készülékeket valószínűleg a testvérvállalatnál, az Orionnál fogják gyártani. A jelentést a kutatólaboratórium akkori főnöke, dr. Bay Zoltán is aláírta.

A laboratóriumot létrehozták és munkájukról 1937 áprilisában már részletes jelentésben számoltak be. Rögzítik, hogy tevékenységi körükbe a televíziós vevőberendezések és az e célra szolgáló speciális csövek tartoznak. Ez utóbbiak közé sorolják a katódsugárcsőveket és a gáztriódákat (thyatronokat). Megállapítják, hogy a vevőkészülék kipróbálásához szükség van jó minőségű képek jeleit előállító képadó-berendezésre. A televíziós laboratórium munkatársai dr. Czukor Károly vezetésével dr. Barta István, Kincse Kálmán, Magó Kálmán, dr. Terebesi Pál és Zakariás Imre voltak.



1. ábra  
A Tungstram  
Televízió  
közvetített  
ábrája

Részletesen ismertetik a tervezett és megvalósított képadó felépítését és áramköreit. A berendezés felépítését két változatban ábrázolják a rajzok. Az egyik az adó- és a vevőegység közötti kábeles, a másik a rádiós összeköttetésnek felel meg.



2. ábra Tungsram képbontó berendezés

A berendezés futópontos (flying spot) rendszerű elektronikus képbontást alkalmazott. Állóképnél a katódsugárcső ernyőjén a fénypont soronként, egy, a filmnek megfelelő oldalirányú téglalap alakú területet, úgynevezett rasztert futott be. Ezt egy lencserendszer a kép méretének megfelelően lekicsinyítette és az ezen belül futó fénypont átvilágította a filmet. Mozgóképnél, azaz mozifilmnél a fénypont csak egy sorban futott és a filmet mozgatták folyamatosan. A fejlesztők jelezték, hogy a későbbiekben a moziban alkalmazott megoldásnak megfelelő szakaszos továbbítást terveznek. A fénysugár az átvilágítás után, lencserendszeren keresztül fotócellára került. Ennek kimenőjelét 20 Hz–500 kHz sáv szélességű erősítővel növelték a vevőegység bemenő szintjére. A vevőegység több változata is elkészült és a jelalakok vizsgálatára oszcillográfot is építettek. Képcsőként amerikai RCA gyártmányú statikus és mágneses eltérítésű csöveket alkalmaztak, melyek egyike a 905 típus volt. Megépítették a sor- és a képfrekvenciás impulzusok generátorait is. Az egész berendezést állványra szerelték, amelyen elhelyezték a filmtovábbító mechanizmust (1), a megvilágító katódsugárcsővet és tápegységét (2), valamint lencserendszerét (5), a fotócellát és erősítőjét (3).

A munkák állásáról dr. Czukor Károly 1937. június 27.-i jelentésében arról számol be, hogy a „képátvivő berendezéssel” az első kísérletek megkezdődhetnek. Az átviendő képet ekkor a fényforrásul szolgáló katódsugárcső ernyőjére rajzolták és az átviteli minőséget a vevőcső ernyőjének fényképezésével rögzítették. A kép a kísérletek kezdetén 50 soros és 25 kép/másodperces volt. A jelentéshez mellékelte a Miki egér eredeti és továbbítás utáni fényképét.

A Tungsram és az amerikai RCA régóta kapcsolatban voltak. 1935-ben megküldték elnöküknek, David Sarnoffnak a televízió helyzetéről 1935-ben tartott előadását. Az első, 1849 típusú képfelvevő csövet is az RCA-tól sze-

rezték be. 1939-ben dr. Czukor Károly több javaslatot is tett az RCA-val kapcsolatban. Kezdeményezte licenz vásárlását stúdióra és kisteljesítményű (kb. 1 kW-os) adóállomásra is. Szorgalmazta a meglévő kiegészítésére további képfelvevő és megjelenítő csövek vásárlását.

A televíziós laboratórium munkatársáról dr. Barta Istvánról, a Budapesti Műszaki Egyetem későbbi Kossuth-díjas professzoráról pályatársai, Redl Endre, Egri Imre és Valkó Iván Péter a Híradástechnika 1979/10. számában a „Barta István, a mérnök” című cikkben emlékeztek meg [2]. E cikk érdekes adatokat közöl a televíziós laboratórium munkájáról, ahová Barta István 1938 januárjában lépett be. Leírja, hogy ikonoszóóp-kamerát is építettek jelenetek felvételére. Az egyik kísérleti átvitelről fényképek is készültek, amelyek egyikén maga Barta István is látható. E cikkből tudjuk, hogy megépült egy kb. 250 mW teljesítményű, 75 MHz frekvenciájú adó mintája is, és ezzel kísérleti átvitelre is sor került.

A „Tungsram Rt. története – 1896-1996” című könyvben megemlíti, hogy „A televíziós laboratóriumban 1939 tavaszán már képernyőről nézték a mintegy 300 méter távolságban zajló FTC–UTE bajnoki labdarúgó mérkőzést” [3]. Erről máshol közlés nem található. Közli továbbá a cikk, hogy az áramköri tervezésről Magó Kálmán jegyzetfüzete, amelyet özvegye bocsátott a cikkírók rendelkezésére, sok értékes részletet tartalmazott. E sorok írójának tudakozódása során kiderült, hogy a füzet nem sokkal a cikk megírása után egy kiállításról eltűnt.

1940 decemberében dr. Czukor Károly, dr. Bay Zoltán jóváhagyásával új munkaprogramot készített. Ebből az derül ki, hogy a „televíziós adó-vevő berendezés” készítését 1940 augusztusában beszüntették. Az addig televíziós fejlesztéssel foglalkozók az elektroncsőgyártással kapcsolatos feladatokat kaptak.

## 2. Philips bemutató

A holland Philips eindhoveni fejlesztési központja a 30-as évek közepén kezdte meg komplett televíziós berendezés építését. 1938-ra elkészült egy komplett összeállítás, ami a kép- és a hangfelvételtől a rádiós és kábeles jeltovábbításon keresztül a vevőkészülékekig a teljes rendszert tartalmazta. A berendezéseket kocsikba építették be, ami így lehetővé tette a kiállításokon történő bemutatást. Az első bemutatóra 1938 májusában, a Budapesti Nemzetközi Vásáron került sor.



3. ábra Philips televíziós kocsi



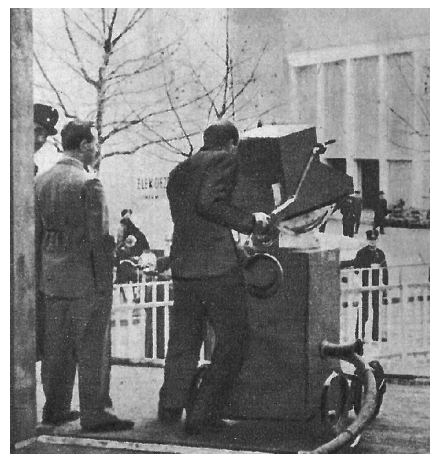
4. ábra  
Stúdiófelvétel  
(BNV1938)

6. ábra  
Televíziós  
vevőkészülék  
(BNV1938)

5. ábra  
Televíziós  
pavilon  
(BNV1938)



7. ábra Külső felvétel (BNV1938)



A berendezéseket két, 2 méter széles és 6 méter hosszú utánfutó-kocsiba építették be [4]. Az egyikben az ikonoszópos kamera működéséhez szükséges segédjeleket és tápfeszültségeket előállító készülékeket, valamint a kép- és a mikrofonból érkező hangjeleket feldolgozó és ellenőrző egységeket építették be. A kamera négy gumikeréken gördülő kocsin volt, optikai keresővel. A kép élességét az objektív melletti karral állították. A kábel a kamera oldalán lépett be. Az első ikonoszópot, a teljes kísérleti kamerával együtt a Philips laboratóriumában az 1930-as évek elején készítették el, amit továbbfejlesztettek később a bemutató céljára. Az ellenőrző szekrényben a jeleket oszcilloszkópokkal ellenőrizték.

A másik kocsiban helyezték el a kisteljesítményű kép- és hangadót. Ezek külön antennáit a kocsin két, átellenes oldalán elhelyezett 10 méter magas árbocokra szerelték. A berendezés másodpercenkénti 25 kép és 405 vagy 567 sor elállítására volt alkalmas. A képjel felépítése már megfelelt a mai analóg rendszerének, sor-, képszinkron-, valamint kiegyenlítő-jeleket tartalmazott. Már létezett 20x25 cm-es képméretet megvalósító katódsugárcső, mágneses eltérítéssel. A kocsikhoz egy kis felvételi stúdió létesítéséhez szükséges, összeszerelhető fémcső állványzat és 5 db 1 kW-os vízhűtéses, nagynyomású higanygőz lámparendszer is tartozott.

A bemutató-kocsik 1938 tavaszán hosszú útra, elsőként Budapestre indultak. A Budapesti Nemzetközi Vásáron külön pavilont építettek, amelynek homlokzatán hatalmas TELEVÍZIO felirat volt látható. Ebben volt a felvételi stúdió, azaz az egyetlen kamera előtt itt szerepeltek a fellépők. Külön teremben állították fel a négy vevőkészüléket [5].

A Magyar Filmhíradó két tudósításban, a 740. és a 741. számú híradókban számolt be az előkészületekről és a bemutatóról (<http://filmhiradok.nava.hu>). Az itt látható egyik képsorból az látszik, hogy a vevőkészülék vetítős rendszerű volt, mivel a katódsugárcső függőlegesen helyezkedik el a készülékben. Ez az egyik laptudósításból is valószínűsíthető, ahol 80x60 cm-es képsíkról írtak.

A Filmhíradóban látható képbontó cső a Philips első, gömb alakú ikonoszópjára volt, bár lehet, hogy a kamerába már a továbbfejlesztett változatot építették be.

### 3. Televízió-fejlesztés a Posta Kísérleti Állomáson

A műsorszórás résztvevői, a műsorszolgáltatási koncessziót elnyert Magyar Telefonhíradó és Rádió Rt, valamint a műszaki berendezéseket üzemeltető Magyar Posta

felismerte, hogy küszöbön áll a televízió megvalósítása. A Posta 1936-ban bizottságot küldött ki a televízió helyzetének tanulmányozására. A bizottságban ketten a Postát, egy fő pedig a Rádiót képviselte. Látogatást tettek többek között a hollandiai Philips laboratóriumában, az angliai BBC-nél és a Marconi-EMI cégeknél.

Tapasztalataikról részletes jelentésben számoltak be, amelyben javaslatot tettek a hazai bevezetésre. Megállapították, hogy „tulajdonképpen késés még nincs, de az előmunkálatokat okvetlenül el kell kezdeni”. Előzetes kísérleteket javasoltak, amihez szükségesnek tartották különböző alkatrészek, katódsugárcsövek, ikonoszóópok és műszerek beszerzését. Ezen kívül szükségesnek tartották Budapest térerősség-térképének elkészítését hordozható berendezés alkalmazásával. Az adó helyeként a Gellérthegy, vagy a Várat tartották alkalmasnak. Kiemelték, hogy az élőképek felvételére ikonoszóópot kell alkalmazni és ellenezték a Németországban bevezetett közbensőfilm-megoldást, amelynél filmfelvételt, azonnali előhívást és filmről történő képbontást használtak.

Az előkészületekhez tartozik, hogy a Magyar Telefonhírdő és Rádió Rt. a Hűvösvölgy közelében, a Vadaskerti úton ingatlant vásárolt a leendő televízió céljára. Itt azután semmilyen műsorkészítő létesítményt nem építettek, óvoda és sportpályák voltak a területen.

A Posta Kísérleti Állomáson az 1930-as évek közepén dr. Nemes Tihamér megkezdte a televízió bevezetésével kapcsolatos kísérleti munkát. Ebből az időből származik egy, dr. Nemes Tihamér humoros egyéniségére jellemző ötlet. Szinte biztos, hogy ő találta ki a Bíborka Rózsa álnevet és ezzel az aláírással küldött 1935 márciusában egy rá jellemző művészi kézírással levelet a Tunggram vezérigazgatójának, amelyben felajánlotta „nagyteljesítményű képrádióját”. Bár a levél a feladó címét nem tartalmazta, így nem valószínű, hogy folytatása lett volna a javaslatnak, mégis, az 1944-ben kiadott „Rádióhallgatók Lexikonja” című könyvben, melynek a távolbalátás szócikkét ő írta, az ismert magyar feltalálók között szerepelteti a Bíborka Rózsa nevet.

A postai televíziós fejlesztés egy mechanikus képbontó elkészítésével és kiállításokon, így az 1939. évi Budapesti Nemzetközi Vásáron történő bemutatásával kezdődött. A kísérletek ezután az elektronikus képbontás irányába fordultak, miután beszerezték az ehhez szük-

séges alkatrészeket, így katódsugárcsövet is, amelyről készült fénykép már az 1937-ben megjelent „50 évi Posta-mérnöki szolgálat” című könyvben is helyet kapott. Nemes Tihamér és a Tunggram között már 1938 őszen kialakult a munkakapcsolat és megfogalmazódott az együttműködés szándéka a televíziós fejlesztés területén.

A fejlesztés eredményeként az 1947 májusában, Budapesten megrendezett Közlekedési Kiállításon a Posta elektronikus képbontót mutatott be. Nemes Tihamér intenzíven tanulmányozta a nemzetközi szakirodalmat, aminek eredménye „A távolbalátás haladásáról” című, 1949-ben megjelent könyve lett. A kísérleti munka a Posta Kísérleti Állomáson folyt tovább és elkészült a filmek továbbítására alkalmas képbontó berendezés. Ez a készülék volt a lelke az 1954-ben megindult kísérleti adásnak, amikor is az adás még csak filmekből állt...

### A szerzőről



**FALUS LÁSZLÓ** 1960-ban szerzett diplomát a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Karának Híradástechnikai szakán. A budapesti Elektromechanikai Vállalatnál (EMV) 1959-ben kezdett dolgozni fejlesztő mérnökként, majd 1964-től a televízió-adó-fejlesztés vezetője. Az EMV-nek a BHG Híradástechnikai Vállalatba, 1976-ban történt beolvasztása után a cég Fejlesztési Intézetében az Adástechnikai fejlesztés vezetője lett. A vállalati átszervezést követően, 1994-től az adástechnikai tevékenység utódja, az Antenna-BHG Adástechnikai Kft. műszaki vezetője, 1996-ban saját kérésre kerül nyugállományba. Azóta műszaki szakértőként tevékenykedik a szabványosítás és a rádióhírközlés területén. Tevékenysége során irányította az EMV, majd a BHG televízió- és URH műsorszóró adói fejlesztését. Adástechnikai témában készített disszertációja alapján, 1974-ben egyetemi doktori címet szerzett. Előadója volt a BME szakmérnöki tagozatának és éveken keresztül vizsgabizottsági tag a győri Széchenyi István Egyetemen. A Híradástechnikai Tudományos Egyesület 1992-ben Puskás Tivadar díjjal és 2011-ben egyesületi aranyjelvénnel tüntette ki.

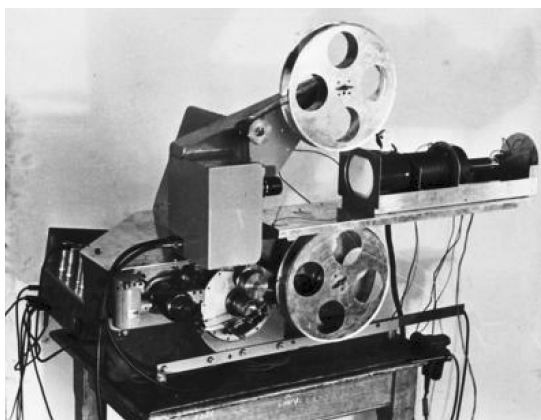
### Irodalom

- [1] Magyar Országos Levéltár, EIVRt. – Ügyvezető Igazgatóság (Z 601)
- [2] Barta István, a mérnök, Híradástechnika, 1979/10.
- [3] A Tunggram Rt. története, 1896–1996.
- [4] Philips Technische Rundschau, 1938. január
- [5] Rádióélet, 1938/19. szám

8. ábra  
Philips  
ikonoszóóp  
(BNV1938)



9. ábra  
A Posta  
Kísérleti  
Állomás  
képbontója



# Telemedicina – IKT-n alapuló egészségügyi szolgáltatás

## III. rész: Pénzügyi, üzleti modell

DARAGÓ LÁSZLÓ

*Semmelweis Orvostudományi Egyetem, Egészségügyi Informatikai Intézet, darago@inf.sote.hu*

ENGI CSABA

*Answare Kft., csaba.engi@answare.hu*

FERENCZI GYÖRGY

*Thor-Med Kft., george.f@thormed.com*

PESTI ISTVÁN

*Humansoft Kft., pesti@pinvent.net*

VASS DEZSŐ

*Bay-Logi, vass.dezso@bay-logi.hu*

**Lektorált**

*Kulcsszavak: telemedicina, ehealth, protokoll, egészségügy, gazdaságosság*

**A tradicionális egészségügyi ellátás során a betegellátás diagnosztikus és terápiás eszközeit képzett egészségügyi szakember kezeli. A telemedicinában a hagyományos ellátáshoz képest az egyik lényeges különbség éppen az, hogy a képzett szakemberek helyett a beteg önmaga kezeli ezeket az eszközöket – az ehhez biztosított egészségügyi és műszaki háttér mellett. Írásunk három részben mutatja be a telemedicina kulcsfontosságú dimenzióit: az egészségügyi protokollok kialakításának menetét, a rendszer műszaki architektúráját, a végponti eszközöket és kommunikációjukat, valamint a pénzügyi, üzleti modellt.**

Napjainkra már nem a végponti eszközök – a szenzorok – megléte, az adatbázisok kezelhetősége, vagy az adatátvitel minősége a minél szélesebb körű alkalmazás elterjedése és a mindennapok részévé válásának legfontosabb kérdése, hanem egyrészt a jogi háttér, azaz a megoldások mindenki számára biztonságos megvalósítása – a protokollok megléte –, valamint a megfelelő gazdasági, pénzügyi érdekeltség kialakítása.

Az eHealth8 projekt, eredeti célkitűzésének értelmében azon eljárásokat kívánja támogatni, amelyek a betegmunkáltató-nemzetgazdaság-társadalom-ellátórendszer együttesére nézve összességében gazdaságosabbak és/vagy a beteg számára életminőség-javulást hoznak. Ez nem zárja ki azt a lehetőséget, ami egyes költségelemek tekintetében drágább, de összességében gazdaságosabb megoldás. Alapvetően, a közösségben az ellátórendszer által megvalósított, távgyógyászaton alapuló új módszerek teremtenek új értéket a szereplők számára, így az értékteremtés költségeit ők állhatják. E tekintetben a telemedicina-szolgáltató az ellátórendszer egy eleme. Elméletileg a rendszerben keletkező haszon (érték) ellenértéke több úton kerülhet el az értéket termelőkhöz, hiszen a rendszer szereplői között többféle szintű és természetű kapcsolatok vannak jelen.

### 1. Bevezetés

A telemedicina eljárásainak bevezetésének és alkalmazásának feltétele egyrészt a hatásosság és eredményesség, másrészt a hatékonyság, azaz a gazdaságosság

megléte. Az eHealth8 konzorcium kétlépcsős orvos-szakmai szűrőjén átment, alapvetően a kiválasztott szakmai útmutatókkal kapcsolatba hozható járó- és fekvőbeteg szakellátási esetek öt éves távlatban történt morbiditási, mortalitási és gazdaságossági elemzésen estek át a második munkaszakasz végén. Ezek eredményeképpen történt azok pénzügyi „rangsorolása”, ami az egyes protokollok kiválasztását jelentette a harmadik munkaszakaszra.

### 2. A gazdasági elemzések formái

Az új egészségügyi eljárások gazdasági elemzése a közgazdaságtan eszköztárából választott eszközökkel valósulhat meg. Az egészség-gazdaságtan eszközeivel arra a kérdésre keresi a választ, hogyan használjuk fel (allokáljuk) szűkös erőforrásainkat a különböző, versengő, egymást nem kizáró eljárások alkalmazásához. A gazdasági elemzések célja ezen belül, hogy a leghatékonyabb eljárás kiválasztását támogassa az összehasonlítottak közül.

Az eljárások hatékonyság-összehasonlítását szolgáló arányszám az inkrementális költséghatékonysági viszony (*ICER – Incremental Cost-Effectiveness Ratio*) amely az egységnyi haszon-növekményhez tartozó költségnövekedést fejezi ki. Négy fő csoportját különböztethetjük meg a gazdasági elemzéseknek:

- **A költség-haszon elemzés** a gazdasági elemzések azon csoportja, melyben a kérdéses eljáráshoz tartozó költségek az eljárás monetáris eszközökkel kifejezett



(„forintosított”) hatásaival mint hasznokkal állnak szemben. Mivel az egészségügyi hatások kifejezése monetáris eszközökkel nem egyértelmű és vitatott irány, így ez az elemzésfajta a gyakorlatban a legritkábban használt.

- **A költségminimalizálás elemzés** azon eljárások költségeit méri össze, amelyeknek hatásai (kimenetei) azonosnak vehetők. A telemedicina és hagyományos eljárások összehasonlító vizsgálata alkalmával gyakran alkalmazott eljárás (Scuffham, 2006).

- **A költség-hatékonyság elemzés** esetében a költségekkel a naturáliákban (egyszerű vagy összetett) mért egészség-hatások állnak szemben. Ezek a naturáliák lehetnek teljesen általános egészségre jellemző értékek (pl. ápolási napok, halálesetek száma) vagy szakmaspecifikusak (pl. asztmakontroll-fok, vércukorszint stb.).

- **A költség-haszonérték elemzés** az előző típusnak egy speciális eseteként fogható fel, amelyben a hatásokat preferencia alapú skálán egységesítve mérik, amely leggyakrabban a kiegészítőleg nyert minőségsúlyozott életevek száma (QALY). A preferencia alapú skála azt a kompromisszumot értékeli, amelyet az emberek egészségi állapotuk megőrzése, illetve megváltoztatása érdekében hajlandók tenni.

### 3. A gazdasági elemzéssel kapcsolatos elvárások

Annak érdekében, hogy a telemedicina széles körben elterjedhessen a társadalomban, több feltétel együttes teljesülésére van szükség. Ezek közül egy az eljárás határosságát és költséghatékonyságát a konvencionális ellátással szemben igazoló bizonyítékok megléte. Hogyan és milyen szabályok mentén és mely szempontokat figyelembe véve érdemes elkészíteni az elemzést?

A világ legtöbb országában létezik az egészségügyi finanszírozója által kibocsátott szabályrendszer, amelyet az alkalmazandó új egészségügyi eljárás, eszköz és gyógyszer alkalmazásának gazdaságossági elemzése során kell alkalmazni, annak érdekében, hogy azt a finanszírozási rendszerébe befogadja. Ezen szabályrendszerek ma még „csak” gyógyszerekről és eljárásokról beszélnek, nem térnek ki speciálisan a távgyógyászati eljárások esetén figyelembe veendő addicionális szempontokra. Ez egy oldalról azt jelenti, hogy a telemedicinára sem vonatkoznak egyéb irányelvek a befogadás szempontjából, mint más eljárásra, illetve gyógykezelésre. Más oldalról viszont, ezen szabályrendszerek általában nem adnak támpontot arra vonatkozólag, hogy melyek azok a költség és hatás elemek, amelyeket speciálisan a telemedicina eljárások gazdaságossági vizsgálatának esetén kötelező vagy ajánlott figyelembe venni.

A témát feldolgozó irodalom is szerteágazó képet rajzol. Több publikáció látott napvilágot, amelyben támpontokat határoznak meg egy-egy ilyen vizsgálat elvégzéséhez.

Az elemzés általános irányelveivel kapcsolatosan a kép még közel egységes:

- az új eljárást az említett négy módszer egyikének segítségével kell összevetni egy alapeljárással, amely lehet a jelenleg létező legjobb eljárás (Anglia és Magyarország) vagy legnagyobb tömegek által használt eljárás (Ausztrália);
- meg kell határozni a nézőpontot, amelyből a vizsgálat elkészül (teljes társadalom, beteg, ellátó, finanszírozó (állam));
- az összehasonlított eljárásokhoz tartozó releváns költségeket és hasznokat (közvetlen és közvetett) és a monetáris értelemben kifejezett hatásokat nettó jelenértéken érdemes figyelembe venni – arról, hogy ezeket azonos, vagy különböző diszkont rátával kell-e figyelembe venni már megoszlanak a vélemények (Scuffham, 2006);
- a bizonytalanságokat szenzitivitás vizsgálattal kell figyelembe venni és meg kell jeleníteni a modell paramétereit érzékenységi sorrendben;
- az elemzés eredményének összefoglalásaként meghatározandó és prezentálandó továbbá az ICER várható eloszlásával együtt.

Az elemzések más szempontjaival kapcsolatosan nem egységesek a vélemények. Az egészség-hatások megjelenítése és egyáltalán használata a telemedicina elemzések kapcsán például egyes az egészségügyi eljárások értékelését segítő nemzeti elvárásrendszerek által előírtak, melyek ma jelentős számban a QALY használatát preferálják. McIntosh és munkatársai szerint viszont, mivel a telemedicinában általában nem elsősorban az ellátás maga, hanem annak megvalósítási módja (eszköze) változik, általában nehéz a különbséget értékelhetően QALY-ban kifejezni. (lásd költség-haszonelemzés – Bergmo, 2010). A vizsgálat nézőpontjával kapcsolatosan a minél kiterjedtebb, több nézőpontból történő vizsgálatok elvégzését javasolják, ezzel is segítve az költségek és hasznok későbbi elosztását a szereplők között. Felhívják továbbá a figyelmet arra is, hogy az elemzéseknek megnyugtató választ kell adniuk a felmerülő lehetőség-költségek (*opportunity-cost*) minimalizálására is (például több eljárás összevetése).

Alapvetően elvárható, hogy a telemedicina alkalmazása révén csökkenjenek az időfüggő, általános (pl. adminisztrációs), valamint utazási költségek.

A beteg szempontjából előnyös az egészségügyi szolgáltatások elérésének biztosítása, hasznos ismeretek elérhetősége, a tünet-diagnózis-terápia időszak rövidülése, valamint a biztonságérzet növekedése. Társadalmi szinten az elkerülhető költségek megtakarítása, az értékteremtési képesség javítása, a környezetvédelmi (pl. utazási) költségek csökkentése, valamint az ellátórendszer iránti bizalom megteremtése/megőrzése hozadékává lesz a telemedicina helyes alkalmazásának.

A gazdaságossági elemzések minőségére, érvényességére és általánosíthatóságára fókuszáló kutatások viszonylag kevés, a gazdaságossági elemzések követelményeinek eleget tevő publikációt azonosítottak (Bergmo, 2010) például a 779 témáját tekintve gazdaságossági vagy pénzügyi elemzés közül, összesen 33-at azonosított ahol a költségeket és az egészség-hatásokat is fi-

gyelembe vették az elemzés során, amelyből 8 minősíthető teljes értékű elemzésnek. Az azonosított elemzések, orvos-szakmai területek és eljárások tekintetében megmutatókozó különbözősége csak kevésbé indokolja az azok módszertani, valamint költség és hatás elemek vonatkozásában megmutatókozó diverzitását. A gazdaságossági elemzések jelentősége abban is kiemelendő, hogy a telemedicina alkalmazásával kapcsolatos 1593 közleményből csupán 80 értékelhető gazdaságossági tanulmányt azonosítottak. Ebből 21 gazdasági hatékonyságot igazolt, 18 ígéretesnek, de nem elégségesnek jelölte az evidenciákat a vizsgált területeken, míg a maradék hiányosnak és ellentmondásosnak látta a bizonyítékokat.

A eHealth8 projekt gazdaságossági munkacsoportjának munkája a telemedicina finanszírozási kérdésre és modelljeire terjedt ki. A projektervnek megfelelően sor került a telemedicina alkalmazásának gazdaságossági vizsgálatára, amely alapjául a projekt által kidolgozott „Gazdaságossági modell” c. tanulmány, illetve a „Protokoll értékelések” c. dokumentum szolgált.

A munkacsoport megvizsgálta a nemzetközi és hazai gyakorlatban, az egészségügy területén bevált módszertanokat, adatokat gyűjtött és elemzett, majd ezek alapján tett javaslatot a legmegfelelőbb protokollok kiválasztására.

A gazdaságossági elemzéshez felhasznált modellek-nél a csoport figyelembe vette az egészségügyben különösen elterjedt *Quality-Adjusted Life Year (QALY)*, a *Disability-Adjusted Life Year (DALY)*  $DALY = Years of Life Lost (YLL) + Years Lived with Disability (YLD)$  modelleket és azok használhatóságát jelen projektben. Következtéseit ezen felül a döntési fa modellre és a Markovláncra, mint szimulációs eljárásra építette, amihez az ESKI adatbázisát használta föl.

A felépített modell kiterjedten vizsgálja a társadalmi, intézményi, szolgáltató és beteg szintjén történő gazdasági hatásokat is. A pontos következtetések levonását nehezíti, hogy a vizsgált betegségekre Magyarországon csak korlátozott adatok állnak rendelkezésre a kutatásban is elérhető módon (például a fődiagnózishoz kötött táppénzes napok száma). Az elvégzett elemzés kapcsán különösen fontos hangsúlyozni, a telemedicina jövőbeni alkalmazására különösen igaz, hogy az egészségügyi rendszer jövőbeni állapota nem függ a múltbeliektől. Ez azt is jelenti, hogy a jelen helyzet leírása magába foglalja az összes olyan információt, ami befolyásolhatja a folyamatok jövőbeli helyzetét. A rendszer korábbi állapotai a későbbi állapotokra csak a jelen állapotot kerestül gyakorolhatnak befolyást.

#### 4. A telemedicina alkalmazásának gazdaságossági vizsgálata

A vizsgálat magában foglalta:

- A telemedicina gazdaságossági vizsgálatához szükséges nemzetközi tapasztalatok számbavételét, a megjelent publikációik, a vonatkozó szakirodalmi munkák áttekintését.

- A nemzetközileg legismertebb, legelfogadottabb gazdasági modellezési eljárások megismerését, a feladat és a magyarországi felhasználhatóság szempontjából való vizsgálatát.
- A leginkább használható, legrelevánsabb modellezési elvek kiválasztását.
- A rendszerkoncepció gazdálkodási modellhez való illesztését.
- A szolgáltatói modell feladatainak elemzését szolgáltatói, vevőkori, szolgáltatói és felelősségi szempontból is.
- Adatforrások feltárását, adatgyűjtést, adatelemzést.
- Finanszírozási lehetőségek áttekintését, elemzését.
- A realizálható gazdasági előnyök forrásainak szereplők szerinti feltérképezését.
- Számítások elvégzését nemzetgazdasági, intézményi és telemedicina szolgáltatói szempontból is.

Intézményi szinten a telemedicina alkalmazásának megtérülése kétséges. Különösen a telemedicina szolgáltatás bevezetésének első időszakában rajtuk múlik a használat aránya, így anyagi értelemben erősen motiváltaknak kell lenniük. A beteg hozzájárulását az elemzés kizárólag az intézményi finanszírozási modellben vette figyelembe, és árazását egyedül a beteg számára is gazdaságos tranzakciószinthez kötötte.

A telemedicina-szolgáltató modellezésénél csak a protokollok futtatását vettük figyelembe, az üzleti tervben szereplő többi komponenst nem. Ennek oka, hogy a protokollszintű összehasonlításnál ez értelmezhető fedezeti szinten. A szolgáltató bevételt realizálhat mind az intézmények, mind a biztosító (nemzetgazdasági szint) oldaláról. A protokoll értékelések során elsődleges szempont a minél kisebb támogatás nélküli fenntarthatóság volt.

Mivel ma Magyarországon az OEP jellemzően nem finanszíroz telemedicinás szolgáltatásokat, a telemedicina módszerek elterjedéséhez a finanszírozás – és annak feltételül szolgáló értékelés szempontrendszerének – kiterjesztése és rugalmasabbá tétele szükséges. Amíg ez nem történik meg, addig a módszerek lehetséges pozitív hatása a költséghatékonyság növelésében, a kapacitások felszabadulásában mutatkozik meg.

A telemedicina alkalmazásával nemzetgazdasági szinten várhatóak a legnagyobb nyereségi mutatók. Jelentős előnyöket hordoz a protokollalapú végrehajtás esetében az, hogy a szolgáltatások minőségbiztosítása valós eredményekkel járhat, és a legjobb kezelési eljárások megoszthatóak.

A projekt során másodlagos forrásokra támaszkodva elvégzett elemzések tehát megmutatták azokat a területeket, amelyeken a legmagasabb szintű várható hasznok realizálódhatnak összességében, és egyúttal rávilágítottak azokra, az egyébként az evidenciák és a rendelkezésre álló adatok szintjén jelenlévő hiányosságokra, amelyek további vizsgálatok útját jelölik ki.

Annak érdekében, hogy a telemedicina eljárások a társadalom, az orvos-szakma szintjén elfogadottak, és az (állami-, vagy magán-) finanszírozók által finanszírozhatóak lehessenek, a továbbiakban elsősorban olyan (pilot) projektek megvalósítására lenne szükség, ame-

lyek az eljárások fókuszált területen, minél nagyobb betegcsoporton elvégzett komplex szempontrendszer (hatásosság, hatékonyság, használhatóság, elfogadottság) figyelembe vevő elsődleges adatok gyűjtését és elemzését, majd arra alapuló evidenciák felállítását célozzák.

## Köszönetnyilvánítás

A szerzők hálásan köszönik a projekt résztvevőinek áldozatos munkáját a protokollok kidolgozása, azok modellezése és műszaki megvalósítása, valamint a projektvezetés területén, így a Semmelweis Egyetem, a Bay-Logi Közalapítvány, a Humansoft Kft., a Thormed Kft., valamint a projektvezető Answare Kft. munkatársainak. Ungancsak köszönjük az ESKI támogató együttműködését.

## A szerzőkről



**DARAGÓ LÁSZLÓ** 1984-ben szerzett fizikusi diplomát a KLTE-n, 2006-ban pedig PhD oklevelet a Debreceni Egyetem Matematika és Számítástudományok Doktori Iskolájában. A Semmelweis Egyetem Egészségügyi Informatikai Intézetének egyetemi docense. Kutatási területei: telemedicina, mesterséges intelligencia, információrendszerek tervezése, pixelizáció, DRG/HBCs.



**ENGI CSABA** 1995-ban szerzett villamosmérnöki diplomát a BME-n, majd 2008-ban MBA diplomát a Buckinghamshire New University-n (BUCKS). 1996 óta az Answare Kft. munkatársa. Pályafutása során infokommunikációs infrastruktúrák és rendszerek integrációjában, az integrációs tevékenység tervezésében, projektmegvalósításában szerzett tapasztalatot több alkalmazási területen: elektronikus üzenetkezelés, infrastruktúra-menedzsment, informatikai biztonság, egészségügyi informatika. Jelenleg az Answare Kft. pályázati tevékenységét koordinálja.



**FERENCZI GYÖRGY** 1999-ben szerzett okleveles villamosmérnöki diplomát a BME-n, majd a New York Állami Egyetemen, a Tampere-i Műszaki Egyetemen és a Helsinki Műszaki Egyetemen folytatott posztgraduális tanulmányokat. Egy orvosi műszergyártó cég vezetője.



**PESTI ISTVÁN** 1991-ben szerzett diplomát a BME-n, 1992-2002 között MBA, 2006-2007-ben Bostonban MIT képzésben vett részt. Jelenleg a P-Invent Kft. ügyvezető igazgatója. Szakmai tapasztalai között különböző projektek tervezése, koordinálása, menedzselése, pénzügyi lebonyolítása szerepel.



**VASS DEZSŐ** okleveles villamos üzem mérnök, klinikai mérnök. Korábban a Miskolci Semmelweis Kórház és Rendelőintézet műszermérnökeként dolgozott. Jelenlegi munkahelye a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közalapítvány Logisztikai és Gyártástechnikai Intézete, ahol az Informatika osztály vezetője. Elsődleges kutatási területe a telemedicina, azon belül is a teleradiológia és a telemonitoring rendszerek fejlesztése.

## Irodalom

- [1] Bergmo, T.S. (1996):  
An economic analysis of teleradiology versus a visiting radiologist service.  
J. Telemed Telecare, 2(3), pp.136–142.
- [2] Bergmo, T.S. (1997):  
An economic analysis of teleconsultation in otorhinolaryngology.  
J. Telemed Telecare, 3(4), pp.194–199.
- [3] Bergmo, T.S. (2009):  
Can economic evaluation in telemedicine be trusted? A systematic review of the literature.  
Cost Effectiveness and Resource Allocation, 7(18), 8 September 2011, from:  
<http://dx.doi.org/10.1186/1478-7547-7-18>
- [4] Bergmo, T.S. (2010):  
Economic evaluation in telemedicine – still room for improvement.  
J. Telemed Telecare, 16(5), pp.229–231.
- [5] Bjorvig, S., Johansen, M.A., Fossen, K. (2002):  
An economic analysis of screening for diabetic retinopathy.  
J. Telemed Telecare, 8(1), pp.32–35.
- [6] Bolte, R., Lehmann, K.J., Walz, M., Busch, C., Schinkmann, M., Georgi, M. (1998):  
An economic analysis of the new teleradiology system, KAMEDIN. J. Telemed Telecare, 4(suppl\_1), p.108.
- [7] Daragó László, Jávor András:  
Hogyan készítsünk eProtokollt?,  
Egészségügyi gazdasági szemle,  
48/3. 2010. június, pp.32–34.
- [8] Daragó László, Engi Csaba, Pesti István, Vass Dezső:  
Telemedicina: IKT-n alapuló egészségügyi szolgáltatás, I. Rendszerkoncepció és architektúra.  
Híradástechnika, LXV. évf., 2010/7-8, pp.33–37.
- [9] Darkins, A., Ryan, P., Kobb, R., Foster, L., Edmonson, E., Wakefield, B., et al. (2008):  
Care Coordination/Home Telehealth: The Systematic Implementation of Health Informatics, Home Telehealth, and Disease Management to Support the Care of Veteran Patients with Chronic Conditions',  
Telemedicine and e-Health.
- [10] Dávalos, M.E., French, M.T., Burdick, A.E., Simmons, S.C. (2009):  
Economic evaluation of telemedicine: review of the literature and research guidelines for benefit-cost analysis.  
Telemedicine and e-Health, 15(10), pp.933–948.
- [11] Durfee, W.K., Weinstein, S.A., Bhatt, E., Nagpal, A., Carey, J.R. (2009):  
Design and Usability of a Home Telerehabilitation System to Train Hand Recovery Following Stroke.  
Journal of Medical Devices, 3(4).
- [12] Ekeland, A.G., Bowes, A., Flottorp, S. (2010):  
Effectiveness of telemedicine:  
A systematic review of reviews.  
International Journal of Medical Informatics, 79(11), pp.736–771.
- [13] Hailey, D. Roine, R., Ohinmaa, A., Dennett, L. (2011):  
Evidence of benefit from telerehabilitation in routine care: a systematic review.  
J. Telemed Telecare, 17(6), pp.281–282.

- [14] Harley, J. (2006):  
Economic evaluation of a tertiary telepsychiatry service to an island. *J Telemed Telecare*, 12(7), 354–357.
- [15] Hersh, W.R., Hickam, D.H., Severance, S.M., Dana, T.L., Krages, K.P., Helfand, M. (2006):  
Diagnosis, access and outcomes: update of a systematic review of telemedicine services. *JTT*, 12(S2), pp.3–31.
- [16] Himpens, B. (2003):  
The Pentalfa project.  
2: Profile of participants and economic aspects. *J. Telemed Telecare*, 9(2), pp.104–108.
- [17] Huijgen, B.C., Vollenbroek-Hutten, M.M., Zampolini, M., et al. (2008):  
Feasibility of a home-based telerehabilitation system compared to usual care: arm/hand function in patients with stroke, traumatic brain injury and multiple sclerosis. *J. Telemed Telecare*, 14(5), pp.249–256.
- [18] Jaana, M., Paré, G., Sicotte, C. (2009):  
Home Telemonitoring for Respiratory Conditions: A Systematic Review. *The American Journal of Managed Care*, 15(5), pp.313–320.
- [19] Jennett, P.A., Affleck Hall, L., Hailey, D., Ohinmaa, A., Anderson, C., Thomas, R., et al. (2003):  
The socio-economic impact of telehealth: A systematic review. *J. Telemed Telecare*, 9(6), pp.311–320.
- [20] Johansson, T., Wild C. (2011):  
Telerehabilitation in stroke care – a systematic review. *J. Telemed Telecare*, 17(1), pp.1–6.
- [21] Johnson, P. (1998):  
The clinical and economic advantages of remote, community-based physiological assessment. *J. Telemed Telecare*, 4(suppl\_1), pp.64–66.
- [22] Jones, T., Dobrev, A., Cameron, J., Morris, L., Stroetmann, K.A., Stroetmann, V.N. (2009):  
An economic analysis of the national shared emergency care summary in Scotland. *J. Telemed Telecare*, 15(3), pp.129–131.
- [23] László Daragó, András Jávör:  
How to make eProtocol?  
Proc. of The Int. eHealth, Telemedicine and eHealth ICT Forum for Education, Networking and Business, April 14-16, 2010 Luxembourg, pp.203–206.
- [24] Technology and Informatics – Current Principles and Practices of Telemedicine and e-Health (2008).  
IOS Press, Amsterdam, ISBN 978-1-58603-806-9.
- [25] eHealth – Regional case studies,  
[http://ec.europa.eu/information\\_society/newsroom/cf/itemlongdetail.cfm?item\\_id=2892](http://ec.europa.eu/information_society/newsroom/cf/itemlongdetail.cfm?item_id=2892),  
uploaded: 6 October 2006, accessed: 8 May 2011.
- [26] Liu, W.T., Huang, C.D., Wang, C.H., Lee, K.Y., Lin, S.M. Kuo, H.P. (2011):  
A mobile telephone-based interactive self-care system improves asthma control. *European Respiratory Journal*, (37), pp.310–317.
- [27] Martinez, A., Villarroel, V., Puig-Junoy, J., Seoane, J., del Pozo, F. (2007):  
An economic analysis of the EHAS telemedicine system in Alto Amazonas. *J. Telemed Telecare*, 13(1), pp.7–14.
- [28] McIntosh, E., Cairns, J. (1997):  
A framework for the economic evaluation of telemedicine. *J. Telemed Telecare*, 3(3), pp.132–139.
- [29] McLean, S., Chandler, D., Nurmatov, U., Liu, J., Pagliari, C., Car, J., Sheikh, A., (2010):  
Telehealthcare for asthma (review).  
The Cochrane Collaboration.
- [30] Mitchell, S., Pezzullo, L. (2010):  
Financial and externality impacts of high-speed broadband for telehealth.  
Access Economics Pty Limited.
- [31] Miyahara, S., Tsuji, M., Iizuka, C., Hasegawa, T., Taoka, F., Teshima, M. (2006):  
An economic evaluation of Japanese telemedicine, focusing on teleradiology and telepathology. *J. Telemed Telecare*, 12 (suppl\_1), pp.29–31.
- [32] Mladek, T., Stroetmann, K.A., Bartova, S., Jones, T., Dobrev, A., Stroetmann, V.N. (2007):  
An economic evaluation of a Web-based national patient records system. *J. Telemed Telecare*, 13(suppl\_1), pp.40–42.
- [33] Moreno-Ramirez, D., Ferrandiz, L., Ruiz-de-Casas, A., Nieto-Garcia, A., Moreno-Alvarez, P., Galdeano, R., et al. (2009):  
Economic evaluation of a store-and-forward tele dermatology system for skin cancer patients. *J. Telemed Telecare*, 15(1), pp.40–45.
- [34] Schaafsma, J., Pantazi, S.V., Moehr, J.R., Anglin, C.R., Grimm, N.A. (2007):  
An economic evaluation of a telehealth network in British Columbia. *J. Telemed Telecare*, 13(5), pp.251–256.
- [35] Schemken, H.-W., Au, H., Dobrev, A., Stroetmann, K.A., Jones, T., Stroetmann, V.N. (2007):  
Access to efficient health services for tourists – an evaluation of the economic benefits. *J. Telemed Telecare*, 13(suppl\_1), pp.52–55.
- [36] Scuffham, P.A. (2006):  
Economic Evaluation.  
In: R. Wootton, S.L. Dimmick, J.C. Kvedar (Eds.), *Home Telehealth: Connecting Care Within the Community*, London, Royal Society of Medicine Press, pp.21–35.
- [37] Simon Wallace, Jeremy Wyatt, Paul Taylor:  
Telemedicine in the NHS for themillennium and beyond. *Postgrad Med J*. 1998;74:721–728.  
The Fellowship of Postgraduate Medicine, 1998.
- [38] Stroetmann, K.A., Jones, T., Dobrev, A., Stroetmann, V.N. (2007):  
An evaluation of the economic impact of ten European e-health applications. *J. Telemed Telecare*, 13(suppl\_1), pp.62–64.
- [39] Szabó Csaba Attila, Jávör András:  
Távgyógyászati alkalmazások,  
*Híradástechnika*, LXIII. évf., 2008/2, pp.9–14.
- [40] Wainwright, C., Wootton, R. (2003):  
A Review of Telemedicine and Asthma. *Disease Management and Health Outcomes*, 11(9), pp.557–563.

# Munkában a böngészők

MOLNÁR GÁBOR, SCHNELL HENRIK, SZARVAS ATTILA, SZEBERÉNYI IMRE

BME Irányítástechnika és Informatika Tanszék  
{schnell.henrik, molnar.gabor, szarvas.attila, szebi}@iit.bme.hu

Kulcsszavak: elosztott számítási rendszerek, grid, GridBee, HTML5, BOINC

**A gridek napjainkban jelentős szerepet töltenek be a nagyszabású tudományos számítások kivitelezésében.**

**A BOINC elosztott számítási menedzmentrendszer bejárattott és kiforrott eszközt biztosít az önkéntes gridek működtetéséhez, hiszen hétköznapi felhasználók is a kutatások rendelkezésére bocsáthatják számítógépeik kapacitását. Az eddigieknél jelentősen nagyobb közönséget szeretnénk megszólítani azáltal, hogy lehetővé tesszük a számítások böngészőkben való futtatását.**

## 1. Bevezetés

A kutatási feladatokhoz szükséges számítási kapacitást többnyire szuperszámítógépek, illetve az ezeket helyettesítő vagy kiegészítő elosztott számítási rendszerek biztosítják. Az elosztott rendszerekben a különálló számítógépek és számítógépfürtök általában önállóan oldják meg a számukra kiosztott feladatokat, majd egy kommunikációs csatornán továbbítják az eredményeket a központi gépre.

Az elosztott megoldások előnye a rugalmasság, a skálázhatóság és a költséghatékonyság. Lehetővé teszik, hogy sok, egyenként kisebb teljesítményű, kommersz egység révén összességében hatalmas számítási teljesítményre tegyünk szert. Az elosztott számítások gyakran alkalmazott architektúrája a *grid*, amely különálló számítógépek erőforrásait szervezi egy egységes rendszerbe, lehetővé téve, hogy a résztvevők valamennyi állomás együttes teljesítményét igénybe vegyék feladataik végrehajtásához.

Már az 1990-es évek második felében létrejöttek az első *közösségi számítási projektek*, amelyek önkéntes alapon szerveződtek és a felhasználók különböző kutatási célok érdekében kínálták fel saját erőforrásaikat. Ma már kevésbé ismert, bár akkoriban igen nagy port kavart az 1997-ben indított *distributed.net* projekt [1], amivel 250 nap alatt sikerült egy 56 bites RSA kulcsot megtörni, és ezzel meggyőzően demonstrálta az önkéntesen összeadott erőforrások létjogosultságát.

A számos önkéntes projekt közül az egyik legrégebbi és egyben legismertebb a számtalan donort maga mögött tudó, és még jelenleg is igen aktív *SETI@home* [2] projekt, ami a Berkeley egyetemen kifejlesztett BOINC-keretrendszer [3-6] révén éri el a donorok erőforrásait. A keretrendszer két fő komponensből áll: a számítási-igényes alkalmazásokat a donor számítógépén futtató *BOINC-kliensprogramból* és a központi ütemezésért felelős *BOINC-szerverből*. A BOINC-kliensszoftvere minden jelentős operációs rendszerhez elérhető és közel 40 tudományos kutatáshoz csatlakozhatunk a segítségével.

A kutatásokat támogató donorok száma önmagában véve figyelemre méltó (egy adott időpontban nagyságrendileg 300 000 aktív felhasználó van jelen a rendszerben [18]), a Web2-es robbanást követő, főként közösségi oldalak körül csoportosuló tömegekhez képest azonban eltörpül. Ebben vélhetőleg szerepet játszik az, hogy a BOINC-klienst telepíteni kell a donor számítógépére. A telepítés során a kliens beépül az operációs rendszerbe, ütemezője pedig alapértelmezés szerint indul és a háttérben folyamatosan fut. A kliens által futtatott alkalmazások korlátozásokkal ugyan, de elérhetik a donor gépének erőforrásait és adatait is, ezért a biztonságos futás érdekében különösen nagy gondot kell fordítani a számítási alkalmazások ellenőrzésére.

A *Web2Grid projekt* [7] célja, hogy a Web2 közösség számára elérhetővé tegye és kiaknázza a grid technológiát, mind a megrendelői oldalnak (akik számításigényes futtatást szeretnének végrehajtani), mind az erőforrásukat felajánlani szándékozókna, azaz a donoroknak.

A következőkben bemutatjuk a W2G projekt keretében fejlesztett GridBee [8] programkönyvtárt és a ráépülő webes klienst, amely lehetővé teszi a felhasználóknak, hogy mindössze egy böngésző segítségével, biztonságos környezetben elosztott számítási projektekben vehessenek részt.

## 2. A GridBee keretrendszer célkitűzése

A Web2Grid projekt keretében létrehozott *GridBee keretrendszer* egy JavaScript függvénykönyvtár, amely közösségi számítások futtatását teszi lehetővé a modern böngészőkben. Kiemelt jelentősége miatt a keretrendszerrel párhuzamosan egy BOINC modult, valamint egy webes felhasználói felületet is fejlesztettünk, amelyek lehetővé teszik, hogy egy böngészőben futó webes alkalmazással a BOINC kliens minden fontos funkcióját ellássuk.

A keretrendszert az általánosság és a modularitás követelményét szem előtt tartva, a klienstől teljesen füg-

getlenül fejlesztettük, így a későbbiekben könnyen építhetünk rá tetszőleges honlapba beágyazható, önműködően futó alkalmazásokat. A központi ütemező szerverek feladata a számításokat elvégző alkalmazások, és az azokhoz tartozó adatok elküldése a donoroknak, de ezekhez a szerverekhez érkeznek be a donorok által kiszámított eredmények is. A moduláris felépítésnek köszönhetően kisebb projektek esetén a központi ütemező szerepét a BOINC-nál egyszerűbb, saját fejlesztésű szerver is betöltheti egy megfelelő GridBee-modul segítségével. A tesztelés során ugyanakkor mi is a BOINC szerverét használtuk, így az ismertetett példákban is egy BOINC-szerver fogja ellátni ezt a feladatot.

Napjainkban jellemző az alkalmazások webes változatainak megjelenése, amelyek gyorsan nagy népszerűségekre tesznek szert. Ezeket a programokat nem kell telepíteni és operációs rendszertől függetlenül futtathatók egy támogatott böngészőben. A felhasználó adatai sem kötődnek fizikailag egy adott helyszínhez, fiókjába bárholnan bejelentkezhet.

Reményeink szerint a bemutatott megoldással sikerül minden eddiginél közelebb vinni a felhasználókhöz az elosztott számítások világát. A minél gördülékenyebb működés és a gyors elterjedés érdekében biztosítani kell, hogy a könyvtár működéséhez ne kelljen semmiféle kiegészítőt telepíteni, egy modern böngésző önmagában is képes legyen a futtatására. A szerverekkel való kommunikáción túl a könyvtár azt is lehetővé teszi, hogy a tudományos számításokat is a böngésző motorja végezze el anélkül, hogy a felhasználói élményt rontaná.

A folyamat egészének böngészőben tartásával két szempontból is elősegítjük a közösségi számítások elterjedését. Egyrészt a webes alkalmazást nem kell telepíteni, ezért a kíváncsi felhasználók gyorsan kipróbálhatják és további kööttségeket sem kell vállalniuk. Másrészt a böngésző által értelmezett nyelveken írt programok az operációs rendszertől elszigetelten futnak. A jelenlegi gyakorlattal ellentétben, ahol az operációs rend-

szer által futtatott, natív kódot alkalmaznak, ez komoly biztonsági előrelépés, amely segíthet megnyerni a felhasználók bizalmát, és csökkenthetjük a futtatni kívánt kódok ellenőrzésére fordított erőfeszítéseket is, ami a számítási feladatok megalkotóira hathat bátorítóan. A számítások operációs rendszertől való elszigetelésének igénye már korábban is felmerült, melynek egyik megoldása a kliens virtuális gépbe zárása volt [9].

Az általunk készített általános függvénykönyvtárat számos különböző módon felhasználhatjuk. A már említett, böngészőben futó BOINC-alkalmazás a legkézenfekvőbb megoldás, amelynek elkészítése így közvetlenül a Grid Bee projekt részét képezi. Az elképzelés a tudományos számítások iránt érdeklődő, részben jelenleg is aktív felhasználókat célozza meg. Egy már aktív felhasználó új, natív klienssel nem rendelkező számítógépeket vonhat be a számításokba, illetve meggyőzheti a telepítési procedúrától ödzködő ismerőseit a csatlakozásról.

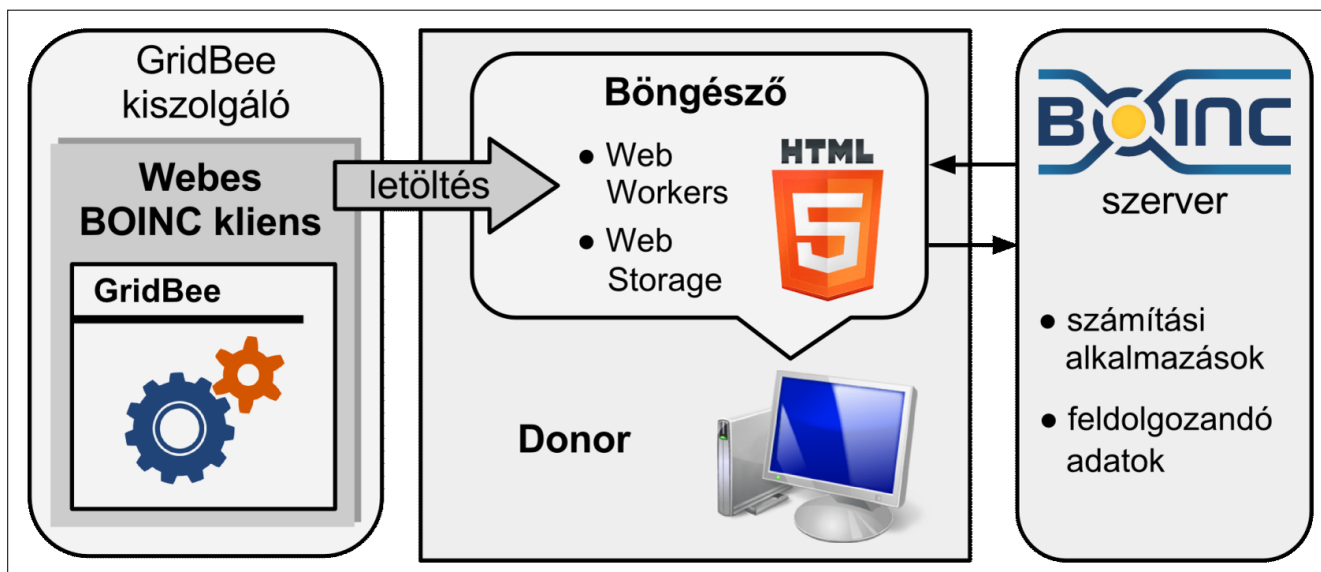
Egy másik elképzelés a könyvtár közösségi oldalakon futó alkalmazásokba való integrálása. Ha egy projekt tudományos célkitűzése képes felkelteni néhány ember figyelmét, akkor a kapcsolati hálón szétterjedve rövid idő alatt nagy felhasználói bázisra tehet szert.

További lehetőség az új generációs webes szolgáltatások és alkalmazások támogatása biztonságos, üzleti alapú grid platformmal. A könyvtár lehetővé teszi, hogy a számításokat tetszőleges profilú weboldalon vagy webes alkalmazás részeként a háttérben végezzük el. Különös gondot kell fordítani természetesen a felhasználók (donorok) tájékoztatására, és fel kell ajánlani számukra a lehetőséget, hogy a számítási feladatokat szüneteltesék, vagy teljes mértékben letiltsák.

### 3. Technológia

A GridBee minden olyan kliensoldali szolgáltatást megvalósít, amelyre a napjainkban alkalmazott, BOINC-ra épülő gridekkel való együttműködéshez szükség van.

1. ábra A GridBee szerepe a webes elosztott számítások rendszerében



A BOINC-modul felhasználásával a függvénykönyvtárra épülő alkalmazások ugyanazokhoz a BOINC-szerverekhez kapcsolódhatnak, amelyek már jelenleg is részt vesznek a különböző tudományos projektek kezelésében.

A projektek már ma is több különböző platformra lefordított kódot tartalmaznak annak érdekében, hogy a potenciális donorok minél nagyobb hányadát be tudják vonni a számításokba. A GridBee-kliensek kiszolgálásához a BOINC-szervereken be kell jegyezni a *javascript* platformot, illetve el kell készíteni a tudományos alkalmazást ezen a nyelven is. Egyszerűbb programok C-ről JavaScriptre való fordítását az Emscripten [10] segítségével automatikusan is el lehet végezni.

A webes BOINC-kliens letöltési címét meglátogatva az letöltődik a böngészőnkbe és a felhasználó parancsaitól függően, esetleg teljesen automatikusan felveszi a kapcsolatot a szerverrel. A számítási alkalmazás és a feldolgozandó adatok letöltését követően végrehajtja az előírt számításokat, az eredményt pedig feltölti a szervernek.

### 3.1. Nagyteljesítményű számítások JavaScriptben

A függvénykönyvtárat *haXe* [11] nyelven fejlesztjük, amely egy nyílt forrású, aktív közösséggel rendelkező, típusos, objektumorientált nyelv. Szolgáltatásai és a hozzá kapcsolódó fejlesztőeszközök megkönnyítik a nagyméretű projektek kezelését.

A könyvtárat JavaScriptre fordítjuk, amely így bármilyen kiegészítő nélkül képes futni a támogatott böngészőkben. A BOINC szerverekkel való kommunikációt, a komplex funkciókkal rendelkező alkalmazások kialakítását és a komoly számítások zökkenőmentes futtatását a böngészőkben most debütáló *HTML5* [12] szabványcsoport és a *Web Workers* szabvány teszi lehetővé.

A keretrendszer által a böngészőkben futtatható tudományos alkalmazások nyelve *JavaScript* vagy *ActionScript* is lehet. A projekt korai szakaszában megvizsgáltuk, hogy az egyes böngészők alkalmasak-e egyáltalán számításintenzív szkriptek futtatására. Az összeállított tesztek a lebegőpontos műveletvégzés, valamint a függvényhívások sebességére voltak érzékenyek. Az azonos tartalmú teszteket C++-ból fordított natív kóddal, illetve különböző böngészőkben végrehajtott Java Script parancsfájlokkal végeztük el (2. és 3. ábra).

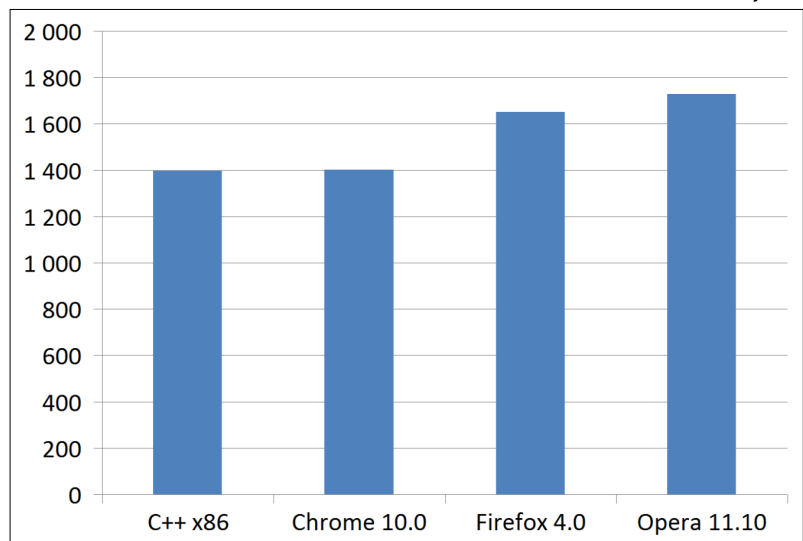
A mérések során biztató, sőt egészen meglepő eredményeket is tapasztaltunk. A legújabb böngészők *JavaScript*-végrehajtási sebessége az általunk vizsgált feladatok esetén a natív kódéval összemérhető. A böngészők a sebesség tekintetében egyértelműen alkalmassá váltak a komoly teljesítményt igénylő számítások elvégzésére is.

### 3.2. Többszálú kódvégrehajtás böngészőben

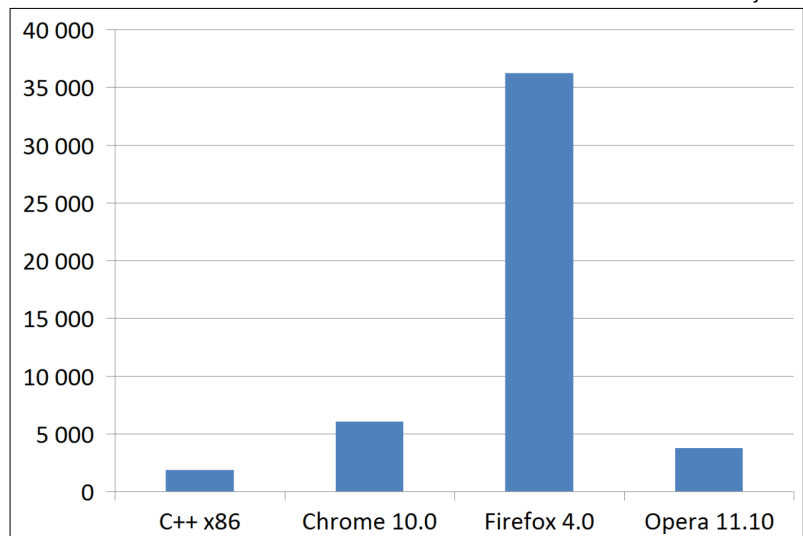
A *Web Workers* [13] technológiára részben a felhasználói élmény garantálása szempontjából van szükségünk. Egészen a közelmúltig a böngészők egy szálon hajtották végre kódjukat, és ugyanezen a szálon futtatták a parancsfájlokat is. Ez ahhoz vezetett, hogy az intenzív számításokat végző kódok „megfagyasztották” a honlap kezelőeszközeit, rosszabb esetben a böngésző felületét is. A *Web Workers* lehetővé teszi, hogy a keretrendszer ezeket a böngésző fő szálával párhuzamosan, attól elszigetelve futtassa. Ennek köszönhetően a számítások nem lassítják a felhasználói interfészt futtató szálát, ráadásul több *worker* indításával a többmagos processzorokat is teljes mértékben ki tudjuk használni.

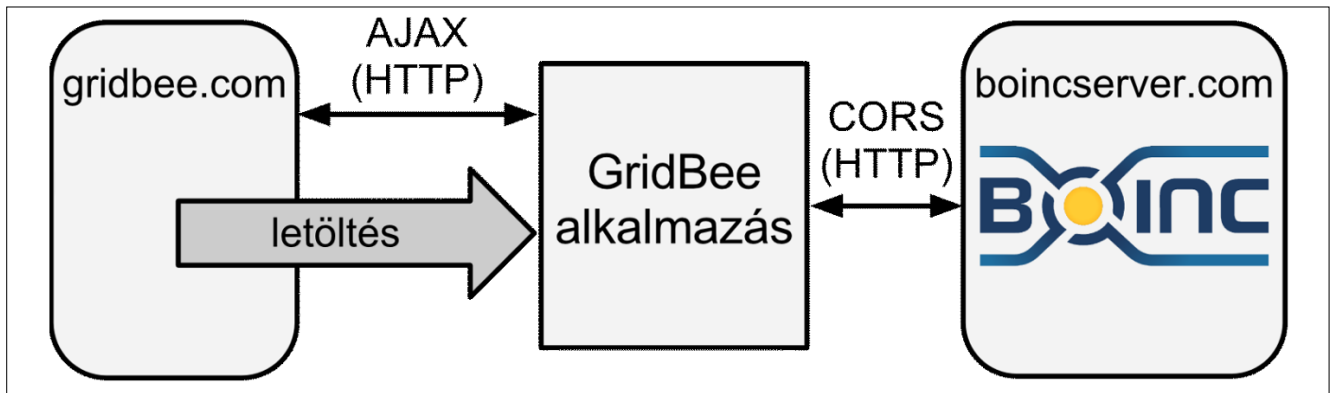
További előnyt jelent, hogy a *workerek* a honlaptól is elszigetelten futnak, a főablakbeli kóddal csak üzenetek formájában tarthatják a kapcsolatot. A számításokat így nemcsak az operációs rendszertől, hanem a keretrendszerrel is el tudjuk választani. Az eddigiekhez

2. ábra  
A lebegőpontos teszt elvégzésének ideje (sec)  
– a kisebb érték a jobb



3. ábra  
A függvényhívási teszt elvégzésének ideje (sec)  
– a kisebb érték a jobb





4. ábra Kommunikáció a kliens, illetve a BOINC szerverrel

képest ez a biztonság terén is előrelépést jelent, amelynek köszönhetően nincs szükség a számítási alkalmazások kódjának tüzetes vizsgálatára.

### 3.3. Perzisztens adattárolás

A felhasználói beállítások és a számítások köztes eredményeinek tárolásához a HTML5 *Local Storage* [14] szabványa nyújt lehetőséget. A szabvány egy domainhez kötött perzisztens tárhelyet specifikál, melyben kulcs-érték párok formájában tárolhatunk adatokat. Mérete jelenleg böngészőtől függően 2-10 MB között mozog, amely a tipikusan számításintenzív feladatok adatainak tárolásához sokszor elegendő.

A *Local Storage*-ot megelőzően a kliens csak *cookie*-k formájában tárolhatott adatokat, amelyeket a böngésző minden HTTP lekérdezés során elküldött a szervernek. A *Web Storage* javascriptes utasítások segítségével kezelhető, a böngésző nem küldi el tartalmát a szervernek, így nem terheli vele a kommunikációt.

### 3.4. Kommunikáció a kiszolgáló szerverekkel

A GridBee keretrendszerre épülő webes alkalmazásokat annak készítői tetszőleges tárhelyen, tetszőleges domain alatt elhelyezhetik. A felhasználók például a *gridbee.com* domaint meglátogatva letöltik böngészőikbe a webes BOINC klienst, amely felveszi a kapcsolatot az ütemezésért felelős BOINC szerverrel. A továbbiakban az alkalmazásnak már csak a *boincserver.com*-mal szükséges kommunikálnia.

Alapesetben a JavaScript programok csak azzal a kiszolgálóval létesíthetnek kapcsolatot, amelyről a böngésző letöltötte őket. Ezt hívják *same origin policy*-nek [15], amely nyilvánvalóan nem korlátozza a *gridbee.com* állomás és a webes BOINC-kliens kapcsolatát. Ahhoz viszont, hogy az alkalmazás bármely más szerverrel is felvehesse a kapcsolatot, úgynevezett *cross-origin resource sharing (CORS)* [16] megoldást kell alkalmaznunk.

A CORS működéséhez a BOINC-szerver is futtató állomás webkiszolgálójában a tartalmak elérhetővé tételéhez el kell látni azokat egy engedélyező HTTP headerrel, amelyben megadjuk annak az állomásnak a címét, amely számára lehetővé kívánjuk tenni a CORS kapcsolatot. Az eljárás a BOINC-szerver számára teljesen átlátszó, annak fájljait módosítani nem kell.

## 3. Összefoglalás és kitekintés

Projektünk célja, hogy a böngészőket az elosztott számítási megoldások egy újabb platformjává téve az eddigieknél nagyobb kényelmet és rugalmasságot biztosítsunk a donorknak. Emellett azt is szeretnénk, ha a számítási feladatok tervezői és üzemeltetői kis módosításokkal ugyan, de továbbra is a már jól bevált eszközöket alkalmazhatnák.

Tapasztalataink alapján az elkészült GridBee keretrendszer az első elvárásnak sikeresen megfelelt, a BOINC modul pedig lehetővé teszi, hogy a tudományos elosztott számítások terén legnépszerűbb BOINC-számítási menedzsmentrendszerrel is együttműködjön. Méréseink szerint a JavaScript alkalmas lehet számításigényes tudományos alkalmazások futtatására, további vizsgálatokra van szükség ugyanakkor a már meglévő alkalmazások JavaScriptre való fordításának lehetőségéről. A továbbiakban azt is meg szeretnénk vizsgálni, milyen böngészőben futtatható alternatívái vannak a JavaScriptnek, amelyek együttműködhetnek a GridBee keretrendszerrel.

A Firefox 5.0 és a Chrome 10.0 már teljes mértékben alkalmas a GridBee függvénykönyvtárra épülő alkalmazások futtatására. A központi funkciókat sikeresen teszteltük az Internet Explorer 10 Platform Preview 2 esetében is. A szabványos megoldások alkalmazása révén idővel várhatóan minden fontos böngésző támogatni fogja a szükséges technológiákat [17].

A böngészők aktuális fejlettsége révén megoldásunk tökéletesen alkalmas az internetezők széles rétegének közösségi számításokba való bevonására.

A hagyományos, tudományos webalkalmazáson túl a közösségi oldalakba integrált megoldások és üzleti modellek is elképzelhetők. Ha sikerül minél több, a GridBee alkalmazó, böngészőben futtatható alkalmazást elindítani, akkor az önkéntes gridek rendelkezésére álló számítási teljesítmény nagyságrendileg növekedhet.

### Köszönetnyilvánítás

A munka a Nemzeti Technológia Program (TECH\_08-A2/2-2008-0097 WEB2GRID) támogatásával valósult meg.



## A szerzőkről



**MOLNÁR GÁBOR** a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem mérnök informatikus MSc szakos hallgatója „Hálózatok és szolgáltatások” szakirányon. ABME Közigazgatási Informatikai Központjában webalkalmazások fejlesztésével foglalkozik.



**SCHNELL HENRIK** a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem végzős hallgatója a BSc mérnök informatikus képzés Informatikai technológiák szakirányán. Kutatási területe a háromdimenziós számítógépes grafika, valamint a modern, HTML5 alapú webes technológiák. Szoftvertechnológia és objektumorientált szoftvertervezés témákban demonstrátori feladatokat lát el.



**SZARVAS ATTILA** 2011-ben a Budapesti Corvinus Egyetemen szerzett diplomát nemzetközi tanulmányok alapszakon. Jelenleg a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem villamosmérnöki alapszakának végzős hallgatója beágyazott- és ambiens rendszerek szakirányon. Szakdolgozatának témája az aktív zajcsökkentés, a BME Közigazgatási Informatikai Központjában webes fejlesztéssel foglalkozik.



**SZEBERÉNYI IMRE** a Budapesti Műszaki Egyetemen szerzett villamosmérnöki diplomát 1983-ban, majd PhD fokozatot 2003-ban. 1983-tól a BME Irányítástechnikai és Informatikai Tanszékének docense és a Közigazgatási Informatikai Központjának kutatás-fejlesztési igazgatóhelyettese. Kutatási területei közé tartoznak a párhuzamos programozás és párhuzamos algoritmusok alkalmazása, az elosztott számítási környezetek vizsgálata, valamint a grid és cloud rendszerek fejlesztése.

## Irodalom

- [1] Distributed.net projekt:  
[http://www.distributed.net/Main\\_Page/en](http://www.distributed.net/Main_Page/en)  
2011. április
- [2] SETI@HOME projekt:  
<http://setiathome.ssl.berkeley.edu/>
- [3] BOINC projekt:  
<http://boinc.berkeley.edu/>  
2011. április
- [4] BOINC scheduling server protocol:  
<http://boinc.berkeley.edu/trac/wiki/RpcProtocol/>  
2011. április
- [5] BOINC protocol overview:  
[http://www.boinc-wiki.info/Protocol\\_Overview/](http://www.boinc-wiki.info/Protocol_Overview/)  
2011. április
- [6] BOINC Web RPC:  
<http://boinc.berkeley.edu/trac/wiki/WebRpc>  
2011. április
- [7] Web2Grid projekt:  
<http://web2grid.econet.hu/>  
2011. április
- [8] GridBee kezdőoldal:  
<http://webcomputing.iit.bme.hu/>  
2011. április
- [9] Németh Dénes, Szeberényi Imre, Deák Szabolcs, Virtualizált Biztonságos BOINC, Networkshop 2009, Szeged, 2009. április 15-17.
- [10] Az Emscripten projekt honlapja:  
<https://github.com/kripken/emscripten>,  
2011. július
- [11] Haxe nyelv:  
<http://haxe.org/doc>  
2011. április
- [12] HTML5 technológiák támogatottsága böngészőkben:  
[http://www.caniuse.com/#cats=HTML5,JS\\_API](http://www.caniuse.com/#cats=HTML5,JS_API)  
2011. április
- [13] Web Workers:  
<http://www.w3.org/TR/workers/>  
2011. április
- [14] A Web Storage oldala a W3C-nál:  
<http://dev.w3.org/html5/webstorage/>  
2011. július
- [15] Same origin policy:  
[https://developer.mozilla.org/en/Same\\_origin\\_policy\\_for\\_JavaScript](https://developer.mozilla.org/en/Same_origin_policy_for_JavaScript)  
2011. április
- [16] Cross-Origin Resource Sharing:  
<http://www.w3.org/TR/cors/>  
2011. április
- [17] Usage share of web browsers:  
[http://www.w3schools.com/browsers/browsers\\_stats.asp](http://www.w3schools.com/browsers/browsers_stats.asp)  
2011. július
- [18] Aktív felhasználók száma a BOINC projektjeiben:  
<http://boinc.berkeley.edu/index.php>  
2011. augusztus

# DASH7 alapú smart metering

ILL GERGELY, MILÁNKOVICH ÁKOS, LENDVAI KÁROLY, IMRE SÁNDOR, SZABÓ SÁNDOR

BME Híradástechnikai Tanszék

{gill, amilankovich}@bme-infokom.hu, {lendvai, imre, szabos}@hit.bme.hu

Kulcsszavak: smart metering, RFID, DASH7, OpenTag

**Cikkünk összefoglalja a smart metering technológiák lényegét, valamint bemutatásra kerül a DASH7 (ISO/IEC 18000-7) aktív RFID szabvány és annak működése. Továbbá szemlélteti az általunk különböző környezetekben mért DASH7 által használt frekvencia (433,92 MHz) terjedési tulajdonságait.**

## 1. Bevezetés

Napjainkban egyre nagyobb figyelmet fordítanak az áram-, víz- és gázfogyasztás megtakarítására. Ez olyan mérnöki megoldások kifejlesztését igényli, mint a smart metering alkalmazások. Ennek segítségével a szolgáltatók és felhasználók is pontos képet kaphatnak az energiafogyasztásról, mely hasznos információul szolgálhat további viselkedésük szempontjából. Ezek az alkalmazások általában alacsony fogyasztású és kis méretű eszközökön kerülnek megvalósításra, így a tervezési fázisban ezeket a követelményeket is figyelembe kell venni. Ennek következtében a DASH7 – amely eredetileg egy aktív RFID (Radio Frequency Identification) technológia, és az ISO/IEC 18000-7-es [1] szabványra épül – alkalmas lehet smart metering feladatok megoldására is.

A cikk a következőképpen épül fel: az RFID és smart metering technológiát az első két szakasz mutatja be. Ezután összefoglalásra kerülnek a DASH7 technológia jellemzői, működése, előnyei és hátrányai, valamint felhasználási területeit. Végezetül a negyedik szakaszban az összefoglalás kapott helyet.

## 2. RFID

Az RFID egy rádiófrekvenciás, azaz vezeték nélküli automatikus azonosítási technológia. Az RFID rendszerén belül kétféle eszközt különböztetünk meg: egy azonosítót és egy azonosítandót (RFID címke). A rendszer kiala-

kítását az 1. ábra szemlélteti. Az azonosító egyirányú vagy kétirányú kapcsolatot építhet fel az azonosítandóval az adatátvitel lebonyolítására [2].

Az RFID címkéket elsősorban energiaellátásuk alapján különböztethetjük meg:

- A passzív RFID címkék nem rendelkeznek beépített áramforrással, az energiát mind a memóriából való olvasáshoz, mind pedig a kommunikációhoz az olvasó által gerjesztett elektromágneses mezőből nyerik.

- A fél-aktív RFID címkék rendelkeznek belső áramellátással, de ez csak a mikrochip működtetésére szolgál, az adatok továbbításához az olvasó által gerjesztett elektromágneses mező szükséges.

- Az aktív címkék beépített áramforrással és adókészülékkel rendelkeznek. Az áramforrás bármilyen IC számúra és a jeladásra is elegendő energiát biztosít, így akár 1 km-ről is képesek adatokat továbbítani. Egyes típusaik összekapcsolhatók külső szenzorokkal is.

A technológia főbb felhasználási területei: beléptési rendszerek, járműazonosítás és -követés, helymeghatározás és logisztikai alkalmazások, betegazonosítás, könyvtári nyilvántartás, reptéri alkalmazások stb.

## 3. Smart metering

A smart metering technológia a mai hagyományos mérőórákat váltaná fel, gyakorlatilag digitálissá tenné azokat. A jelenlegi analóg órák csak az adott számlázási időszak teljes fogyasztását mérik, azaz a két leolva-



1. ábra  
Az RFID rendszer felépítése

Forrás:  
[http://www.vonalkod.hu/tudastar/rfid\\_technologia/](http://www.vonalkod.hu/tudastar/rfid_technologia/)

sás közötti pontos mérési értékekről nincs információ. Ezzel ellentétben az intelligens mérőórák képesek akár az óránkénti, és napszaktól függő fogyasztás mértékét is meghatározni és ezen adatokat a szolgáltató és a felhasználó felé jelezni. A technológia nem egyszerűen csak digitális mérőóra-leolvasást biztosít, hanem annál többet, mint például riasztási funkciót is. A smart metering eszközök lehetővé teszik olyan vezeték nélküli hálózat felépítését, amely továbbítja az egyes eszközök adatait egy feldolgozó központba. Az okos mérésű eszközök segítségével a fogyasztó sokkal könnyebben tudná nyomon követni aktuális energia-felhasználását (villany, gáz) és vízfogyasztását, ráadásul a szolgáltatók is folyamatos képet kaphatnának ügyfeleik fogyasztási szokásairól.

Előnyök a szolgáltatói oldalon [3]:

- a mért adatok időbeli eloszlását pontosabban ismerjük,
- adminisztratív költségek csökkentése,
- veszteségek folyamatos figyelése,
- több alkalom adódik a kiskereskedelmi szolgáltatás megújítására.

Előnyök a fogyasztói oldalon:

- nem kell megfizetni a mérőóra leolvasást és a számlázást,
- anomáliák gyors detektálása (csőtörés, gázszivárgás stb.),
- figyelemmel kísérhető fogyasztás,
- pillanatnyi egyenleg követése.

A Berg Insight legújabb kutatási eredményei alapján a smart metering eszközöket használó háztartások száma 2015-re eléri Európában a 130 milliót, míg ez a szám 116,5 milliót összesítve Ázsia, Ausztrália és Óceánia területén [4].

## 4. DASH7

A DASH7 egy aktív RFID szabványon (ISO/IEC 18000-7) alapuló vezeték nélküli technológia. 2009 januárjában az USA Védelmi Minisztériuma egy 429 millió dolláros szerződést kötött DASH7 eszközök fejlesztésére a Savi Technology, Evigia Systems és az Identec Solutions hardvergyártókkal. 2009 márciusa óta a DASH7 Alliance [5], egy non-profit ipari konzorcium szorgalmazza a szabvány terjesztését. 2010 júliusában több, mint 50 résztvevőjük volt 23 országból. Napjainkban az eredetileg katonai célokra fejlesztett technológiát kereskedelmi célokra is használni kezdik más eddigi vezeték nélküli technológiákkal (ZigBee, Bluetooth) szemben. A DASH7-et olyan hálózati alkalmazásokhoz használják, melyek alacsony energia-fogyasztásúak és az adattovábbítás lassabb és szórványosabb, mint a telekommunikációs alkalmazásokban.

Felhasználási területek: katonai alkalmazások (főként vadászgépekben), szállító konténerek azonosítása és követé-

se, szórakoztató elektronikai cikkek, helymeghatározás, személyazonosítás, orvosi alkalmazások, öntözőrendszerek vezérlése, smart metering, erózió, páratartalom és földrengés mérések, mobil hirdetések, épület automatizálás (intelligens otthon), jegykezelés, szociális hálók, logisztika stb.

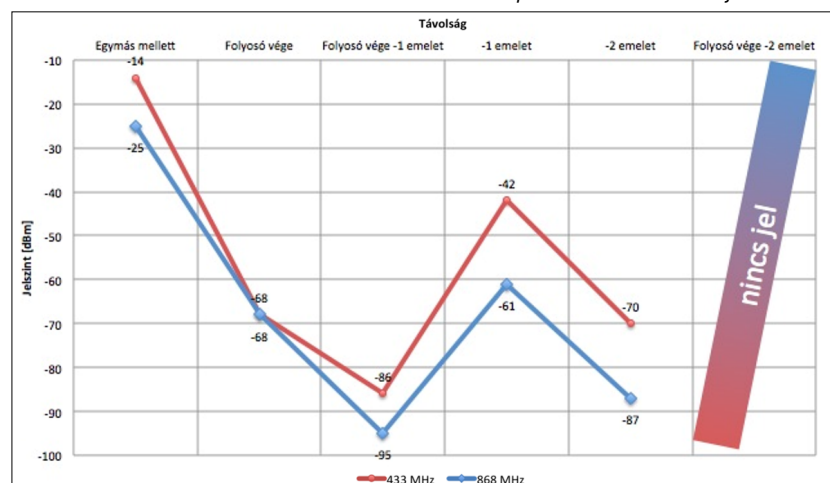
### 4.1. Technikai összefoglaló

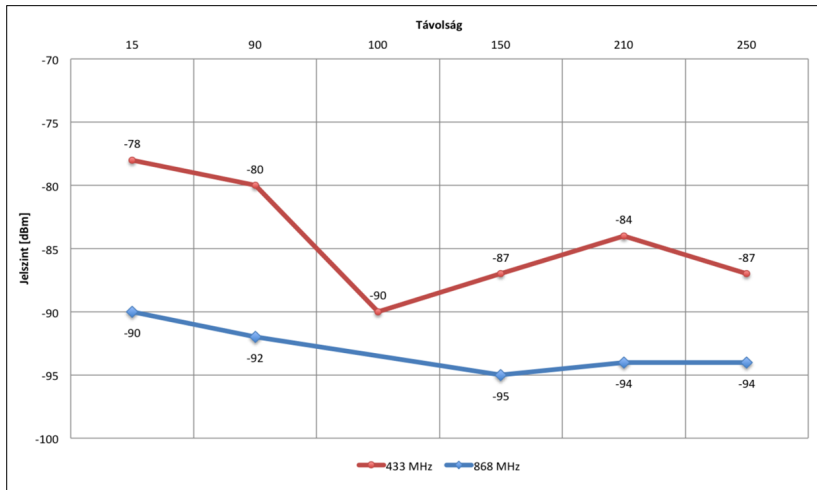
A DASH7 egyik főbb technikai jellemzője az alacsony energiafogyasztás (30-60  $\mu$ W), melynek segítségével egy eszköz elemének élettartama akár több évet is elérhet. A működési frekvenciának köszönhetően hatótávolsága LOS esetén garantáltan 1 kilométer, de elérheti akár a 2 kilométert is. A szabvány adatátviteli sebessége 27,8-200 kbit/s terjedhet, mely elfogadható nagyságú az alkalmazási területein. Mindemellett a késleltetés mozgó eszközök esetén 2,5-5 s közötti, de átlagosan 2 s. A rádiós kommunikációt (G)FSK moduláció segítségével oldja meg, az SNR alacsony értéken tartásával. Az előbb felsoroltakat kis memóriaigény mellett képes megvalósítani (~5 kB protokoll-stack). A szabvány támogatja a multi-hop-os megoldást, mely lehetővé teszi a több eszközön keresztüli kommunikációt. A használt 433 MHz-es frekvencia az ISM (industrial, scientific and medical) sávból kerül ki, mely az egész világon szabadon használható. Ez a frekvencia teljesen alkalmas vezeték nélküli szenzorhálózatok kialakításához, mert a jelterjedési tulajdonságai megfelelőek (áthatol a vízen és a betonon is), illetve a jel kis teljesítménnyel is képes nagy távolságokat lefedni.

A DASH7 által használt 433,92 MHz-en és 868 MHz-en 10 mW-os adási teljesítménnyel méréseket végeztünk különböző környezetekben. Épületen belül, épületből szabad térre és szabad téren (repülőtér) vizsgáltuk a vételi jelszinteket. A mérési eredményeket a következő grafikonok szemléltetik, ahol a folyosón mért értékek kb. 35 m távolságot jelentenek.

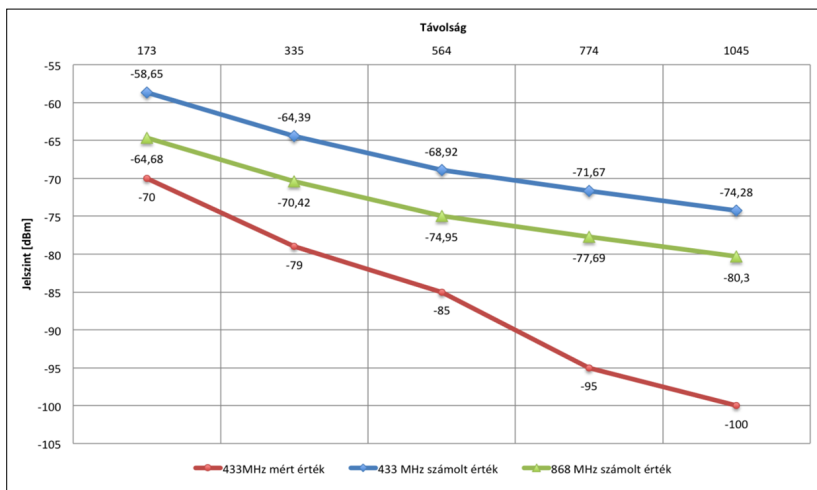
Az épületen belüli mérések eredményeinél (2. ábra) megfigyelhető, hogy 3 emeletnyi szintkülönbség után az eszközök már hatótávolságon kívülre kerültek. A mérésekből megfigyelhető az is, hogy az épületek vasbeton szerkezete nagy mértékben elnyeli a rádió jeleket.

2. ábra Épületen belül mért jelszintek





3. ábra Épületből szabadterre mért jélszintek



4. ábra Szabadtéren mért jélszintek

Az épületből szabadterre mért értékekben (3. ábra) egy törést figyelhetünk meg, mivel a harmadik mérési ponton az épület túlsó oldaláról vettük a jelet, így annak az egész épületen át kellett haladnia. A repülőtéren végzett mérés mellé a várt jélszinteket is kiszámoltuk. A 4. ábrán látszik, hogy a mért eredmények jelentősen alulmúlják az elvárásokat, mivel nagy volt a háttérzaj.

A mérésekből kiderült, hogy a 433 MHz kedvezőbb jelterjedési tulajdonságokkal rendelkezik, mint a 868 MHz-es frekvencia, így a mért jélszintek magasabbak voltak a DASH7 esetében.

A legtöbb RFID technológiával ellentétben, a DASH7 lehetővé teszi a tag-to-tag kommunikációt, így a nagy hatótávolság, valamint az alacsony teljesítmény miatt könnyen helyettesítheti a legtöbb vezeték nélküli mesh-alapú szenzorhálózatot is.

Szabvány	DASH7 (ISO 18000-7)	Low Energy Bluetooth (IEEE 802.15.1)	Low Power Wi-Fi (IEEE 802.11)	ZigBee (IEEE 802.15.4)
Frekvencia tartomány	433,04–434,79 MHz	2,402–2,482 GHz	2,4–2,5 GHz	2,402–2,482 GHz
Csatornák száma	1–5	3	3	16
Max. csatorna-sávszélesség [MHz]	0,5–1,75	~8	22	5
Moduláció	FSK vagy GFSK	GFSK	CCK/QAM64 (b/g)	QPSK
Névleges adatsebesség	27,8 kbit/s	1 Mbit/s	1 Mbit/s	250 kbit/s
Névleges hatótávolság (0 dBm) [m]	250	10	25	75
Átlagos fogyasztás 10 db 256 byte-os csomagra naponta [µW]	42	50	570	414

A DASH7 vezetékes session-alapú technológia helyett a **BLAST** tervezési koncepció segítségével került megvalósításra:

- **Bursty** – borsztós

Az adatátvitel hirtelen változó, azaz bizonyos ideig az adatforgalom kicsi, majd egy adott pillanattól kezdve pedig rövid időre hirtelen megugrik.

- **Light** – kis csomagméret

A legtöbb alkalmazás csomagmérete 256 byte-ra korlátozott. Előfordulhat, hogy egy adat több csomagban megy át, de ezt általában elkerüljük.

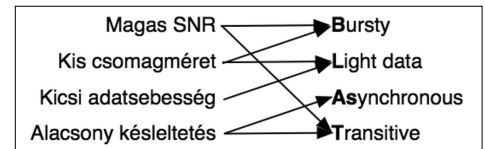
- **ASynchronous** – aszinkron

A kommunikáció kérés-válasz alapú, így nincs szükség handshake algoritmusra vagy szinkronizáló eszközökre.

- **Transitive** – hordozható

A DASH7 eszközök mobilak vagy hordozhatóak, feltöltés-centrikusak a többi letöltés orientált vezeték nélküli technológiával ellentétben, illetve nincs szükség kialakított fix hálózati struktúrára (pl. bázisállomásra) sem.

Az 5. ábra a BLAST koncepció DASH7-beli megvalósítását szemlélteti.



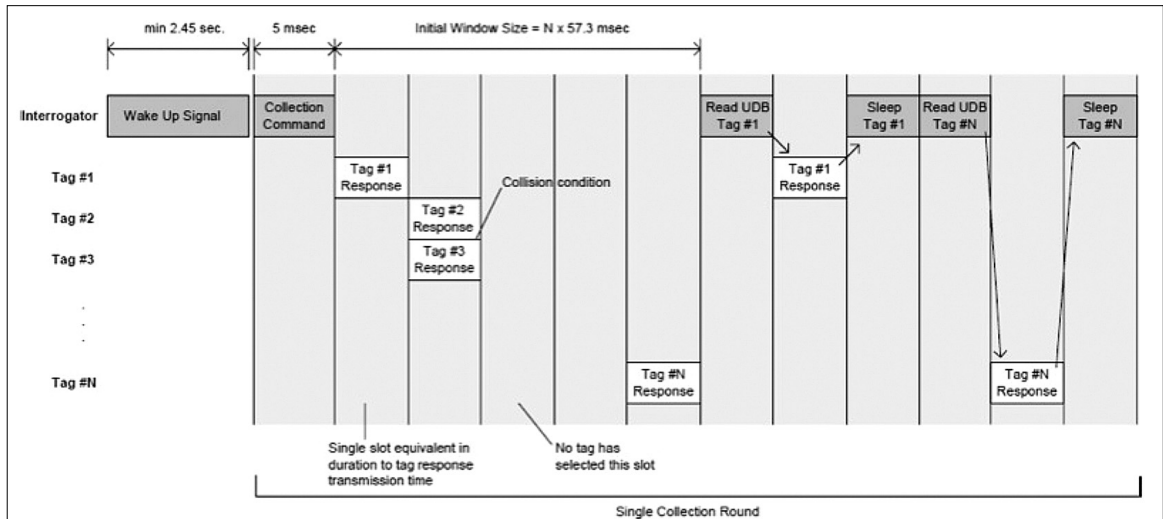
5. ábra BLAST

Az 1. táblázatban összehasonlítjuk a DASH7-et más vezeték nélküli szabványokkal [6].

#### 4.2. Működés

A DASH7 szabvány master-slave modellel definiálja az eszközök közötti kommunikációt, melyet fizikai szinten Manchester kódolással valósít meg. Az elküldött üzeneteket 16 bites CRC-vel látja el a hibák detektálására. A kommunikációt mindig a master, az „interrogator” kez-

6. ábra  
Tag-ek  
adatainak  
begyűjtése  
idődiagramon  
[1]



deményezi, polling módszerrel kérdezi le a „tag” adatait. A tag-ek adatainak begyűjtését a 6. ábra szemlélteti.

Az interrogator egy 31,25 kHz-es jelet (wake up signal) bocsát ki 2,35-4,8 másodpercig. Ez felébreszti a hatótávon belül alvó állapotban lévő tageket, melyek készenléti állapotba kerülnek. Ezután egy broadcast-olt Collect (begyűjtési fázis) üzenetet küld, hogy megtudja mely eszközök érhetőek el (felderítési fázis). A Collection üzenet ablakokat, ezen belül pedig slotokat definiál, melyek közül a tag-ek véletlenszerűen választanak egyet, amiben válaszolni fognak. Ha egy slotban több tag válaszol, akkor ütközés keletkezik (hibás lesz a CRC), ekkor az ablak lejártával az interrogator egy újabb Collection üzenetet küld, amiben újra lehetőségük lesz adni az előbb ütközött tag-eknek. Ahhoz, hogy a többi tag már ne válaszoljon az új begyűjtésre, az interrogator Sleep üzenetet küld a sikeresen kommunikáló tag-eknek point-to-point módon (azaz ezt az üzenetet mindig csak egy tag kaphatja meg).

Az eszközök jól definiált formátummal rendelkező üzenetekkel kommunikálnak egymással. A szabvány

egyedi (point-to-point) és broadcast címzési módokat alkalmaz a kommunikáció megvalósítására. A point-to-point címzés egy 6 byte-os összetett cím (Tag Manufacturer ID+Tag Serial Number) segítségével történik. A broadcast címzési mód esetén minden hatótávolságon belüli eszköz megkapja az üzeneteket.

Az üzenetek formátumai a címzési módok és irányok szerint a 7. ábrán láthatók.

A DASH7 az elküldött adatok strukturálására Univerzális Adatblokkokat (UDB) használ, amelyek típus, hossz és maximum 255 byte hosszú adatelemekből tevődnek össze. A szabvány 24 parancsot definiál, amelyek segítségével az eszközök kommunikálhatnak vagy információt cserélhetnek [7,8].

### 4.3. OpenTag

Az OpenTag egy nyílt forráskódú DASH7 szoftver stack, amely C nyelven került implementálásra és különféle mikrokontrollereken futtatható. Emiatt az OpenTag-nek nagyon kompaktnak kell lennie, azonban meg-

– interrogatortól tag-nek küldött broadcast parancsüzenetek formátuma:

Protocol ID	Packet Options	Packet Length	Session ID	Command Code	Command Arguments	CRC
0x40	1 byte	1 byte	2 bytes	1 byte	N bytes	2 bytes

– interrogatortól tagnek küldött point-to-point parancsüzenetek formátuma:

Protocol ID	Packet Options	Packet Length	Tag Manufacturer ID	Tag Serial Number	Session ID	Command Code	Command Arguments	CRC
0x40	1 byte	1 byte	2 bytes	4 bytes	2 Bytes	1 byte	N bytes	2 bytes

– tag-től interrogator felé küldött broadcast válaszüzenetek formátuma:

Protocol ID	Tag Status	Packet Length	Session ID	Tag Manufacturer ID	Tag Serial Number	Command Code	Data	CRC
0x40	2 bytes	1 byte	2 bytes	2 bytes	4 bytes	1 byte	N bytes	2 bytes

– tag-től interrogator felé küldött point-to-point válaszüzenetek formátuma:

Protocol ID	Tag Status	Packet Length	Session ID	Tag Manufacturer ID	Tag Serial Number	Command Code	Response Data*	CRC
0x40	2 bytes	1 byte	2 bytes	2 bytes	4 bytes	1 byte	N bytes	2 bytes

7. ábra  
Üzenetformátumok  
címzési mód  
és irány szerint

felelő konfiguráció mellett futtatható bármilyen POSIX környezetben. Érdeemes megemlíteni, hogy az OpenTag biztosítja a DASH7 összes funkcióját nem csak „tag” eszközökre. Az implementáció figyelmet fordít a biztonságos kommunikációra is, melyhez kriptográfiai primitívek támogatását nyújtja.

Az OpenTag tervezése során kiemelkedő figyelmet fordítottak a hordozhatóságra, hogy minél több platform futtatható legyen. Felépítése három lényegi komponensre bontható, annak érdekében, hogy szétválasztható legyen az alapkönyvtáráktól a platformfüggő kód és a felhasználói program kódja:

- Platformfüggetlen alapkönyvtár: tartalmazza a legtöbb forrás- és header-fájlt, amelyek kritikusak az OpenTag szempontjából.
- App: felhasználói program, mely tartalmazza a main.c-t és a hozzá kapcsolódó egyéb fájlokat.
- Platform: driverek és beállítások, amelyek egy adott platformra jellemzőek.

Az OpenTag napjainkban a következő rádiós modulal rendelkező mikrokontrollereket támogatja: CC430 (Texas Instruments), ADuCRF101 (Analog Devices), SX1231 (Semtech), POSIX Simulator [9-11].

## 5. Értékelés

A következőkben összefoglaljuk a DASH7 szabvány előnyös és hátrányos tulajdonságait.

A legfőbb előnyök a következők:

Az ISM frekvencia miatt könnyű a telepítés, az elhelyezés és a karbantartás. Szintén a frekvenciaválasztásnak köszönhető, hogy más népszerű technológiákkal, mint a WLAN és Bluetooth, nincs interferencia, a jel könnyen áthatol a falakon, betonon és vízen a 433 MHz-es frekvenciasáv job terjedési tulajdonságai miatt, valamint nagy hatótávolságot (~1,5 km) biztosít alacsony teljesítménnyel.

Fontos szempont az előzőeken kívül, hogy az eszközök ára viszonylag alacsony, 10 USD nagyságrendbe esik. A smart metering szempontjából fontos előny, hogy a szabvány feltöltés-orientált, képes a tag-to-tag kommunikációra, mely lehetőséget ad a vezeték nélküli „mesh” szenzor hálózatok leváltására, illetve hogy az alkalmazott parancs-válasz kommunikáció egyedi parancsokkal is bővíthető.

A szabvány hátrányai az alábbiak:

A DASH7 eredetileg RFID szabvány, így közvetlenül nem használható smart meteringre, nincs lehetőség hierarchikus node szervezésre, a tisztán master-slave kommunikáció miatt. Interferencia léphet fel az ISM frekvencia miatt (például autók központi zárjának vezérlését is zavarhatja), illetve a csatorna keskeny sáv szélessége miatt interferencia-érzékeny. Hiányosság, hogy nincsenek beépített biztonsági mechanizmusok, mint például titkosítás és hitelesítés. A nem túl magas adatátviteli sebesség miatt nem alkalmas nagy adatmennyiség átvitelére. Az open source implementáció jelenleg fejlesztési fázisban van, kevés fejlesztővel.

## 6. Összefoglalás

Cikkünk összefoglalta a smart metering technológiák lényegét, valamint bemutatta a DASH7 (ISO/IEC 18000-7) aktív RFID szabványt és annak működését. Továbbá szemléltette az általunk különböző környezetekben mért DASH7 által használt frekvencia (433,92 MHz) és a 868 MHz terjedési tulajdonságait. A DASH7 kedvező tulajdonságai alapján alkalmas smart metering megoldások kidolgozására.

### A szerzőkről

**ILL GERGELY** a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen a Híradástechnikai Tanszék (HIT) Infokommunikációs hálózatok szakirányán szerzett BSc mérnök-informatikus diplomát 2010-ben. A szakirányt folytatva, jelenleg a HIT Hírközlő rendszerek biztonsága szakirányú MSc képzésének hallgatója. Szakmai érdeklődési körébe tartozik a mobil infokommunikáció és a vezeték nélküli szenzorhálózati technológiák.



**LENDVAI KÁROLY** 2008-ban szerzett okleveles villamosmérnöki diplomát a BME-n. A Budapesti Corvinus Egyetemen mérnök-közgazdászsként végzett 2011-ben. 2008-ban kezdte PhD tanulmányait a BME Híradástechnikai Tanszékén. Az utóbbi években több hazai és nemzetközi konferencián vett részt, dolgozott számos kutatási, fejlesztési projektben. Fő kutatási területei a transzport protokollok vezeték nélküli környezetben történő optimalizálása, a vezeték nélküli szenzor hálózatok, illetve mobil hálózatokban a felhasználók mozgásának modellezése.



**MILÁNKOVICH ÁKOS** 2010-ben szerezte meg a BME-n mérnök informatikus BSc diplomáját, majd folytatta tanulmányait MSc fokozatért hálózatok és szolgáltatások szakirányon, ahol 2012-ben végez. Szakmai érdeklődési körébe tartoznak a vezeték nélküli hálózatok, mobil és smart metering technológiák. Ezen témakörökből készíti diplomamunkáját.



**IMRE SÁNDOR** Budapesten született 1969-ben. A BME Villamosmérnöki és Informatikai Karán szerzett diplomát 1993-ban. 1996-ban Dr. Univ., 1999-ben PhD, 2007-ben MTA Doktora fokozatot szerzett. Jelenleg a BME Híradástechnikai Tanszékének vezetője, valamint a BME Mobil Innovációs Központjának tudományos kutatási igazgatója. Főbb kutatási területei a korszerű mobil infokommunikációs rendszerek rádiós és hálózati kérdései, valamint a kvantumalapú informatika.



**SZABÓ SÁNDOR** 1977-ben született. A BME Villamosmérnöki és Informatikai karán végzett 2000-ben, PhD fokozatát 2011-ben szerezte meg. Jelenleg adjunktusként dolgozik a Híradástechnikai Tanszéken. Részt vesz az egyetemi kutatási projektekben és a Mobil Innovációs Központ projektvezetője. Kutatási területei a vezetékes és vezeték nélküli hálózatok integrálása, mobilitáskezelési eljárások, valamint az IMS (IP Multimedia Subsystem) rendszer vizsgálata és a vezeték nélküli szenzorhálózatok.

## Irodalom

- [1] "ISO/IEC-18000-7 INTERNATIONAL STANDARD", 3rd Edition, 1 August 2009.
- [2] Tóth Katalin, Schulcz Róbert, Imre Sándor: Ütközésfeloldás RFID rendszerekben. Híradástechnika, 2007/4, pp.39–46.
- [3] Haddad Richárd, Dr. Morva György, Szén István: Smart Metering. Intelligens Energiarendszerek, 2007.
- [4] Berg Insight: News Archive, [http://www.berginsight.com/News.aspx?m\\_m=6](http://www.berginsight.com/News.aspx?m_m=6)
- [5] DASH7 Alliance, <http://www.dash7.org>
- [6] DASH7 Alliance, DASH7 Technical Overview Webinar, 2 December 2009.
- [7] DASH7 – Wikipedia, the free encyclopedia
- [8] Indigresso Wiki DASH7, [http://www.indigresso.com/wiki/doku.php?id=dash7\\_mode\\_2](http://www.indigresso.com/wiki/doku.php?id=dash7_mode_2)
- [9] J.P. Norair: "OpenTag: Office Hours". Webinar, 12 May 2010
- [10] Indigresso Wiki OpenTag, <http://www.indigresso.com/wiki/doku.php?id=opentag>
- [11] OpenTag, <http://sourceforge.net/projects/opentag>

## Felhívás

**Ezúton is felhívjuk Olvasóink figyelmét a Híradástechnika magyar folyamában való publikálási lehetőségekre. Elsősorban közérthető, széles olvasóközönségnek szóló, színvonalas áttekintő cikkeket várunk, amelyek egy-egy szűkebb szakterület érdekességeit mutatják be azok számára is, akik nem ezen a területen dolgoznak. Célunk, hogy a szakma egyetlen magyar nyelvű, színvonalas ismeretterjesztő folyóirataként közvetítsük az egyes részterületek helyzetét, fejlődésének irányait és legújabb eredményeit a minél szélesebb olvasótábor számára és formáljuk, befolyásoljuk a magyar szaknyelvet.**

Várjuk Olvasóink jelenkezését a fentiek szerint elkészített kéziratokkal, az infokommunikáció különböző részterületeiről és határterületeiről, többek között az alábbi témákban:

- Adat- és hálózatbiztonság
- Digitális műsorszórás
- Infokommunikációs szolgáltatások
- Internet-technológiák és alkalmazások
- Médiainformatica
- Multimédia-hálózatok és rendszerek
- Optikai kommunikáció
- Társadalmi vonatkozások
- Távközlés-gazdaság és -szabályozás
- Távközlési szoftverek
- Teszthálózatok és kutatási infrastruktúrák
- Úrhírközlés
- Vezetéknélküli és mobil távközlés

Rendszeresen jelentkező rovatainkhoz is várjuk beküldött anyagaikat, melyek közül a következőket szeretnénk kiemelni:

- hazai és nemzetközi projektek ismertetése,
- konferenciákról, fontos szakmai eseményekről szóló beszámolók,
- a HTE szakosztályainak tevékenységét bemutató cikkek,
- egyetemi és kutatóintézeti egységek bemutatkozása,
- könyvismertetések.

**A kéziratokat kérjük a főszerkesztőnek elektronikusan megküldeni a [szabo@hit.bme.hu](mailto:szabo@hit.bme.hu) címre, akihez a témákkal és a cikkek elkészítésével kapcsolatos bármilyen kérdéssel is fordulhatnak a fenti e-mail-címen. A szerzőinknek szóló tájékoztató elektronikus változatát lapunk internetes portálján találhatják meg, a [www.hiradastechnika.hu](http://www.hiradastechnika.hu) cím alatt.**

A Szerkesztőség

# A mérőalanyok preconcepciói által okozott torzítások hatása 3G videotelefonálás QoE kiértékelési eredményeire

KARA PÉTER ANDRÁS, BOKOR LÁSZLÓ, IMRE SÁNDOR

BME Híradástechnikai Tanszék  
{kara, goodzi, imre}@mcl.hu

Lektorált

Kulcsszavak: QoE, QoS, teljesítményvizsgálat, LoC, vezeték nélküli távközlés, 3G HSDPA, videotelefon, valós idejű kép- és hangátvitel

**Napjainkban a telekommunikációs szolgáltatások terén az objektív szolgáltatásminőségi paraméterek (Quality of Service) mellett egyre nagyobb szerepet tölt be a szubjektív minősítés (Quality of Experience). Ebből kifolyólag elengedhetetlen követelmény, hogy a szolgáltatás minősítésére használt mérés eredménye minél inkább tükrözze a valóságot. Ennek elérése koránt sem tekinthető egyszerű feladatnak, hisz a tényleges minőségérzethez képest a minősítés torzításokat szenved.**

**Cikkünk a szakmai előismeretekből (Level of Comprehension) adódó preconcepciók okozta torzításokkal foglalkozik.**

**A mérőalanyok a mérés idején ismerték a mérési esetekre jellemző szolgáltatásparamétereket, melyek szakmai ismereteiktől függően olykor jelentős kihatással voltak véleményezésükre. Az így kialakult mérési eredményeket a mérőalanyok LoC szintjének függvényében vizsgáltuk.**

## 1. Bevezetés

A civilizált modern társadalom egyik alappillére a szolgáltatások nyújtása és igénybevétele. Egy adott szolgáltatásra jellemző tulajdonsághalmaz képes objektív leírást adni a szolgáltatás igénybevevőjének számára. Bár tény, hogy ezen paraméterek az azonos típusú szolgáltatások között jó összehasonlítási alapot képeznek, nem szabad megfeledkezni arról, hogy az így kapott kép sokszor nem ekvivalens a ténylegesen tapasztalt minőséggel. Egy szolgáltatás bizonyos számszerűsített jellemzői hiába kiemelkedően kedvezőek, ha ugyanakkor a szolgáltatás minősége összességében nem elégséges, nem elégíti ki a felhasználó igényeit.

Szolgáltatás alatt itt bármire gondolhat az ember; egy mobilinternet hozzáférés esetében például hiába lenyűgözően magas a sáv szélesség (a szolgáltatást jellemző egyik számszerűsített adat, az angol terminológiában *Quality of Service – QoS*), ha a felhasználó nem érti a tárgyalófelének mondatait egy videokonferencia során. Mivel tisztán látható, hogy egy szolgáltatás valós értékét alapvetően a tapasztalt minőségérzet (*Quality of Experience – QoE*) határozza meg, így nem meglepő, hogy a szolgáltatók számára központi kérdéssé vált a felhasználói visszajelzés. A híradástechnikában ennek különösen nagy szerepe van; mára már nélkülözhetetlen a minőség folyamatos monitorozása, hisz legfontosabb cél a felhasználói igények költséghatékony kielégítése. Először is az operátor számára jelent hasznát a visszajelzési adathalmaz, de végeredményben a felhasználó profitál a szolgáltatás fejlesztéséből.

Fontosságából kifolyólag a minőségvizsgálat egy jól definiált, szabványosított tevékenység. Az a tény viszont eddig kevés figyelmet kapott, miszerint a mért minőséget nagyban befolyásolhatja a véleményező technikai felkészültsége (*Level of Comprehension – LoC*), különö-

sen akkor, ha a mérést végző személynek tudomásra van a szolgáltatás mérés során adott, esetleg változtatott jellemzőiről. A tesztalanyok ezen jellemzőkről való tájékoztatása sok esetben megkerülhetetlen követelmény, az így észlelhető hatások pedig egyaránt lehetnek akár pozitívak, akár negatívak, de mindenképpen befolyásolják a mérés eredményeit. A minőséggel kapcsolatos előítéletekből adódó véleménytorzulásra számítalan, a hétköznapi életben előforduló példát lehetne mondani, azonban a problémakör híradástechnikai (ezen belül multimédia-kommunikációs) vetületei még nem kerültek körültekintően elemzésre – annak ellenére, hogy csöppet sem tekinthetők triviálisnak. Ebben a cikkben éppen ezért ezzel az eddig elhanyagolt kérdéskörrel foglalkozunk: azt vizsgáljuk, hogy bizonyos előre ismert vagy ismertett technikai paraméterek és különböző háttérismereti szintek függvényében miként torzulhat a mérőalanyok által tapasztalt minőségérzet. 3G HSDPA hálózaton végeztünk QoE mérést. A mérőalanyok feladata egy multimédia átvitelt folytató tevékenység, egy két-személyes videokonferencia minősítése volt. Célunk a két fél között létrejött mobil videokonferencia minőségi értékelésének (QoE) vizsgálata változó hálózati paraméterek (QoS) mellett volt, úgy, hogy számításba vettük a mérőalany szakmai háttérismereteit (LoC) is.

Cikkünket a minőségvizsgálati metodikákkal kapcsolatos kutatások jelenlegi helyzetének bemutatásával kezdjük, majd a harmadik és a negyedik szakaszban az általunk végzett mérési sorozat összeállítását és a mérések segítségével nyert eredményeinket részletezzük. Itt kerül elemzésre a mérési sorozat számszerű értékei mellett azon kapcsolat vizsgálata, mely az egyén értékelése és a vonatkozó ismeretei között állhat fenn. Az ötödik, befejező szakasz összefoglalja gondolatainkat, valamint munkánk továbbfejlesztési lehetőségeit hivatott ismertetni.



## 2. Quality of Experience a modern távközlésben

Ahogy azt a bevezetőben említettük, a tapasztalt minőségérzet monitorozása jelentős szerepet játszik a különböző szolgáltatások tervezésekor, bevezetésekor és üzemeltetésük során egyaránt. Ebből következő egyértelmű követelmény, hogy a vizsgálati metodikák a szolgáltatásokhoz hasonlóan haladjanak a korral, hisz a precízebb, jobban feldolgozott adatok nagyobb mértékben járulnak hozzá a sikeres, ergonomikus fejlesztésekhez. Az elmúlt évtizedekben számtalan kutatás folyt ebben a témakörben, melyek egyik legfontosabb eredménye a mérések szabványosítása: a minőségérzet vizsgálatával foglalkozó ajánlást az ITU-T 1998-ban publikálta [1].

Bár azóta már tizenhárom év eltelt, a mai napig ezen dokumentum képezi a QoE mérések és kutatások alapját. Az ajánlás részletes leírást biztosít a vizsgálat során előforduló paraméterekkel kapcsolatban. Legelső lépésként a fejlesztőknek el kell dönteniük, hogy szolgáltatásuk minőségét milyen jellegű vizsgálati alaptípussal óhajtják mérni. A híradástechnikai szolgáltatásokat párbeszédre vagy hallgatásos típusú mérésekkel célszerű vizsgálni, de előfordulnak interjú jellegű véleménykutatások is. Párbeszédre esetben két mérőalany vesz részt a minőségvizsgálatban, akik egymással folytatnak egy természetes, hétköznapi dialógust. Itt nagy hangsúly van a természetességen, mely főként a beszélgetés struktúrájára vonatkozik. Ahogy a mindennapi életben, a beszélgetésnek van eleje, van vége, a mondanivaló megfelelően fel van építve. Kizárólag indokolt esetben szabad egy párbeszédre mérést félbeszakítani. A mérőalanyokat két elválasztott, hangszigetelt szobában kell elhelyezni, melyek legalább 30 m<sup>3</sup> térfogatúak. Az alanyok kiválasztásakor feltétel, hogy foglalkozást tekintve nem lehet a mérés típusával kapcsolatos munkája, tehát nem foglalkozhat például hangkóddalással, emellett az elmúlt fél évben nem vett részt semmilyen véleményezési mérésben, és az elmúlt egy évben nem vett részt párbeszédre típusú mérésben. A nemek arányára nincs előírás, sőt, nem megengedett a nemek eloszlásának szándékos kiegyensúlyozása vagy módosítása. Az arány befolyásolása kizárólag akkor engedélyezett, ha azt az adott mérési specifikáció megköveteli. Az ajánlás a szobaterfogaton kívül természetesen még sok más paramétert számszerűsít; konkrétan mindent, ami érintheti a mérést, s emellett hivatkozik a korábbi ITU-T szabványokra, ajánlásokra.

A hallgatásos mérésekre a párbeszédre hasonlóan ugyanúgy igaz, hogy minden esetleges paraméterre meg van adva, hogy milyen tartományban vehet fel értékeket. Ahogy arra az elnevezése is utal, itt a mérőalany nem kommunikál egy másik mérőalanyal, hanem egy előre rögzített szöveget hallgat meg. A lejátszott szövegnek rövid, egyszerű, könnyen érthető mondatokból kell állnia, melyek nem tartalmaznak semmilyen szak kifejezést. Mivel a mondatok szemantikailag nem állnak kapcsolatban egymással, a sorrend lényegtelen. Az ajánlás szerint legalább kettő, legfeljebb öt mondat lehetsé-

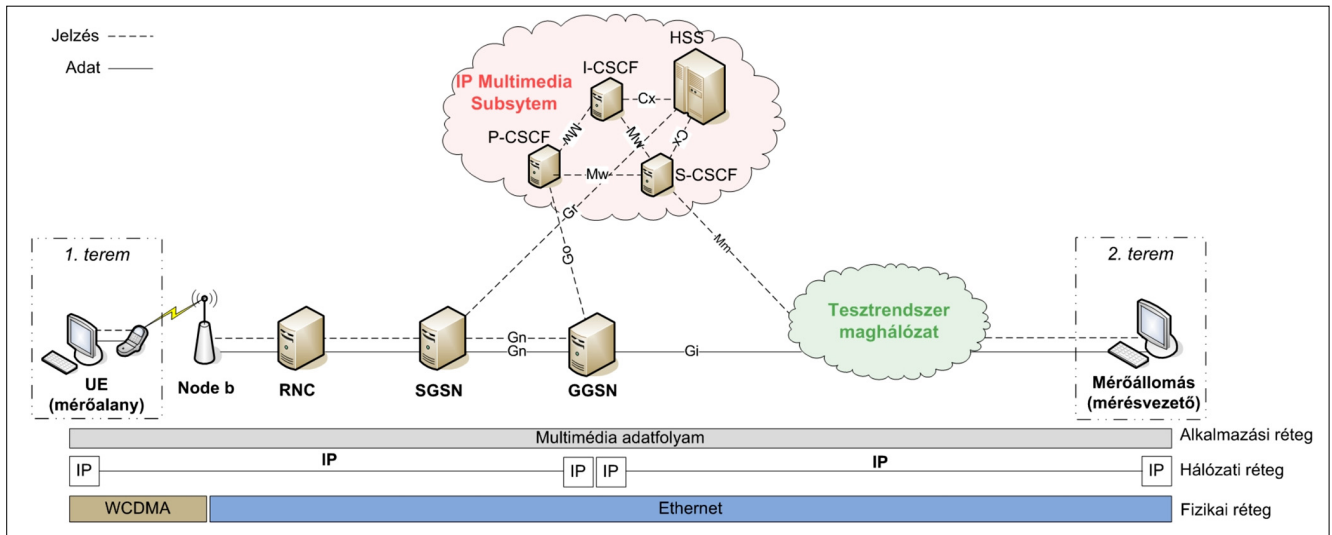
ges, ahol az egyes mondatok hossza két-három másodperc. A véleményezés alapértelmezett formája egy ötlépcsős skála egytől ötig (Mean Opinion Score – MOS), ahol a nagyobb szám jobb minősítést jelöl. Összehasonlító mérési sorozat esetén mínusz háromtól háromig terjedő hétlépcsős skála használatos, ahol a nulla a megközelítőleg azonos minőségérzetet jelenti, a pozitív illetve negatív számok pedig az eltérés irányát és mértékét hivatottak reprezentálni.

Párbeszédre típusú véleményezésre jó példa Yue Lu és társai által Hollandiában végzett minőségvizsgálati mérése [2], ahol a kutatás középpontjában a videokonferenciát megvalósító alkalmazások körültekintő megválasztása állt. Egy másik megemlíthető példa a Ketykó István és társai által Belgiumban végzett, 2010-ben publikált mérésorozat [3], mely az előzővel ellentétben hallgatásos típusú volt, s a hangsúlyt a különböző, szolgáltatás igénybevételére jellemző környezetek által gyakorolt hatások vizsgálatára tették.

Kellő magabiztossággal elmondható, hogy minőségvizsgálati szakirodalom számtalan kiváló kutatással és tanulmánnyal rendelkezik. Aki általánosságban szeretne elmélyülni a témában, azok számára az ITU-T ajánlás mellett javasolt olvasmány a Telenor cég egyik publikációja [4] vagy David Soldani, Man Li és Renaud Cuny könyve [5], mely a téma alapos kidolgozása mellett rendkívül széles skálán biztosít betekintést az UMTS hálózatok világába. Bár hosszú időn keresztül a hang minősítése szinte teljes egészében lefedte a minőségvizsgálati mérések kutatási irányvonalát [6], mára a képminősítés kezdte betölteni a domináns szerepet [7]. Videó tekintetében külön érdemes megkülönböztetni vezetékess [8-11] és vezeték nélküli [12-15] hálózatot használó méréseket. A fentiekben kizárólag mérőalanyok által végzett mérések lettek említve, de fontos megemlíteni, hogy léteznek az emberi tényezőt kihagyó, automatizált kiértékelő módszerek is [16]. Alapötletük ugyan ténylegesen egy költséghatékonyabb és időtakarékosabb irányba kívánja elmozdítani a mai mérési metodikákat, de egyelőre még szkeptikus ezzel szemben a világ; a szolgáltatók inkább a emberi mérőalanyokat részesítik előnyben az automatizált minősítési rendszerekkel szemben.

## 3. QoE az LoC függvényében

Az általunk elvégzett mérési sorozat kétfős mobil videokonferenciát valósított meg a Mobil Innovációs Központ (BME-MIK) [17] területén kiépített tesztálózatban (1. ábra). A vizsgálat célja megválaszolni azon kérdést, miszerint kihatással van-e a mérőalany általi minősítésre a szolgáltatás paramétereinek előzetes ismerete az alany szakmai háttérismerete függvényében, és ha igen, akkor milyen jellegű ez a hatás? A mérési sorozathoz húsz alanyt választottunk a legkülönbözőbb szakmai ismeretekkel, az egyszerű felhasználótól kezdve egészen a PhD fokozatú mérnökdoktorig. Az alanyok szakmai háttérismereti szintjét (LoC) közvetlenül a mérés előtt mértük fel szóbeli kifejtéses kérdések alapján. Ezen számadása-



1. ábra A mérésekhez használt tesztrendszer

kat videóra rögzítettük a későbbi alapos elemzés és LoC értékelés céljából. A hűs alanyt tíz LoC szintre osztottuk szét tudásuk alapján, ami így szintenként két főt jelent. A tudásfelmérés előtt semmilyen információt nem kaptak az alanyok a méréssel kapcsolatban azért, hogy a lehető legtisztább képet kapjunk az egyes alanyok ismereteiről. A mérőalanyok ismeretséget tekintve diszjunkt halmazokat alkotnak, ezáltal megelőzve az egymás közötti esetleges információcserét. Amennyiben bármelyik mérőalany előzetes információval bírt volna a méréssel kapcsolatban, az az eredmények hiteltelenségéhez vezethetett volna, hisz LoC besorolás tekintetében túlértékelés következett volna be egyes alanyoknál. A méréseket mérőalanyonként különböző időpontokban végeztük.

Alapvetően négy fő részre lett szétosztva a mérési sorozat. Az alany megérkezése után egyből sor került a tudásfelmérésre, mely megközelítőleg fél órát vett igénybe. Ezt követte a felhasználói szokások rövid felmérése, a tudásfelméréshez hasonlóan kötött kérdésekkel, majd kezdetét vette maga a mérés, mely egy 3G HSDPA hálózaton keresztüli videobeszélgetés volt a mérésvezető és a mérőalany között. Végezetül pedig a mérés után egy összefoglaló beszélgetésre került sor a tapasztalattal kapcsolatban, mely a tudásfelméréshez és a felhasználói szokások felméréséhez hasonlóan rögzítésre került későbbi elemzés céljából. A mérésvezető személye valamennyi elvégzett mérésnél ugyanaz volt, biztosítva ezzel is az azonos feltételeket az egyes mérőalanyok számára. A mérési összeállítás kialakításánál elsődleges szempont volt a mérésben résztvevők alapos elszigetelése egymástól és a MIK nyújtotta technikai lehetőségek kihasználása.

A mérőalany a MIK laboratóriumán kívüli konferenciateremben (1. terem) helyezkedett el, míg a mérésvezető az egyik laborgépet használta (2. terem). A videokonferenciát megvalósító kliensként a Linphone 3.2.1 nevű IMS klienst [18] használtuk, Ubuntu 10.04 operációs rendszeren. Multimédia felszereléseként mindkét gépen azonos webkamera- és headset-típust használtunk. Ami alapvető különbség, hogy míg a laborban a mérésvezető

Ethernettel csatlakozott a hálózatra, addig a mérőalany egy Huawei 3G HSDPA modemet használt. Az UMTS hálózaton forgalmazott IP-alapú multimédia forgalom vezérlésére IMS-t (IP Multimedia Subsystem) használtunk [19]. Maga a video-párbeszéd egy megközelítőleg 1 órát igénybevevő, összefüggő, kötetlen, folyamatos, kétirányú beszélgetés. A mérési sorozat hűs részre lett bontva, melyben a mérőalanyoknak hűs alkalommal kellett egy adott skálán véleményezni, külön kép és hang tekintetében. A hűs mérési tesztet úgy alakult ki, hogy a mérésvezető számítógépének kimenő forgalmát hűs különböző kombinációban terheltük késleltetés, késleltetés-ingadozás és csomagvesztés tekintetében. Ezt netem [20] segítségével, parancssori utasításokkal vezéreltük, a videokonferencia elején létrejött kapcsolatot így egyetlen alkalommal sem kellett mérés közben megszakítani. A legelső mérési eset egy teljesen terheletlen kapcsolat volt, amit egy általános QoS degradáció, egy szélső-

1. táblázat  
QoS paraméter mátrix változó mérési terhelései

mérés	késleltetés	késleltetés-ingadozás	csomag-vesztés
1	0 ms	0 ms	0 %
2	50 ms	10 ms	0.5 %
3	200 ms	40 ms	2 %
4	800 ms	180 ms	8 %
5	0 ms	180 ms	8 %
6	0 ms	0 ms	8 %
7	0 ms	180 ms	0 %
8	800 ms	0 ms	0 %
9	800 ms	100 ms	1.2 %
10	400 ms	100 ms	1.2 %
11	200 ms	100 ms	1.2 %
12	100 ms	100 ms	1.2 %
13	100 ms	180 ms	0.5 %
14	100 ms	100 ms	0.5 %
15	100 ms	40 ms	0.5 %
16	100 ms	20 ms	0.5 %
17	200 ms	20 ms	0.5 %
18	200 ms	20 ms	2 %
19	200 ms	20 ms	4 %
20	200 ms	20 ms	8 %

séges értékvizsgálat, egy késleltetéscsökkenés, jittercsökkenés, majd végül egy csomagvesztés növekedés követett.

A paraméterek változását egy QoS paraméter mátrixban összefoglalva adtuk oda a mérőalanyoknak (1. táblázat), melyben feltüntettük a fix paraméterek értékeit (például képfelbontás vagy a használt hangkódoló), valamint a hálózatra jellemző terhelésmentes QoS értékeket is (2. táblázat).

<b>Késleltetés:</b> 133 ms	<b>Késleltetés-ingadozás:</b> 30 ms	<b>Csomagvesztés:</b> 0 %
<b>Képfelbontás:</b> 640x480	<b>Videokódoló:</b> MPEG4	<b>Hangkódoló:</b> speex

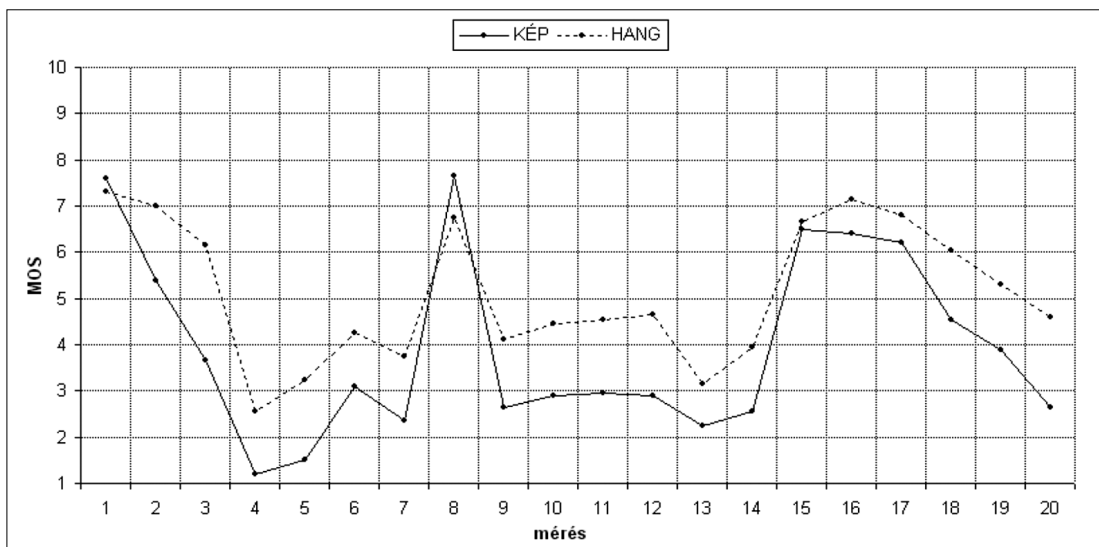
2. táblázat QoS paraméter mátrix állandó paramétereit

#### 4. Eredmények és értékelésük

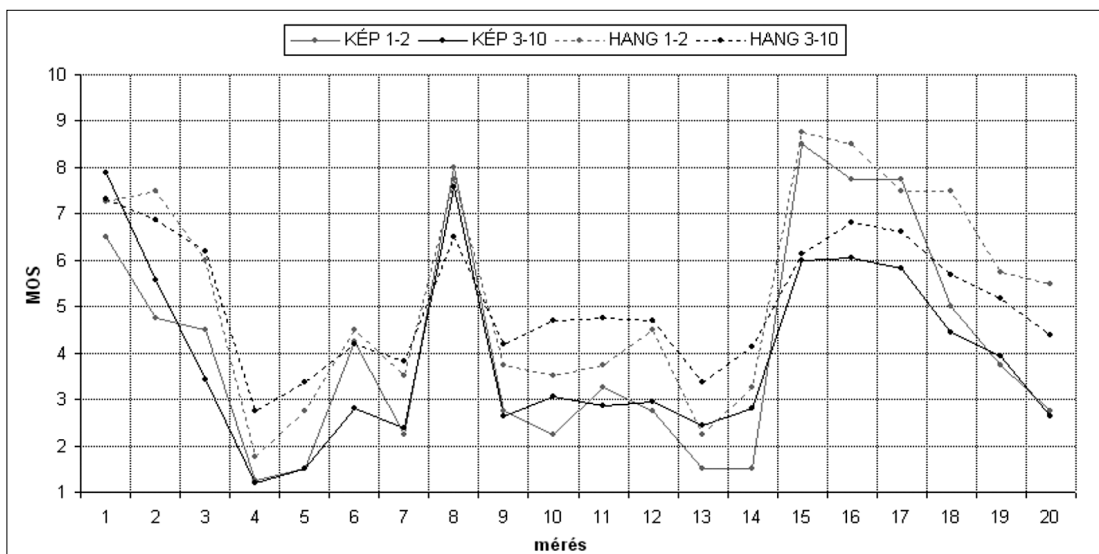
A mérések után kezdetét vette az eredmények feldolgozása. Első lépésként el kellett végezni a húsz mérőalany LoC szerinti besorolását. Ehhez az egyes alanyokhoz tartozó szóbeli kifejtéses videofelvételeket játszottuk vissza és elemeztük. Ez összességében megköze-

lítőleg 20 óra felvételelemzést igényelt, mivel minden alany LoC felmérési videója 25-30 perces és minden felvételt legalább kétszer tekintettünk meg. A besorolás elkészítésével előállt a számunkra érdekes adathalmaz mind a kép, mind a hang tekintetében. Olyan összesített MOS értéktáblázatot is számoltunk, mely nem veszi figyelembe az LoC skála szerinti bontást (2. ábra).

Ami ezen rögtön szembetűnő volt, az a videó MOS értékeinél (folytonos vonal) az első és a nyolcadik eset viszonya. Ahogy az az 1. táblázatban jól látható, az első mérési eset teljesen terheletlen, míg a nyolcadiknál 800 ms késleltetés terhelés volt. Megdöbbentő, hogy bár azt várnánk, hogy az első mérési eset részesüljön jobb értékelésben, mégis a nyolcadik ért el magasabb pontszámot. Ezen érdekes jelenséget megvizsgáltuk a LoC bontás szemszögéből is, mely egy elég látványos magyarázattal szolgált. A LoC skála felső nyolc szintjén jellemző, hogy a mérőalanyok enyhén kisebb pontszámmal illették a nyolcadik mérést az elsőhöz képest, hisz bár tény, hogy képminőség tekintetében nem volt nagy különbség, tudatában voltak a nyolcadik mérési eset terheltségének. Ezzel szemben az alsó két skálafokon a minősítés aránya ellentétes; a nyolcadik mérés magasabb



2. ábra  
A mérési sorozat MOS eredménye



3. ábra  
MOS bontása az alsó kettő és felső nyolc LoC szint alapján

pontszámában részesült, mint az első (3. ábra). Jól látható, hogy a mérőalanyok alsó 20%-át, azaz a szakmához legkevesebbet értőket fals preconcepciók vezérelték. Ezt a videofelvételek is alátámasztották azért, hogy ebben a LoC tartományban olyan kijelentések is elhangoztak az összefoglaló beszélgetés során, miszerint a képminőség és a késleltetés egyenes arányosságban áll egymással, vagyis minél magasabb a késleltetés, annál jobb a képminőség. Eme tévhit kihatással volt az értékelésre és képes volt az összesített MOS értékhez olyan mértékben módosítani, hogy a véleményezési átlag alapján a valós jelenség ellentéte tükröződik. Elmondható tehát, hogy a LoC szerinti bontás képes volt egy olyan jelenséget egyértelműen megmagyarázni, melyet e nélkül logikus magyarázat hiányában legfeljebb mérési hibaként lehetett volna felfogni.

A képátvitel minősítésének ilyen jellegű felbontása egy másik jelenségre is felhívta a figyelmünket, ami az összesített MOS értéktáblázatban nem volt azonnal szembeutón. Ahogy az a paramétermátrixban olvasható, a tizenharmadik mérési tesztesettől a tizenhatodikig jittercsökkenés ment végbe, mely elméleti síkon a minőség javulását vonja maga után. Az előzetes tesztek eme feltételezésnek gyakorlati valóságtartalmát alátámasztották. A négyelemű mérési szekció első három eleme ezt a vártaknak megfelelően követte az összesített minősítési átlagban, azonban a negyedik elemnél, a tizenhatodik mérési tesztesetnél ellenkező irányú a folyamat; ahelyett, hogy tovább emelkedne a véleményezési átlag, csökken.

A 3. ábrán jól látható, hogy ennek háttérben is az alsó két LoC szint áll. Bár a 2. ábrán nem látható, megemlítendő, hogy a tizenötödik mérési eset, mely mindhárom paraméter tekintetében terhelve lett, jelentősen magasabb értékelésben részesült az alsó két LoC szintnél, mint az első, teljesen terheletlen eset. Ennek magyarázata a hirtelen nagymértékű képminőség-javulás; míg a tizennegyedik mérésnél az ingadozás miatt nehezen kivehető a kép, addig az azt követő esetben szinte teljesen tiszta a videóátvitel. Tény, hogy az egy lépcső alatt bekövetkező minőségjavulás mértéke jelentős, mégsem produkál jobb felhasználói élményt, mint a terhelésmentes eset. A korábban vizsgált jelenséghez hasonlóan a kiváltó ok azon felismerés hiánya, miszerint a terheletlen mérési tesztesetnél egy akármilyen, nullánál nagyobb terheléssel rendelkező eset nem érhet el magasabb minősítést.

Az, hogy a terhelt eset tesztalanytól független, objektív minősége jobb legyen, mint a terheletlené, egyszerűen fizikai képtelenség, egy efféle benyomás pusztán érzéki csalódás. Ugyanakkor, ha megvizsgáljuk az érme másik oldalát, észre kell vennünk, hogy úgy mond „tiszta” mérési eredményeket pont az alsó LoC szintekhez tartozó alanyok produkáltak, hisz a magasabb szinteken lévő alanyokat előzetes ismereteik erősen vezérelték, így ha akartak se tudták volna jobb értékelésben részesíteni az említett terhelt esetet a referenciaméréshez képest. Érzékeik bármennyire is a kialakult minőségjavulás miatt lényegesen jobb pontozást ítélték volna meg,

előzetes ismereteik érvényesítették a megkérdőjelezhetetlen reláció fennállását a két mérés minősítése között.

Figyelemreméltó képminősítés terén még az általános minőség-degradáció vizsgálata, azaz az első négy mérési eset. Az összes mérési adathalmaz hozta a papírfomat, fokozatosan romlik a pontozás. Fokozatosság helyett azonban inkább az egyenletesség a főszerep, amennyiben eltekintünk a legelső LoC szintek eredményétől. A harmadiktól a tizedik LoC tartomány átlagát képezve egyszerűen matematikailag tökéletes egyenletesség mutatkozik meg, a 3. ábrán jól látható, hogy ezen mérési négyes egy egyenes. Ennek magyarázata az előzőéhez hasonló. Az adott szintekhez tartozó mérőalanyok minősítési ítéletét alapvetően vezérelte a paramétermátrix. Ez nem azt jelenti, hogy egy ilyen esetben a valóságot leginkább tükröző minősítés az alsó LoC szintekhez tartozik. Elég egy pillantást vetni ugyanezen mérési négyesnél a hang értékelésére (3. ábra – szaggatott szürke vonal), ahol a paraméterekre visszavezethető fals preconcepciók miatt a második mérési eset jobb értékelést kapott, mint az első.

Egyéb említésre méltó jelenségek a hang véleményezésének tekintetében is előfordultak. Ezek közül a legérdekesebb a kilencediktől a tizenkettedik mérési pontig terjedő szakaszhoz köthető. Erre az intervallumra késleltetés csökkenés volt jellemző. A minőségérzet ebben az esetben nehezen jelezhető előre, hisz az adott QoS paraméter megváltozásának hatása egyáltalán nem triviális. A késleltetés folyamatosan csökken, de a jitter változatlan marad. A mérőalany számára egyrészt pozitívum, hogy fokozatosan megszűnik a nagy késleltetés okozta egymásra várakozás és egymás szavába vágás a párbeszéd során, azonban ezzel párhuzamosan növekedik a jitter késleltetéshez mért aránya.

A folyamat tehát kétirányú, szinte lehetetlen teljes magabiztossággal megmondani, hogy adott átmenet során melyik irányba mozdul el a felhasználói élmény átlagértéke. A végső összesített mérési eredményekből kiindulva MOS tekintetében is bizonytalanság tapasztalható, az átlag mérésenként felváltva hol nő, hol csökken. Az egytől hétig terjedő LoC szinteknél nem tapasztalható olyan véleményezési séma, amely általános lenne. A hangélménybeli differencia az egyes mérések között egészen minimális, persze nem elhanyagolható. Erre a hét szintre az előzetes szakmai háttérismeretek alacsony hatást gyakoroltak; a véleményezésben döntő szerepe az egyén aktuális hozzáállásának volt, azaz a két ellentétes irányú hatás közül melyiket választotta éppen dominánsabbnak. Ezzel szemben a felső három LoC szint esetében egészen más volt a helyzet. Megdöbbenve tapasztaltuk, hogy a négy mérési esetet konstans értékkel minősítették.

A szakmai ismeretek olyan szintű kihatással voltak a véleményezésre, hogy megszületett bennük azon felismerés, miszerint eme két ellentétes hatás mértéke megközelítőleg azonos, tehát a minőség összességében nem változik. Emiatt a mérés során tapasztalható kismértékű különbségeket teljes mértékben ignorálták

pontozást tekintve, s a preconcepciók hozták meg a minősítési döntéseket. Ha az összesített átlagot vesszük figyelembe, egyértelmű javulás tapasztalható hang téren ebben a mérési négyesben. Ez persze rendkívül félrevezető, hisz egyetlen LoC szintnél sem tapasztalható ez az adott tendencia. Talán a legjobban az jellemzi itt a tapasztalt minőséget, hogy felváltva változik az elmozdulás iránya, egyre kisebb léptekkel. Ilyet azonban általános várható minősítési sémának nem ítélnénk, hisz mi, a mérés kidolgozói is bizonyos mértékben befolyásolva voltunk s vagyunk a mérési esetek tényleges minőségével kapcsolatban.

## 5. Összefoglalás

Az általunk tervezett és kivitelezett mérési sorozat segítségével felvázoltuk a meglévő minőségértékelési metodikák egy lehetséges továbbfejlesztési irányát és használhatóságát.

A LoC függvényében vizsgálva az eredményeket részletesebb, precízebb képet kaptunk a valós minőségérzetről, ezen felül kimutattuk a preconcepciók minőségtorzítási erejét és ennek káros hatásait is. Eme faktor kivédésére triviális megoldás lenne a szolgáltatási paraméterek elrejtése. Ez meg is állja a helyét egy szolgáltató által végzett visszajelzés célzatú minőségbírálati mérésen, azonban a gyakorlatban sokszor nincs alkalom ennek kikerülésére. A gazdasági döntések terén a pusztán QoS értékeket egyre több esetben kezdik felváltani a valós minőségérzeti értékelések, legyen szó akár lakossági, akár nagyobb volumenű beruházók szolgáltatásáról. Amennyiben a szolgáltató rendelkezik bármilyen részinformációval a minősítésre kijelölt emberek háttérismereti szintjével kapcsolatban, adott viselkedési modell függvényében fel tudja azt használni és gazdasági előnyt szerezhet.

Az elvégzett mérési sorozat számtalan irányban folytatható, fejleszthető tovább. Érdekes vizsgálat lenne a mérések egy olyan módosítása, ahol leválasztjuk a preconcepciókat magáról a mérésről, azaz a mérést külön elvégeznénk az adott mérőalanyokkal a szolgáltatási paraméterek ismerete nélkül, és ismeretével is. Ez még részletesebb betekintést nyújtana a preconcepciók okozta torzítások világába, konkrétan viselkedési modellek definiálására adna lehetőséget.

A lehetséges jövőbeli aktivitások között mindenképp megemlítenéd még a hívásátadás QoE hatásainak vizsgálata, különösképp soft és seamless hálózatváltási megoldások tekintetében. Emellett érdekes kérdés a kétirányú késleltetés által gyakorolt hatás szerepe egy full-duplex kapcsolat során. Érdekes lehet még több, publikus eszközinformációval rendelkező modem összehasonlítása az LoC szinteket is használó módszerünk felhasználásával. A mérőalanyok, mérési esetek és változó paraméterek száma is növelhető a jövőben, de ezt az erőforrásokkal kapcsolatos megfontolások korlátozzák.

## A szerzőkről



**KARA PÉTER ANDRÁS** idén januárban szerezte meg BSc diplomáját a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Villamosmérnöki Karának Mérnök Informatika Szakán, Mobil informatika szakirányon. Jelenleg a Híradástechnikai Tanszéken folytatja MSc tanulmányait Hírközlő rendszerek biztonsága szakirányon. Érdeklődési körébe a mobil távközlő hálózatok QoS és QoE biztosításának kérdései, RFID rendszerek felhasználási lehetőségei, valamint fejlett mobil és vezeték nélküli szolgáltatások végfelhasználói és társadalmi vonatkozásai tartoznak.



**BOKOR LÁSZLÓ** 2004-ben szerezte mérnöki diplomáját a BME Villamosmérnöki Karának Műszaki Informatika Szakán. 2006-ban szakmérnöki képesítést szerzett a BME Gazdaság- és Társadalomtudományi Karán. Jelenleg doktori jelölt a BME Híradástechnikai Tanszékén, IEEE tag, tagja a Multimédia-hálózatok Laboratóriumnak és a Mobil Innovációs Központnak, ahol kutatómérnökként újjenerációs hálózatokkal, IPv6 alapú mobil kommunikációs rendszerekkel, heterogén távközlési architektúrákkal kapcsolatos kutatási-fejlesztési feladatokat végez. Részt vett az FP6-IST PHOENIX, FP6-IST ANEMONE, EUREKA-Celtic BOSS, FP7-ICT OPTIMIX, EURESCOM P1857 és az EUREKA-Celtic MEVICO projektekben.



**IMRE SÁNDOR** Budapesten született 1969-ben. A BME Villamosmérnöki és Informatikai Karán szerzett diplomát 1993-ban. 1996-ban Dr. Univ., 1999-ben PhD, 2007-ben MTA Doktora fokozatot szerzett. Jelenleg a BME Híradástechnikai Tanszékének vezetője, valamint a BME Mobil Innovációs Központjának tudományos kutatási igazgatója. Főbb kutatási területei a korszerű mobil infokommunikációs rendszerek rádiós és hálózati kérdései, valamint a kvantumalapú informatika.

## Irodalom

- [1] ITU: "Methods for subjective determination of transmission quality", 1 August 1996.
- [2] Yue Lu, Yong Zhao, F. Kuipers, P. van Mieghem, "Measurement Study of Multi-party Video Conferencing", ISBN: 978-3-642-12963-6\_8, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands, pp.96–108, 2010.
- [3] István Ketykó, Katrien de Moor, Wout Joseph, Luc Martens, Lieven de Marez, "Performing QoE-measurements in an actual 3G network", ISBN: 978-1-4244-4461-8, Shanghai, 24-26 March 2010.
- [4] Bjørn Hestnes, Peter Brooks, Svein Heiestad, "QoE (Quality of Experience) – measuring QoE for improving the usage of telecommunication services", ISBN: 978-82-423-0620-3 / 1500-2616, R21/2009, September 2008.
- [5] David Soldani, Man Li, Renaud Cuny, "QoS and QoE Management in UMTS Cellular Systems", ISBN: 0-470-01639-6, John Wiley & Sons, 2006.
- [6] Satoshi Uemura, Norihiro Fukumoto, Hideaki Yamada, Hajime Nakamura: "QoS/QoE measurement system implemented on cellular phone for NGN", Consumer Communications and Networking Conference CCNC 2008, 5th IEEE, ISBN: 978-1-4244-1456-7, 1 February 2008.

- [7] Tim Rahrer, Riccardo Fiandra, Steven Wright, "Triple-play Services QoE Requirements", DSL Forum Technical Report TR-126, Produced by Architecture&Transport Working Group, 13 December 2006.
- [8] Ricky K.P. Mok, Edmond W.W. Chan, Rocky K.C. Chang, "Measuring the QoE of HTTP Video Streaming", Proc. IEEE/IFIP IM (Pre-conf Session), May 2011.
- [9] Arum Kwon, Joon-Myung Kang, Sin-seok Seo, Sung-Su Kim, Jae Yoon Chung, John Strassner, James Won-Ki Hong, "The Design of a Quality of Experience Model for Providing High Quality Multimedia Services", Modelling Autonomic Communication Environments 5th IEEE International Workshop, MACE 2010, Niagara Falls, Canada, 28 October 2010.
- [10] D. Rodrigues, E. Cerqueira, E. Monteiro, "Quality of Service and Quality of Experience in Video Streaming", In Proc. of the Int. Workshop on Traffic Management and Traffic Engineering for the Future Internet (FITraMEn2008), EuroNF NoE, Porto, Portugal, 11-12 December 2008.
- [11] R. Serral-Gracia, E. Cerqueira, M. Curado, M. Yannuzzi, E. Monteiro, X. Masip-Bruin, "An Overview of Quality of Experience Measurement Challenges for Video Applications in IP Networks", 8th International Conference on Wired/Wireless Internet Communications, WWIC, Luleå, Sweden, 1-3 June 2010.
- [12] Dialogic: "Quality of Experience for Mobile Video Users", White Paper, December 2009.
- [13] A. Mehmood, S. Agarwal, C. Sengul, A. Feldmann: "Mobile Video QoE in Future Mobile Communications", TU Berlin / Deutsche Telekom Laboratories, Germany, 2010.
- [14] V. Menkovski, G. Exarchakos, A. Liotta, A.C. Sánchez, "Measuring Quality of Experience on a commercial mobile TV platform", ISBN: 978-1-4244-7277-2, 2nd Int. Conf. on Advances in Multimedia (MMEDIA'10), 13-19 June 2010.
- [15] István Ketykó, Katrien De Moor, Toon De Pessemier, Adrián Juan Verdejo, Kris Vanhecke, Wout Joseph, Luc Martens, Lieven De Marez, "QoE Measurement of Mobile YouTube Video Streaming", ISBN: 978-1-4503-0165-7, New York, 2010.
- [16] D. de Vera, P. Rodriguez-Bocca, G. Rubino, "Automatic Quality of Experience Measuring on Video Delivering Networks", ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review, Vol. 36, Issue 2, September 2008.
- [17] <https://www.mik.bme.hu/>  
A mérés helyszínét biztosító Mobil Innovációs Központ weblapja. (Letöltve: 2011.06.21.)
- [18] <http://www.linphone.org/>  
A mérésekhez használt Linphone kliens weblapja. (Letöltve: 2011.06.21.)
- [19] <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/23228.htm>  
3GPP IMS szabvány elérhetősége. (Letöltve: 2011.06.21.)
- [20] <http://www.linuxfoundation.org/collaborate/workgroups/networking/netem>  
A mérésekhez használt netem terhelésvezérlő oldala. (Letöltve: 2011.06.21.)

# Élpont osztályozáson alapuló robusztus tekintetkövetés

HELFENBEIN TAMÁS

*Ipari Kommunikációs Technológiai Intézet, Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közalapítvány  
helfenbein@ikti.hu*

Lektorált

*Kulcsszavak: pupilladetektálás, pupillakövetés, tekintetkövetés, képfeldolgozás*

**A billentyűzet és az egér után a modern számítógépek perifériájává vált maga az ember is. Az emberi mozdulatokat felismerő perifériák mellett a tekintetkövető rendszerek is egyre nagyobb szerephez jutnak az ember-gép kapcsolat megvalósításában. A mobilis, képfeldolgozáson alapuló tekintetkövető eszközök hatékonyságát a változó fényviszonyok nagymértékben csökkentik. A hagyományos technológiák ilyen körülmények között nem használhatók, ezért olyan módszert dolgoztunk ki, mely képes az emberi szem pupilla-paramétereinek robusztus meghatározására változó fényviszonyok között is. A módszer vizsgálatokor bizonyítást nyert, hogy az kiválóan alkalmas mobilis tekintetkövető rendszerekben történő használathoz.**

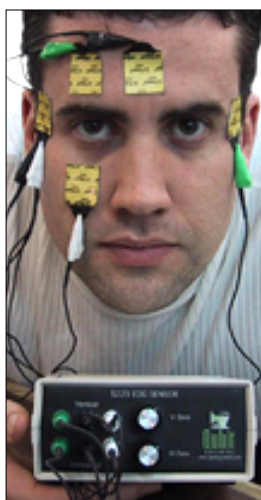
## 1. Bevezetés

A tekintet megfigyelése az emberiség igen korai időszaka-ra vezethető vissza. Az ember különleges tulajdonsága, hogy képes észlelni egy másik ember tekintetének irányát, illetve saját tekintetét áthelyezni az adott objektumra. Ehhez kapcsolódó ősi kézjel az ujjal való mutató, ami arra szolgál, hogy közöljük embertársunkkal, hova összpontosítsa figyelmét. A tekintet abszolút iránya a fej orientációjából, illetve az ehhez képest relatívan mozgó szem irányultságából tevődik össze. A szem mozgásának vizsgálatára az 1900-as évekig közvetlen emberi megfigyeléssel volt lehetőség. A technika fejlődésével egyre összetettebb tekintetkövető eszközök láttak napvilágot, de az igazi áttörést a digitális számítógépek felhasználása jelentette. Lehetőség nyílt tekintetkövető rendszerek használatára az orvoslásban, hadiiparban, biztonságtechnikában és a mindennapi életben is.

## 2. Tekintetkövető rendszerek

A tekintetkövető rendszereket különböző rendszertípusokba sorolhatjuk. Az első rendszertípus egy szemre rögzített passzív eszköz (kontaktlencse, tüskör, mágneses érzékelő) helyzetét méri. Ennek előnye, hogy pontos és gyakori mérést tesz lehetővé, de az eszköz viselete kellemetlen lehet [1].

A következő rendszertípus a szemkörnyékre helyezett elektródákra épít (1. ábra).



1. ábra  
Elektrookulogram mérése

Az elektródákból származó elektromos jelek változása alapján képes a szemmozgás érzékelésére. Az ilyen rendszerek csukott szem esetén és teljesen sötétben is kifogástalanul működnek [2].



2. ábra  
Mobil és rögzített optikai tekintetkövető eszközök

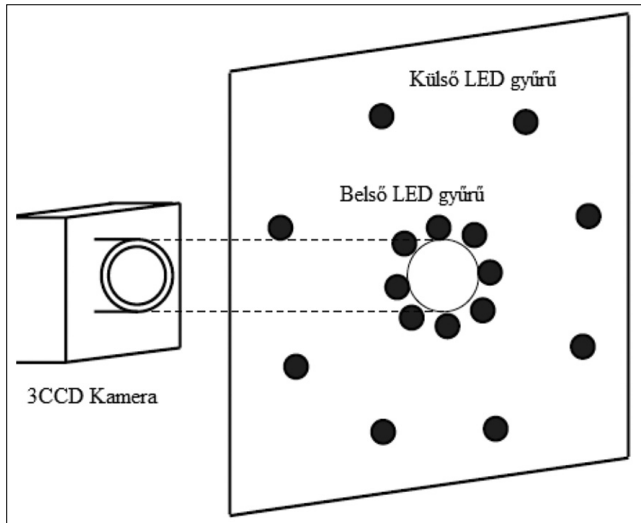
A harmadik típus a kontaktusmentes optikai méréseken alapuló rendszereket foglalja magában. Ebben az esetben a szemét tipikusan infravörös fényforrással megvilágítják és a szemről visszaverődő fényt optikai érzékelőkkel (kamerával) detektálják [3]. Kialakítást tekintve megkülönböztethetünk rögzített, valamint mobilis eszközöket (2. ábra). A rögzített rendszerek képesek a tekintet abszolút irányát megadni, míg a mobilis eszközök az alany fejpozíciójához képest relatívan adják meg a szem irányultságát. Speciális esetben a mobilis eszközök is képesek abszolút irány mérésére akkor, ha valamilyen ismert helyzetű pontokhoz kalibrálva végzik a detektálást.

Napjainkban a tekintetkövető rendszerek területén az egyik legelterjedtebb megoldás a kamerával történő mérés.

### 3. Pupilladetektálás kamerával

Képfeldolgozási szempontból a pupilla detektálásának inputját három alapvető típusra bonthatjuk: sötét pupillakép, világos pupillakép és hibrid [4].

Sötét pupillakép esetén a megvilágító fényforrás az optikai tengelytől egy adott távolságra található. Ekkor a pupilla a kialakult képen sötét színű. Világos pupillakép esetén az optikai tengelyhez közeli, azzal párhuzamos irányultságú fényforrásokat használunk. Ilyenkor a retináról visszaverődő fény miatt a pupilla világos lesz.



3. ábra Hibrid elrendezés

A hibrid megoldásokban mindkét módszert alkalmazták (3. ábra). Megkülönböztethetünk idő- és hullámhosszosztásos technikákat [4]. Időosztásos esetben a két különböző fényforrást az egymás utáni képekre szinkronizáltan, felváltva használják, így világos és sötét pupillakép egyaránt keletkezik. Ez meglehetősen előnyös, hiszen a világos és sötét képek differenciáján (jó eséllyel) csak a pupilla látszik. Hátrány, hogy a pupilla a két kép készítése között elmozdulhat. E hibátényező mértéke függ a mintavételezés frekvenciájától is.

A hullámhosszosztásos megoldás esetében ezt a tényezőt kívánják kiküszöbölni úgy, hogy a két képet optikai szűrőkkel, egy időpillanatban veszik fel. Ekkor az optikai tengelyhez közeli és távoli fényforrásoknak különböző hullámhosszakot választanak, majd a visszavert fényt 3CCD kamerával érzékelik. Ennek előnye, hogy a két különböző hullámhosszú visszavert fény (az-

az a sötét és világos pupillakép) külön csatornán jelenik meg azonos időpillanatban.

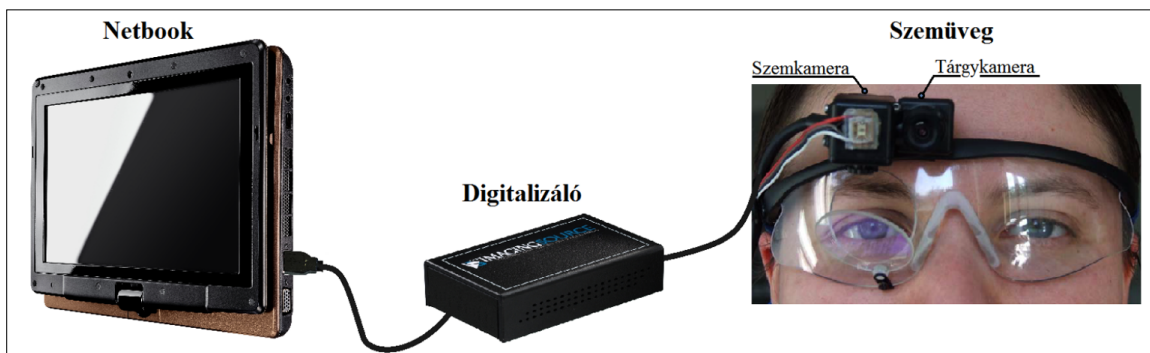
A továbbiakban csak a sötét pupillaképet használó módszereket részletezzük. Számos megoldásban feltételezik, hogy a pupilla fényessége nagymértékben eltér a pupillakép egyéb részeinek fényességétől. Ez lehetőséget ad olyan eljárások használatára, melyek hisztogramküszöbözést alkalmaznak a pupilla, mint objektum detektálására. Sok esetben ezek a megoldások nem használhatók, mivel nem állapítható meg megfelelő küszöbszint. Itt lépnek színre azon eljárások, melyek csak a pupilla lokális tulajdonságait veszik figyelembe, mégpedig azt, hogy a pupilla fényessége eltér a környezetének fényességétől. Ez ad lehetőséget az éldetektáláson alapuló technikáknak. Ide sorolhatjuk a Hough-transzformáció [5] valamely típusát vagy annak továbbfejlesztését, illetve az aktív kontúrokat [6] használó módszereket is.

### 4. Az IKTIVision rendszer

A FormaDisplay Kft. 2008-tól az Új Magyarország Fejlesztési Terv részeként új vizsgálati módszer kialakítását végezte (KMOP-1.1.1-08/1-2008-0038). E projekt keretein belül a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közalapítványban kifejlesztettünk egy IKTIVision nevű tekintéskövető rendszert, mely egy viselhető szemüvegen található két kamerából, egy képdigitalizáló eszközből, illetve egy 1.6 GHz-es, egymagos processzorral és 1GB RAM-al rendelkező netbook-ból áll.

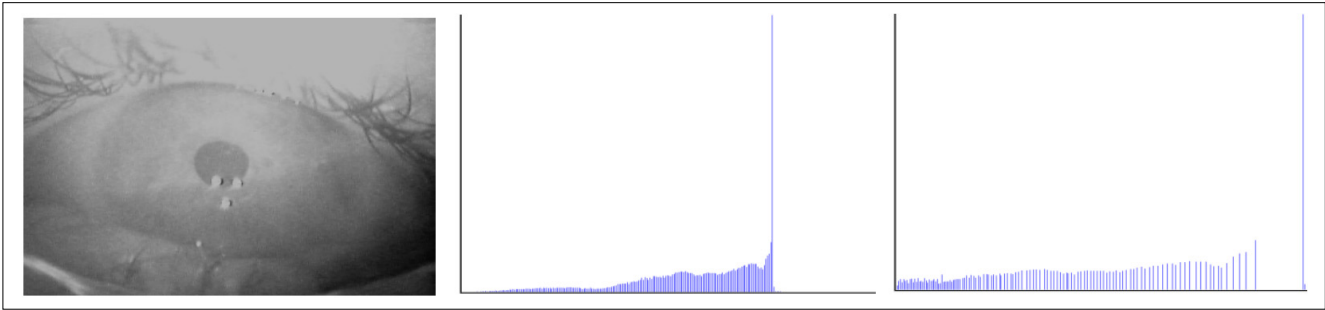
A szemkamera (4. ábra) mellett LED megvilágítás található, mely egy féligáteresztő tükrön keresztül a viselő személy szemét világítja meg. A kamera ennek fényét érzékeli a tükrön keresztül. A tárgykamera előre néz, így a kinyert kamerakép a viselő személy által látott képet reprezentálja.

A mobilis tekintéskövető rendszert a mozgó felhasználó tekintetének és érzelmi állapotának megfigyelésére terveztük úgy, hogy a felhasználót a viselt rendszer a legkevésbé befolyásolja. Az alkalmazási terület megköveteli az alacsony fogyasztású és feldolgozási sebességgel rendelkező eszközök alkalmazását, így a felhasznált algoritmusokat is e követelményekhez igazítottuk. Követelmény volt a valós idejű feldolgozás úgy, hogy párhuzamosításra (többmagos processzorok, grafikus kártya) a fogyasztási követelmények miatt nincs lehetőség.



4. ábra Az IKTIVision rendszer felépítése





5. ábra Egy pupillakép, hisztogramja és kiegyenlített hisztogramja

## 5. Pupilladetektálás és követés

Egy mobilis tekintétkövető rendszer ki van téve a környezeti fényviszonyok változásából adódó zajhatásoknak, melynek következtében a pupillakép kontrasztja annyira lecsökkenhet, hogy a különféle globális mértékeket használó, küszöbözésen alapuló technikák rendre elbuknak a pupilla paramétereinek meghatározásában (5. ábra).

A legtöbb módszer laborkörülmények között jó megoldást ad, de a fényviszonyok változásakor már nem képes a pupilla detektálására. Az IKTIVision rendszerben olyan algoritmusokat dolgoztuk ki, mely a fenti problémákra megoldást kínálva képes a pupilla paramétereinek és a tekintet irányának robusztus meghatározására.

A képfeldolgozási algoritmus két fő lépése (i) a kalibrációs és (ii) a mérési fázis (6. ábra). A kalibrációs lépéseket a mérés megkezdése előtt, kontrollált fényviszonyok mellett kell elvégezni. A kalibrációs fázis fő feladata, hogy egy közelítő transzformációt adjon a két kamerakép között. Ennek menete, hogy a tárgyképen ismert koordinátájú pontokhoz rögzítjük a szemképen a megfelelő pupillavektorokat ( $V_P$ ). A pupilla vektor a LED-ek által kijelölt kamera optikai tengelyéből ( $V_{LC}$ ) a pupilla középpontjába ( $V_{PC}$ ) mutató vektor (7. ábra).

Olyan algoritmusokat (komponenseket) dolgoztunk ki, melyek képesek egy adott pupillaképen a kalibrációs fázisban meghatározni a kamera optikai tengelyét (LD: LED Detektor), valamint a pupilla középpontját és átmérőjét (PDK: Pupilla Detektor és Követő). Ha adott egy tárgyképbeli képpont, akkor a Kalibrátor komponens a fenti

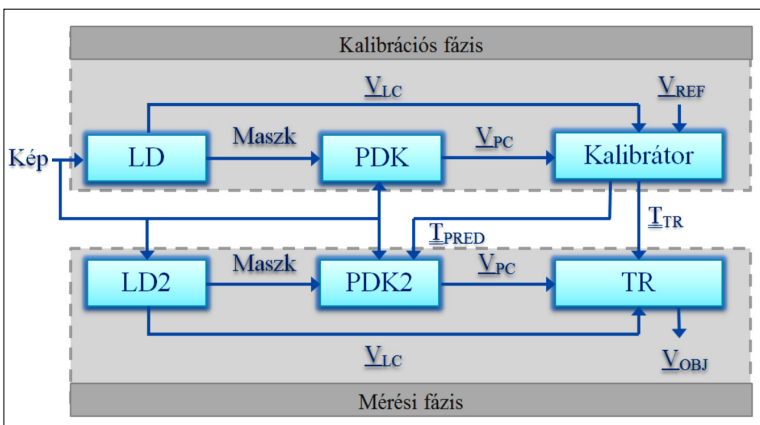
adatok felhasználásával képes eltárolni a paramétereket, majd legalább három kalibrációs pont ( $V_{REF}$ ) megadása után megkeresni a két kamerakép közti transzformációt.

Az LD küszöbözésen alapuló módszerrel keresi meg a lehetséges LED fényforrások képét. A bináris képet szegmentáljuk és kiválasztjuk a LED-eknek megfelelő objektumokat úgy, hogy a priori ismereteinket használjuk fel. A LED fényforrások területére, torzultságára és geometriai elhelyezkedésére vonatkozó paraméterek alapján választjuk ki a legmegfelelőbb jelölteket (8. ábra).

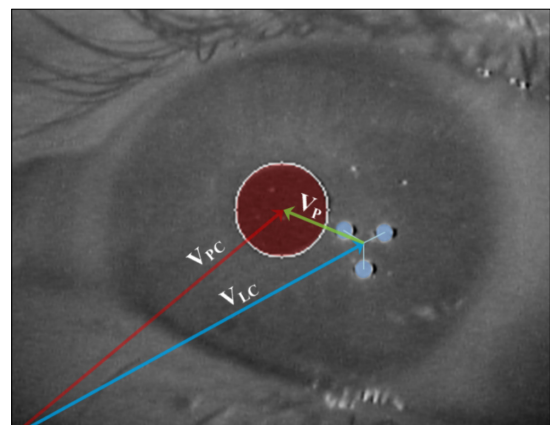
A PDK első körben a pupilla detektálását végzi el. A kép zajszűrése után Canny-élkeresést [7] végzünk a képen (9. ábra bal felső képei). Az élképről eltávolítjuk a LED okozta éleket az LD által kiadott maszk segítségével. A kialakult élkép nem csak a pupillát tartalmazza, ezért szükség van az élpontok szűrésére (9. ábra jobb felső képei). Az eredeti és az élkép felhasználásával soronként végigmegyünk a képen és kiszűrjük azon élpont párokat, melyek a pupilla kezdetét és végét jelenthetik (azaz megfelelő távolságban lévő, nagy abszolút meredekségű átmenetek).

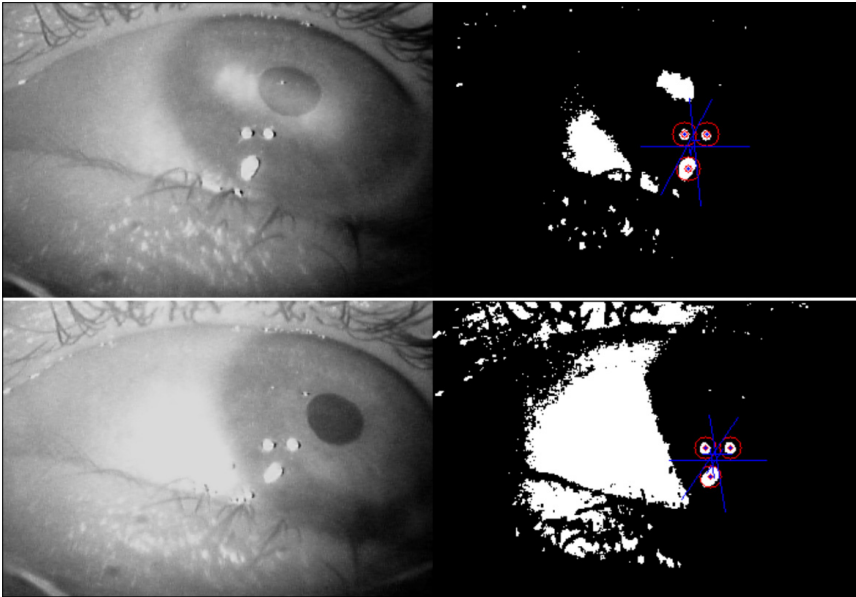
A szűrés után az élpontok klaszterezése következik. Az osztályozásban azt vesszük figyelembe, hogy a pupilla kontúrpointjai egy kisebb szakadásokkal tördelt, viszonylag egybefüggő kontúrnak felelnek meg és a gradiensének irányváltozása közelítőleg konstans. A kialakult pontokat kiegészítjük a kapcsolódó, megfelelő gradiens-változással rendelkező élpontokkal (9. ábra bal alsó képei). Az így kialakult élpont halmazra ellipszist illesztünk (9. ábra jobb alsó képei).

6. ábra Az IKTIVision rendszer feldolgozó modulja



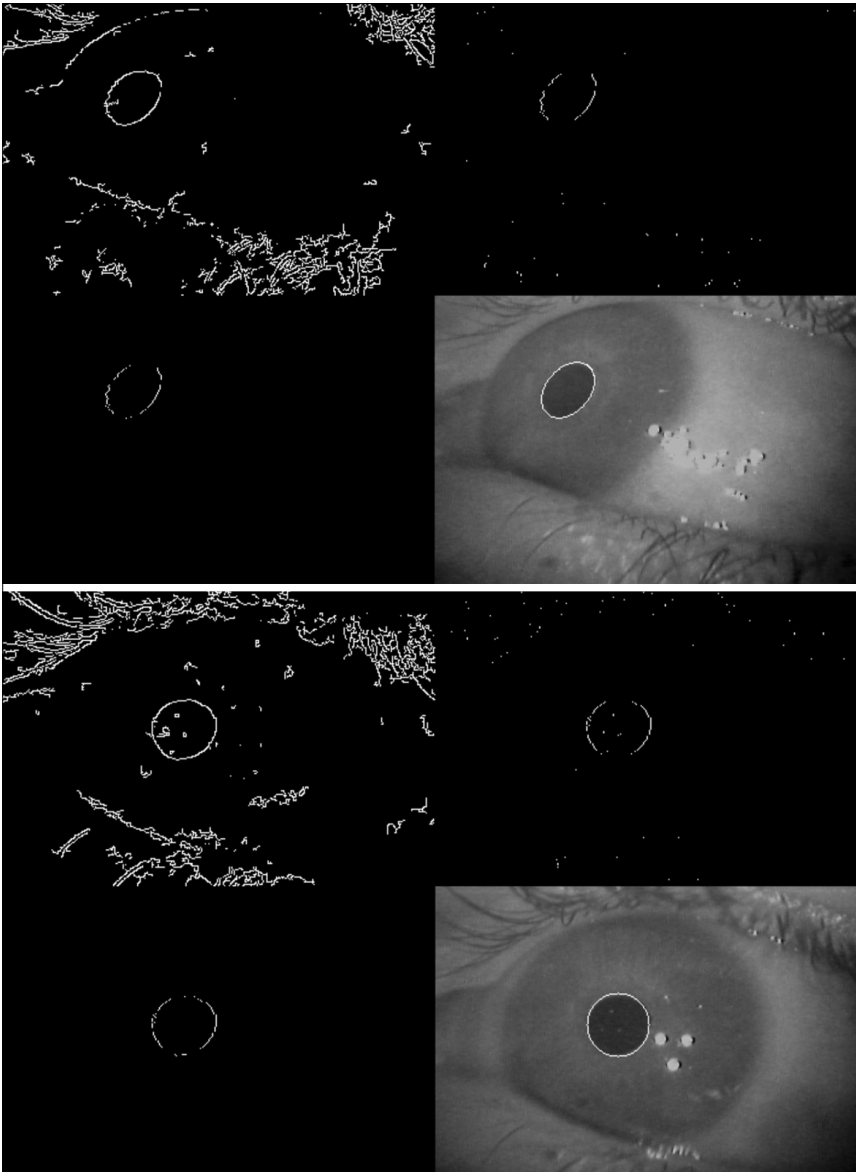
7. ábra A pupilla vektor





8. ábra LD működése

9. ábra Élpontok szűrése és osztályozása



Ha a megelőző időpillanatokban ismertek a pupilla paraméterei, akkor a következő időpillanatra becslést adunk Kalman-szűrő használatával [8]. Ezek után már nem a teljes pupillaképen, hanem csupán a pupilla feltételezett helyén végezzük a detektálást.

A kalibráció lehetőségét biztosít arra, hogy a mérési fázis folyamán a pupilla paramétereinek egy részét (a pupilla középpontját) megbecsüljük. Mindezt úgy tehetjük meg, hogy a kalibrációs pontok megadásakor a *Kalibrátor* eltárolja az optikai tengely helyzetét, illetve a pupilla középpontjának koordinátáit (ld. 7. ábra), majd legalább három pont megadása után egy közelítő transzformációt számít ( $\underline{T}_{\text{PRED}}$ ).

Ez a transzformáció leírja, hogy ha az optikai tengely képe a

$$\underline{V}_{\text{LC}} = (x_{\text{LC}}, y_{\text{LC}})^T$$

pupillakép pontban található, akkor a pupilla középpontja megközelítőleg

$$\underline{V}_{\text{PC}} = (x_{\text{PC}}/s, y_{\text{PC}}/s)$$

pontban található, ahol

$$(x_{\text{PC}}, y_{\text{PC}}, s)^T = \underline{T}_{\text{PRED}} (x_{\text{LC}}, y_{\text{LC}}, 1)^T.$$

A mérési fázisban szintén meg kell határozni az optikai tengely helyzetét (*LD2*), valamint a pupilla paramétereit (*PDK2*). Itt azonban rendelkezésre áll a pupilla középpontjának becslött pozíciója, így a keresési terület szűkíthető. A pupilla detektálása az előző módszerhez hasonlóan működik, de csak a szűkített területet vizsgálja. Sikeres detektálás után a következő keresési terület itt is becsülhető Kalman-szűrő segítségével. Először a két keresési metszeten végezzük el a detektálást. Ha ez nem vezet eredményre, akkor a keresési területek unióján végezzük el ugyanezt. Ez a kitétel növeli a feldolgozási sebességet, ugyanakkor biztosítja a robusztusságot is a mérési fázisban.

A tekintet iránya a *PDK2* által meghatározott  $\underline{T}_{\text{TR}}$  transzformációs mátrix alkalmazásával kapható meg:

$$\underline{V}_{\text{OBJ}} = (x_{\text{OBJ}}/s, y_{\text{OBJ}}/s)^T,$$

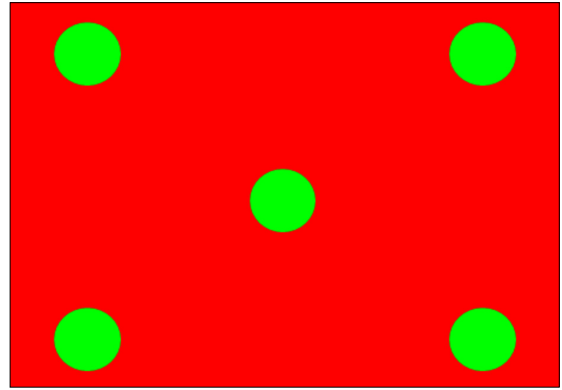
ahol  $(x_{\text{OBJ}}, y_{\text{OBJ}}, s)^T = \underline{T}_{\text{TR}} (x_{\text{P}}, y_{\text{P}}, 1)^T$ .

## 6. Eredmények

A rendszer működését többféle környezetben vizsgáltuk. A rendszer valós időben végezte a pupillakövetést úgy, hogy az eredményeket és a mozgóképet fájlba rögzítette.

Környezet	Sikeresség	Effektív sikeresség
Kontrollált fényviszonyok	88,2%	98,3%
Változó fényviszonyok	69,8%	81,6%

1. táblázat Mérési eredmények

10. ábra  
Automatikus kalibrációs minta

2. táblázat Kalibrációs idők

Rendszer	Kalibráció	T <sub>min</sub>	T <sub>avg</sub>
ASL Mobil Eye	Manuális	92 s	211 s
IKTIVision	Manuális	40 s	124 s
IKTIVision	Automata	15 s	89 s

Az 1. táblázat foglalja össze a mérések eredményeit. A *sikeresség* oszlopban a sikeres mérések számának aránya látható az összes méréshez képest, százalékban. Az *effektív sikeresség* oszlopban csak azon mérések szerepelnek, ahol a pupilla a képen látható volt és a mérési tartományon belül helyezkedett el.

A képdigitalizáló eszköz 640x480-as felbontásban biztosítja a kameraképeket, melyet 29,97 képkocka/másodperc frekvenciával képes a számítógép felé továbbítani. Mérés közben a rendszer a pupilla paramétereit és a tárgykamera képét a merevlemezre menti PICVIDEO MJPEG kódolásban.

A szoftver kétféle kalibrációs módszert is támogat: (i) manuális és (ii) automatikus.

A manuális kalibráció során a kezelő kijelöli a tárgykamera képén azt a pontot, ahova az eszközt viselő felhasználó éppen néz. Legalább három (nem egy egyenesre eső) pont sikeres felvétele után a rendszer a kalibrációs paraméterekeket elmenti. Az automatikus kalibráció közben a felhasználó egy kalibrációs mintát (10. ábra) néz, melyet a rendszer automatikusan felismer. A kezelőnek ebben az esetben csak megerősítenie kell, hogy a felhasználó a megfelelő kalibrációs pontra néz a táblán.

A vizsgálatok során kiderült, hogy a kalibráció gyorsan elvégezhető. Mindkét kalibráció típushoz szükséges időt vizsgáltuk a gyakorlati mérések során is, az eredmények összevetésére kerültek a piacon igen elterjedt ASL Mobil Eye mobilis tekintetkövető rendszer kalibrációs időivel. A 2. táblázat mutatja a minimális (T<sub>min</sub>) és az átlagos (T<sub>avg</sub>) kalibrációs időket.

A szoftver-erőforrás felhasználása is tesztelésre került. A 3. táblázatban látható számítógép konfigurációkon vizsgáltuk a szoftvert.

Az erőforrások felhasználása szempontjából három figyelemre méltó esetre bontható a vizsgálat: (i) a pupilla-detektálás, (ii) az automatikus kalibráció és (iii) a felvétel (mérés) esete.

Az automatikus kalibráció alkalmával ugyanis a tárgykamera képe is feldolgozásra kerül, ami növeli az erőforrás felhasználás mértékét. Mérés közben pedig a pupilla paraméterek meghatározása mellett a videófolyam tömörítésére és merevlemezre írására is szükség van, ami szintén extra erőforrás felhasználásával jár.

Az egyes konfigurációk átlagos processzor használatát mutatja százalékosan a 4. táblázat, a felhasznált fizikai memória mennyiségét pedig az 5. táblázatban olvashatjuk. Érdemes megjegyezni, hogy a tesztek során a hagyományos algoritmusok a „B” és „C” konfigurációkon nem voltak használhatók 30 képkocka/másodperc sebességnél.

A pupilla követése miatt azon képkockákra, melyeknél ismert a pupilla előző helyzete és/vagy a pupilla helyzetbecslő helyesen lett kalibrálva, a detektálás a kép csak egy részén történik. Ekkor a processzorhasználat csökkenése volt megfigyelhető.

A mérések során a „B” és a „C” jelű konfigurációk átlagos üzemidejét is megvizsgáltuk. Mindkét konfiguráció-

Konfig.	Típus	CPU	CPU sebesség	CPU magok	Fizikai memória	Operációs rendszer
A	Acer TimelineX	Intel Core i5	2.3 GHz	2	4 GB	Windows 7 (64bit)
B	Gigabyte BookTop	Intel Atom	1.6 GHz	1	1 GB	Windows 7 (32bit)
C	Gigabyte TouchNote	Intel Atom	1.6 GHz	1	1 GB	Windows XP (32bit)

3. táblázat  
A tesztekben használt hordozható számítógép konfigurációk

4. táblázat

A konfigurációk átlagos processzorhasználat

Konfig.	Pupilla-detektálás	Automatikus kalibráció	Felvétel (mérés)
A	2,9%	3,6%	8,2%
B	42,8%	46,9%	47,3%
C	41,1%	46,2%	46,8%

5. táblázat

A konfigurációk átlagos fizikai memória használata

Konfig.	Pupilla-detektálás	Automatikus kalibráció	Felvétel (mérés)
A	46 884 KB	48 012 KB	41 780 KB
B	32 904 KB	32 932 KB	32 544 KB
C	33 231 KB	33 272 KB	32 767 KB

ban megközelítőleg 4400 mAh kapacitású akkumulátor található, ezzel a rendszer átlagosan 92 perc folyamatos mérést tett lehetővé az akkumulátorok töltése nélkül.

## 7. Összefoglalás

Olyan mobilis tekintetkövető rendszerek számára dolgoztunk ki a pupilla paraméterek új mérési módszereit, amelyek esetén a hagyományos globális, küszöbösen alapuló technikák rendre elbuknak. Az élpontok szűrésén és osztályozásán alapuló pupilladetektáló algoritmus lehetőséget biztosít a paraméterek robusztus meghatározására, melyre nagy szükség van a mozgó tekintetkövetésre jellemző változó fényviszonyok miatt. A bemutatott rendszert kutatási projekteknél, ipari és kereskedelmi mérésekben egyaránt használatba vették, ahol a mérési módszer bizonyította alkalmazhatóságát a tekintetkövetés és a pupilla paraméter meghatározás feladataira.

A rendszer továbbfejlesztését két lépcsőben képzeljük el. A meglévő rendszerben infravörös sávszűrés használatát kívánjuk megvalósítani és a szoftvert a kialakult új mérési elrendezéshez igazítani. A rendszer robusztussága a szűrés segítségével tovább növelhető.

Majd egy új tekintetkövető eszköz kidolgozását tűzzük ki célul, mely a hibrid technológiát használja fel a pupillaparaméterek meghatározására. Ezzel lehetővé válhat a mobil tekintetkövetés beágyazott eszközökkel történő megvalósítása, mely nagymértékben növeli az eszköz hordozhatóságát. Egy ilyen eszköz a hibrid megoldás alacsony feldolgozási igényével felvértezve egy új kategóriát teremthet a mobil tekintetkövető rendszerek területén.

### A szerzőről



**HELFENBEIN TAMÁS** 2008-ban szerezte meg MSc fokozatát a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen. 2006-2008-ig a Magyar Tudományos Akadémia Központi Fizikai Kutatóintézetében (KFKI) végzett nagyméretű adathalmazok információs- és adatbázis technológiájára vonatkozó kutatás-fejlesztési feladatokat. 2006-tól a Forrai Magániskola és Kéttannyelvű Középiskola óraadó tanára adatbázis- és információs rendszerek témakörében. 2008-2011-ig a BME doktori iskoláját végezte, emellett mindvégig a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közalapítvány (BZAKA) ösztöndíjas kutatója volt. Az egyetemen és az alapítványban a gépi látás és képfeldolgozás témakörre mellett számos vezeték nélküli szenzorrendszerekkel és ambiens intelligenciával kapcsolatos nemzetközi kutatási és fejlesztési projektben is részt vett. 2011-től a BZAKA kutatója, ahol a képfeldolgozás, gépi látás és a vezeték nélküli szenzorrendszerek témakörében végez kutatási tevékenységet.

### Irodalom

- [1] Plotkin, A., Shafrir, O., Paperno E., Kaplan, D.M., "Magnetic Eye Tracking: A New Approach Employing a Planar Transmitter", IEEE Transactions On Biomedical Engineering, Vol. 57, No. 5., pp.1209–1215., 2010.
- [2] Lin, M., Li, B., "A Wireless EOG-based Human Computer Interface", 3rd International Conference on Biomedical Engineering and Informatics, pp.1794–1796., 2010.
- [3] Gang, W., "Gaze Tracking Using One Fixed Camera", 7th International Conference on Control, Automation, Robotics And Vision, pp.1409–1414., 2002.
- [4] Morimoto, C.H., Koons, D., Amir, A., Flickner, M., "Pupil detection and tracking using multiple light sources", Image and Vision Computing 18, pp.331–335., 2000.
- [5] Duda, R.O., Hart, P.E., "Use of the Hough Transformation to Detect Lines and Curves in Pictures", Comm. ACM, Vol. 15, pp.11–15., 1972.
- [6] Bastos, C.A. C.M., Ren, T.I., Calvalcanti, G.D.C., "A Combined Pulling & Pushing and Active Contour Method for Pupil Segmentation", IEEE Trans.: Acoustics Speech and Signal Proc., pp.850–853., 2010.
- [7] Canny, J., "A Computational Approach To Edge Detection", IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 8(6), pp.679–698., 1986.
- [8] Kalman, R.E., "A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems", Transactions of the ASME – J. of Basic Engineering, 82 (Series D), pp.33–45., 1960.

# Kapcsolt kapacitású szűrő tervezése orvosbiológiai alkalmazásokhoz

SZALAI ALBIN, HORVÁTH GYULA

BME Elektronikus Eszközök Tanszék

{szalai, horvath}@eet.bme.hu

Lektorált

*Kulcsszavak: kapcsolt kapacitású szűrő, analóg szűrőtervezés, integrált áramkörtervezés, orvosbiológiai alkalmazás*

**Cikkünkben egy extrém alacsony frekvencián vágó nagy meredekségű aluláteresztő szűrő integrált áramköri tervezésének problémakörét mutatjuk be. Ismertetjük a megvalósításhoz nélkülözhetetlen kapcsolt kapacitású technikát, melynek segítségével  $M\Omega$  nagyságrendű ellenállások valósíthatók meg nagy precizitással. Bemutatjuk két klasszikus szűrőstruktúra (Tow-Thomas biquad, létrahálózatos LC) kapcsolt kapacitású megfeleltetését, és ezekkel két matematikai modell alapján (Csebishev, Cauer) megtervezett szűrőt valósítunk meg. Külön tárgyaljuk a kapcsolt kapacitású áramkörök szimulációjának módszereit, amikkel lehetőség nyílik a szűrők frekvencia-tartománybeli válaszainak meghatározására.**

## 1. Bevezetés

A mai elektronikus alkalmazások egy kiemelten fontos területe az orvosbiológia. Ez értendő az orvosi műszerekre és az emberi testbe ültetett implantátumokra egyaránt. Az Elektronikus Eszközök Tanszékén jelenleg egy olyan bőr alá ültethető implantátumot fejlesztünk, ami a szívről jövő jeleket mér és kiküldi egy külső egység számára. Jelen cikkben ennek a projektnek egy kritikus részét, az értékes frekvenciatartomány zavaró jelektől való megszüntetését tárgyaljuk. A projektben együttműködő Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék kutatói mérések alapján arra a következtetésre jutottak, hogy a kiértékeléshez szükséges frekvenciatartomány 0 Hz és 40 Hz között van. Ez nagy kihívást jelent, mivel a kórházi környezetben, ahol az eredmények kiértékelése is történik, a jelenlevő műszerek és elektromos berendezések miatt a hálózathoz származó 50 Hz-es zavar elnyomja az érzékelő hasznos jelét.

A teljes implantátum tartalmazni fog egy kis teljesítményű DSP-t, ami a hasznos jel feldolgozását fogja végezni. A szűrést elvileg ezzel a DSP-vel is elvégezhetnénk, de ez megnövelné a DSP méretét, fogyasztását és árát is. A feladat egy kis méretű, alacsony fogyasztású analóg szűrő tervezése, amely 40 Hz-ig átenged, fellette pedig legalább 50 dB-t csillapít.

A legnagyobb problémát az jelenti, hogy az alacsony vágási frekvencia miatt a hagyományos tervezési eljárásokkal olyan nagy értékű kapacitások és ellenállások adódnak, amiket monolit technikában csak speciális rétegekkel (melyekkel nehéz tervezni és drágák [1]) vagy egyáltalán nem lehet megvalósítani. A megoldást a kapcsolt kapacitás jelenti. Ennek a technikának a segítségével kapacitással és MOS tranzisztorokkal tudunk nagyértékű ellenállásokat megvalósítani. A meglévő hagyományos szűrőkapcsolásokat felhasználva úgy alakíthatunk ki kapcsolt kapacitású áramköröket, hogy az eredeti kapcsolás kapacitásait a megvalósítható tarto-

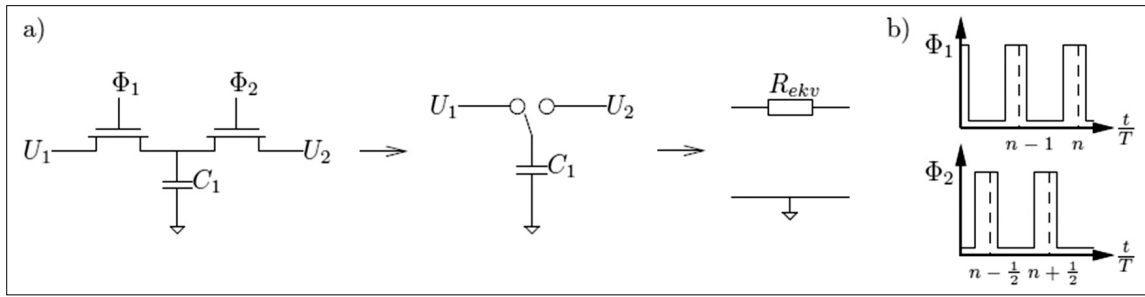
mányba csökkentjük, és az így adódó nagyértékű ellenállásokat kapcsolt kapacitással valósítjuk meg. Természetesen így a hálózat már nem folytonos, ennek az átterésnek következményei vannak, amiket a hálózat tervezésekor számításba kell venni.

Először rendszerezünk azokat a szűrőkkel kapcsolatos ismeretanyagokat, amik a konkrét hálózat megvalósításához szükségesek. A kapcsolt kapacitású szűrők elméletét a tervezési problémák oldaláról próbáljuk megközelíteni és végül a szimulációs lehetőségeket, problémákat is tárgyaljuk.

## 2. Kapcsolt kapacitású szűrők

A szilíciumon megvalósított aktív szűrők legnagyobb problémája, hogy nagyon korlátozott a megvalósítható passzív elemek nagysága. A kondenzátorok kapacitása maximum 6-700 pF, az ellenállások maximális ellenállása pedig néhány száz k $\Omega$  lehet. Alacsony vágási frekvencián ezeknél az értékeknél lényegesen, akár több nagyságrenddel nagyobb értékek is szükségesek lehetnek. A kapcsolt kapacitású technikával ez a korlát kerülhető meg. Ha a hálózatban szereplő kapacitások értékét a megvalósítható tartományba csökkentjük, akkor  $M\Omega$ ,  $G\Omega$  nagyságrendű ellenállások adódnak. Ezeket a nagyértékű ellenállásokat lehet nagy pontossággal megvalósítani kapcsolt kapacitású ellenállásokkal. A szűrő struktúrája nem változik meg ettől, azonban a szűrő ekkor már nem folytonos, hanem diszkrét hálózat. A szakirodalom mintavételezett analóg rendszerként tárgyalja.

A kapcsolt kapacitások nagy előnye, hogy mivel az ekvivalens ellenállás értékét az alkalmazott kapacitás és a kapcsolókat vezérlő órajel frekvenciája határozza meg, ezért a már legyártott eszköz ekvivalens ellenállás értékét a kapcsoló frekvencia változtatásával hangolhatjuk. Ezzel a módszerrel egy szűrő vágási frekvenciája akár 0,2% pontossággal is beállítható. A mintavételezés-



1. ábra  
A rezgő-  
kondenzátorral  
megvalósított  
ekvivalens  
ellenállás

nek a maximális működési frekvenciához képest több 10-szeresnek-100-szorosnak kell lennie, ezért a tipikusan használt maximális vágási frekvenciák a néhány MHz nagyságrendbe esnek. Ez az egyik hátránya ennek a technikának. Mivel a kapcsolt kapacitás a valódi ellenállás zajteljesítményét szolgáltatja, ezért a kapcsolt kapacitású szűrők a legzajosabbak. Az órajel is előrecsatolódik a szűrő kimenetére, s az alkalmazástól függ, hogy ez a nagyfrekvenciás zavar megengedhető-e vagy sem. Ami egyedülálló a többi szűrőhöz képest, hogy 0,1 Hz határfrekvencia is megvalósítható ésszerű méretek mellett. Annak következtében, hogy a kapcsolt kapacitású szűrő mintavételezett hálózat, szivárgás (aliasing) léphet fel, amennyiben a bemeneti jel a mintavételezési frekvencia felénél nagyobb frekvenciájú és még érzékelhető amplitúdójú komponenseket tartalmaz, vagyis nem sávhatárolt.

**a) A kapcsolt kapacitású technika elméleti alapjai**

A kapcsolt kapacitású technika lényegét a legszemléletesebben a rezgőkondenzátorral megvalósított ellenálláson lehet bemutatni (1. ábra) [2].

A két NMOS tranzisztor kapcsolóként működik és két egymással át nem lapolódó órajellel vezéreljük őket. Minden balról-jobbra történő átkapcsolás során először az  $U_1$  feszültségű ponton feltöltődik az  $U_1$  feszültségre, majd a töltést átviszi az  $U_2$  feszültségű pontra, vagyis lényegében töltéstranszport történik. Amikor a kapacitás az  $U_1$  feszültségű pontra kapcsolódik, a töltése  $Q_1 = C \cdot U_1$ . Az  $U_2$  feszültségű ponthoz kapcsolódva a töltés új értéke  $Q_2 = C \cdot U_2$ , így a két csomópont között szállított töltés

$$\Delta Q = Q_1 - Q_2 = C \cdot (U_1 - U_2). \quad (1)$$

A kapcsoló órajelnek megfelelően egy  $T=1/f_s$  hosszúságú periódus alatt egyszer viszi át ezt a töltésmennyiséget a két csomópont között. A töltésáramlás definíciószerűen áramot jelent, s így azt mondhatjuk, hogy a rezgő kapacitás hatására áram folyik a két pont között. Ha a két csomópont frekvenciájához képest sokkal (10-100-szor) gyorsabban kapcsolgatjuk a kapacitást,  $U_1$  és  $U_2$  között az átfolyó áram átlagos értéke

$$I_{ekv} \cong \frac{\Delta Q}{T} = \Delta Q \cdot f_s = f_s \cdot C(U_1 - U_2) \quad (2)$$

A két pont feszültségkülönbsége és az átfolyó áram hányadosaként definiálhatunk egy  $R_{ekv}$  ekvivalens ellenállást, amelyet a továbbiakban az áramkör jellemzésére használhatunk:

$$R_{ekv} = \frac{U_1 - U_2}{I_{ekv}} = \frac{1}{C_1 \cdot f_s} \quad (3)$$

**b) A z-transzformáció fontosabb következményei**

A kapcsolt kapacitás következtében egy kapcsolt kapacitású áramkör mintavételezett hálózatnak tekinthető. A mintavevő fázis alatt némileg változik ugyan a bejövő jel értéke, átkapcsoláskor viszont a kapacitás az adott végső értéken van, tehát jóformán érdektelen, hogy milyen kis mértékben változott a töltése a mintavevő szakaszban. Ennek megfelelően a hálózat a bemeneti jelet mintavételezi és úgy dolgozza fel. A folyamat matematikailag úgy írható le, hogy a bemeneti belépő  $x(t)$  jelet megszorozzuk egy mintavevő  $s(t)$  (sampling) jellel. A mintavevő jel egy periódusban általános esetben  $\tau$  ideig végzi a mintavételezést.

Eszerint a mintavett jel időbeli leírása a következő:

$$x_s(t) = x(t) \cdot s(t) = K \sum_{n=0}^{\infty} x(nT) [\varepsilon(t - nT) - \varepsilon(t - nT - \tau)] \quad (4)$$

ahol  $\varepsilon(t)$  az egységugrás függvény. A  $K$  szorzó értéke  $1/\tau$ , ezzel normalizáljuk azonos teljesítményre a mintavételezett jelet. Mivel ez folytonos időtartománybeli leírás, elvégezhető rajta a Laplace-transzformáció:

$$X_s(s) = L\{x_s(t)\} = K \sum_{n=0}^{\infty} x(nT) \left( \frac{1}{s} e^{-snT} - \frac{1}{s} e^{-(snT+\tau)} \right) = \frac{1}{\tau} \frac{1 - e^{-s\tau}}{s} \sum_{n=0}^{\infty} x(nT) e^{-snT} \quad (5)$$

A szummázás előtti állandó a  $\tau$  mintavételező pulzus hosszától függ,  $\tau$  értéke azonban általában annyira kicsi, hogy a határérték számítást elvégezve az állandó 1-nek adódik. Figyelembe véve, hogy egy mintavevő pulzus integrálja 1, és a  $\tau$  időtartam 0-hoz tart, az  $s(t)$  mintavevő jel jó közelítéssel Dirac-delták sorozatának tekinthető. Ez (5)-ből is látszik, hiszen a szummázáson belül minden  $e$ -ados tag egy  $nT$  idővel eltoló Dirac-delta.

(5) átírható:

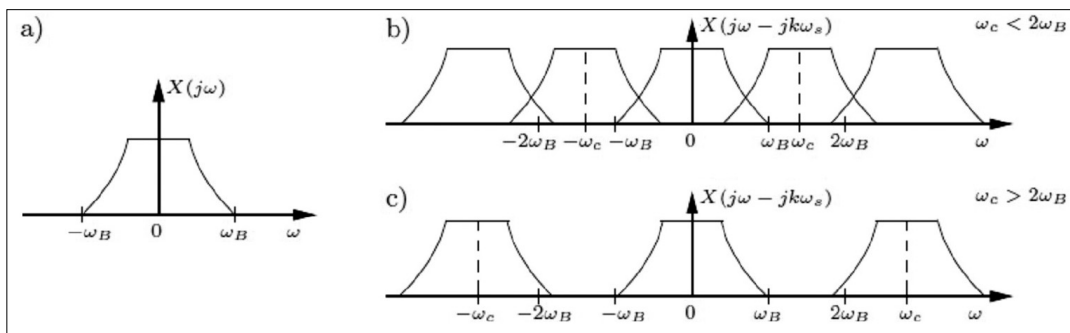
$$X_s(s) = \sum_{n=0}^{\infty} x(nT) e^{-snT} = \sum_{n=0}^{\infty} x(nT) z^{-n}, \quad (6)$$

ahol bevezettük a  $z = e^{sT}$  változót. Ez az  $x_s(t)$  jel egyoldalas z-transzformáltja, ahol a  $T$  periódusidő érdektelen, ezért elhagyható (vagy egy más felfogás alapján értéke elméletben 1-nek vehető). Az új jelöléssel, ahol a z-transzformáció szimbóluma is jelölve van:

$$L\{x(nT)\} = Z\{x(n)\} = X(z) = \sum_{n=0}^{\infty} x(n) z^{-n} \quad (7)$$

Mivel a frekvenciatartománybeli viselkedés a vizsgálatunk legfőbb témaköre, nézzük meg, hogy mit okoz

2. ábra  
 a) Alapsávi spektrum  
 b) Helytelen mintavételezés  
 c) Helyes mintavételezés



a mintavételezés a frekvenciatartományban. Az  $s(t)$  mintavető jel Fourier-sora:

$$s(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} C_k e^{jk\omega_c t}, \quad (8)$$

ahol  $\omega_c = 2\pi/T$  a mintavételi körfrekvencia és

$$C_k = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{+\frac{T}{2}} s(t) e^{-jk\omega_c t} dt = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{+\frac{T}{2}} \delta(t) e^{-jk\omega_c t} dt = \frac{1}{T}, \quad (9)$$

így

$$\begin{aligned} F\{x_s(t)\} &= F\{x(t)s(t)\} = \\ &= F\left\{\frac{1}{T} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-jk\omega_c t}\right\} = \\ &= \frac{1}{T} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} F\{x(t) e^{-jk\omega_c t}\} \end{aligned} \quad (10)$$

A mintavételezett jel spektruma tehát

$$X_s(j\omega) = \frac{1}{T} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} X[j(\omega - k\omega_c)] \quad (11)$$

(11) következménye, hogy a bemeneti  $x(t)$  jel alapsávi spektruma a mintavételezés következtében feltranszformálódik az  $\omega_c$  mintavételi frekvencia egész számú többszöröseire. Ebből az következik, hogy az  $\omega_B$  sáv szélességű bemeneti jelet (2/a. ábra) Shannon mintavételezési törvénye szerint legalább  $2\omega_c$  körfrekvenciával kell mintavételezni (2/c. ábra), hogy elkerüljük a többszörözött spektrumok átlapolódását (2/b. ábra).

Ez a feltétel a gyakorlatban több szempontból kifolyólag is teljesül. A mintavételi frekvenciát a sáv szélesség többszörösére választják, hogy az áramkör a folytonos működést minél inkább közelítse. Másrészt a gyakorlati bemenő jelek nem sávhatároltak,  $\omega_B$  felett ha máshonnan nem is, zajforrásokból származó komponenseket tartalmaznak. Ez a tartomány  $\omega_c$  többszörösére felkeveredve éppen az alapsávba kerülhet. Ennek megelőzésére a szűrő bemenetén egy úgynevezett anti-alias-

ing aluláteresztő szűrőt helyeznek el, amely  $\omega_B$ -ig átereszt, afölött vág. Ha  $\omega_c$  jóval nagyobb, mint  $\omega_B$ , az anti-aliasing szűrőnek sokkal enyhébb specifikációnak kell megfelelnie, jóval tágabb lesz az átmeneti tartománya, így első- vagy másodfokú aktív szűrő, de akár egy RC-tag is el tudja látni ezt a feladatot. Mindezekből következik, hogy a kapcsolt kapacitású áramkör kimenetére is el kell helyezni egy egyszerű szűrőt, amely a többszörözött spektrumokat kiszűri és csak alapsávban enged át.  $\omega_c$  tekintetében tehát a kimeneti helyreállító (reconstruction) szűrő szempontjából is előnyös a túlmintavételezés.

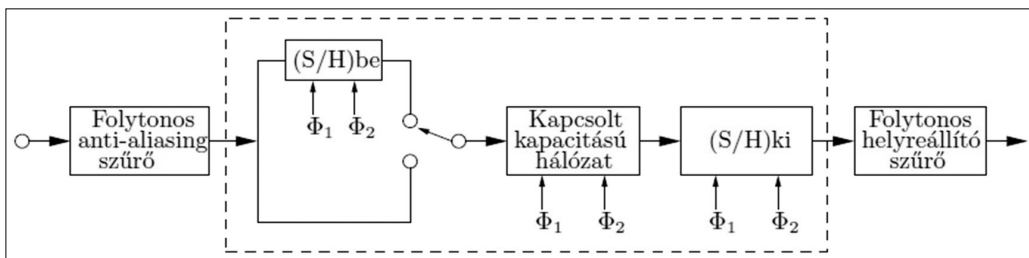
A kimeneti szűrés a kimeneti jel lépcsőzöttségét is enyhíti. A lépcsőzöttség abból adódik, hogy  $\Phi_2$  alatt a kimenet nem változik, tartja kiindulási értékét. A mintavételezés tehát együtt jár a tartással is, a kapcsolt kapacitású rendszer hálózatelméleti felépítését ábrázoló blokkdiagram ezért ki- és bemeneti elméleti mintavető-tartó (S/H: Sample and Hold) egységgel egészül ki (3. ábra). (A valóságban az S/H blokkok magában a kapcsolt kapacitású hálózatban realizálódnak.)

A kimeneten viszont nem a 2/c. ábrának megfelelő azonos súlyú spektrumok közül kell szűrni. A tárgyalás során (5) szummációs indexe előtti tagot 1-el közelítettük. A kifejezésben  $s$ -sel, a valós frekvenciatartományba való áttérés után  $j\omega$ -val való szorzás is van. Az alapsávban a közelítés jogos volt,  $\omega_c$  többszörösein viszont a kifejezés 1-től való eltérése számottevővé válik. A kifejezésben  $\tau$ -t  $T$ -vel lehet helyettesíteni, mivel a mintavételezés után a vett érték  $T$  ideig nem változik, így a kifejezést átírva, képletesen az elméleti S/H egység átvitele:

$$H_{S/H}(s) = \frac{1 - e^{-sT}}{sT}, \quad (12)$$

ami a  $j\omega$  tengelyen így módosul:

$$\begin{aligned} H_{S/H}(j\omega) &= \frac{1 - e^{-j\omega T}}{j\omega T} = \\ &= \frac{e^{j\omega T/2} - e^{-j\omega T/2}}{j\omega T} \cdot e^{-j\omega T/2} = \frac{\sin\left(\frac{\omega T}{2}\right)}{\frac{\omega T}{2}} \cdot e^{-j\omega T/2} \end{aligned} \quad (13)$$

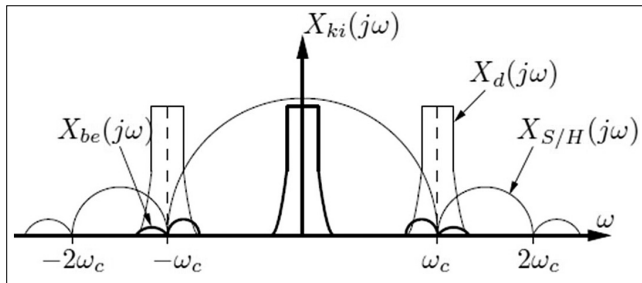


3. ábra  
 Egy általános kapcsolt kapacitású rendszer elméleti blokkdiagramja

Az S/H funkció miatt tehát a rendszer átvitele a  $\sin(x)/x$  függvény szerint súlyozódik. Ennek a hatása a mintavételi frekvencia többszörösein válik láthatóvá, ahogy a 4. ábra is mutatja, ahol a kimeneti spektrum látható, a helyreállító szűrő bemenetén.

**c) A z- és s-tartomány különbségei a tervezés szempontjából**

Mivel a kapcsolt kapacitású szűrőt folytonos jel szűrésére használják, a folytonos szűrőkre kidolgozott közelítési eljárások használatosak kapcsolt kapacitású szűrő karakterisztikájának specifikálásakor is. De hogy módosítja az eljárást azt, hogy a kapcsolt kapacitású hálózat korrekt leírása a z-tartományban történik?



4. ábra A mintavett rendszer kimeneti spektruma a helyreállító szűrő előtt

Az s-tartomány változója  $s = \sigma + j\omega$ , az s- és z-tartomány közötti áttérés definíciója

$$z = e^{sT} = e^{\sigma T} e^{j\omega T} \quad (14)$$

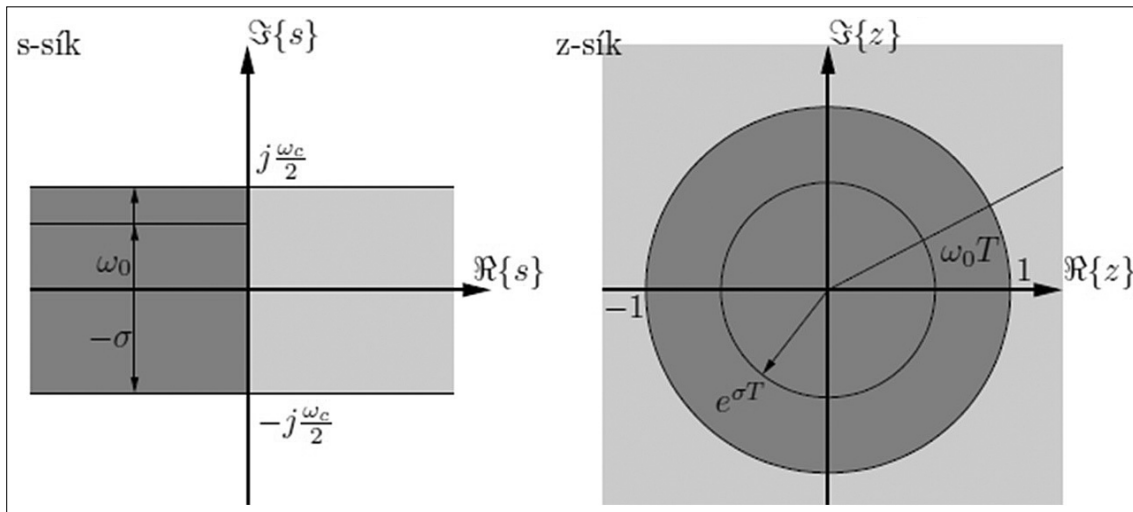
z abszolút értéke

$$|z| = e^{\sigma T}, \quad (15)$$

ami  $\sigma < 0$  esetén (s a baloldali síkon van a lenti, 5. ábrán)  $|z| < 1$ -et eredményezi. Valós, fizikai frekvenciákra ( $\sigma = 0, s = j\omega$ )

$$|z| = |e^{j\omega T}| \equiv 1 \quad (16)$$

Tehát (14) az s-sík  $j\omega$  tengelyét a z-síkban az egységkörre képezi le, az s-sík bal felét pedig az egységkörön belülre. Az s-sík jobb oldala a z-tartomány egységkörén kívülre képződik le. így az egyik különbség, hogy a folytonos tartományban a  $j\omega$  tengelyen megadott szűrő specifikációk az egységkörre kerülnek át a z-síkon, valamint a folytonos s-tartomány stabil pólusai a z-tartományban az egységkörön belül helyezkednek el.



6. ábra Nemlineáris leképezés  $\omega$  és  $\omega_f$  között

5. ábra Leképezés az s-tartományból a z-tartományba

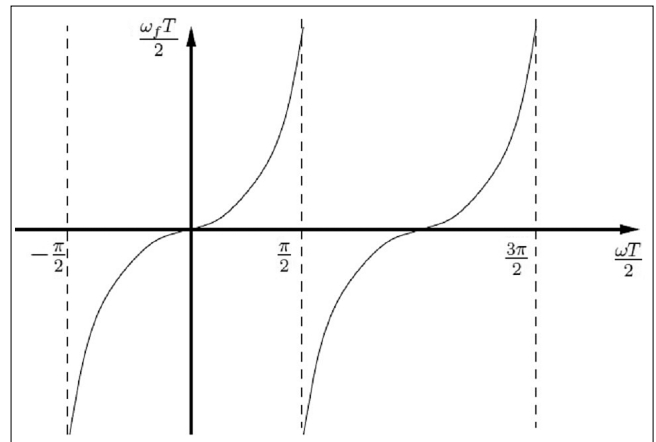
A két tartomány között jelentős eltérés fakad abból, hogy (14) leképezés z-t periodikussá teszi, ugyanis (14) kitevőjéhez  $j2\pi m$ -et adva z nem változik, ahol m bármilyen egész szám. Ezért (14) leképezés az s-tartományban csupán egy vízszintes szeletét viszi át, amelyre igaz, hogy  $|\omega| < \omega_c/2$ . Az s-sík további részeinek leképezéséhez további z-síkok szükségesek, mivel ezek a tartományok ugyanazon a z-síkon átlapolnák egymást.

**d) Specifikáció átranzformálása mintavételezett tartományba**

Mindezek után már csak azt kell tudni, hogyan adható meg a specifikáció a z-tartományban jellemzett kapcsolt kapacitású szűrőre. Ami eddig ismert, az az, hogy  $z = e^{sT}$  összefüggéssel térünk át a mintavételezett frekvenciatartományból a z-tartományba, amely a  $-\omega_c/2$ -től  $\omega_c/2$ -ig terjedő tartományt túllépve periodikusan ismétlődik, nem hordoz új információt. Használjuk s-t ennek a tartományban a változójaként! A szűrés feladat a megkülönböztetésül f index-szel ellátott  $s_f(\omega_f)$  folytonos tartományban van megadva, amely  $-\infty$ -tól  $+\infty$ -ig terjed. Tehát egy olyan leképezést kell találni a két tengely között, amely a  $(-\infty; +\infty)$  intervallumot periodikusan átviszi a  $[-\omega_c/2; +\omega_c/2]$  intervallumba. Ilyen leképezést nem nehéz találni, a tangens függvény megfelelő erre a célra (6. ábra).

A transzformációs függvény:

$$\omega_f = \frac{2}{T} \tan\left(\frac{\omega T}{2}\right) \quad (17)$$





ahol az  $1/T$  tag bevezetése biztosítja, hogy  $\omega T \ll 1$  esetén:

$$\omega_f = \frac{2}{T} \tan \frac{\omega T}{2} \Big|_{\omega T \ll 1} \approx \frac{2}{T} \frac{\omega T}{2} = \omega \quad (18)$$

A transzformációval a kiindulási folytonos frekvenci tengely „elferdül” (warping). Most már levezethető a specifikációban szereplő  $s_f$  és a mintavételezett  $z$  változó közötti átmenetet biztosító kifejezés:

$$\begin{aligned} \tan \frac{\omega T}{2} &= \frac{\sin \frac{\omega T}{2}}{\cos \frac{\omega T}{2}} = \\ &= \frac{\frac{1}{2j} (e^{j\omega T/2} - e^{-j\omega T/2})}{\frac{1}{2} (e^{j\omega T/2} + e^{-j\omega T/2})} = \frac{1}{j} \frac{z^{\frac{1}{2}} - z^{-\frac{1}{2}}}{z^{\frac{1}{2}} + z^{-\frac{1}{2}}} \Big|_{s=j\omega} \end{aligned} \quad (19)$$

Ezért (17)-et felhasználva következik, hogy

$$j\omega_f = \frac{2}{T} \frac{z^{\frac{1}{2}} - z^{-\frac{1}{2}}}{z^{\frac{1}{2}} + z^{-\frac{1}{2}}} \Big|_{s=j\omega} \quad (20)$$

amiből az áttérést biztosító, úgynevezett bilineáris transzformáció:

$$s_f = \frac{z - 1}{T(z + 1)} \text{ vagy } z = \frac{1 + s_f \frac{T}{2}}{1 - s_f \frac{T}{2}} \quad (21)$$

Összefoglalásul: a folytonos tartományban megadott specifikáció és a  $z$ -tartomány között (21) létesít kapcsolatot, a kiindulási és a mintavételezett folytonos tartomány között pedig (17). Mivel a bilineáris transzformáció racionális, a folytonos tartományban közelítéssel kapott racionális átviteli függvény közvetlenül a  $z$ -tartományba is racionális függvényként képződik le, ezért a specifikáció (21) behelyettesítésével átvihető a  $z$ -tartományba. Ha a szemléletesebb  $s$ -tartományban kívánjuk felírni a specifikációt, amely szintén a mintavételezett, periodikusan ismétlődő tartomány (lásd 4. ábra), csak nem  $z$ -, hanem  $s$ -változóval, akkor a kiindulási specifikáció összes pólus- és zérus-frekvenciáját (17) segítségével kell átranzformálni.

Ezt hívják „előferdítésnek” (prewarping), mivel figyelembe vesszük, hogy a mintavételezett  $s$ -tartomány jellemző,  $-\omega_c/2$ -től  $\omega_c/2$ -ig terjedő része nem olyan széles, mint a  $-\infty$ -tól  $+\infty$ -ig terjedő folytonos  $s_f$ -tartomány. Prewarping esetén a specifikáció jellemző frekvenciaértékeit, a pólusokat és a zérusokat a tangens-transzformációval besugorítjuk ebbe a szűkebb tartományba. A frekvencia-transzformáció nem befolyásolja a specifi-

káció egyéb jellemzőit, mint például az ingadozást és a meredekséget, mivel (17) független változók közti transzformáció.

Léteznek más, egyszerűbb leképezési szabályok is [3], azonban ezek nem az 5. ábra szerint teremtenek kapcsolatot az  $s$ - és a  $z$ -tartomány között. Adott gyakorlati esetben ezeknek is lehet létjogosultságuk.

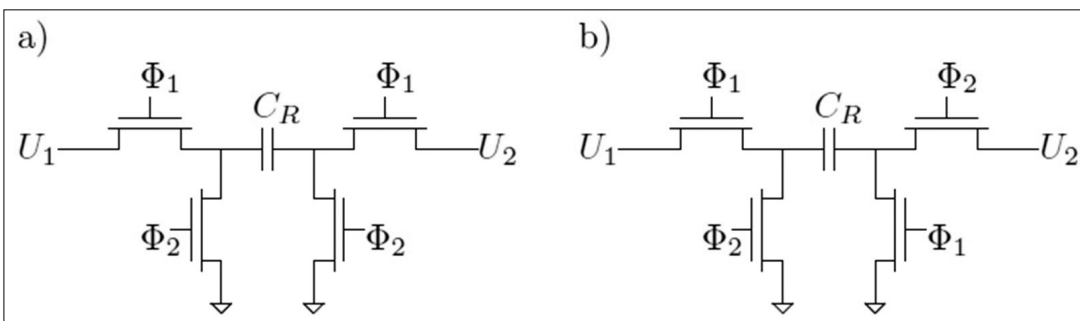
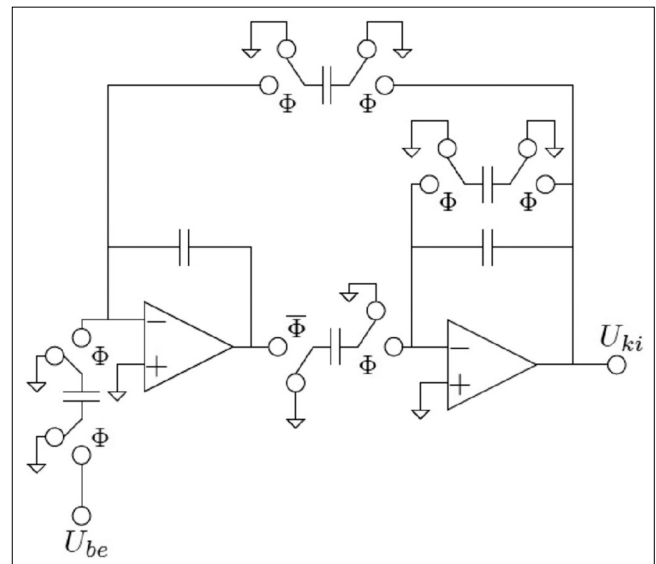
### 3. Tervezés

A tervezéshez kiindulásként ugyanazokat a struktúrákat használjuk, mint egy hagyományos folytonos szűrő esetében, azonban néhány hálózatelméleti fogással könnyen egyszerűsíthetünk a kapcsoláson. Egy ilyen fogással az alapvetően három műveleti erősítőt tartalmazó Tow-Thomas biquad kapcsolást egy két műveleti erősítőssé tudjuk átalakítani, aminek köszönhetően egy több fokozatot tartalmazó szűrő esetén jelentősen csökkentettük a fogyasztást.

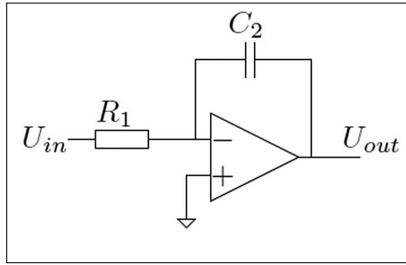
Ha a kapcsolt kapacitású elemünk két végpontját ellenütemben kapcsolgatjuk a földre valamint a hálózatra, akkor a hálózat számára negatív ellenállást fog mutatni (7. ábra, lent). Az átalakítás utáni kapcsolás a 8. ábrán látható, a részletes levezetés a hivatkozott [4] irodalomban.

A másik a realizációhoz alkalmazott struktúra a lét-rahálózatos LC kapcsolás. A kapcsolt kapacitású megfeleltetés megköveteli néhány technika előzetes ismeretét.

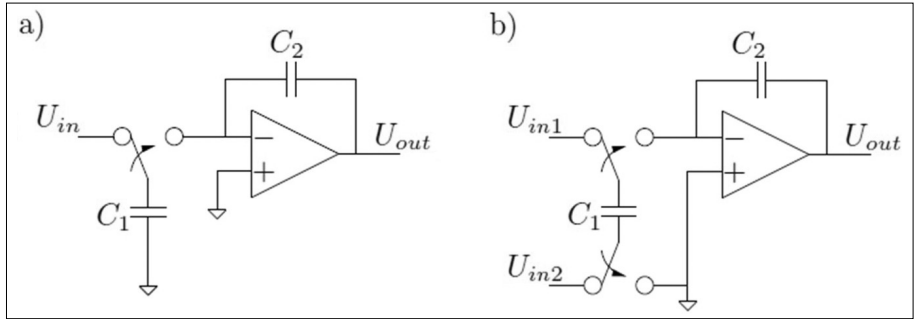
8. ábra Kapcsolt kapacitású biquad



7. ábra Négytranzisztoros kapcsolt kapacitás, amely a) pozitív b) negatív ellenállást valósít meg



9. ábra Hagymányos RC integrátor



10. ábra a) egyszerű és b) differenciális bemenetű kapcsolt kapacitású integrátor

**a) Kapcsolt kapacitású integrátor**

A létrahálózatos LC kapcsolt kapacitású hálózatként való megfeleltetéséhez először ki kell térni a hagyományos RC integrátor megfeleltetésére.

A 9. ábrán látható integrátor átviteli függvénye:

$$H(\omega) = -\frac{\omega_0}{j\omega} \quad (22)$$

ahol  $\omega_0 = \frac{1}{RC_2}$  az integrátor sávszélessége. Az integrátor kapcsolt kapacitású változata a 10/a. ábrán látható. Egyszerűen lecseréltük az  $R_1$  ellenállást a  $C_1$  kapacitásra, ekkor a kapcsolt kapacitású integrátor sávszélessége:

$$\omega_0 = \frac{1}{R_{eff}C_2} = f_c \cdot \left(\frac{C_1}{C_2}\right) \quad (23)$$

Látható, hogy a kapcsolt kapacitású integrátor sávszélességét a kapacitások arányával tudjuk beállítani, amit a monolit technikában nagy pontossággal tudunk előállítani [5].

Differenciális bemenetű integrátort is könnyen tudunk készíteni kapcsolt kapacitásokkal, ez látható a 10/b. ábrán. Ekkor  $C_1$  a két bemenet különbségére töltődik az órajel-periódus első felében. Amikor  $C_1$  felső kapcsa a műveleti erősítő bemenetére, alsó kapcsa a földre kapcsolódik,  $Q_i = C_1(U_{in1} - U_{in2})$  töltést fog tartalmazni.

**b) A jelfolyamgráf**

A létrahálózatok tervezésének az egyik legkényelmesebb módja, ha a hálózatot differenciálegyenletekkel írjuk le, aminek egy képszerű leírására szolgál a jelfolyamgráf. A gráf hasonlóan az áramkör kapcsolási rajzhoz csomópontokat tartalmaz mind a feszültségekhez, mind az áramokhoz [6].

A csomópontokat összekötő ágak reprezentálják az áramkör minden egyes elemének az átviteli függvényét. Rendszerint az adott áramkörnek több helyes jelfolyamgráf-reprezentációja van, amelyek különböző áramköri megvalósításokat igényelnek. A cél az, hogy úgy alakítsuk át a jelfolyamgráfunkat, hogy a létrejövő reprezentációt realizálni tudjuk kapcsolt kapacitású technikával.

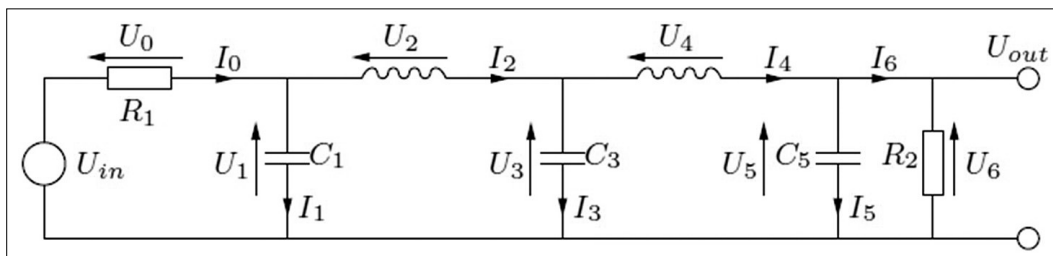
Egy egyszerű mód egy hálózat gráfjának meghatározására, ha minden feszültséghez és minden áramhoz létrehozunk egy csomópontot, majd összekötjük őket egymással a megfelelő impedanciákkal, vagy admittanciákkal. Ezek meghatározásához a Kirchoff csomóponthi potenciálok és a hurokáramok módszerét kell használni. Számos módszer és szabály található az irodalomban [7] arra, hogy a gráfunkat le tudjuk redukálni a megfelelő formára.

**c) Aluláteresztő csak pólusokból álló létrahálózat tervezése**

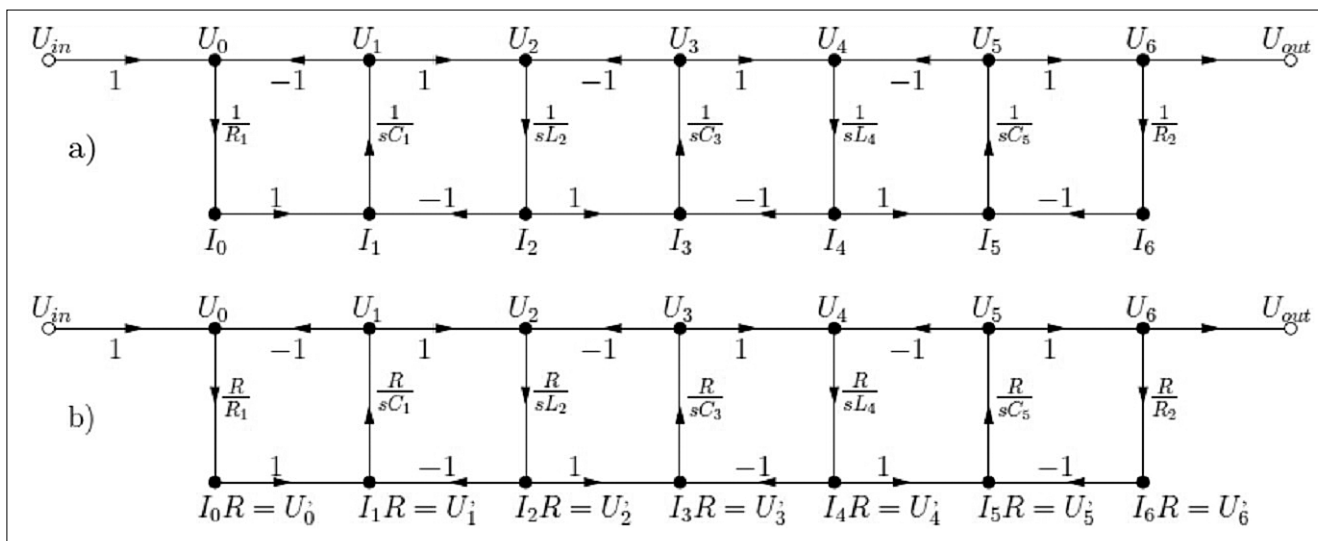
A korábban ismertetett eszközök segítségével az átláthatóság kedvéért egy ötödfokú csak pólusokból álló aluláteresztő LC szűrő kapcsolt kapacitású szűrővé való alakítását mutatjuk be.

A 11. ábrán látható az átalakítandó kapcsolás, amin minden feszültség és áram, valamint az elemek paraméteres értéke fel van tüntetve. Az összes csomóponthi és hurokegyenlet csak integrátorokat tartalmaz.

Ezeket az egyenleteket reprezentáló gráf a 12/a. ábrán látható. A jel útjával definiálhatjuk a csomópontokat (feszültség és áram). Minden nyílra ráírtuk azt a faktort, amivel az egyik csomópont a másikra hat, ez tulajdonképpen az adott út erősítése. Ha egy csomópontnak több bemenete van, akkor azt úgy kell tekinteni, hogy összegződnek a bejövő jelek. Ebben a gráfban az áramokat reprezentáló csomópontok integrálásokat eredményeznek, amiknek mindkét oldalán feszültség és áram van. A valóságban feszültségvezérelt feszültségforrásokat (műveleti erősítőket) akarunk használni integrátornak. Elengedhetetlen, hogy az áram csomópontokat feszültség-csomópontokká transzformáljuk. Ezt úgy érhetjük el, hogy az áram csomópontokat egy  $R$  ellenállás paraméterrel bővítjük, így ezután az  $I_i$  áramot a  $U_i = RI_i$  feszültség fogja reprezentálni. Természetesen, hogy ne változzon a feszültség- és áramcsomópontok közötti viszony, az erősítési faktort is bővíteni kell egy  $R$  paraméterrel (12/b. ábra).



11. ábra Ötödfokú, csak pólusokból álló aluláteresztő LC szűrő



12. ábra A jelfolyam diagramja az ötödfokú, csak pólusokból álló létrahálózatnak

A kapacitások miatt kompromisszumra kényszerülünk, mert ott a nevezőbe került miatt a szűrő dinamikatartománya változik. Általában jó kompromisszum, ha  $R$  értékét  $1\Omega$ -ra választjuk, ekkor az integrátorok időállandóit az eredeti  $L$  és  $C$  értékek határozzák meg [8].

A paraméterbővítéssel a lezárások is megváltoztak  $\left(\frac{R}{R_1}, \frac{R}{R_2}\right)$ .  $R_1$  és  $R_2$  optimális megválasztása nagyon sok paramétertől függ, most az egyszerűség kedvéért ezeket is  $1\Omega$ -nak vettük.

A létrejött gráf (12/b. ábra) csak egy a számtalan megoldás közül, például differenciáló tagokkal is meg lehetett volna oldani, de ez a változat felel meg a legjobban a kapcsolt kapacitású megvalósíthatóságnak. A gráfon látszik, hogy az alap-építőelem a 10/b. ábrán látható differenciális integrátor. Ha öt ilyen integrátort a jelfolyam gráfon látható módon összekötünk, akkor eredményül a kész kapcsolt kapacitású áramkört kapjuk. Ez a 13. ábrán látható.

Már csak az egyes elemek értékének meghatározása maradt hátra. A passzív prototípus értékei a következők:  $R_1 = R_2 = R = 1\Omega$ ,  $C_1, L_2, C_3, L_4$  és  $C_5$ . A kapcsolt kapa-

citású szűrőben konzervensen használva a jelöléseket:  $C_{C1}, C_{L2}, C_{C3}, C_{L4}$  és  $C_{C5}$ .  $C_U$  az integrátor fix kapacitása, amivel a korábban látható módon a kapacitásarányt be tudjuk állítani. Így a paraméteregyenletek:

$$\frac{C_{C1}}{C_U} = \frac{f_c C_1}{\omega_{c0}}, \frac{C_{L2}}{C_U} = \frac{f_c L_2}{\omega_{c0}}, \frac{C_{C3}}{C_U} = \frac{f_c C_3}{\omega_{c0}},$$

$$\frac{C_{L4}}{C_U} = \frac{f_c L_4}{\omega_{c0}}, \frac{C_{C5}}{C_U} = \frac{f_c C_5}{\omega_{c0}}$$

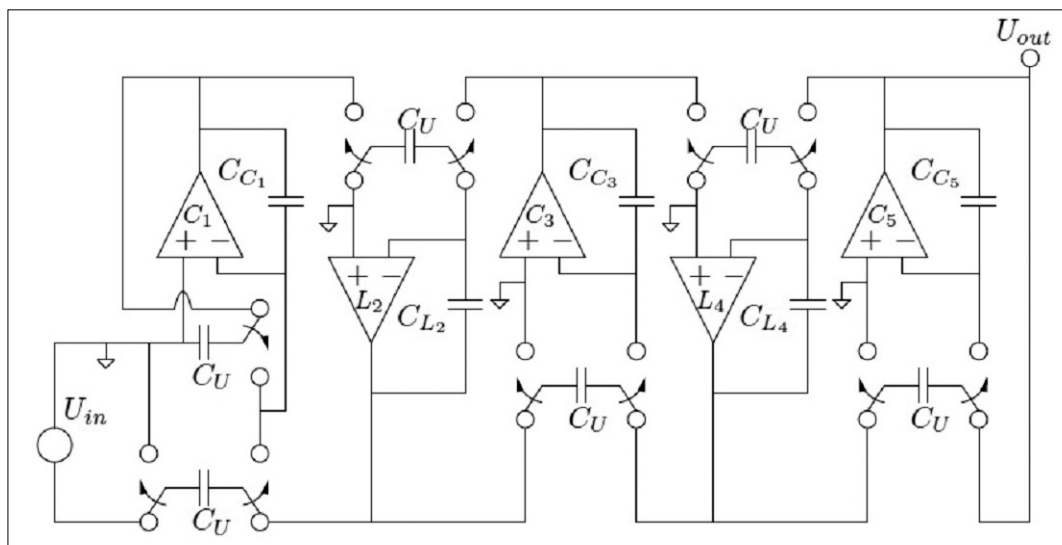
ahol  $\omega_{c0}$  a szűrő vágási frekvenciája,  $f_c$  a kapcsolt kapacitások kapcsoló frekvenciája.

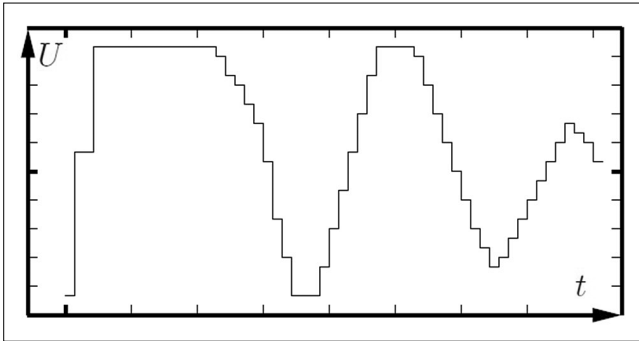
Amennyiben zérusokat is tartalmazó szűrőt akarunk realizálni, akkor a fenti metódust csak kicsit kell módosítani, ennek módja megtalálható az irodalomban [4,5].

#### 4. Szimuláció

A kapcsolt kapacitású áramkörök egyik legnagyobb problémája, hogy csak tranziensanalízis futtatható rajtuk. Ez annak köszönhető, hogy a kapcsolt kapacitások kapcsolóit pulzusgenerátorokkal kell meghajtani.

13. ábra  
Az ötödrendű,  
csak pólusokból álló  
aluláteresztő szűrő  
kapcsolt kapacitású  
változata





14. ábra DC inicializáló feltétel esetén a kimenet

Ezzel lehet elérni a megfelelő viselkedést, azonban AC analízis során ezek a források dezaktivizálódnak, így az ekvivalens ellenállások helyén teljesen rossz ellenállások lesznek. A kapott AC eredmény értékelhetetlen lesz.

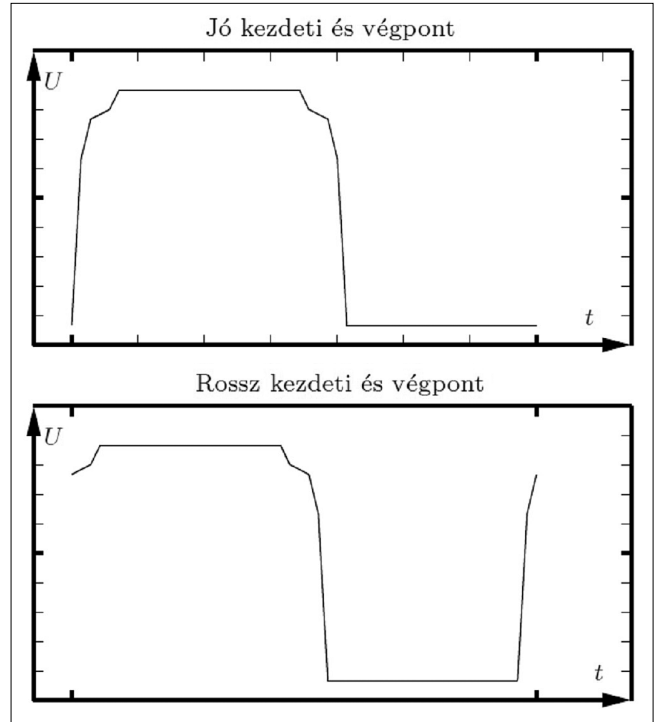
**Periodikus kisjelű analízis**

A probléma egyik lehetséges megoldása a periodikus kisjelű analízis. Az alap gondolata ennek az, hogy egy igen kis szakaszon meghatározzuk a munkapontot, és ott végezzük el a kisjelű analízist, majd ennek eredményével tovább lépve periodikus iterációval állítjuk elő az átviteli függvényt. Az egész analízis ideje alatt az órajel aktív, és mivel tranzisztor szinten szimulál a rendszer, ezért a másodlagos hatások is számításba kerülnek. A végeredményt több számítás is megelőzi.

*1. PSS analízis*

Ez az analízis az áramkör állandósult állapotbeli választ határozza meg, amikor csak a pulzusgenerátorok vannak engedélyezve. Ezen analízis eredménye a szűrő kimeneti offset feszültsége, amit a műveleti erősítők offset-feszültségeiből és a kapcsolók integrátorokba injektált töltéseiből határoz meg a szimulátor. Ez az analízis előfeltétele a periodikus kisjelű analízisnek, mert ez állítja be a periodikus munkapontot. A PSS (periodic steady-state) analízis hasonlóan egy hagyományos transziens analízishez, egy inicializáló feltétellel indul. Ha nem adunk meg inicializáló feltételt, akkor a szimulátor a DC analízist használja az inicializáló feltételek meghatározására. A DC analízis alatt, a generátorok nem működnek, így az integrátorok nem lesznek visszacsatolva, ezért a kimenetei kiülnek a tápra.

Ha az inicializáló feltételeket a DC analízissel határozzuk meg, akkor az a szűrő 14. ábrán látható torzult kimenetét eredményezi, néhányszor kiül a táp és a föld között, amíg állandósult állapotba kerül. Ez nehézségeket okoz a PSS analízis során. A megoldás az, hogy a PSS analízis számítási pontosságbeli problémáit úgy kerüljük meg, hogy eltoljuk a PSS analízis számítási idejének kezdetét. Ez azt eredményezi, hogy a PSS analízis csak akkor kezd el az állandósult állapot meghatározását, ha a transziens analízis már eljutott egy általunk definiált pontig. Ha egyszer meghatároztuk a steady-state választ, akkor jelentősen meg tudjuk gyorsítani a következő PSS analízis számításának idejét, ha elment-



15. ábra Lehetséges PSS analízis kezdő és végpontok

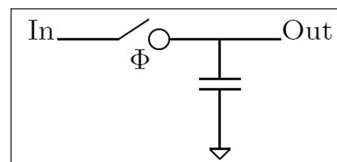
jük az előző analízis eredményét és azt használjuk fel a következő analízis inicializáló feltételének.

A PSS analízis hatékonyságának tökéletesítése érdekében, óvatosan kell megválasztani a szimulációs intervallumot az órajel fázisokhoz képest. A legjobb választás a szimulációs intervallum kezdeti és végpontjára az, ahol a jelek nem változnak hirtelen. Például a 15. ábrán a felső fázis esetén kevesebb iterálás és kevesebb idő kell a konvergens eredményhez, mint az alsó ábrán látható esetben.

*2. PAC analízis*

A PSS analízist követi a PAC (periodic AC) analízis. Ez az analízis egy kis jelet ad a bemenetre és ebből két kimeneti választ határoz meg. Az első kimenet a szűrő normál kimenete. A jel ennél a kimenetnél folytonos és különböző tökéletlenségeket, mint például glitcheket tartalmazhat. A kimenetben a szűrő mindkét fázisának kimenete benne van. Ez a kimenet akkor érdekes, ha a szűrőt egy folytonos idejű szűrő követi.

A második kimenet az első kimenet, miután az áthaladt egy mintavevő-tartón. Ez azt az esetet modellezi le, amikor a szűrőt egy diszkrét idejű áramkör követi, mint például egy AD konverter. Ebben az esetben a normál kimenet legtöbb tökéletlenségét az ADC mintavevő jellegeből adódóan kiküszöböltük. Akkor fontos számításba venni az ADC mintavevő természetét, amikor arra van szükségünk, hogy megmérjük valamilyen órajeles ana-



16. ábra Egyszerű mintavevő tartó

lóg áramkör átviteli függvényét, mint a jelenlegi kapcsolt kapacitású szűrő esetében.

Egy egyszerű mintavevő tartót kell készíteni és hozzáadni az áramkörhöz, hogy elő lehessen állítani a mintavett kimenetet [9]. Egy egyszerű mintavevő tartó kapcsolása látható a 16. ábrán. Ezt például Verilog-A-ban valósíthatjuk meg és olyan szimulátort kell használnunk, ami támogatja, hogy közvetlenül a netlistából hívjuk meg [10].

## 5. Összegzés

Cikkünkben áttekintést nyújtottunk a kapcsolt kapacitású szűrőtervezésről. Ezzel a technikával megoldást lehet adni a korlátozott elemértékek problémájára, így az orvosi alkalmazásokhoz nélkülözhetetlen alacsony vágási frekvenciájú szűrőket is meg lehet valósítani integrált áramköri kivitelben. Ez lehetővé teszi számos bonyolult orvosi mérőrendszer implantátum formában történő megvalósítását, amivel a páciens számára kényelmesebb, az orvos számára pontosabb lehet a diagnózis felállítása.

### A szerzőkről



**SZALAI ALBIN** 2010-ben szerzett villamosmérnöki diplomát a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen. Jelenleg a BME Elektronikus Eszközök Tanszék doktorandusz hallgatója. Kutatási területei az analóg elektrotermikus áramkörszimulációk, elosztott RC hálózatok analízise, termikus karakterizációs eljárások, félvezető eszközök fizikája.



**HORVÁTH GYULA** 2004-ben szerzett villamosmérnöki diplomát a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen. 2005-től egyetemi tanársegéd a BME Elektronikus Eszközök Tanszékén. Kutatási és oktatási területei az integrált áramkörök tervezése, Ambient Intelligence alkalmazások számára szolgáló érzékelő és beavatkozó struktúrák, MEMS eszközök elektrotermikus szimulációja, lézer interferometriás vizsgálati módszerek, akkumulátor-modellezés, kontaktusmentes hőterképezés, illetve extrém környezeti körülmények között működő eszközök termikus tervezhetőségének vizsgálata. A BME EET Komplex hardvertervező laboratóriumának vezetője fennállása óta (2008). 2009-ben Oktatás és Köznevelés kategóriában Junior Prima díjas.

### Irodalom

- [1] Rencz Márta, Tímár András, "Design issues of a low frequency low-pass filter for medical applications using CMOS technology", The 10th IEEE Workshop on Design and Diagnostics of Electronic Circuits and Systems, April 2007.
- [2] Dr. Kovács F. Ferenc, Az informatika VLSI áramkörei, Pázmány Egyetem Elektronikus Kiadó, 2004.
- [3] Edgar Sánchez-Sinencio, Phillip E. Allen, Switched Capacitor Circuits, Van Nostrand Reinhold Company, 1984.
- [4] Szalai Albin, „Kapcsolt kapacitású szűrő tervezése orvosi biológiai alkalmazásokhoz”, Tudományos Diákköri Konferencia, 2007.
- [5] David J. Allstot, Gordon M. Jacobs, "Design techniques for MOS switched capacitor ladder filters", IEEE Transactions on Circuits and Systems, No. CAS-25, pp.1014–1021, December 1978.
- [6] P.V. Ananda Mohan, V. Ramachandran, M.N.S. Swamy, Switched Capacitor Filters, Prentice Hall, 1995.
- [7] W.E. Heinlein, W. Harvey Holmes, Active Filters for Integrated Circuits, Prentice Hall, 1974.
- [8] G.M. Jacobs, "Practical design considerations for MOS switched capacitor ladder filter", Memorandum, No. UCB/ERL-M77/69, University of California, Berkley, 1977.
- [9] Rolf Unbehauen, MOS Switched-Capacitor and Continuous-Time Integrated Circuits and Systems, Springer-Verlag, 1989.
- [10] Cadence Inc., Virtuoso SpectreRF Simulation Option User Guide, 2004.

# Fuzzy szabályalapú modellek és rendszerek felépítése evolúciós technikák segítségével

BALÁZS KRISZTIÁN, KÓCZY T. LÁSZLÓ

BME Távközlési és Médiainformatikai Tanszék  
{balazs, koczy}@tmit.bme.hu

Széchenyi István Egyetem, Műszaki Tudományi Kar, Automatizálási Tanszék  
koczy@sze.hu

Lektorált

*Kulcsszavak: fuzzy rendszerek, evolúciós algoritmusok, gépi tanulás*

**Jelen cikk célja rövid összefoglalást adni a fuzzy szabályalapú gépi tanuló architektúrák koncepciójáról, illetve e rendszerek evolúciós számítási technikák segítségével történő létrehozásának lehetőségéről. Ennek során a fuzzy következtetés koncepciójának ismertetése, az evolúciós algoritmusokba nyújtott betekintés, valamint az ellenőrzött gépi tanulás sémájának felvázolását követően a fuzzy szabályalapú tanuló architektúrák kialakításának mikéntje kerül tárgyalásra. Ezek után a cikk szimulációs futtatások eredményei alapján, az ily módon létrehozott fuzzy rendszerek tömör összehasonlítását mutatja be.**

## 1. Bevezetés

Az úgynevezett „lágy számítási” módszerek az 1960-as években jöttek létre. Hatékonyságban felülmúlják a korábbi eljárásokat nagybonyolultságú, de ugyanakkor szuboptimális megoldásokat elfogadó problématerületeken. Ennek oka az, hogy ezek a technikák viszonylag alacsony idő- és tárkomplexitással oldják meg a problémákat, illetve alkalmazhatók olyan esetekben is, amikor a probléma analitikus leírása nem, vagy csak részben ismert, illetve amikor a területről szerezhető tudás bizonytalan. Ezeknek az előnyös tulajdonságoknak az árát a megoldás pontatlanságában, szuboptimalitásában kell megfizetni. Alkalmazhatóságuk így olyan problémákra korlátozódik, melyekben a hatékonyság, a gyorsaság fontos szempont, ellenben elfogadható némi pontosság-beli hiányosság.

A lágy számítási módszerek három fő ágát a *fuzzy rendszerek*, az *evolúciós számítási technikák*, illetve a *neurális hálózatok* jelentik. Bár a fenti tulajdonságokkal mind rendelkeznek, lényeges különbség van közöttük.

A fuzzy rendszerek, valamint a neurális hálózatok jó modellezőképességűek. Alkalmask olyan rendszerek modellezésére, melyek szerkezetére nézve kezdetben semmilyen (feketedoboz probléma), vagy hiányos ismeretek állnak rendelkezésre (szürkedoboz probléma), viszont ismertek, vagy megismerhetők egyes bemenetekre adott válaszok. Ezekből a bemenet-kimenet párokból tanulási folyamat révén fel tudnak építeni egy modellt, melynek segítségével „utánozni tudják” a megtanult rendszereket. Nagy különbség a két lágy számítási megközelítés között az, hogy amíg a neurális hálózatok a problémáról nyert tudást az elemei közti összeköttetésekben lévő súlyokban hordozzák nehezen kinyerhető és még nehezebben, vagy egyáltalán nem interpretálható formában, addig a fuzzy rendszerek eleve olyan szabálybázis építésével halmozzák fel a tudást, ahol minden in-

formáció explicit módon, interpretálható formában van jelen. Ez nagy előny a fuzzy rendszerek oldalán.

Az evolúciós számítási technikák voltaképpen sztochasztikus numerikus optimalizálási eljárások, melyek a természetben megfigyelhető különböző evolúciós folyamatok mechanizmusát próbálják egyszerűsítve visszaadni, ezzel törekedve az egyre optimálisabb megoldások felé hasonlóan, mint ahogyan az az élővilágban is megfigyelhető versengésben zajlik.

Kedvező tulajdonságaiknak köszönhetően a lágy számítási módszereken alapuló intelligens műszaki alkalmazások köre folyamatos bővülést mutat a nagybonyolultságú, szuboptimális megoldásokat elfogadó problématerületeken a robotikától [1] a különböző szabályozástechnikai [2] területeken keresztül a híradástechnikán [3] át a kémiáig [4], vagy éppen a közgazdaságtanig [5]. Ennek következményeként az e módszerek közé tartozó fuzzy szabálybázis alapú tanuló és következtető rendszerek, mint intelligens rendszerkomponensek felhasználása is nő az említett, és megannyi más területen.

A felsoroltak közül a híradástechnikát kiemelve elmondható, hogy alkalmaznak fuzzy rendszereket a távközlésben útvonalválasztáshoz [6,7], torlódásirányításhoz [8], hibaaazonosításhoz [9] és még számos más részterületen.

Tanuló és következtető rendszerekről lévén szó, minősíteni, értékelni őket a következő alapvető tulajdonságaik segítségével lehet: a tanulás és a tanulást követően a megtanult szabályok alapján történő következtetés idő-, tárkomplexitása, valamint a tanulás pontossága, illetve hibája.

Jelen cikk célja egy rövid összefoglalást adni az ilyen típusú rendszerek koncepciójáról, illetve e rendszerek evolúciós számítási technikák segítségével történő létrehozásának lehetőségéről. (Felépítésük bővebb ismertetése és mélyrehatóbb analízise megtalálható például a [10] valamint [11] publikációkban.)

Ezt a célkitűzést szem előtt tartva a következő szakasz ismerteti a fuzzy modellezés és következtetés koncepcióját, betekintést ad a numerikus optimalizálás elméletébe, ezen belül is az evolúciós algoritmusokba, valamint felvázolja az ellenőrzött gépi tanulás sémáját. Ezután, a harmadik szakaszban a fuzzy szabályalapú tanuló architektúrák kialakításának lehetősége kerül tárgyalásra. A negyedik szakasz szimulációs futtatások eredményein alapuló tömör összehasonlítását mutatja be az ily módon létrehozott fuzzy rendszereknek. A cikket egy összefoglalás zárja, amely rávilágít az ismertetett megközelítések fő tulajdonságaira és a különböző területeken való alkalmazhatóságára.

## 2. Az alkalmazott modellező eszközök és technikák áttekintése

A fuzzy szabályalapú tanuló és következtető rendszerek létrehozása elméleti oldalról több területen is bizonyos jártasságot igényel. Magától értetődően az egyik ilyen terület a fuzzy szabályalapú modellező és következtető rendszerek elmélete [12,13], a másik pedig a gépi tanulás [14,15]. Az előbbihez szükséges a fuzzy rendszerek alapkoncepciójának [12,16], továbbá a fuzzy következtető módszereknek, amíg az utóbbihoz a numerikus optimalizálás egyes eljárásainak az ismerete [17-22].

A következő pontok ezeknek az elméleteknek a rövid, lényegre törő bemutatását tűzik ki célul.

### 2.1. A fuzzy rendszerek alapkoncepciója

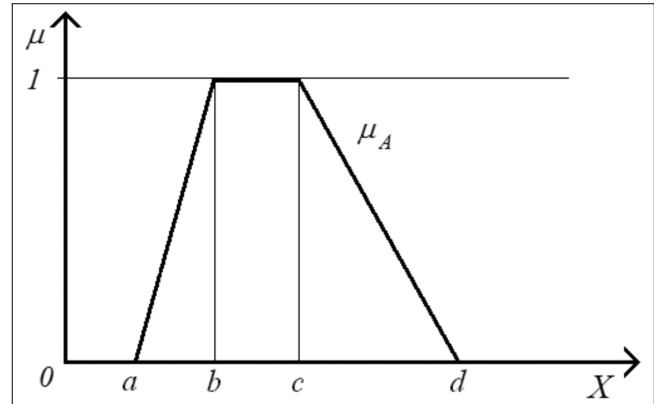
Gyakran felmerül az igény arra vonatkozóan, hogy matematikailag modellezni lehessen olyan helyzeteket, amelyekben adott tulajdonságok nem határozhatók meg teljes pontossággal, vagy nem dönthetők el teljes bizonyossággal, azaz egyfajta „bizonytalansági modellezésre” van szükség. A klasszikus halmazelmélet és az erre épülő klasszikus logika azonban nem, vagy csak nagyon körülményes módon alkalmas erre a feladatra. Ennek következtében a halmazelmélet olyan irányú általánosítása, mely egyszerűen, de hatékonyan alkalmazható eszközt ad az ilyen bizonytalansági modellezéssel kapcsolatos kihívásokra, előzőleg megoldatlan, vagy praktisan megoldhatatlan problémákra szolgáltatott eredményt.

A *fuzzy halmazok* elmélete L. A. Zadehtől származik [16], aki az 1960-as években alkalmazta őket először bizonytalansági modellezésre. Az elgondolás a klasszikus (*crisp*) halmazelmélettel szemben nem csak azt enged meg, hogy egy elem része legyen egy halmaznak vagy sem, hanem azt is, hogy bizonyos mértékben legyen csak része. Tehát amíg a *crisp* halmazelméletben egy halmaz definiálható úgy, hogy felsoroljuk az elemeit, vagy ezzel ekvivalens módon egy adott alaphalmaz minden eleméről megmondjuk, hogy az adott halmazhoz tartozó-e, addig fuzzy halmazok esetén nem csupán az elemek halmazhoz való tartozásának tényét, hanem annak mértékét is megadhatjuk. Vagyis a *crisp* halmazelmélet-

tel szemben, ahol egy  $X$  alaphalmazbeli  $A$  halmazt meghatároz egy  $\chi_A: X \rightarrow \{0,1\}$  *karakterisztikus függvény*:

$$\forall x \in X: \chi_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{ha } x \in A \\ 0, & \text{ha } x \notin A \end{cases}$$

a fuzzy halmazelméletben az  $A$  halmazt az  $\mu_A: X \rightarrow [0,1]$  *tagsági függvénye* határozza meg.



1. ábra

Trapéz alakú tagsági függvénnyel definiált fuzzy halmaz

Az 1. ábrán szereplő és a hozzá hasonló úgynevezett *trapéz alakú* tagsági függvények alkalmazása széles körben elterjedt. A jelen cikkben tárgyalt rendszerek is ilyen trapéz alakú tagsági függvényekkel definiálható fuzzy halmazokat alkalmaznak, illetve annak elfajult speciális eseteit: *háromszög* és *singleton* (ez utóbbi esetén a halmaz egyelemű). A szakaszonként lineáris tagsági függvényeknek a töréspontjai a karakterisztikus pontok, melyek segítségével a függvény által leírt fuzzy halmazok könnyedén megadhatók. Az ábrán ezek az  $a, b, c$ , valamint  $d$  jelölésű pontok.

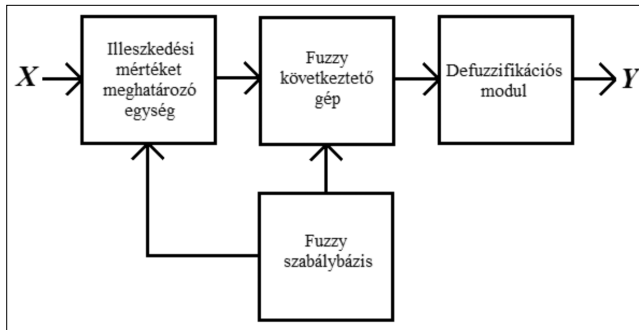
A fuzzy halmazok szolgálnak a fuzzy halmazelmélet alapjául. Segítségükkel többek között megkaphatjuk a (szűkebb értelemben vett) fuzzy logikát. (Tágabb értelemben véve minden fuzzy matematikát magába foglaló módszer-családot szokás fuzzy logikának nevezni [23].)

Eszerint a fuzzy logikában kézenfekvő módon leírható például egy olyan állítás, hogy valamely formula „félíg-meddig” igaz, vagy egy tulajdonság „többé-kevésbé” illik egy elemre, hiszen mind az igazság fogalma, mind pedig egy adott tulajdonsággal való rendelkezés relációja visszavezethető halmazokba való tartozásokra.

### 2.2. Fuzzy szabálybázis alapú következtető rendszerek

A fuzzy szabálybázis alapú következtető rendszerek egy adott  $k$  dimenziós  $X$  *bemeneti problémátér* (alaphalmaz) egy fuzzy részhalmazához (a rendszer bemenete) – ami természetesen speciális esetben lehet az alaphalmaz egyetlen eleme is – rendelik hozzá az  $Y$  *kimeneti tér* egy fuzzy részhalmazát, illetve a defuzzifikáció (lásd lejjebb) után a kimeneti tér egy elemét. Tehát felfoghatók egy  $\mathcal{P}(X) \rightarrow \mathcal{P}(Y)$  függvényként (ahol  $\mathcal{P}(X)$  és  $\mathcal{P}(Y)$  rendre  $X$ , illetve  $Y$  fuzzy hatványhalmazai).

Mivel minden többkimenetű függvény triviális módon felírható egykimenetű függvények összességéként, ezért a továbbiakban csak egy kimeneti dimenziós rendszerekről esik szó.



2. ábra  
A szabályalapú fuzzy következtető rendszerek felépítése

A fuzzy szabályalapú következtető rendszerek általános felépítését az 2. ábra [12] mutatja.

Az *illeszkedési mérték meghatározása* a rendszer bemenetének (megfigyelés) az összehasonlítását jelenti a *szabálybázisban szereplő szabályok* ( $R_i, i = 1 \dots n$ ) *feltétel (antecedens)* részével. A *következtető gép* az egyes szabályok *következmény (konzekvens)* részéből egy *eredő következményt (következtetés, konklúzió)* hoz létre annak megfelelően, hogy az egyes szabályok feltétel része milyen mértékben illeszkedett a bemenetre. A *defuzzifikációs modul* szerepe az, hogy az eredő következményként kapott fuzzy halmazból a kimeneti tér egy elemét, vagyis egy crisp (nem fuzzy) értéket állítson elő.

A szabályalapú fuzzy következtető rendszerek nagy előnye a klasszikus következtető rendszerekkel szemben többek között az alacsonyabb számítási komplexitás (sok bemenetű modellek esetén is), a következtetési szabályok könnyű interpretálása, valamint a modellezendő rendszer analitikus leírásának szükségletelensége. Az első kedvező tulajdonság abból ered, hogy a szabályokban szereplő tagsági függvények rendszerint egyszerűen kezelhető tulajdonságokkal bírnak, valamint a szabályok kiértékeléséhez könnyen elvégezhető műveletek szükségesek.

E rendszerek másik előnye, a könnyű interpretálhatóság abból ered, hogy a következtetési szabályokban úgynevezett „nyelvi változók” szerepelnek, vagyis a szabályokban az egyes bemenő paraméterek értékei természetes nyelven megfogalmazott „értékekkel” hasonlítódnak össze (melyek valójában fuzzy halmazok tagsági függvényei). A szabályok úgynevezett *Mamdani-féle, ortogonálisan dekomponált* alakja lehetőséget ad a szabályok feltétel részeinek és a megfigyelésnek a dimenzióknéti összevetésére, kialakítva az egyes szabályokhoz tartozó következtetéseket [24]:

$$R_i: \text{ha } X_{i,1} \text{ megegyezik } A_{i,1} - \text{gyel és } \dots \\ \text{és } X_{i,k} \text{ megegyezik } A_{i,k} - \text{val} \\ \text{akkor } Y_i \text{ megegyezik } B_i - \text{vel}$$

Ez a tulajdonság más tanuló architektúrákkal (például a neurális hálózatokkal) összehasonlítva vitathatatlanul előnyös.

A harmadik tulajdonság oka az, hogy a fuzzy szabálybázis kinyeréséhez egyáltalán nem szükséges ismerünk a modellezendő struktúrát, ugyanis vagy egy szakértő (aki a modellezendő folyamatról, rendszerről szabá-

lyokként megfogalmazható tapasztalatokkal rendelkezik) bevonásával, vagy pedig úgynevezett „*tanítóminták*” (bemenet-kimenet párok) segítségével hozzuk létre a szabálybázist. Az utóbbi esetben (ellenőrzött) gépi tanulásról beszélünk (lásd 2.4. szakasz). Természetesen a két lehetőség egyike sem nyújthat pontos modellt, mivel sem a szakértő tudása, sem a tanítóminták nem fedhetnek le minden lehetőséget, továbbá mind a szakértői tapasztalatok, mind pedig a tanítóminták zajosak, pontatlanok.

Ennek ellenére törekedhetünk rendszerünk minél nagyobb pontosságára, hibájának minimalizálására, a létrehozott szabálybázisban szereplő paraméterek finom változtatásával. Ezt a folyamatot *hangolásnak* nevezzük, amit végezhetünk manuálisan, illetve automatizáltan optimalizáló technikák segítségével.

### 2.3. Numerikus optimalizálás

A *numerikus optimalizálás* feladata egy (kényszerfeltételek által meghatározott) halmaz azon  $p_{opt}$  optimális pontjának a megkeresése, amely pontban egy adott  $f_{opt}$  célfüggvény a globális optimumát (feladattól függően ez lehet maximum vagy minimum) felveszi. Tehát a cél egy globális szélsőérték-keresési feladat elvégzése.

Erre a feladatra léteznek determinisztikus, illetve sztochasztikus, valamint analitikus és iteratív eljárások is. Minél bonyolultabb, változatosabb a minimalizálandó függvény, annál inkább az iteratív eljárások nyerne teret az analitikusakkal szemben és minél több lokális minimummal rendelkeznek, annál inkább a sztochasztikusak érvényesülnek a determinisztikusak ellenében.

Az iteratív algoritmusok közül hatékony determinisztikus eljárások az úgynevezett *gradiens-módszerek*, mint például a legmeredekebb lejtő, momentum módszer, konjugált gradiens eljárás, Newton-módszer, vagy a Levenberg-Marquardt algoritmus. Sikeres sztochasztikus eljárások az úgynevezett *evolúciós számítások*, mint például az evolúciós stratégiák, evolúciós programozás, genetikus-, pszeudo-bakteriális-, vagy bakteriális algoritmusok, illetve a részecske-sereg módszer.

#### 2.3.1. Gradiens-módszerek

A gradiens-módszerek lényege az, hogy az adott  $f_{opt}$  célfüggvényen elfoglalt aktuális  $p$  pozícióban kiszámoljuk a függvény gradiensét, majd a kapott értéket felhasználva „odéblépünk” a függvényen, vagyis módosítjuk  $p$  értékét azzal a céllal, hogy minél optimálisabb (feladattól függően minél nagyobb, illetve minél kisebb) függvényértéket kapjunk.

A lépegetések eredményeként kellően sok iterációt követően a gradiens-módszerek a kiindulási pozícióhoz eső „legközelebbi” lokális optimumot meglehetősen pontosan megtalálják, azonban a globális optimum eléréséhez, annak valamilyen környezetéből kell indulniuk.

#### 2.3.2. Evolúciós számítási módszerek

Bizonyos optimalizálási technikák a természetben megfigyelhető evolúciós folyamatok absztrakt leutánzásai, ezért összefoglalóan *evolúciós számításoknak* nevezzük őket. Céljuk a „*populáció*” olyan formálása, ami



során egyre „jobb” „egyedek” jönnek létre. Ha az „egyedeket” (vagy „kromoszómákat”) egy probléma egy adott megoldásának, a „populációt” a megoldások egy részhalmazának, a „jósságot” („fitness”) pedig az adott megoldás optimalitásának feleltetjük meg, akkor az evolúciós számítások célja nem más, mint egy problémára az optimális megoldás(ok) megtalálása.

Ennek érdekében először létrehozandó egy kezdeti populáció, ami történhet az egyedek véletlenszerű generálásával, vagy esetleg egy korábbi populáció felhasználásával. Ezt követően minden iterációs ciklusban („generációban”) a technikák az úgynevezett *evolúciós operátorokat*, vagy *evolúciós műveleteket* alkalmazzák a populáció egyes egyedein, vagy az egészén. Ezek során az egyedek egyes „génjei” (a kromoszómáknak, vagyis a megoldásoknak az elemi részei) megváltoztatják értéküket. Új egyedek, úgynevezett „utódok” („leszármazottak”) is kialakulhatnak a populációban lévő kromoszómák felhasználásával. Azokat az egyedeket, melyek segítségével újak jönnek létre, „szülőknek” nevezzük. Az operátorok szerepe az is, hogy meghatározzák az egyedeknek azt a részét, amelyik átjut a következő generációba. *Elitista stratégia* alkalmazása során minden generáció populációjának legjobb egyede túlél, vagyis átjut a következő generációba. Ezzel garantált, hogy a mindenkor legjobb egyed nem veszik el, azaz valóban az optimalizálás folyamán adódott legjobb megoldást kapjuk meg optimálisként.

Ha az evolúciós algoritmusokban az egyedek különböző optimalizálendő  $p_i$  paramétervektorokat, a gének a különböző vektorok komponenseit reprezentálják, a fitness-érték pedig nő a célfüggvényen való jobb érték felvételekor, akkor e technikák segítségével numerikus optimalizálást végezhetünk. A továbbiakban tekintsük a kromoszómákat paramétervektoroknak.

### 2.3.3. Memetikus algoritmusok

Az evolúciós számítási technikák jellegükből adódóan feltérképezik az egész célfüggvényt, így kellően sok iterációt követően eljutnak minden lokális optimum közelébe. Azonban az egyes lokális optimumokhoz meg lehetőségen lassan konvergálhatnak.

A kétféle említett módszertípusok (gradiens és evolúciós) kombinációjával is dolgozhatunk, ha például egy genetikusan minden iterációjában valamennyi kiválasztott egyedre végrehajtunk egy gradiens eljárást, vagy ha ugyanezt meg tesszük egy bakteriális algoritmus minden iterációjában valamennyi egyedre. Az előbbieket *memetikus* algoritmusoknak [21], az utóbbiakat pedig *bakteriális memetikus* [22] algoritmusoknak nevezzük.

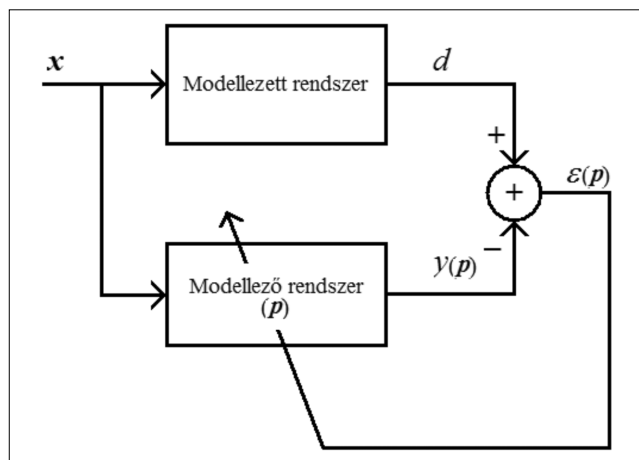
Ezeknek az az előnye adódik, hogy minden egyed bekerül a hozzá legközelebbi lokális optimumba. Ezzel ötvözni tudjuk a két megközelítés előnyeit, vagyis megtaláljuk a lokális optimumokat elég pontosan (kellően sok gradiens iteráció után) az egész célfüggvényen (kellően sok genetikusan iteráció után). Tehát meglehetősen nagy pontossággal kiadódik a globális optimum, azaz az optimális  $p_{opt}$  paramétervektor.

## 2.4. Gépi tanulás

A *gépi tanulás* [14,15] elmélete arra törekszik, hogy módszereket adjon ismeretek, készségek automatizált elsajátítására. Eredményei számos területen alkalmazhatók. Ilyen például a műszaki, vagy orvosi diagnosztikai felismerési feladatok (képfelismerés, beszéd felismerés), folyamatszabályozás, vagy akár az előrejelzés. Valójában ezek a területek mind egy olyan közös, általános problémának a speciális esetei, melynek megoldása a gépi tanulás alapvető célja. A gépi tanulásról ugyanis általánosságban elmondható, hogy egy „*modellező rendszer*” paramétereinek hangolását jelenti annak érdekében, hogy viselkedése minél jobban hasonlítson a „*modellezett rendszer*” viselkedéséhez.

Ezt a viselkedést bemenet-kimenet párokkal jellemezhetjük. Attól függően, hogy milyen ismereteink vannak a modellezett rendszerről, különböző tanulási formák léteznek. Ha a rendszer struktúrájára nézve nincs előismeretünk, *feketedoboz-rendszermodellezésről* beszélünk. Ebben az esetben a tanulás úgynevezett *tanítóminták* segítségével történik. A tanítóminták lehetnek akár bemenet-kimenet párok (*felügyelt tanítás*), vagy csak bemenetek (*nem ellenőrzött tanítás*). Lehetséges, hogy a tanítóminta-halmazban bemenettel rendelkező és nem rendelkező minták is vannak (*féligen ellenőrzött tanítás*). Előfordulhat, hogy csak ritkán és akkor is csak pontatlan visszajelzést kapunk a bemenetekre (*megegyező tanítás*). Az esetek mind különböző megközelítéseket kívánnak.

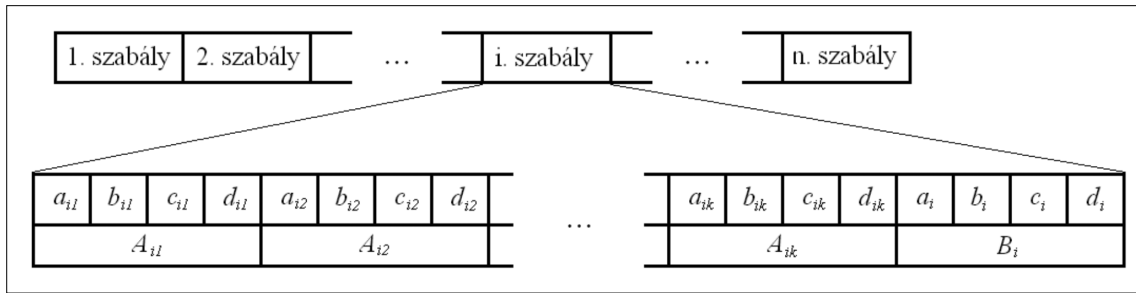
Jelen cikk ellenőrzött tanítású rendszerekkel foglalkozik. E rendszerek felépítését a 3. ábra mutatja.



3. ábra Az ellenőrzött tanítású rendszerek felépítése

A modellező rendszer felparaméterezésétől ( $p$ ) függő hiba ( $\varepsilon(p)$ ) arról ad számot, hogy mennyire járunk közel a célunkhoz, azaz mennyire hasonlít a modellező a modellezett rendszerre. Értékét különböző módokon definiálhatjuk. Például  $m$  számú tanítóminta esetén tekinthetjük hibaként a modellező architektúra egyes bemeneti mintákra ( $x_i$ ) adott válaszainak ( $y_i(p)$ ) a megkívánt értékektől ( $d_i$ ) vett távolságai négyzetösszegének számtani közepét (*Mean Squared Error, MSE*):

$$\varepsilon(p) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (d_i - y_i(p))^2$$



4. ábra Szabálybázis kódolása kromoszómába

Ezek után a tanulás célja átfogalmazható azzá a törekvéssé, hogy ezt a  $p$  paramétervektortól függő hiba-függvényt minimalizáljuk. Ez pedig nem más, mint egy numerikus optimalizálási feladat, melynek megoldására többek között az előzőekben tárgyalt módszerek alkalmasak.

### 3. Fuzzy szabályalapú gépi tanuló rendszerek kialakítása

A modellező rendszer tulajdonképpen felfogható egy tudásbázisként és egy hozzá kapcsolódó következtető gépként. A tudásbázis valamilyen előre meghatározott struktúrában tárolja a tanulás folyamán „megszerzett tudást”, a következtető gép pedig egy adott megfigyelés hatására az „aktuális tudásnak” megfelelően egy következtetést végez a tároló struktúra szerint. A  $p$  paramétervektor a tudásbázis egyes elemeinek az értékét tartalmazza. Tehát például ha a modellező rendszer egy neurális hálózat, akkor a tudásbázis a neuronok struktúrája szerint tárolja az élsúlyokat (amelyek a  $p$  vektor elemei), a következtető gép pedig a hálózat választását adja.

Fuzzy szabálybázis alapú tanulás esetén a modellező rendszer következtető gépe egy fuzzy következtető gép, amely szabályalapú következtetést végez, tudásbázisa pedig egy fuzzy szabálybázis, melyben a paraméterek a fuzzy szabályok tagsági függvényeit definiálják (lásd 2.1. alszakasz). Például ha ezek a tagsági függvények trapéz alakúak, a  $p$  paramétervektor elemei megfeleltethetők a trapézok törés-, vagyis karakterisztikus pontjainak.

A tudásbázist leíró  $p$  paramétervektor optimális értékének megkeresését, azaz a szabálybázis hangolását numerikus optimalizálással tehetjük meg, többek között a determinisztikus legmeredekebb lejtő, illetve Levenberg-Marquardt eljárásokat, a sztochasztikus genetikus, bakteriális, illetve részecske-sereg evolúciós algoritmusokat, vagy például az előzőek kombinációjaként létrehozható memetikus technikákat alkalmazva. A keresendő optimum a globális minimum, hiszen a cél a tanuló rendszer hibájának minimalizálása a  $p$  paramétervektor megfelelő megválasztásával.

A gradiens módszerek alkalmazása a tanulási folyamat során kézenfekvő.

Az evolúciós algoritmusok segítségével úgy optimalizálhatjuk a tudásbázist, vagyis minimalizálhatjuk annak hibáját, ha az egyedeket különböző  $p_i$  paramétervektoroknak, a géneket a különböző vektorok komponenseinek

feleltetjük meg, a fitness-függvényt pedig úgy definiáljuk, hogy az nőjön a rendszer hibájának csökkenésével.

Mivel az egyedek egy-egy (potenciálisan optimális) szabálybázist reprezentálnak, szükséges meghatározni egy megfeleltetést (kódolást) a kromoszómák génjei és e szabálybázisok között.

Trapéz alakú tagsági függvények esetén egy lehetséges kódolás a következő [22]. Mivel a szabályok karakterisztikus pontjainak adunk értéket az optimalizálás során, valamennyi egyedben minden egyes gén egy-egy karakterisztikus pontot ír le. Az egymás utáni gének trapézokat, azok pedig szabályokat határoznak meg kiadva a szabálybázist. Tehát az első négy gén az első szabály első dimenzióját magadó trapéz karakterisztikus pontjait jelenti, a következő négy a következő dimenziót magadó trapézt írja le, és így tovább.

A kódolást a 4. ábra mutatja, ahol  $a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}$  illetve  $d_{ij}$  az  $i$ -edik szabály  $j$ -edik bemeneti dimenziójának,  $a_i, b_i, c_i$  valamint  $d_i$  az  $i$ -edik szabály kimeneti dimenziójának a karakterisztikus pontjai.

Az algoritmusok nem tudják figyelembe venni, hogy az egymást követő gének között milyen viszonyoknak kell lennie. Ebből kifolyólag ügyelni kell az evolúciós operátorok következményeként esetlegesen létrejövő úgynevezett *abnormális* fuzzy halmazokra, vagyis azokra az esetekre, amikor a trapézok csúcsai rossz sorrendbe kerülnek (például a jobb alsó csúcsnak kisebb az értéke, mint a bal alsónak). Ez a nem kívánatos jelenség az imént részletezett génkódolás esetén elkerülhető azzal, ha azokon a helyeken, ahol esély van a kialakulásukra, egy sorrendezés kerül végrehajtásra.

### 4. A fuzzy szabályalapú, tanuló architektúrákat összehasonlító szimulációs vizsgálatok

Ebben a szakaszban a különböző fuzzy következtetési technikákon és optimalizálási algoritmusokon alapuló tanulási eljárások szimulációs futtatások segítségével történő összehasonlításának körülményei, valamint az eredmények tömör összefoglalása kerül ismertetésre.

#### 4.1. A szimulációs vizsgálatok körülményei

A futtatások során a legmeredekebb lejtő és Levenberg-Marquard algoritmusok önállóan (tehát evolúciós algoritmussal történő párosítás nélkül) nem kerültek alkalmazásra, ugyanis pusztán gradiens technikák használata értelmetlen, hiszen azok a rendszert a hibafelü-

leten legfeljebb csak a legközelebbi lokális minimumig tudnak eljuttatni.

A szimulációk futtatására három gépi tanulási problémán került sor: a kémia területéről származó egydimenziós, úgynevezett pH [22], a robotikában felmerülő kétdimenziós, úgynevezett inverz koordináta transzformációs (ICT) [22] és egy hatdimenziós függvény approximációs feladaton, amelyet a Nawa–Furuhashi szerzőpáros alkalmazott cikkében [20] a Bakteriális Evolúciós Algoritmus kiértékelésére. Bár ezek egyszerű, alacsony dimenziós problémák, mégis alkalmasak a vizsgált fuzzy rendszerek karakterisztikáinak összehasonlítására.

A futtatások során megfigyelésre kerültek többek között az aktuális populációk legjobb egyedeinek a fitness-értékei az idő függvényében. Ezen értékek a tanítómintákon mért MSE-n alapuló alábbi fitness-definíció által adódtak:

$$F(\mathbf{p}) = \frac{10}{\text{MSE}(\mathbf{p}) + 1}$$

Az 5. ábra a hatdimenziós tanulási probléma esetén mutatja a legjobb egyedek fitness-értékeinek időbeli lefolyását. A szaggatott vonalak a tisztán (gradiens lépések nélküli) evolúciós eljárásokat (genetikus, bakteriális és részecske-sereg), a pontozott vonalak a legmeredekebb lejtő technikát alkalmazókat, míg a folytonos vonalak a Levenberg-Marquardt algoritmust használókat jelzik.

#### 4.2. A szimulációs eredmények összefoglalása

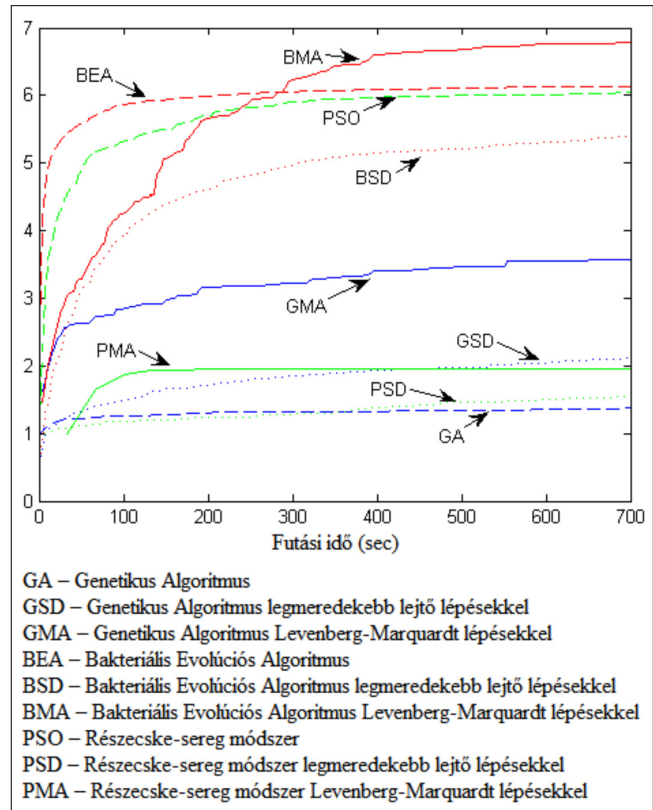
Az elvégzett szimulációs futtatások alapján a következő fő tendenciák figyelhetők meg:

- A bakteriális technikák jobbnak mutatkoztak, mint a megfelelő genetikus és részecske-sereg módszerek.
- A memetikus algoritmusok (főként a Levenberg-Marquardt gradiens lépéseket alkalmazók) hatékonyabbnak bizonyultak, mint a gradiens lépések nélküli, tisztán evolúciós technikák.
- Általában egy adott futási idő után a bakteriális evolúciós algoritmus alapú memetikus módszer (BMA) nem volt rosszabb, mint bármely más technika, és minél bonyolultabbnak mutatkozott egy feladat, annál inkább kiadódott e módszer elsőbbsége (5. ábra).

### 5. Összefoglalás

A fentiekben a fuzzy rendszerek alapkonceptiójából kiindulva a fuzzy következtetésekbe, valamint a numerikus optimalizálás evolúciós módszereibe történő betekintést és az ellenőrzött gépi tanulás sémájának ismertetését követően a fuzzy szabályalapú tanuló rendszerek evolúciós technikák révén történő kialakításának lehetősége került tárgyalásra, melynek részét képezte egy, a kialakított rendszereket összehasonlító szimulációs vizsgálat.

Mint ahogyan azt a szimulációk során alkalmazott kémiából átvett pH és robotikából származó ICT problémákra adott eredmények is alátámasztják [10], a létrehozott fuzzy rendszerek számos tudományterület (természettudományok, műszaki tudományok, orvostudomány, gazdaságtudomány stb.) művelői számára hasznos modellezési segédeszközként szolgálhatnak.



5. ábra

A legjobb egyedek fitness-értékeinek időbeli alakulása a hatdimenziós probléma esetén

### Köszönetnyilvánítás

A kutatást az OTKA K75711, a TÁMOP 421 B és a SZE Kutatási Főirány Program támogatta.

### A szerzőkről



**BALÁZS KRISZTIÁN** a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen szerzett műszaki informatikus diplomát 2009-ben. Azóta a BME Távközlési és Médiainformatikai Tanszékének állami ösztöndíjas doktorandusza. Kutatási területe a fuzzy rendszerek és az evolúciós algoritmusok. Ipari tapasztalatokkal rendelkezik algoritmus-tervezési területen. Az International Fuzzy Systems Association, a Neumann János Számítógép-tudományi Társaság és a Magyar Fuzzy Szövetség tagja.



**KÓCZY T. LÁSZLÓ** a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen szerzett villamosmérnöki (1975) és szakmérnöki (1976) diplomát, egyetemi doktori (1977), műszaki kandidátusi (1989), valamint MTA doktora (1998) címet. 1975 óta a BME, 2001 óta a győri Széchenyi István Egyetem oktatója. 2002 és 2011 között az SZE Műszaki Karának dékánja. Jelenleg egyetemi tanár. Vendégprofesszorként oktatott többek között az ausztráliai ANU, Murdoch és UNSW, a japán TIT, a koreai POSTECH, az osztrák J. Kepler, valamint az olasz trentói egyetemeken. Kutatási és oktatási területe a fuzzy rendszerek és más lágy számítási módszerek (evolúciós algoritmusok, neurális hálózatok). A területen több mint 450 publikációval rendelkezik. Társzerkesztője volt az IEEE Transactions on Fuzzy Systems folyóiratnak és jelenleg is társzerkesztője a Fuzzy Sets and Systems, International Journal of Fuzzy Systems, Journal of Advanced Computational Intelligence, Mathware and Soft Computing stb. folyóiratoknak. Az International Fuzzy Systems Association (IFSA) volt elnöke, az IEEE Computational Intelligence Society intézőbizottságának volt tagja, az IEEE Systems Council tagja.

## Irodalom

- [1] Kuttan, A.,  
“Robotics”,  
I. K. International Pvt Ltd., 2009, p.336.
- [2] Bubnicki, Z.,  
“Modern control theory”,  
Springer, 2005, p.423.
- [3] Ghosh, S., Razouqi, Q., Schumacher, H.J., Celmins, A.,  
“A survey of recent advances in fuzzy logic in telecommunications networks and new challenges”,  
IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 6, No. 3, pp.443–447., 1998.
- [4] Rouvray, D.H.,  
“Fuzzy Logic in Chemistry”,  
Academic Press, 1997, p.364.
- [5] Dymowa, L.,  
“Soft Computing in Economics and Finance”,  
Springer, 2011, p.295.
- [6] Mirabedini, S.J., Teshnehlab, M., Rahmani, A.M.,  
“FLAR: An Adaptive Fuzzy Routing Algorithm for Communications Networks Using Mobile Ants”,  
Int. Conf. on Convergence Information Technology, Gyeongju, South Korea, pp.1308–1315., 2007.
- [7] Tanaka, Y., Hosaka, S.,  
“Fuzzy control of telecommunications networks using learning technique”,  
Electronics and Communications in Japan, Vol. 76, No. 12, pp.41–51., 1993.
- [8] Pitsillides, A., Sekercioglu, A.,  
“Fuzzy logic based Congestion control”,  
COST 257: Impacts of new services on the architecture and network performance of broadband networks, Larnaca, Cyprus, 1999.
- [9] Bellec, J.-H., Kechadi, M.-T.,  
“Fuzzy Event Correlation Algorithm in Wide Telecommunication Networks”,  
Int. Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering, Vol. 3, No. 2, pp.103–116., 2008.
- [10] Balázs, K., Botzheim, J., Kóczy, L. T.,  
“Comparative Analysis of Interpolative and Non-interpolative Fuzzy Rule Based Machine Learning Systems Applying Various Numerical Optimization Methods”,  
World Congress on Computational Intelligence, WCCI 2010, Barcelona, Spain, pp.875–982., 2010.
- [11] Balázs, K., Kóczy, L.T.,  
“Hierarchical-interpolative Fuzzy System Construction by Genetic and Bacterial Programming Algorithms”,  
IEEE Int. Conf. on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE), Taipei, Taiwan, pp.2116–2122, 2011.
- [12] Kóczy T. L., Tikk D.:  
Fuzzy rendszerek,  
TypoTEX, Budapest, 2000.
- [13] Michels, K., Klawonn, F., Kruse, R., Nürnberger, A.,  
“Fuzzy Control Fundamentals”,  
Stability and Design of Fuzzy Controllers Series: Studies in Fuzziness and Soft Computing, Vol. 200, Springer, 2006.
- [14] Altrichter M., Horváth G., Pataki B., Strausz Gy., Takács G., Valyon J.:  
Neurális hálózatok,  
Panem Kiadó, Budapest, 2006.
- [15] Alpaydin, E.,  
“Introduction to Machine Learning”,  
The MIT Press, 2004.
- [16] Zadeh, L.A.,  
“Fuzzy sets”,  
Inf. Control, Vol. 8, pp.338–353., 1965.
- [17] Levenberg, K.,  
“A method for the solution of certain non-linear problems in least squares”,  
Quart. Appl. Math., Vol. 2, No. 2, pp.164–168., 1944.
- [18] Marquardt, D.,  
“An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters”,  
Journal Soc. Indust. Appl. Math., Vol. 11, No. 2, pp.431–441., 1963.
- [19] Holland, J.H.,  
“Adaption in Natural and Artificial Systems”,  
The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1992.
- [20] Nawa, N. E., Furuhashi, T.,  
“Fuzzy system parameters discovery by bacterial evolutionary algorithm”,  
IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 7, No. 5, pp.608–616., 1999.
- [21] Moscato, P.,  
“On evolution, search, optimization, genetic algorithms and martial arts: Towards memetic algorithms”,  
Technical Report Caltech Concurrent Computation Program, Report. 826, California Inst. of Technology, Pasadena, California, USA, 1989.
- [22] Botzheim, J., Cabrita, C., Kóczy, L.T., Ruano, A. E.,  
“Fuzzy rule extraction by bacterial memetic algorithms”,  
In Proc. of the 11th World Congress of International Fuzzy Systems Association, IFSA 2005, Beijing, China, pp.1563–1568., 2005.
- [23] Zadeh, L.A.,  
“Fuzzy logic and the calculi of fuzzy rules, fuzzy graphs, and fuzzy probabilities”,  
Computers & Mathematics with Applications, Vol. 37, pp.35–41., 1999.
- [24] Mamdani, E.H.,  
“Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant”,  
Proceedings of IEEE, Vol. 121, No. 12., pp. 1585–1588, 1974.

# Projektmenedzsment és az agilis szoftverfejlesztés

CSUTORÁS ZOLTÁN

Adaptive Consulting Kft.

zoltan.csutoras@adaptiveconsulting.hu

KOCSIS ÁRPÁD

Nissan Europe Information Systems

akocsis@nissan-europe.com

Kulcsszavak: projektmenedzsment, agilis, agile PM, SCRUM, szoftverfejlesztés, projekt

**Az agilis szoftverfejlesztés és a projektmenedzsment együttműködése egy új és érdekes téma, amelyről egyre többet hallani. A kor kihívásaira válaszolva 2011 második felétől megjelenik a PMI Agile minősítés<sup>1</sup>. Vajon milyen viszonyban áll a projektvezető és a szoftverfejlesztő, hogyan lehet összeilleszteni az agilitást a jól bevált projektvezetési módszerekkel?**

## 1. Bevezetés

Mind az agilis szoftverfejlesztés, mind a projektvezetés olyan terület, ahol temérdek könyv, tanfolyam és cikk áll rendelkezésre. Mind a két terület rendelkezik szervezett képzési és minősítési rendszerrel. Azt szeretnénk megvizsgálni, hogyan fog e két terület a valós életben, a gyakorlatban találkozni, amikor a szoftvert agilisan fejlesztik projektszerű keretek között.

Arra a kérdésre keressük a választ, milyen egy igazi, „éles” agilis szoftverfejlesztés üzleti környezetben, azaz olyan vállalatok kontextusában, ahol az IT üzleti célokat szolgál ki, tehát a kiszolgáló folyamatok része. A szoftverfejlesztést a vállalat szemszögéből vizsgáljuk.

A szoftverfejlesztés az ICT és IT területen működő cégek esetén (pl. Nokia, Microsoft, Apple) – tehát ahol a szoftver maga a termék – kicsit más, bár sok megállapítás ebben a környezetben is megállja a helyét. Ugyanígy félretesszük a kutatás-fejlesztési (R&D) területet. Először arra az esetre koncentrálunk, ami tipikus lehet egy informatikai cég, egy kkv számára: vállalati környezetben történő üzleti célú szoftverfejlesztés. Nem teszünk különbséget belső, külső vagy kiszervezett fejlesztés között – a cikk megállapításai érvényesek mindhárom esetben.

A célunk az, hogy rámutassunk az összefüggésekre, ok-okozati viszonyokra és azokra a kényszerekre, amelyek mentén az agilis szoftverfejlesztésnek a projektvezetéssel együtt kell mozognia.

## 2. A vállalati környezet

A környezet leírására a MOST piramist használjuk némi módosítással (1. ábra).

A vállalatot a Tulajdonos érdekei mozgatják – a Tulajdonos *profitot* szeretne termelni. A Menedzsment határozza meg a *célokat* és a *stratégiákat*. A stratégia megvalósítása taktikai szinten *projekteken* keresztül törté-

nik, amelyeket a PM vezet a megfelelő projektvezetési módszertan alkalmazásával. A munkát az informatikusok végzik, azaz ők fejlesztik ki a *szoftvert*. (Természetesen létezik projekt informatikus nélkül is, de az most számunkra nem érdekes.)

Konkrét példa autóiipari környezetből:

<b>Küldetés</b> (Mission)	Újautó értékesítések növelése
<b>Feladat</b> (Objectives)	Modellválaszték bővítése
<b>Stratégia</b> (Strategy)	Új modell indítása B szegmensben
<b>Taktika</b> (Tactics)	Projekt indítása az új modell értékesítésének támogatására
<b>Projekt munka</b>	Új modellhez szükséges fejlesztések végrehajtása az értékesítési rendszeren

A hatalom gyakorlása, az érdekek érvényesítése felülről lefelé történik, azaz a tulajdonos céljai adják a menedzsment feladatait, a menedzsment által szabott célok szerint dolgozik a projektvezető, és a projektvezető ad feladatokat az informatikusoknak. A fejlesztői csapatok feladata a felülről meghatározott célok elérése, a feladatok végrehajtása.

1. ábra Vállalati piramis

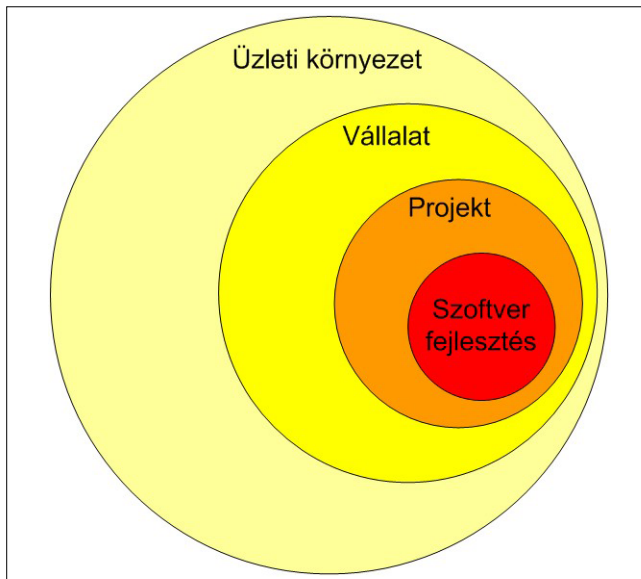


A tulajdonos, a menedzsment és a projektvezető elvárása a projektekkel szemben a *kiszámíthatóság, tervezhetőség és a keretek között maradás* (time-budget-scope-quality). A fejlesztő áll a piramis alján és jól látható, hogy alkalmazkodni kényszerül a felette meghatározott célokhoz és tervekhez. Illetve ha nem akar, akkor majd keresnek másik fejlesztőt.

Az IT projektnek ebben a közegben kell léteznie, és az informatikusnak alkalmazkodnia kell a vállalati környezethez. Más út nincs.

### 3. Projektmenedzsment

Vállalati környezetben a változás eszköze a projekt – legyen szó bármilyen változásról és bármilyen iparág-ról. Minden nagyobb fejlesztési feladat projektszerűen zajlik. A projekt környezetet a 2. ábra szemlélteti.

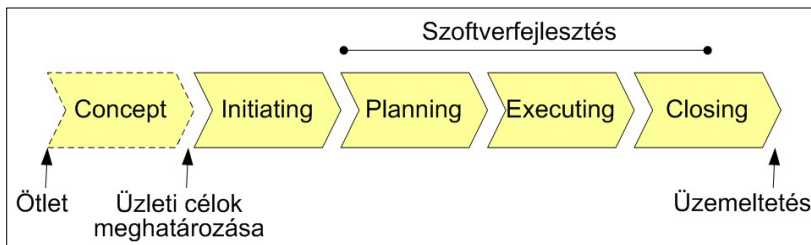


2. ábra Üzleti környezet

A projektek vezetése módszertanok alkalmazásával történik. A nagyvállalatok kialakították maguk módszertanát, amely a nemzetközi szabványok, például PMI ajánlás [1] vagy PRINCE2 adaptációját jelenti.

Az informatikai feladatok szükségszerűen egy üzleti projekt részeként valósulnak meg, annak keretein belül. Azonban a projekt és a szoftverfejlesztés nem azonos! A projekt jóval azelőtt elkezdődik, mielőtt a fejlesztők nekiállnának dolgozni és nem fejeződik be ott, amikor a szoftver elkészül (3. ábra) [2].

3. ábra Szoftverfejlesztés és a projekt



Jól látható, hogy még mielőtt a fejlesztőktől megrendelnék a szoftvert, a projektet fel kell építeni. Illetve látható, hogy a kész szoftver még nem elég, azt át kell adni az üzemeltetésnek, illetve stabilizálni kell az üzemeltést. Az előző szakaszban említett példához visszatérve: a projekt nem akkor van kész, amikor a szoftvert átadták, hanem amikor az új autómódellet értékesítése gond nélkül zajlik.

A munka a szigorúan vett fejlesztési feladatoknál jóval szélesebb, a keretek a szoftverfejlesztés megkezdésekor adóttak. A rendszerfejlesztéshez kapcsolódó tradicionális szabványok és módszertanok (pl. ISO 12207) figyelembe veszik a rendszerfejlesztésnek ezt a tágabb értelmezését.

### 4. Módszertanok és szemléletmódok

Az üzleti környezet meghatározása és a projektmenedzsment után most essék szó a szoftverfejlesztésről. Amikor vízésérről vagy agilis fejlesztésről beszélünk, akkor tulajdonképpen nem egy-egy módszertanról van szó, hanem szemléletmódról.

A vízésés vagy *PPP szemlélet* lényege a munkafolyamatok fázisokra bontása (ezért is használják rá a PPP – phased product planning – elnevezést) és a tervezés fontossága. A vízésés kifejezést ennek a szemléletmódnak az elnevezésére használjuk a továbbiakban és beleértjük mindazon módszertanokat, amelyek megfelelnek a definíciónak. Az *agilis modellt* ezzel szemben arra szemléletmódról használjuk, amely az egyénekre és a csapatba vetett bizalomra épül, elfogadja a fejlesztési folyamatokban lévő bizonytalanságot és ezért ciklikus fejlesztési megközelítést javasol.

A vízésésmodell kora és kialakulása miatt jól összekapcsolható a projektmenedzsment módszerekkel. Ugyanakkor a projektmenedzsment módszertanok és ajánlások nem mondják azt, hogy csakis vízésésmodell szerint lehet szoftvert fejleszteni. Már csak azért sem, mert a projektvezetés és a szoftverfejlesztés a projekt különböző szintjeit jelentik (lásd az 1. ábrát).

### 5. Az agilis szoftverfejlesztés

Az agilis szoftverfejlesztésre elsősorban mint *értékrendszerre* érdemes tekinteni. Az agilis kiáltvány és a 12 agilis alapelv is röviden és világosan megfogalmazott értékrendszert rögzít. Ennek az értékrendszernek a lényege a gyorsaság, a változásra való reagálási képesség, az egyének és a csapat képességeibe és motivációjába vetett bizalom, a működő terméknek, mint a siker egyetlen mércéjének elismerése. Az agilis szemlélet nem más, mint a értékrendszerbeli hangsúlyok erős megváltoztatása a vízésés szemléletéhez képest. Amíg a vízésésszemlélet kiindulási pontja, hogy az a team, amelyik jól kidolgozott eljárásokat, szabályo-

kat és szervezeti felépítést követ, hatékony lesz, addig az agilis szemlélet abból indul ki, hogy ha a *megfelelő emberekből* összeállított team elé *világos célok*at tűzünk ki, és *világos kereteket* jelölünk ki számukra, akkor azok *hatékony eljárásokat*, szabályokat és szervezeti felépítést fognak kialakítani. A különbség tehát a kultúra és a team kialakításának sorrendjében van, nem pedig abban, hogy szükség van-e szabályokra. Az agilis szemlélethez igazodó modellek egy olyan keretrendszer definiálnak, amelyek azt írják elő a megvalósító csapatok számára, hogy tudatosan és megállás nélkül vizsgálják felül saját működésüket és a termékkel párhuzamosan saját szabályait és eljárásait is folyamatosan fejlesszék. Ezek a keretrendszerek nem a termék megvalósítására vonatkozó módszertanok, hanem olyan szabályok és szervezeti keretek, melyek az egyedi problémákra testre szabott eljárások kialakítására készítetik a megvalósító csapatot.

Az agilis szoftverfejlesztési alapelvek mentén számos módszertani keretrendszer alakult ki. Ezek közül a legismertebb a Scrum [3], de vannak más érdekes irányzatok is, például az eXtreme Programming, a DSDM, vagy a Kanban System for Lean Software Development. Az agilis keretrendszerek sosem lesznek módszertanok, mivel az alapelvük az igényekre történő adaptáció és a folyamatos javítás érdekében történő állandó változtatás.

Az agilis módszerek hatékonysága akkor mutatkozik meg igazán, ha a projekt célja egy új (még nem létező) termék fejlesztése. Ebben az esetben nincs hová visszanyúlni, alig állnak rendelkezésre tapasztalati alapok, tehát nincs okunk azt hinni, hogy létezik olyan módszer, ami az új problémára megoldást tud kínálni. Ezekre a projektekre az a jellemző, hogy csak homályosan ismerjük az elkészítendő termék körvonalait, nem rendelkezünk kellő információval a pontos specifikációhoz, nincsenek tervezési mintáink a tervek elkészítéséhez és nem tudjuk előre azonosítani azokat a tevékenységeket, amelyek az új termék előállításához fognak vezetni.

A Scrum egyik ihletőjeként számon tartott „The New Product Development Game” című cikkében [4] pont olyan projekteket és csapatokat vizsgált, amelyek ilyen, instabil elvárások mellett értek el kiemelkedő eredményeket. A feladatok, amelyekre ezeket a csapatokat létrehozták, például ilyenek voltak: *„Ki kell fejleszteni egy olyan nyomtatót, ami a cég jelenlegi csúcscategóriás nyomtatóinak paramétereivel rendelkezik, de a gyártási költsége annak maximum a fele. A termék kifejlesztésére a team 24 hónapot kap, pont fele annyit, mint a termék elődjének kifejlesztésére felhasznált idő.”* (Fuji-Xerox, FX-3500 projekt) Az ő általuk „rugby módszernek” nevezett alapelvek szolgálták kiindulási pontként a Scrum keretrendszer kialakításához.

Fontos tehát kiemelni két olyan tény, ami meglátásunk szerint általában nem kap kellő hangsúlyt az agilis módszerek tárgyalásakor. Az első, hogy a Scrum elvei szerint szervezett csapatokkal szemben eredetileg igen kemény, *kőbe vésett határidő, költség, minőség és cél* (nem követelmények/scope) elvárásokat támasztottak. A szabadsági fokuk a cél elérésének módjában volt. A másik,

hogy ezeket a csapatokat olyan termékfejlesztési feladatok megvalósítására alakították, melyek *jelentős mértékű innovációt* igényeltek. Ezekre a projektekre az volt a jellemző, hogy ismeretlenek voltak a módszerek, amelyekkel a cél elérhető lett volna és nem volt világos koncepció a célt kielégítő termék jellemzőire vonatkozóan.

Ha az agilitást úgy értelmezzük, hogy az a csapatok felhatalmazása a termék jellemzőinek megfogalmazására és a saját munkamódszereik kialakítására, akkor az agilitás kívánatos szintje az innováció mértékétől, azaz a megvalósítandó termékkel szemben támasztott elvárások előre történő megismerhetőségétől függ. Minél inkább biztosak vagyunk abban, hogy pontosan mit szeretnénk előállítani és ezt hogyan kell megtennünk, annál kevésbé szükséges az agilitás. Ekkor az energiánkat nem arra kell fordítani, hogy teljesen új munkaszervezési módszereket dolgozzunk ki. (A módszerek javítása ugyanakkor továbbra is fontos kell, hogy legyen!) Ezzel ellentétben, ha jelentős az innováció a projektben, nincsenek tapasztalatok és minták a termék koncepciójának részletes meghatározásához, akkor majdnem biztosan lehetünk benne, hogy a szigorúan fázisolt PPP módszerek kudarchoz vezetnek. Ekkor az agilis szemlélet eszköztárához kell nyúlnunk.

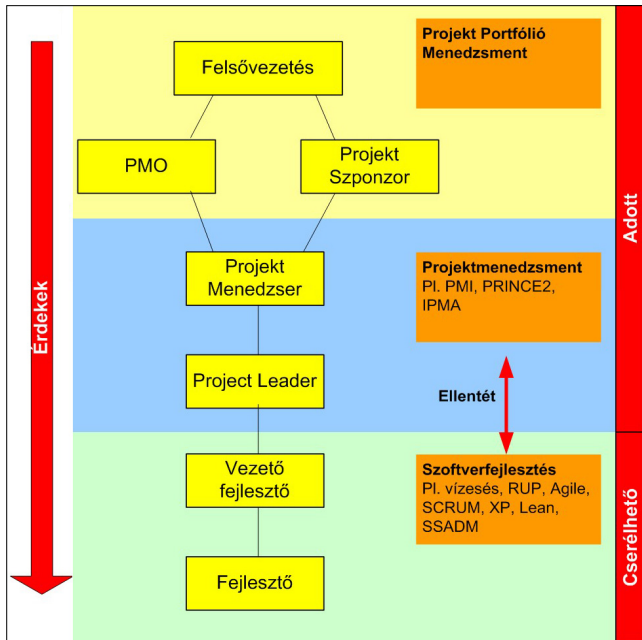
## 6. A látszólagos ellentmondás

Mi fog történni akkor, amikor a Scrum Master (tegyük fel, hogy a fejlesztés Scrum szerint történik) összeül megbeszélni a projektmenedzserrel a munka indítását? Bábéli zűrzavar lesz. A Scrum Mastert felkészítették arra, hogy hatékonyan irányítsa egy agilis szoftverfejlesztést, de arra nem, hogy egy klasszikus projekt keretein belül dolgozzon. A Scrum Master képzések jellemzően nem szólnak a projektek tágabb környezetéről.

A másik oldalról nézve, a projektvezetőnek nem mondták el, hogy léteznek agilis módszertanok, ezek mit jelentenek és mi az ő szerepe egy Scrum fejlesztésben. Az agilitás szemléletidegen lesz. Az ellentéteket tovább fokozzák a *terminológiai eltérések*. Például a tervezés (planning) kifejezést mind a két oldal használja és mind a két oldalon mást jelent. Szoftverfejlesztés során a tervezés alatt a szoftver műszaki és ütemtervének kialakítását értjük. Ez a munka azonban projektvezetési szempontból már a végrehajtás (execution) része, nem pedig a tervezési fázisé. A félreértések oka az, hogy a Scrum Master és a projektvezető *különböző szemléletet* képvisel, ennek megfelelően más terminológiát, más eszközöket és más folyamatokat.

A 4. ábra mutatja be a különböző módszertanok helyét és szerepét. A fejlesztő és vezető fejlesztő szintjén szoftverfejlesztési modellről beszélhetünk, miközben a projektvezető az ő szintjén projektvezetési módszereket használ. Az egészet pedig csokorba fogja a Portfólió Menedzsment.

Továbbmenve: ahogyan az agilis fejlesztésről általában beszélnek, az *ellentmondásban van a projektvezetési módszertanokkal*. Ilyen például a tervezés fontossága:



4. ábra Módszertanok kavalkádja

minőségbiztosítási szempontból kulcsfontosságú a projektterv megléte, miközben az Agile Manifesto szerint ez másodlagos [5]. Ugyanilyen nézőpontbeli eltéréseket találunk, ha a szerződés kidolgozottságáról, a dokumentáció szükségességéről vagy az igények előzetes megismeréséről beszélünk, csak hogy néhányat említsünk.

Az eltérések oda vezetnek, hogy barikád emelkedik az informatikusok és a projektvezetők között, és mindkét oldal próbálja meggyőzni igazáról a másikat. Harcolni nem érdemes, hiszen a projektszerű működés adottság, amit el kell fogadni. Az üzleti célokat el kell érni – és az informatikus lecserélhető.

### 7. A vízésés modell

Ha az agilis szemlélet konfliktusokat teremt, akkor nem lenne-e jobb vízésésmodell szerint fejleszteni? Elvégre ez a szemlélet kiszolgálja a vezetőség igényét a kiszámíthatóság és tervezhetőség iránt.

Ha ma, a 21. században megnézzük a „hagyományos” módszerekkel dolgozó fejlesztő csapatokat, akkor kiderül, hogy amit a 20. században gondoltunk vízésésmodell alatt, az már nem állja meg a helyét. Ennek egyik oka a változás: *nincs projekt változás nélkül*, nincs szoftverfejlesztés változáskérelem nélkül. Az üzleti élet felgyorsult, az igényeket követni kell. A projektvezetési módszertan szerves része a változáskezelés [6]. Tehát pontosan a projektvezetés lesz az, ami rugalmasságra kényszeríti a kötött módszertant. Következmény: a specifikáció nincs köbe vésve.

A másik ok pedig a hatékonyság: a nagyvállalatok felismerték, hogy a kis csapatok rugalmasabban és nagyobb hatékonysággal képesek szoftvert fejleszteni, mint a nagyok. Manapság már nincs olyan, hogy 100 fejlesztő egy nagy irodában ülve dolgozik egy 1000 oldalas specifikáció alapján. A kiszervezés megváltoztatta a munkamódszereket és a működési környezetet. Ez a vízésés már nem az a vízésés.

Végeredményben azt láthatjuk, hogy a merevnek tartott, folyamat alapú fejlesztési módszertanokat is rugalmasabban kezeljük, azaz *tetten érhető az agilizálódás*. Az agilizálódás pedig pontosan felülről lefelé, a vezetőség irányából jön, akik a változó üzleti igényeknek megfelelő, jól működő szoftvert szeretnének – és mindezt holnapra.

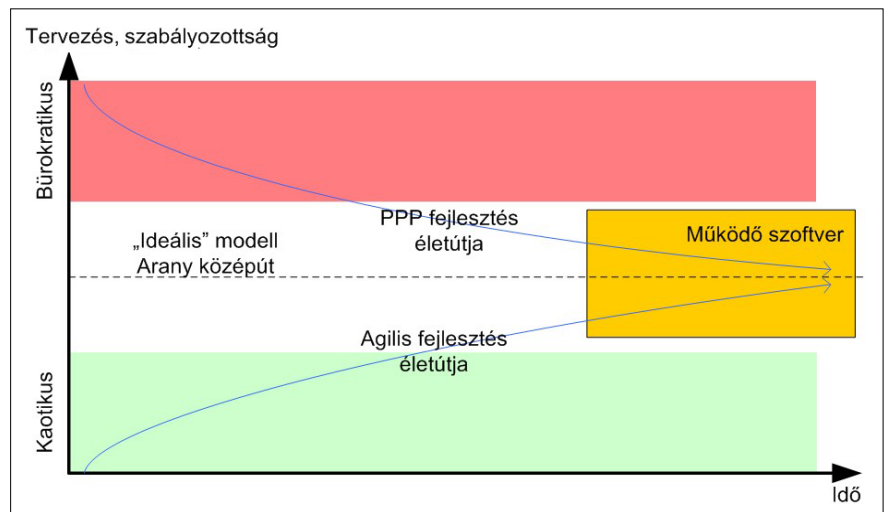
### 8. A két modell találkozása

A szoftverfejlesztési keretrendszerek és modellek csak eszközök, amelyek a jó projektvezető eszköztárának a részei. Nem szembeállítani kell őket, hanem alkalmazni az adott helyzetnek megfelelően, megtalálva az arany középutat.

Bármelyik módszerrel is indul el, egy sikeres vezető nagyon hasonló gyakorlati alkalmazásra fog jutni. A vízésés is lehetőséget ad a változáskezelési eljárásokra. Ha ezek gyakoriak, ha a tervezés a valós tudásra és nem erőltetett feltételezésekre épül, akkor működni fog és meglehetősen sok „agilis” elem köszön majd vissza belőle. Az agilis szemléletben induló teamek pedig minden iteráció után alakítanak a szabályaikon, egyre szervezettebbek és szabályozottabbak lesznek. Az igazán jó agilis teamek egy idő után legalább annyi szabályt és normát vezetnek be, amennyit egy vízésés modellre alapuló módszertan is megirigyelne.

Az 5. ábra mutatja be a két modell találkozását. A vízésés módszertanok a bürokratikus szakaszból indulnak, de az üzleti elvárásoknak engedve az idő előrehaladtával a projektvezető és csapata kénytelen lesz rugalmasnak lenni.

5. ábra Fejlesztési modellek találkozása





A másik oldalról indulva, az agilis keretrendszerek kaotikusnak tűnhetnek eredeti formájukban, de ahogyan a csapat egyre több szabályt alakít ki, lesz egyre bürokratikusabb.

A kétféle szemlélet közelíteni fog egymáshoz.

Ez elsőre meglepő, de másodjára már teljesen logikus, a következő okok miatt:

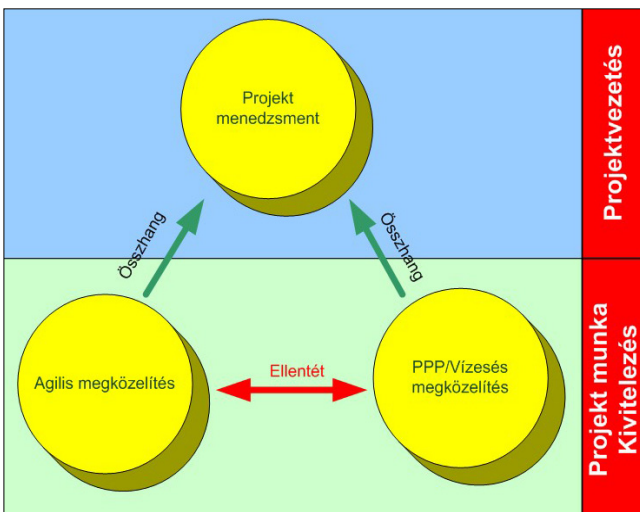
- A cél azonos: működő szoftver, elégedett ügyfél.
- A 2. szakaszban leírt vállalati környezet azonos, tehát gyakorlatban a megvalósításnak is hasonlóan kell lennie függetlenül attól, hogy agilis vagy nem agilis.
- A 3. szakaszban ismertetett projektmenedzsment környezet is adottságnak tekinthető, ami a kivitelezéstől függetlenül (agilis vagy nem agilis) létezik.
- A 4. szakaszból kiderült, hogy a különféle módszertanokat és szemléletmódokat azonos céllal hozták létre, az eltérés csak a megközelítésben és az eszközökben van.
- Kiderült, hogy a 6. szakaszban ismertetett, módszertanok közötti ellentmondás a projektmenedzsment alatti szinten jelentkezik csak, egyik sem ellentétes, vagy támogató a projektvezetési területtel (6. ábra).

Mindezek miatt a módszertanok gyakorlati alkalmazása nem lehet túlságosan eltérő.

Mivel a módszertanok egymás felé közelítenek, feltesszük, hogy létezik a kettő között egyfajta optimum: az „ideális” szoftverfejlesztési modell. A „működő szoftver” címszóval jelölt terület az, ahol a projekt csapat magabiztosan, tervezetten, vezetetten fejleszti a szoftvert és a fejlesztés sikeres lesz. Mivel a fejlesztés folyamat-optimalizálás útján jutott ide, párhuzam érezhető a CMMI 5-ös szintjével [7].

A projektmenedzser feladata az, hogy a módszertani elemeket és az eszközöket felhasználva – szükség szerint variálva – megtalálja ezt a középútat. Tulajdonképpen semmilyen újdonság nincs ebben, hiszen a PMI is eleve csak ajánlást fogalmaz meg – építőköveket (folyamatokat) ad, amelyekből felépíthető a projekt.

6. ábra Egy projekt szintjei



## 9. Összegzés

Elindultunk a vállalati környezetből, megvizsgáltuk a szoftverfejlesztést a projektmenedzsment szemüvegén át, majd szemügyre vettük fejlesztési módszertanokat, különös tekintettel az agilis szoftverfejlesztésre.

Kiderült, hogy az agilis modell eltér ugyan a hagyományos megközelítéstől, de ez nem gond, hiszen egyik modellt sem alkalmazzuk vakon, és a cél mindenhol azonos lesz. Bármilyen megközelítésből is indulunk, a projektvezetési eszközök alkalmazása és a gyakorlat azonos lesz. Mindegyik modell mellé kell egy projektmenedzser, aki látja az elvárásokat és ezek alapján felépíti a projektjét a módszertani elemek (gyakorlatok és folyamatok) alkalmazásával.

### A szerzőkről



**CSUTORÁS ZOLTÁN** agilis projektvezetési tanácsadó. Több, mint 10 éves tapasztalattal rendelkezik informatikai projektek vezetésében. Hazai környezetben az elsők között kezdte alkalmazni a Scrum és a Kanban System for Lean Software Development keretrendszereket. Szoftvermérnöki végzettségén túl a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen humán erőforrás-menedzsmentet tanult, majd MBA diplomát szerzett. Certified Scrum Master és Certified Scrum Professional minősítéssel rendelkezik. A modern szoftverfejlesztési csapatirányítási módszereket mindvégig a tradicionális menedzsmenttudományokra alapozva vizsgálta és alkalmazta. Az általa képviselt adaptív menedzsment eszközrendszer egyaránt épít a kreatív csapatok vezetésére kialakított agilis módszerekre és a hagyományosan elismert tradicionális eszközökre.



**KOCSIS ÁRPÁD** informatikai menedzser a Nissannál. 1997-ben végzett a József Attila Tudományegyetem programozó matematikus szakán, azóta rendszergazdaként, programozóként, projektvezetőként és menedzserként dolgozott kisebb és nagyobb (Wincor Nixdorf, Morgan Stanley, TCS, Nissan) cégeknél. Operational Management és Nissan PM minősítéssel rendelkezik. 2007 óta a Nissan európai központjának dolgozik, kezdetben mint a közép-kelet európai régióért felelős informatikai menedzser. Jelenleg az AMIE (Africa-Middle East-India-Europe) régió garanciális informatikai rendszereiért felelős. Az agilis alapelvekkel 2001-ben az USA-ban ismerkedett meg, majd hazatérve a Morgan Stanley-nél dolgozott Scrum keretek között. A Nissan-nál, a manufacturing és IT metszéspontjában az asztal másik oldalán ülve lát rá a projektvezetés és a szoftverfejlesztés kérdéskörére.

### Irodalom

- [1] Project Management Institute, <http://www.pmi.org/en/Certification/New-PMI-Agile-Certification.aspx>
- [2] PMBOK Guide, 4th edition, pp.18–19., 2008.
- [3] Scrum Guide: <http://www.scrum.org/storage/scrumguides/Scrum%20Guide.pdf>
- [4] “The new product development game”, Harvard Business Review, January-February 1986.
- [5] Agile Manifesto, 2001.
- [6] PMBOK Guide, 4th edition, “Perform Integrated Change Control”, pp.99., 2008.
- [7] “CMMI for Development, Version 1.3” CMMI-DEV (Version 1.3, November 2010). Carnegie Mellon Univ. Software Engineering Inst., 2010.

# 10 éve hunyt el Simonyi Károly

GERGELY GYÖRGY

*MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet*

**Tíz éve, 2001. október 9-én hunyt el Simonyi Károly, a villamosságtan és fizika kiemelkedő hazai professzora. Az itthon végzett összes magyar villamosmérnök és híradástechnikus mérnök 1970 előtt a tanítványa volt, utána pedig a könyveiből tanult. Tudomásom szerint én vagyok a legidősebb tanítványa, nála doktoráltam 1949-ben.**



Simonyi Károlyról jelentős hazai irodalom, könyvek, cikkek állnak rendelkezésre. Staar Gyula három könyvéből a Beszégetéseket [1] emelem ki, Erdősi Gyula [2] pedig Simonyi tanítványaitól és tisztelőitől gyűjtött össze megemlékezéseket. 2011-ben Budapesten négy emlékülés került megrendezésre [3]: a Műegyetemen a Fizikai Társulat, az Óbudai Egyetemen az IEEE Hungary Section, az MTA, valamint a KFKI-RMKI tartott Simonyi-napot. A BME rendezte régi tartozását, májusban avatták fel az új Q épület legnagyobb és legkorszerűbb, Simonyi Károlyról elnevezett előadótermét, októberben

pedig ugyanitt szobrát. A BME-OMIKK poszterkiállítás rendezett Simonyi életéről és munkásságáról (Árvayné Kucser Judit és Csurgay Ildikó). DVD is készült róla a „Magyar Tudomány és technika nagyjai” sorozatban (BME-OMIKK).

Én 1947 februárban szereztem villamos tagozatos gépészmérnöki oklevelet. Műegyetemi tanulmányaim hasonlóak voltak Simonyihoz. Pogány Bélától tanultuk a fizikát, tőle az elméleti villamosságtant is, Stachó Tibortól a matematikai analízist, Babits Viktortól a rádiótechnikát. A Műegyetem Villamoskara csak 1950-ben létesült, a Gyengeáramú Tanszéket is 1950-ben foglalta el Barta István. Mi régen a híradástechnikából csak a távíró-távbeszélő-technika és a rádiótechnika kollokviumi tárgyakat kaptuk, az elméleti villamosságtan azonban döntő mértékben az elektromágneses hullámokkal foglalkozott. Itt említeném Pogány: Elektromágneses tér c. könyvét (1927). Simonyi nagyszerű Elméleti Villamosságtana 1952-ben, Villamosságtana pedig 1962-ben jelent meg. Ezeket minden villamosmérnök bibliaként forgatja, külföldön is (német és orosz fordítások).

Simonyi Károly gépészmérnöki oklevelének megszerzése (1940) után Pöschl Imre tanársegédje lett, A Műegyetem mellett Pécsen jogi doktorátust szerzett. 1943-ban Bay Zoltán vette őt fel tanszékére, mely a Budafoki út 8. mellett a Tungstram Kutató- laboratóriumában is működött. Simonyi a Műegyetemen az 1 millió V-os kaszkádgenerátor építésében vett részt. 1944 nyarán a Tungstram Kutató radartémával foglalkozó részlege Nódrádverőcén folytatta a kutatásokat. Simonyi Károly Ducza Károllyal (Melbourne) együtt végzett kísérleteket [2]. A Verőcei Szigeten észleltek a radar jelek mellett hangátvitelt is, így a rádiótelefont (a mobil ősét) hazánkban ők kezdték el fejleszteni.

1946-ban Simonyi Károly az orosz hadifogságból hazatérve Bay Zoltánnál folytatta kutatómunkáját. A hazai és nemzetközi híradástechnikai kutatások történelmi eredménye a sikeres holdradar volt, amelyet Bay vezetésével egy nagyszerű csapat, Bay Zoltán „Aranycsapata” valósított meg. Csak néhány kiemelkedő tagjáról szólok: Simonyi Károly, Bodó Zalán és Pócza Jenő, később nemzetközileg elismert professzorok. Mindhármukat eltávolították tanszékükről a BME-n, illetve az ELTE-n (Pócza). Takács Lajos, Bay Zoltán matematikusa a Clevelandi Egyetem professzora lett. Budintsevit Andor kivitelezte Bay elképzeléseit, ő készítette a statisztikus, adatgyűjtő Coulométert. Barta István professzor adott tanszékén dolgozószobát Simonyinak tanszéke elvesztése

után. Itt írta meg Csurgay Ildikó segítségével a „Fizika kultúrtörténetét”. Ez a legnagyobb könyv, amit életemben olvastam.

Én 1946-ban találkoztam Simonyival, aki Bay Zoltán távollétében helyette az elméleti villamosságtant adta elő és kiemelkedő előadásokat tartott. Az Atomfizika tanszéken azonban a háború után semmilyen lehetőség nem volt kísérleti munka folytatására. 1948 februárban Bay Zoltán felvett doktorandusznak a Tungstram Kutatóba. Helyetteséhez, Szigeti Györgyhöz osztott be, akitől minden segítséget megkaptam doktori munkámhoz és értekezésemhez. Bay Zoltán már májusban menekülésre kényszerült. Tanszékét távollétében Simonyi vezette, vele folytattam a konzultációkat, majd hozzá nyújtottam be értekezésemet. 1949 júniusban szereztem műszaki doktori oklevelemet [4]. 1948-ban Simonyi professzor lett a Soproni Egyetemen. Itt építette meg 800 keV-os Van der Graaf gyorsítóját és végezte hazánkban az első sikeres elem-átalakítást.

1950-ben Simonyi Kovács István igazgató meghívására a KFKI Atommagfizikai Osztály vezetését vállalta. Ugyanakkor a Műegyetem az Elméleti Villamosságtani tanszék vezetésére is kapott kinevezést. Bay Zoltán Atomfizika tanszékét Kovács István vette át spektroszkópia témával. Simonyi tanszéke a dunaparti épület elkészültéig (1958) Bay Zoltán tanszékének szobáiban működött.

Simonyi a KFKI-ban 1957-ig építette nagyenergiájú gyorsítóit, a KFKI igazgatóhelyettese lett. Ezeket ma is alkalmazzák. Különösen fontos alkalmazásuk az RBS, a félvezető és nanotechnológiában az elemzés és szerkezetvizsgálatok hatékony módszere [5]. Az ionimplantációt a félvezető technológia használja [5].

A forradalom után hajsza indult Simonyi ellen, ő önként távozott a KFKI-ból és a BME Elméleti Villamosságtan tanszékén folytatta munkáját. Itt írta meg Elektronfizika tankönyvét, mely az elektroncsövek mellett már félvezetőkkel is foglalkozott. Azután itt is hajsza indult ellene, 1970-ben lemondott tanszékéről. Ekkor fogott fizikatörténeti könyvének megírásához, amiért Széchenyi díjat kapott. A német és orosz kiadások után az angol fordítás fia, Charles Simonyi (Microsoft) közreműködésével készül.

Simonyi Károly rehabilitációjára csak 1989 után került sor. Az MTA levelező, majd rendes tagjának választotta. Teller Edével egyszerre lett a BME díszdoktora. 1995-ben beszéltem vele utoljára, Budintsevit Andor nekrológjának megírására kértem. Ő ezt már nem vállalta egészségi állapota miatt és rám hárította. Kérésének eleget tettem, írásom a Fizikai Szemlében jelent meg. Simonyi Károly haláláig dolgozott a „Magyarországi fizika kultúrtörténetén”. Az első világháborúig jutott el. Kézirat hagyatékát Staar Gyula rendezte sajtó alá és jelentette meg a Természet Világa külön kiadványában.

Szellemi örökségének gondozásával volt munkatársa, Csurgay Ildikó foglalkozik. Ő kezdeményezte és benyújtotta le szobrának megvalósítását, Veres Sándor szobrászművész alkotását.

Simonyi Károly legendás előadásaival a magyar mérnökök nemzedékeit képezte. Nagyszerű könyveit azóta is használják a mai mérnökök és egyetemi hallgatók. A diákság Simonyi Károly Szakkolégiuma az ő szellemében folytatja munkáját. A „Fizika kultúrtörténete” minden mérnöknek és fizikusnak kötelező olvasmány.

Simonyi Károly szellemóriás volt, példaképem.

## Irodalom

- [1] Staar Gyula:  
De mi az igazság? Beszélgetések Simonyi Károllyal.  
Typotex kiadó (1991).
- [2] Erdősi Gyula:  
Simonyi Károly, az iskolateremtő (2011).
- [3] Gergely György:  
Megemlékezések és tiszteletadás Simonyi Károly halálának 10. Évfordulója alkalmából. Fizikai Szemle (közlésre benyújtva).
- [5] Gyulai József:  
A részecske gyorsítótól a nanotechnológiáig  
– és mi van tovább?  
Informatika (Gábor Dénes Főiskola Közleményei)  
Nr. 11, p.45. (2009).
- [4] Gergely György:  
Gyémánt doktori oklevél Simonyi Károlynál 1949-ben.  
(GDF Főiskola Közleményei) Nr. 13, p.6. (2010).

## Hírek



**Magyar fejlesztésű, nemzetközi viszonylatban is egyedülálló, a kulcsszavak és érzelmek különálló felismerésére képes, mesterséges intelligencia alapú rendszerrel teszi hatékonyabbá telefonos ügyfélszolgálatának működését a Telenor.**

A Nextent Informatika által kifejlesztett, Voice Miner névre keresztelt alkalmazás segítségével a rendszer felismeri, hogy a cég számára fontos kulcsszavak elhangzanak-e a beszélgetésben, így adott esetben egy panasz, vagy probléma sokkal gyorsabban azonosítható. A rögzített beszélgetéseket korábban csak szűrőpróbaszerűen volt lehetőség visszahallgatni, ezzel szemben a Voice Miner automatikusan jelentéseket küld minden telefonbeszélgetésről az előre meghatározott paraméterek alapján az illetékes kollégákhoz.

A rendszer ezen felül a beszédben megjelenő érzelmek önálló felismerésére is képes. Ennek eredményeként vizsgálható például, hogy az ügyfél miképpen reagál az ügyfélszolgálati munkatárs által elmondottakra. Az eredményeket, illetve tapasztalatokat a Telenor minőségbiztosítási szakértői beépítik az ügyintézők képzésébe, értékelésébe, folyamatosan fejlesztve ezáltal az ügyfélkezelés minőségét.

A rendszer használatának bevezetésével párhuzamosan a Telenor az ügyfélszolgálati igazgatóságon belül kialakította a Voice Miner specialista munkakört, melyhez kötődően az eddigi munkafolyamatokat is megreformálta. Változott az ügyintézők képzésének módszere, továbbá a rendszer karbantartásához, a különböző lekérdezési módszerek kialakításához, teszteléséhez kapcsolódóan is létrejöttek új feladatok. A Voice Miner rendszer alapját képező érzelemfelismerő technológia nemzetközi viszonylatban is egyedülálló. Erre alapozva a Nextent Informatika kifejlesztette a rendszer „testvérét”, a Rank Miner nevű alkalmazást, mely nyelvfüggetlen, ezáltal a külföldön történő felhasználásra is lehetőség nyílik.

*„A hang és adatbányászati technológiák kifejlesztésében részt vett a hazai beszéd- és mesterséges intelligencia-kutatás elismert kutatócsapata, a Dr. Kocsor András vezette Alkalmazott Intelligencia Kutató Nonprofit Közhasznú Kft. is. Éppen ezért elmondható, hogy ennek az egyedülálló technológiának a megalakítása a hazai informatikai innováció egyik nagy sikere. Az együttműködés tapasztalataira építve folyamatosan fejlesztjük beszéd- és érzelemfelismerő technológiánkat, amely minden telefonos ügyfélszolgálatnál rendelkező vállalkozás számára jelentős versenyelőnyt biztosíthat, és olyan üzleti területeken alkalmazható nagy hatékonysággal, mint az ügyfélszolgálati minőségbiztosítás, értékesítés támogatás és az ügyfélvándorlás megakadályozása, illetve a CRM hatékonyságának növelése. – nyilatkozta Bódogh Attila, a Nextent Informatika Zrt. innovációs igazgatója.*



**A Kingston Technology Europe Ltd. bejelentette, hogy a román**

**Lab501 tuningoló csapat egy élő tuning esemény során három új világrekordot ért el a világ leggyorsabb kétcsatornás memóriakészletével, a Kingston HyperX KHX2544C9D3T1FK2/2GX készlettel.**

A RAM-modulokkal elért három új rekordot december 3-án állította fel Matei „Matose” Mihaitiu, Tudor „Monstru” Badica és Razvan „Micutzu” Fatu, a világszerte elismert Lab501 csapat három román tuningoló bajnoka. A rekordokat az eMAG bukaresti bemutatótermében szervezett eseményen érték el a tuningolásért rajongó közel 100 néző, valamint két helyi televíziós stáb jelenlétében. A legmagasabb, 3600 MHz-es órajelű rekordot CAS 10 (Column Address Strobe Latency) mellett állították fel, amely így a DDR3 SDRAM memóriák használatával elért legmagasabb memória-órajel a világon. Ugyanezen eseményen a Lab501 csapata szintén világrekordot döntött a CAS 9 mellett elért 3479 MHz-es, illetve a CAS 8 mellett elért 3275 MHz-es órajellel. Ezek eléréséhez folyékony nitrogénnel, -196 °C-os hőmérsékletűre hűtötték le a modulokat.



Az NNG Kft., a globális navigációs szoftverfejlesztő vállalat bemutatta az iGO primo szoftverbe épített, egylépéses hangalapú úticél-meghatározás funkciót. A hang- és nyelvi megoldásokat szolgáltató Nuance beszédmotorján alapuló, új úticél-meghatározó rendszer valódi előrelépést jelent a hangirányítás alkalmazásában. Ez az első off-board megoldás, amely az iGO primo menükezeléséhez kapcsolt hangalapú utasításokkal teszi lehetővé a navigációs készülékek könnyed és zavartalan irányítását.

Az egylépéses úticél-meghatározás a lassabb és tagoltabb összetett úticél-meghatározás továbbfejlesztett változata. Korábban a felhasználóknak követniük kellett a navigációs készülékük instrukcióit, külön-külön megadva a város és az utca nevét, valamint a házszámot. Mindezt kénytelenek voltak hosszú szünetekkel tagolni, amíg a szoftver felismerte és feldolgozta a bemondott adatokat. Ezzel ellentétben az új funkció felismeri az egy összefüggő mondatban elhangzott címekeket, amivel még egyszerűbb használatot és nagyobb címfelismerési arányt biztosít. Az on-board beszédfelismerő technológián alapuló funkció egyaránt alkalmazható adatkapcsolatot használó és azzal nem rendelkező navigációs megoldásoknál. Az iGO primo a Nuance beszédszintetizátorra épülő text-to-speech (TTS) technológiája révén természetes és kellemes hangon olvassa fel az útvonaltervet, az utcaneveket is beleértve. A szoftver támogatja a Nuance nyelvi portfólióját is: 20-nál több európai, ázsiai és amerikai nyelven képes a beszédfelismerésre, míg a TTS funkció több mint 30 nyelven áll rendelkezésre.

**Tarnai–Adamis–Dulai:**  
**Advanced Communication  
 Protocol Technologies:  
 Solutions, Methods and  
 Applications**

Gyorsan változó világunkban, amikor új technológiák és új szolgáltatások jelennek meg az infokommunikáció világában, nagy jelentősége van az új rendszereket vezérlő protokollok gyors fejlesztésének, megvalósításának és hibamentes működésének. Tarnay Katalin, Adamis Gusztáv és Dulai Tibor könyve átfogó és lényegkiemelő leírását adja az infokommunikációs protokollok elméletének, megvalósításának, ismerteti a formális leírónyelven történő specifikációját, és tesztelésének módszertanát. Áttekinti a fix és mobil hálózatok, az Internet és a multimédia, továbbá a vezeték nélküli szenzor hálózatok protokolljait.

A könyv részletes ismertetést ad a manapság alkalmazott hálózatok protokolljairól, de kitekintést ad a következő generációs hálózatokra és alkalmazásokra is. Ismerteti a protokollok általános strukturális felépítését, az interakció szabályrendszerét, a címzés, útvonalválasztás, a folyamat- és torlódásvezérlés, biztonság, mobilitás és szolgáltatásminőség kérdésköröket is. Tárgyalásra kerül a fejlesztés kérdésköre: formális leírás, verifikáció, validáció, implementáció és tesztelés.

A fejlesztés és megvalósítás kérdéskörének tárgyalását követően a szerzők átfogó ismertetést adnak a modern távközlő rendszerek protokolljairól: ISDN, GSM, GPRS, UMTS. Ezt követően az IP alapú rendszerek ismertetése következik, beleértve a témakörbe a fix és mobil hálózatok konvergenciáját is. Áttekintő képet nyer az olvasó a hálózatok evolúciójáról, a multimédia alkalmazásokról, beleértve a videóátvitelt, a különböző mobilitás menedzsment megoldásokat és a hozzátartozó útvonalválasztó módszereket. Mindezeket felül peciális alkalmazások is tárgyalásra kerülnek mint a szenzor hálózatok és az RFID, beleértve ezek alkalmazását és protokolljait is.

Ajánljuk a könyvet egyetemi hallgatóknak jegyzetként, mérnököknek a témakör elméleti és gyakorlati megvalósítására és tudományos célra azoknak, akik áttekintést akarnak kapni a kommunikációs protokollok legújabb alkalmazásairól, valamint mindazoknak, akik a témakör iránt érdeklődnek.

A könyv az IGI Global igényes kiadásában jelent meg.  
 ISBN 978-1-60960-732-6, Hershey PA, USA.

*Csopaki Gyula*

## Felhívás

Ezúton is felhívjuk Olvasóink figyelmét a Híradástechnika magyar folyamában való publikálási lehetőségekre. Elsősorban közérthető, széles olvasóközönségnek szóló, színvonalas áttekintő cikkeket várunk, amelyek egy-egy szűkebb szakterület érdekességeit mutatják be azok számára is, akik nem ezen a területen dolgoznak. Célunk, hogy a szakma egyetlen magyar nyelvű, színvonalas ismeretterjesztő folyóiratoként közvetítsük az egyes részterületek helyzetét, fejlődésének irányait és legújabb eredményeit a minél szélesebb olvasótábor számára és formáljuk, befolyásoljuk a magyar szaknyelvet.

Várjuk Olvasóink jelentkezését a fentiek szerint elkészített kéziratokkal, az infokommunikáció különböző részterületeiről és határterületeiről, többek között az alábbi témákban:

- Adat- és hálózatbiztonság
- Digitális műsorszórás
- Infokommunikációs szolgáltatások
- Internet-technológiák és alkalmazások
- Médiainformatica
- Multimédia-hálózatok és rendszerek
- Optikai kommunikáció
- Társadalmi vonatkozások
- Távközlés-gazdaság és -szabályozás
- Távközlési szoftverek
- Teszthálózatok és kutatási infrastruktúrák
- Úrhírközlés
- Vezeték nélküli és mobil távközlés

Rendszeresen jelentkező rovatainkhoz is várjuk beküldött anyagaikat, melyek közül a következőket szeretnénk kiemelni:

- hazai és nemzetközi projektek ismertetése,
- konferenciákról, fontos szakmai eseményekről szóló beszámolók,
- a HTE szakosztályainak tevékenységét bemutató cikkek,
- egyetemi és kutatóintézeti egységek bemutatkozása,
- könyvismertetések.

**A kéziratokat kérjük a főszerkesztőnek elektronikusan megküldeni a [szabo@hit.bme.hu](mailto:szabo@hit.bme.hu) címre, akihez a témákkal és a cikkek elkészítésével kapcsolatos bármilyen kérdéssel is fordulhatnak a fenti e-mail-címen. A szerzőinknek szóló tájékoztató elektronikus változatát lapunk internetes portálján találhatják meg, a [www.hiradastechnika.hu](http://www.hiradastechnika.hu) cím alatt.**

A Szerkesztőség

# Call for Papers

Prospective authors are invited to submit original research papers for publication in the upcoming issues of our Infocommunications Journal.

Topics of interests include the following areas:

- Data and network security*
- Digital broadcasting*
- Infocommunication services*
- Internet technologies and applications*
- Media informatics*
- Multimedia systems*
- Optical communications*
- Society-related issues*
- Space communications*
- Telecommunication software*
- Telecommunications economy and regulation*
- Testbeds and research infrastructures*
- Wireless and mobile communications*

Theoretical and experimentation research results achieved within the framework of European ICT projects are particularly welcome.

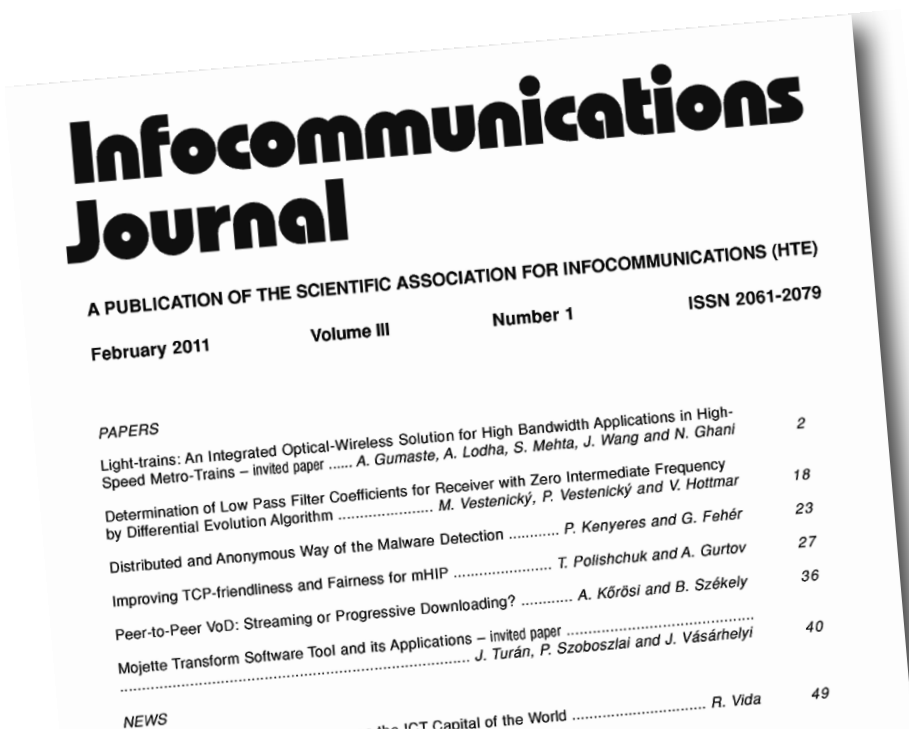
From time to time we publish special issues and feature topics so please follow the announcements. Proposals for new special issues and feature topics are welcome.

Our journal is currently published quarterly and the editors try to keep the review and decision process as short as possible to ensure a timely publication of the paper, if accepted.

As for manuscript preparation and submission, please follow the guidelines published on our website: [http://www.hiradastechnika.hu/for\\_our\\_authors](http://www.hiradastechnika.hu/for_our_authors)

Authors are requested to send their manuscripts via electronic mail (preferably) or on a CD by regular mail to the Editor-in-Chief:

**Csaba A. Szabó**  
 Dept. of Telecommunications,  
 Budapest University of  
 Technology and Economics  
 2 Magyar Tudósok krt.,  
 Budapest 1117, Hungary  
 E-mail: [szabo@hit.bme.hu](mailto:szabo@hit.bme.hu)



### Initial period of the development of television broadcasting in Hungary

*Keywords: broadcasting, iconoscope, camera, studio*

The article gives an overview of the initial period of television broadcasting in Hungary. Accompanied with several original photos, the article mentions some interesting technologies of the 1930s, including developments at Tunggram and Experimental Station of the Post.

### Telemedicine – ICT based health service, Part 3: Business and financial model

*Keywords: telemedicine, ehealth, protocol, healthcare*

The three chapters of this paper present the key dimensions of telemedicine: the development process of medical protocols, the architecture of the technical system, the endpoint devices and their communication. In this final chapter we analyze the financial, business model, and the financial and operating parameters.

### Browsers at work

*Keywords: volunteer computing, GridBee, BOINC, HTML5*

BOINC is a distributed computing management system and is being used in several volunteer computing projects and desktop grids. The GridBee JavaScript library utilizes HTML5 technologies to enable browsers to run distributed applications and communicate with BOINC servers without any additional plug-ins. By eliminating the installation process and offering increased security through using the browser as a sandbox we aim to extend the computing capacity by dramatically increasing the number of participants.

### DASH7-based smart metering

*Keywords: smart metering, RFID, DASH7, OpenTag*

This article summarizes smart metering technologies and introduces the DASH7 (ISO/IEC 18000-7) active RFID standard and its functioning. Furthermore this paper illustrates the measures about the DASH7-used (433,92 MHz) signal propagation properties in various environments.

### Effects of distortions caused by preconceptions of subjects on evaluation of 3G video transmission QoE measurement results

*Keywords: QoE, QoS, Mean Opinion Score, 3G HSDPA, performance evaluation, LoC, video telephony*

In telecommunication services, alongside Quality of Service, Quality of Experience provision is becoming imperative, thus performance and quality evaluation measurement results need to reflect reality as much as possible. Our paper deals with the topic of distortions caused by preconceptions based on prior technical knowledge (Level of Comprehension) of QoE measurement test sub-

jects. In our analysis the subjects were aware of the service parameters during measurements, which affected their evaluations.

### Robust eye tracking using edgepoint classification

*Keywords: pupil detection, eye tracking, image processing*

Nowadays, after the keyboard and mouse, the human became a new periphery of modern computers. Like motion capture devices, eye gaze tracking systems play more and more important role in the implementation of human-machine interfaces. Changes in the lighting condition dramatically reduce efficiency of mobile gaze tracking devices based on image processing. In these cases, traditional methods cannot be used. Therefore, we introduced a novel method which can be used to robustly detect pupil parameters under varying lighting conditions.

### Switched capacitor filter design for medical applications

*Keywords: switched-capacitor filter, analog filter design, integrated circuit design, biomedical application*

In our paper we present a methodology for low-pass filter design with high-slope at ultra-low cut off frequency on silicon. We present the switched-capacitor technique necessary for the successful realization. With it we can create precise resistors in the M $\Omega$  range. We introduce the switched-capacitor version of two classical filter-structures (Tow-Thomas biquad, LC ladder) and based on two mathematical approximation (Chebishev, Cauer) we realize the filter.

### Construction of fuzzy rule based models and systems by evolutionary techniques

*Keywords: fuzzy systems, evolutionary algorithms, machine learning*

The aim of this paper is to give a brief overview about the concept of fuzzy rule based machine learning architectures, including methods for constructing such systems by applying evolutionary computation techniques. During this discussion the concepts of fuzzy inference methods, evolutionary algorithms and supervised machine learning approaches are presented followed by techniques for establishing fuzzy rule based learning architectures.

### Project management and the agile software development

*Keywords: project management, agile PM, SCRUM*

The cooperation between agile software development and project management is a new and interesting topic, getting more and more attention. To answer the challenge PMI Agile certificate will be available from second half of 2011. What is the relationship between project manager and software developer, how to integrate agile with proven project management methods?

---

### 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

### 2012-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)

Felélős kiadó: NAGY PÉTER • Lapmenedzser: DANKÓ ANDRÁS

---

HU ISSN 0018-2028

Layout: MATT DTP Bt. • Printed by: FOM Media

