

# Híradástechnika

VOLUME LVI.

# 2001/3

Június



**Digitális rádiózás**

**Fénytvázközlés**

**Technológia**

**Jog és gazdaság**

Hírközlési és Informatikai Tudományos Egyesület folyóirata



# Tartalom



Dr. Lajtha György: E havi számunk .....	1
<b>DIGITÁLIS RÁDIÓZÁS</b>	
Levendovszky János – Urbin Viktor – Elek Zsombor: Új, nemparametrikus detekciós módszerek a modern távközlésben .....	3
Dr. Falus László: A DRM, a digitális világrádió .....	11
Heckenast Gábor: És a stúdióval mi lesz? .....	19
<b>FÉNYTÁVKÖZLÉS</b>	
Barócsi Attila – Maák Pál – Jakab László – Richter Péter: Crossbar kapcsoló és optikai mátrixprocesszor akusztóoptikai megvalósítása .....	21
Bőhm Tamás – Zombori Tamás: Különböző IP/WDM-implementációk tesztelése .....	27
<b>TECHNOLÓGIA</b>	
Szarvas Máté – Fegyő Tibor – Mihajlik Péter – Tatai Péter: Eredmények a magyar nyelvű nagyszótárak és kapcsoltszavak gépi beszéd felismerésben .....	31
Charles Garam: Elektromágnesek tekercseinek programozásra is alkalmas egyszerűsített számítása ..	37
<b>JOG ÉS GAZDASÁG</b>	
Imolay Olivér – Nyevrikel Emília: A tőkeköltség értelmezése és felhasználási területei .....	43
Dr. Tattay Levente: A szerzői jogi törvény és az internet .....	47
Horváth Gyula: Hirdetni jó – mobilon! .....	53
Könyvet ajánlunk .....	55
Dr. Lajtha György: ELEKTRO 2001 .....	57
Angol nyelvű tartalom .....	60

## Főszerkesztő

ZOMBORY LÁSZLÓ

## Szerkesztőbizottság

Elnök: LAJTHA GYÖRGY

BARTOLITS ISTVÁN  
BOTTKA SÁNDOR  
CSAPODI CSABA  
DIBUZ SAROLTA

DROZDY GYŐZŐ  
GORDOS GÉZA  
GÖDÖR ÉVA  
HUSZTY GÁBOR

JAMBRIK MIHÁLY  
KAZI KÁROLY  
MARADI ISTVÁN  
MEGYESI CSABA

PAP LÁSZLÓ  
SALLAI GYULA  
TARNAY KATALIN  
TORMÁSI GYÖRGY



# E havi számunk

## Június



A mérnöki munka mindig pontos számításokkal, jól kidolgozott összefüggések felhasználásával és az eredmények ellenőrzésével jár együtt. A mérnökök büszkék arra, hogy állításaikat természeti törvényekből levezethető eredményekkel tudják igazolni. Ugyanakkor mindig kételkedéssel fogadták a jogászok, közgazdászok, pszichológusok és más humán tudományokkal foglalkozó szakemberek állításait. Bizonytalanságukat alátámasztotta, hogy ezeken a területeken és különösen a filozófiában sokszor egymásnak ellentmondó nézetek láttak napvilágot.

Ebből a kiindulásból következően a mérnökök a saját egzakt tudományukat az angol szóhasználatot átvéve „hard”-nak nevezték, megkülönböztetve a „szoft” tudományoktól, ahol a megállapítások helytől, időtől és szerzőtől is függttek. Ebben a megjelölésben benne volt, hogy óvatosan kell használni az állításokat, mert lehet, hogy idővel változnak. Ennek megfelelően az oktatásban is másképp szerepeltek a hard és másképp a szoft tárgyak.

Az utóbbi időben azonban a mérnöki feladatok megoldásában is nagyobb szerepet kaptak a gazdasági, jogi és humán tudományok. Érvényes ez a távközlésre is. A távközlési berendezések és szolgáltatások értékesítésében sok esetben szerepet kap a külsín, a megjelenés, és a vállalatok sikere azonos mérnöki eredmények mellett sok esetben a modern formán és a felhasználók ízléséhez illeszkedő kidolgozáson múlik. Természetesen emellett szerepet kaphatnak a gazdasági számítások és a reális igényfelmérések. Az utóbbiak a valószínűség-számítás, a játékelmélet, a kockázatelemzés és a fuzzy logika alkalmazásával szinte hard tudománnyá váltak.

A mérnökök és műszaki szakemberek munkáját tehát erősen befolyásolhatják az eddig szoftnak nevezett tudományok eredményei. Részben mert objektív alapokra és számításokra is helyezhetőek már a megállapításai, részben pedig a szubjektív tényezők sok esetben befolyásolják a szolgáltatások társadalmi elfogadottságát. Ezen gondolatokkal igyekszünk igazolni, hogy a folyóiratunkban, mely a hírközlési és informatikai tudományok fóruma, miért igyekszünk rendszeresen nem szorosan vett szakmai cikkeket is megjelentetni. Jelen számunkban a negyedik részben szerepel egy gazdasági, egy jogi és egy reklámtudományi cikk. Az első három rész természetesen továbbra is a szakma eredményeit igyekszik bemutatni. Az elsőben a digitális rádiózás elméletéről, gyakorlatáról és a kapcsolódó stúdiótechnikai problémákról olvashatunk. A második részben két fénytechnikai munka szerepel, melyek közül az első egy évtizedek óta aktuális, de még mindig nem lezárt kérdésről, a fotonikai kapcsolásról szól. Technológiai területen a beszédfelismerés újdonságaival és egy tekerésméretezési eljárással ismerkedhetünk meg.

A jövőben az újság felépítése változhat, a témák mindig a napi újdonságokhoz kapcsolódnak. Alapvetően azonban szeretnénk, ha olvasóink elfogadnák, hogy csak úgy tudunk lépést tartani a napi eseményekkel, és tudjuk megoldani feladatainkat, ha látókörünket a kapcsolódó területekre is kiterjesztjük. Egy-egy fejlesztés során a siker sok tényezőtől függ, így a fejlesztőknek, kutatóknak és irányítóknak rendkívül sok szempontból kell megvizsgálniuk, mit és mikor érdemes kidolgozni, bevezetni.

*Dr. Lajtha György*  
szerkesztőbizottság elnöke







# Új, nemparametrikus detekciós módszerek a modern távközlésben

LEVENDOVSKY JÁNOS

*docens, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME), Híradástechnikai Tanszék*

URBIN VIKTOR, ELEK ZSOMBOR

*PhD-hallgatók, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME), Híradástechnikai Tanszék*

*A cikk vezeték nélküli elérési rendszerek (CDMA-, QAM-gerinchálózat) detekciós problémáival foglalkozik. Ezen rendszerekben az összeköttetés minőségét döntő módon befolyásolja a rádiócsatorna többutas terjedéséből származó torzítás. Mivel a fading jelenségek az idő folyamán változnak, ezért egy adott minőség eléréséhez (a hibavalószínűség előírt érték alatt tartásához) olyan nemparametrikus algoritmusokra van szükség, amelyek a csatorna konkrét állapotát a vett jelekből statisztikailag becslik. Új, nemparametrikus döntési algoritmusokat ismeretünk, amelyekkel a lineáris kiegyenlítésen alapuló detekcióhoz képest jobb hatásfokot lehet elérni. A detektor kétrétegű előreccatolt architektúrájú neurális hálózat, amelynek szabad paramétereit az adó által leadott és a vételi oldalon is ismert training sorozat alapján lehet beállítani. Elvi levezetésekkel bizonyítjuk az új detektor aszimptotikusan optimális hatásfokát (a min. hibavalószínűség elérését). Az algoritmusok teljesítményét valódi, többutas terjedésű rádiócsatorna modellek segítségével szimuláltuk. Az eredmények azt bizonyítják, hogy az új, neurális alapú detekciós algoritmus jobb minőséget garantál, mint a lineáris kiegyenlítés.*

Napjainkban a keskenysávú vezeték nélküli elérések iránti igény megnövekedett. Ezt egyrészt a mobiltávközlés, másrészt pedig a 3,2 GHz-en történő vezeték nélküli elérések kiépítése támogatja, amelyek könnyen rekonfigurálhatók, valamint hatékony alternatívái a vezeték nélküli előfizetői hálózatoknak. [12] Ahhoz, hogy ilyen rendszerekben real-time szolgáltatásokat meghatározott minőségi paraméterekkel tudjunk továbbítani (pl. beszédátvitel előírt érthetőséggel és természetességgel), hatékony algoritmusok szükségesek, amelyek képesek a rossz minőségű rádiócsatorna torzításait kompenzálni.

Ilyen algoritmusokra nemcsak a keskenysávú hozzáférések esetén van szükség, hanem a szélessávú, M-QAM mikrohullámú gerinchálózatok esetén is, hiszen a rádiócsatorna torzítása (a szelektív fading miatti „kiesés”) igen nagy információvesztést eredményezhet.

A csatorna rossz minősége főleg a többutas terjedés következménye. Ezek az átviteli karakterisztikában leszívásként (notch) jelentkeznek, ami a detektálási hibarány romlásához vezet [6]. Tradicionális módszerek, pl. tér- és frekvencia diverziti [7] a nagy költségek miatt nem alkalmazhatóak gazdaságosan. Lineáris adaptív kiegyenlítés [6] ugyan kis költségű DSP-n implementálható, azonban a szuboptimális döntési algoritmus (FIR szűrés + küszöbdetekció) miatt az elért hibavalószínűség távol van a minimumtól. Ezért a jelen cikk célja, egy új, neurális alapú döntési algoritmus bemutatása, amely teljesítmény szempontjából közel esik a bayesi optimális hibavalószínűséghez. Az új detekciós algoritmus könnyen megvalósítható egy C6000DSP-n, így a többutas terjedés ellen gazdaságos védelemhez juthatunk.

Az algoritmus alapgondolata az előreccatolt neurális hálók approximációs képességében rejlik. A digitális rádióösszeköttetésekben szokásos training sorozat alapján ezen hálózat súlyai úgy állíthatók be, hogy a detektor az optimális Bayes-döntés legjobb közelítését adja. A probléma matematikai kihívása a következő: a neurális háló a feltételes várható értéket közelíti, míg egy detekciós feladat esetén a hibavalószínűség minimalizálása a cél. A két mennyiség közötti ekvivalenciát „ügyes” kódolási eljárásokkal (geometriai kódok) vagy lineáris algebrai módszerekkel, vagy pedig a Moore-Penrose inverz módszerrel lehet megteremteni. A detekciós komplexitást az befolyásolja, hogy a kódoláshoz milyen hosszúságú kódszavakat használunk. Az eredményekhez sikerült minimális komplexitású kódolást találni, amely mellett optimális detekció érhető el.

Az új eredmények ismertetése a következő szerkezetben történik:

- Az első rész a kommunikáció elvi modelljét foglalja össze, valamint a hagyományos detekciós algoritmusok komplexitását értékeli röviden.
- A következőben a neurális hálók rövid, a feladat szempontjából fontos összefoglalása következik, kiemelve a reprezentációs képességet és a tanulást.
- A következő két részben a neurális detekcióra vonatkozó néhány új eredményt fogalmazzunk meg.
- Az utolsó előtti rész tartalmazza a szimulációs eredményeket, amelyeket valódi rádiócsatornák modellezésével és a detekciós algoritmus hatásfokának mérésével kaptunk különböző átviteli módok esetén.
- A cikk konklúziókkal zárul, amelyek az elvi levezetések, valamint a kiterjedt numerikus analízisből adódnak.



## A modell

A digitális távközlés alapsávi modelljét az 1. ábra blokkvázlata jellemzi, ahol

- adottak az  $\mathbf{y}$  bemenő üzenetek, melyeknek a komponensei Bernoulli-eloszlású valószínűségi változók ( $y_i \in \{-1, 1\}$ );
- $\mathbf{s}$  kódvektor, ahol a kódolás célja a minimális komplexitás elérése;
- az  $\mathbf{s}$  vektorok a csatornára kerülnek, amely a modell szerint az  $\mathbf{x} = \mathbf{H}\mathbf{s} + \mathbf{h}$  lineáris transzformációt hajtja végre,
  - ahol a  $\mathbf{H}$  mátrix a csatorna diszkrét impulzusválasz-függvényének értékeiből képzett Toeplitz-mátrix, ez foglalja magában a többutas terjedésből származó hatásokat, valamint az adó és a vevőszűrő karakterisztikáját. Ezért az átviteli karakterisztika:

$$H(f) = H_{adó}(f)H_{csat}(f)H_{vevő}(f),$$

az ebből képzett impulzusválasz-függvény:  $h(t)$ , ennek a mintavételezéséből kapott  $h_n$  mintákból épül fel a  $\mathbf{H}$  mátrix:  $H_{ij} = h_{i,j}$

- $\eta$   $N$  dimenziós normális eloszlású fehér zaj  $\mathbf{K}$  kovarianciamátrixszal, amelynek sűrűségfüggvénye:

$$f(\mathbf{x}) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^N \det \mathbf{K}}} \exp\left(-\frac{\mathbf{x}^T \mathbf{K}^{-1} \mathbf{x}}{2}\right);$$

- a vételi oldalon megfigyelhető jel  $\mathbf{x}$ , amelyből neurális alapú detektorral próbáljuk meghatározni a keresett kódszót;
- ezt a döntést  $\mathbf{s}'$  jelöli.

Ha ismernénk a csatorna karakterisztikáját és a zaj paramétereit, akkor a legkisebb hibát szolgáltató (azaz optimális) *Bayes-döntést* kellene végrehajtani. Ezek az információk azonban nem állnak rendelkezésre, ezért olyan, nemparametrikus eljárást kell alkalmazni, amely a tanulóhalmaz alapján hozza meg a döntést. Erre a célra a neurális hálózatok hatékonyan alkalmazhatók. A neurális hálózat mellett fontos szerep jut a kódoló/dekódoló egységeknek, amelyek az  $\mathbf{y}$  üzeneteket  $\mathbf{s}$ -ekbe transzformálják. Ugyanis minél kisebb  $\mathbf{s}$  mérete, dimenziója, annál kisebb lesz a detektor komplexitása, ezáltal annál nagyobb lesz annak sebessége és pontossága.

## Az optimális Bayes-döntés

Ismert zajeloszlás és csatornatorzítás esetén [10,11], az optimális detekciós algoritmus, amit  $j_{opt}(\mathbf{x})$  jelöl, minimalizálja a Bayes-döntéssel a hibaválósínűséget. A hibaválósínűség:

$$P_{hiba}(f) = \sum_y P(f(\mathbf{x}) \neq \mathbf{y} | \mathbf{y}) p(\mathbf{y}),$$

amit az összes lehetséges  $f$  döntési szabályra kell minimalizálni. Ekkor az optimális detektor a következő leképzést valósítja meg:

$$\mathbf{y} = f_{opt}(\mathbf{x}) = \arg \max_{\mathbf{y} \in Y} p(\mathbf{y} | \mathbf{x}) = \arg \max_{\mathbf{y} \in Y} p(\mathbf{y} | \mathbf{x}) P(\mathbf{y})$$

Az optimális-Bayes döntés ismert csatornaparaméterek és zajstatisztika ( $\mathbf{K}$  kovarianciamátrix) esetén a következő minimalizálási feladat megoldását jelenti:

$$\mathbf{y}_{opt} : \min_{\mathbf{y} \in [-1,1]^N} \mathbf{y}^T \mathbf{W} \mathbf{y} - 2\mathbf{b}^T \mathbf{y},$$

ahol

$$\begin{aligned} \mathbf{b} &= \mathbf{H} \mathbf{K}^{-1} \mathbf{x} \\ \mathbf{W} &= \mathbf{H} \mathbf{K}^{-1} \mathbf{H}. \end{aligned}$$

Ez a döntés a rendszer teljes ismerete esetén is exponenciális komplexitású.

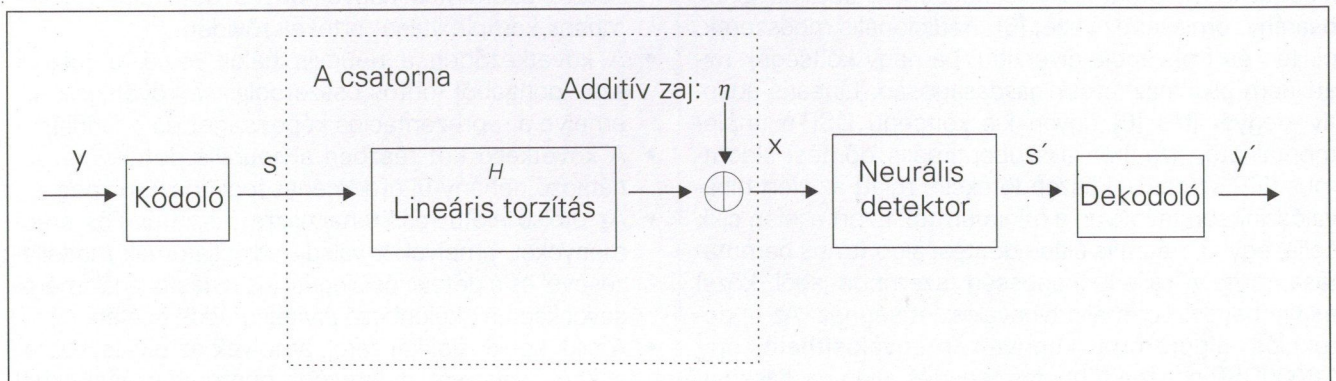
A gyakorlatban sokszor sem a zaj sem a csatorna paraméterei nem ismertek. Ezért a nemparametrikus detekció az optimális döntés közelítése a tanulóhalmaz alapján. A  $\tau^{(K)} = \{(\mathbf{s}_k, \mathbf{x}_k), k = 1, \dots, K\}$  tanulóhalmaz  $\mathbf{K}$  mintapárt tartalmaz arról, hogy miként torzította el a csatorna a kiválasztott  $\mathbf{K}$  bementi vektort. Egy olyan iteratív becslést keressük tehát a Bayes-döntésnek, amivel a

$$f_{n+1}(\mathbf{x}, \mathbf{w}, \tau^{(n+1)}) = \Psi(f_{n+1}(\mathbf{x}, \mathbf{w}, \tau^{(n)}), \mathbf{s}_{n+1}, \mathbf{x}_{n+1})$$

közelítések az optimális Bayes-döntést valósítják meg aszimptotikusan, azaz

$$\lim_{n \rightarrow \infty} E |f_n(\mathbf{x}, \mathbf{w}, \tau^{(n)}) - f_{opt}|^2 = 0.$$

Az ilyen  $f$  becslést aszimptotikusan optimális Bayes-döntési szabálynak (angolul Asymptotically Optimal Bayesian Decision Rule, rövidítése **AOBRD**) nevezzük.

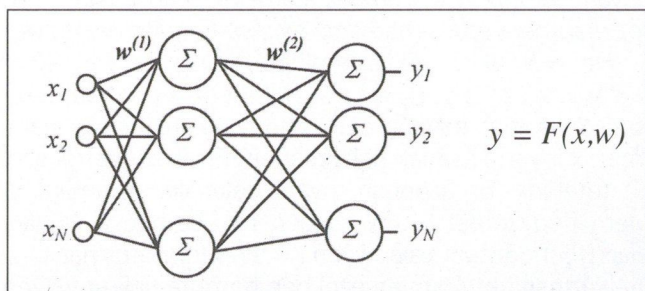


1. ábra A csatorna modellje



## Neurális hálózatok

Ez a fejezet a neurális hálók rövid, a téma szempontjából fontos összefoglalását adja. A detektálási feladat megoldására előrecsatolt neurális hálózatokat (angolul Feedforward Neural Network, rövidítése FFNN) fogunk használni. Egy ilyen hálózatra mutat példát a 2. ábra:



2. ábra A döntési feladatra használt egyrétegű hálózat

A  $\Sigma$ -val jelzett körök a neuronok. Az általunk használt hálózatokban a bemenetek és a kimenetek száma egyenlő ( $N$ ), hiszen bemenetként egy a csatorna kimenetén vett  $N$  dimenziós vektort kap a hálózat, és eredményül egy ugyanilyen típusú vektort kell a kimenetére adnia. A középső oszlopban (rétegben) lévő neuronok száma azonban tetszőleges lehet ( $M$ ). A hálózatok, amelyeknek alapépítőköve a neuron, a következő egyszerű leképzést valósítják meg az  $x_i$  bemeneteik és az  $y$  kimenetük közt:

$$y = \varphi \left( \sum_i w_i x_i \right),$$

ahol  $w_i$ -k a neuron súlyai (szabad paraméterei), a  $\varphi(\cdot)$  pedig valamilyen nemlineáris (tipikusan szignum vagy szigmoid) függvény. Így a teljes hálózat kimenetén megjelenő vektor  $k$ -adik komponense:

$$S_k = \varphi \left( \sum_{i=1}^M w_{ki}^{(2)} \varphi \left( \sum_{j=1}^N w_{ij}^{(1)} x_j \right) \right).$$

Attól függően, hogy a benne levő neuronok milyen elrendezésben vannak, beszélhetünk egy-, kettő- vagy általánosan  $k$ -rétegű hálózatról. A be- és a kimeneti rétegek közt levő réteget rejtett rétegnek hívják.

A hálózat szabad paramétereinek (melyeket összegezve  $w$  jelöl) az optimalizálását tanulásnak nevezzük. A tanítás a  $\tau^{(K)} = \{(s_k, x_k), k=1, \dots, K\}$  tanulóhalmaz segítségével történik. Ez a mi esetünkben egy olyan mintapárhalmaz, melyben  $K$  darab összetartozó  $(s_k, x_k)$  pár van, azaz olyan  $x_i$  vektorok melyeket úgy kaptunk, hogy egy próbamérés során a csatorna bemenetére a hozzá tartozó  $s_i$ -ket adtuk. A hálózat a tanulóhalmazban lévő minden  $x_i$  vektorra  $F(x_i, w)$  vektorral válaszol. A célunk egy olyan  $w_{opt}$  súlyvektor megtalálása, amelyre

$$\sum_{i=1}^K |s_i - F(x_i, w)|^2$$

a négyzetes összeg minimális, azaz a neurális hálózat

négyzetes hibáját minimalizáljuk. Látható, hogy a fenti kifejezés értéke (adott  $s$ -ek és  $x$ -ek mellett) nyilván már csak a  $w$ -tól fog függeni. Ha a rejtett rétegben  $M$  neuron van, akkor  $w_{ij}$  súlyból  $M \times N + N \times M = 2M \times N$  darab van, tehát ez egy  $2M \times N$  dimenziós optimalizálási feladat. (Az optimalizálás algoritmusai lehet a Backpropagation algoritmus, vagy a globális optimum elérését lehetővé tevő szimulált lehűtés, vagy diffúzió.)

Ha figyelembe vesszük, hogy

- a neurális hálózatok jó általánosító képességgel rendelkeznek, azaz viszonylag pontos kimeneti értékeket adnak olyan bemenetekre, amelyekkel korábban nem tanítottuk (lásd VC dimenzió [4]) és
- a neurális hálózatok elméletének egy nagyon fontos eredménye annak igazolása, hogy egy egyrétegű hálózat, melynek a középső rétegében „elég sok” neuron van, képes tetszőlegesen jól approximálni majdnem minden függvényt (lásd  $L_p$  térbeli approximáció [4]),

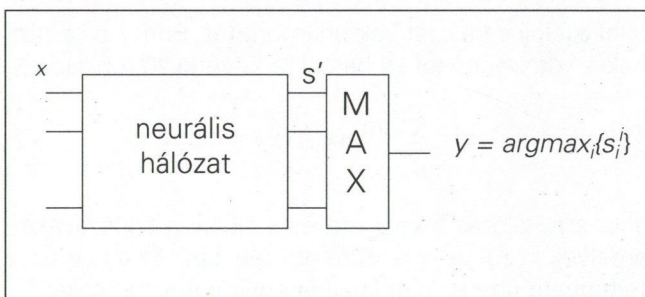
akkor joggal remélhetjük, hogy *nemparametrikus detekcióra használva, a neurális hálózatok nagy hatékonysággal fognak működni.*

## Nemparametrikus detekció egyrétegű neurális hálózattal – algoritmikus eredmények

A neurális hálózatok elméletének a detekció szempontjából talán legfontosabb eredményét mondja ki a következő két tétel.

### 1. tétel

Ha az  $s$  kódszavak ortogonálisak, akkor a 3. ábra döntési architektúrája (a MAX egység feladata: a neurális hálózat kimeneteiből kiválasztani a maximálisat) egy AOBDR-t valósít meg.



3. ábra A döntési architektúra

### Bizonyítás

Tegyük fel, hogy van  $N$  üzenetünk! Mindegyikhez hozzárendelünk egy  $s^{(i)}$  kódvektort, amelyre igaz, hogy

$$s_j^{(i)} = \delta_{ij} = \begin{cases} 1 & i = j \\ 0 & i \neq j \end{cases},$$

azaz a kódvektorok binárisak, és mindegyik pontosan egy egyest tartalmaz.



Ha  $w_{opt}^{(n)}$  jelöli az  $n$  méretű tanulóhalmazon elérhető legjobb súlyvektort:

$$w_{opt}^{(n)} : \min_w \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |F(x_i, w) - s_i|^2,$$

akkor,  $\lim_{n \rightarrow \infty} F(x, w_{opt}^{(n)}) = E(s|x)$ , amit a következőképpen lehet kiszámolni:

$$E(s|x) = \sum_{i=1}^N s^{(i)} p(s^{(i)}|x).$$

Vegyük észre, hogy itt  $s$  egy valószínűségi vektor! Ennek a feltételes várható értékére ad egy becslést a neurális hálózat. Ennek várható értéknek a  $j$ -edik komponense:

$$E_j(s|x) = \sum_{i=1}^N \delta_{ij} p(s^{(i)}|x) = p(s^{(j)}|x).$$

Tehát a neurális hálózat kimenetén a bemenettől függő feltételes eloszlás jelenik meg (illetve annak egy közelítése). Ebből kell a maximálisat kiválasztani, hiszen a Bayes-döntés alapján arra a szimbólumra döntünk, amely a feltételes valószínűséget maximalizálja.

Az ortogonális vektorok hátránya, hogy  $2^N$  üzenet esetén ezek dimenziója  $2^N$  lesz, azaz túl sok bemenete lesz a hálózatnak, ami nagy komplexitást és hosszú tanulást eredményez. A kérdés az, *hogyan lehetne csökkenteni a komplexitást a kódvektorok dimenziójának csökkentésével.*

Ennek érdekében a problémát algebrai úton közelítjük meg. Amint láttuk korábban, amikor a Bayes-döntést becsljük egy előrecsatolt neurális hálózattal, a következő feltételes várhatóérték-vektort becsljük, azaz aszimptotikusan igaz, hogy

$$\mathbf{e} = \mathbf{F}(\mathbf{x}, \mathbf{w}) = E(\mathbf{s}|\mathbf{x})$$

ahol  $\mathbf{e}$  jelöli a hálózat vektorkimenetét. Ennek a vektornak a komponensei átírhatóak a következő formába:

$$e_i = \sum_{j=1}^N s_j^{(i)} p(s_j^{(i)}|x) \quad i = 1, \dots, L,$$

ahol  $\mathbf{x}$  a hálózat bemenete és  $s^{(i)}$  jelöli a kódszavakat, amelyek közül valamelyikre dönteni kell. Ez a kifejezés felfogható úgy is mint lineáris egyenletek halmaza:

$$\mathbf{e} = \mathbf{S}\mathbf{p}.$$

Itt az  $\mathbf{S}$  mátrix  $ij$ -edik eleme a  $i$ -edik kódszó  $j$ -edik komponense. A  $\mathbf{p}$  vektor pedig a  $p_i = p(s^{(i)}|x)$  komponensekből van összerakva.  $\mathbf{S}$  mérete tehát  $L \times N$ , ahol  $N = 2^M$  fix: a minták számát jelöli.  $L$  jelöli a kódszavak méretét és, mint látni fogjuk, értéke lehet kisebb, mint  $N$ . Az  $L$  paraméter döntően befolyásolja a neurális hálózat komplexitását (megegyezik a hálózat kimeneteinek a számával). A legfontosabb kérdés, hogyan és meddig lehet  $L$  értékét csökkenteni. Nyilván  $L$  nem csökkenhet  $\log_2 N$  alá, mert akkor nem lehetne különbséget tenni a kódszavak között.

Ezzel a detekciós feladat a következő lineáris algebrai problémaként fogalmazható meg:

*Ha adva van az  $\mathbf{e} = \mathbf{S}\mathbf{p}$  lineáris, egyenletrendszer de csak az  $\mathbf{e}$  vektor figyelhető meg,  $\mathbf{p}$  nem, akkor hogyan válasszuk meg az  $\mathbf{S}$  mátrixot (azaz hogyan válasszuk meg a kódszavakat), hogy mégis el tudjuk dönteni, hogy  $\mathbf{p}$  melyik eleme volt maximális? A megoldások közül nyilván olyan  $\mathbf{S}$  mátrix lesz számunkra érdekes, ahol  $L \ll N$ , mert ez eredményez kisebb komplexitású neurális hálózatot.*

Ha  $L=N$ , akkor  $\mathbf{p}$  kiszámolható, mint  $\mathbf{p} = \mathbf{S}^{-1}\mathbf{e}$ , ekkor a döntési szabály:  $i = \arg \max \{j:p_j\}$  lesz. Ebben az esetben  $\mathbf{S}$  lehet az egységmátrix, hogy elkerüljük egy nagy mátrix invertálásának nehézségeit. Erről az esetről szól 1. tételünk. Ez azonban tovább relaxálható, amikor  $\mathbf{S}$  nem négyzetes:  $L \ll N$ . Ebben az esetben a  $i = \arg \max \{j:p_j\}$  döntést valamilyen  $i = \Psi(\mathbf{e})$  transzformációval helyettesítjük. A következőkben bemutatunk egy ilyen transzformációt, amely képes a  $L = \log_2 N$  elméleti alsó határ elérésére!

Ehhez viszont feltételezzük a  $\mathbf{p}$  vektorról, hogy ha  $p_r$  a  $\mathbf{p}$  vektor maximális komponense, akkor ez az elem domináns lesz a vektoron belül, azaz  $p_r > \sum_{j,j \neq r} p_j$ .

Ennek egy fontos következményét tartalmazza a következő segéd-tétel:

*Tegyük fel, hogy  $\mathbf{p}$  egy eloszlást tartalmazó vektor és  $r = \arg \max \{j:p_j\}$ . Ha  $\mathbf{p}$ -t megszorozzuk skalárisan bármilyen  $\mathbf{b}$  vektorral, amelynek elemei a  $\{-1,1\}$  halmazból valók, akkor  $\mathbf{b}^T \mathbf{p}$  előjele megegyezik  $b_r$  előjével.*

## 2. tétel

*Ha a  $p_r > \sum_{j,j \neq r} p_j$  feltétel igaz, és az  $\mathbf{S}$  mátrix elemeit a következőképpen választjuk meg:*

$$s_{ij} = 2 \left[ \left( \frac{i}{2^j} \right) \bmod 2 \right] - 1,$$

*akkor a  $\mathbf{p}$  vektor maximális komponensét meg lehet határozni a  $\mathbf{e}$  vektor elemeinek előjeléből. Nevezetesen, ha az első elem előjele pozitív, akkor a keresett elem a vektor első felében van, ha negatív, akkor a másodikban. Ezáltal leszűkítettük a keresést a vektor egyik felére. A második elem segítségével eldönthető, hogy ezen a felén belül melyik negyedben van: ha a második elem pozitív akkor az első negyedben van, ha negatív, akkor a másodikban. A harmadik, negyedik stb. elemekkel tovább felezhetjük a keresési intervallumot, amíg meg nem találjuk a keresett elemet.*

Ezen módszerrel logaritmikusan léptékű dimenziócsökkentést értünk el, ami jelentős mértékben csökkenti a neurális hálózat komplexitását, ezáltal jelentősen gyorsítja a tanulást, és pontosabbá teszi az eredményeket. Mindennek azonban feltétele, hogy az eloszlásnak kell domináns elemmel rendelkeznie. Ez gyakorlatilag azt jelenti, hogy az  $\mathbf{x}$  vektor „nem esik nagyon messze” valamelyik  $H$  által transzformált vektortól. Ennek a valószínűsége  $P(A)$  gaussi zajeloszlás esetén kiszámolható:

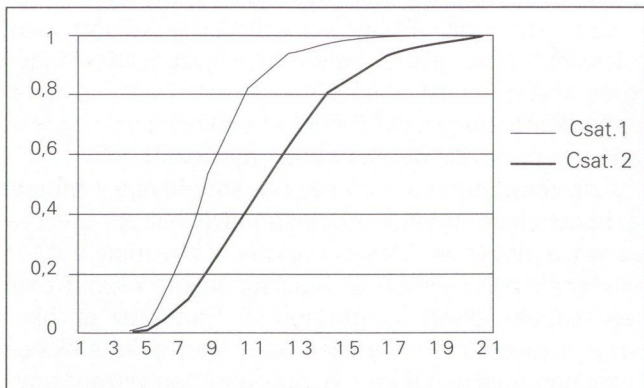
$$P(A) = \int \dots \int_{\mathbf{x} \in A} p(\mathbf{x}) d\mathbf{x},$$

ahol  $A$  azon  $A$ , halmazok uniója, melyekre



$$A_r \left\{ x : \exp \left( - \sum_j \frac{(x_j - s_j^{(r)})^2}{2N_0} \right) > \sum_{i,j \neq r} \exp \left( - \sum_j \frac{(x_j - s_j^{(r)})^2}{2N_0} \right) \right\},$$

ahol  $N_0$  a zaj spektrális sűrűsége. Ez a valószínűség numerikusan meghatározható. A  $P(A)$  valószínűség változását a 4. ábra szemléltet, ahol a *Csat. 1* és *Csat. 2* jelölések a Hatékonyságvizsgálat és az algoritmusok összehasonlítása című fejezetben leírt csatornákat jelentik. A vízszintes tengelyen az átviteli jelteljesítmény és a zaj szórásnégyzetének arányát vettük fel.



4. ábra  $P(A)$  valószínűségek a jel-zaj viszony függvényében

## A Moore-Penrose inverzzel működő előrecsatolt neurális hálózat

Abban az esetben ha az üzeneteket úgy kódoljuk, hogy azok az egységmátrix sorainak feleljenek meg, akkor a kódszavak hosszúsága és ezzel együtt a neurális hálózat komplexitása is exponenciálisan növekszik. Ennek csökkentésére egy az előzőektől eltérő módszert mutatunk be, ami képes a hálózat méretét logaritmikusan csökkenteni. Ennek alapját az képezi, hogy megpróbáljuk a neurális hálózat kimenetéből meghatározni a feltételes eloszlás maximumát. Legyen a FFNN kimenete  $\mathbf{r}$ ,  $\mathbf{S}$  mátrix szerint ( $\mathbf{S}$  tetszőleges, de kölcsönösen egyértelmű leképezést valósítson meg) végezzük el a kódolást, mégpedig úgy, hogy  $\mathbf{S}$   $i$ -edik oszlopvektora tartozzon az  $i$ -edik üzenethez, és legyen  $\mathbf{p}$  a feltételes eloszlás vektora. Ekkor

$$\begin{aligned} \mathbf{S}\mathbf{p} &= \mathbf{r} \\ \text{és} \\ \mathbf{p} &= \mathbf{S}^{-1}\mathbf{r} \end{aligned}$$

lenne, ha  $\mathbf{S}$  négyzetes mátrix lenne. Mivel ez jelen esetben nem négyzetes, ezért a Moore-Penrose inverzet kell előállítani. Adjunk becslést  $\mathbf{p}$ -re az alábbiak szerint:

$$\begin{aligned} \mathbf{p}^*: \min_{\mathbf{p}} \|\mathbf{S}\mathbf{p} - \mathbf{r}\|^2 &= \min_{\mathbf{p}} (\mathbf{S}\mathbf{p} - \mathbf{r})^T (\mathbf{S}\mathbf{p} - \mathbf{r}) = \\ &= \min_{\mathbf{p}} \mathbf{p}^T \mathbf{S}^T \mathbf{S} \mathbf{p} - 2\mathbf{r}^T \mathbf{S} \mathbf{p} + \mathbf{r}^T \mathbf{r}. \end{aligned}$$

Ez más alakban így is felírható:

$$\mathbf{p}^*: \min_{\mathbf{p}} \mathbf{p}^T \mathbf{W} \mathbf{p} - 2\mathbf{b}^T \mathbf{p},$$

ahol  $\mathbf{W} = \mathbf{S}^T \mathbf{S}$  és  $\mathbf{b} = \mathbf{r}^T \mathbf{S}$ . Ez a kifejezés deriválható, tehát a globális minimum

$$\mathbf{W}\mathbf{p}^* - \mathbf{b} = 0 \rightarrow \mathbf{p}^* = \mathbf{W}^{-1}\mathbf{b},$$

behelyettesítve  $\mathbf{W}$ -t azt kapjuk, hogy

$$\mathbf{p}^* = (\mathbf{S}^T \mathbf{S})^{-1} \mathbf{S} \mathbf{r},$$

ahol a  $(\mathbf{S}^T \mathbf{S})^{-1} \mathbf{S}$ -et szokták Moore-Penrose általánosított inverznek is nevezni. Látható a (28)-ből is, hogy a  $\mathbf{p}^*$  előállítása igen komplex feladat, mert egy viszonylag nagy mátrixot kell invertálni (a mátrixinvertálás  $O(N^3)$  bonyolultságú feladat). Ez *real-time* rendszerekben nem megengedett. Ezért ajánlatosabb a Moore-Penrose inverz iteratív megoldását alkalmazni. Legyen egy

$$\mathbf{p}(\mathbf{k}+1) = \mathbf{p}(\mathbf{k}) - \{\mathbf{W}\mathbf{p}(\mathbf{k}) - \mathbf{b}\}$$

rekurziókn. Könnyen megmutatható, hogy  $\Delta$  helyes megválasztásával a rekurzió stabil pontja ugyanúgy  $\mathbf{p}^*$  lesz.

$$\mathbf{P}^* = \mathbf{p}(\mathbf{k}+1) = \mathbf{p}(\mathbf{k}) = \mathbf{W}\mathbf{p}(\mathbf{k}) = \mathbf{b}$$

Bizonyítható, hogy a  $\Delta$  optimális értéke:

$$\Delta_{\text{opt}} = 2/(\lambda_{\min} + \lambda_{\max}),$$

ahol  $\lambda_{\min}$  a  $\mathbf{W}$  legkisebb és  $\lambda_{\max}$  a legnagyobb sajátértéke. A gyakorlati példák azt mutatták, hogy a pontos érték meghatározása nem szükséges, elég ennek közelítése is. Esetünkben a  $\Delta$ -t zérus kezdeti értékről minden iterációs lépésben növelve változtatjuk egészen addig, amíg egy előre definiált értéket el nem ér. Ha elérte, akkor azt tekintjük a  $\mathbf{p}^*$ -nak. A fenti módszer mellett más kódolási eljárások is léteznek (*rectangular grid coding*, *triangular grid coding* és más *lineáris algebrai módszerek*). A különböző kódolási eljárások esetén a feltételes eloszlásra vonatkozó különböző feltételek mellett tudjuk a Bayes-döntést megvalósítani. A kódolási eljárások és a vonatkozó feltételek részletes tárgyalása [8],[9]-ben (6–15 oldal) található meg.

## Hatékonyságvizsgálat és az algoritmusok összehasonlítása

A következőkben valós csatornamodelleken végzett szimulációk alapján összehasonlítjuk a két nemparametrikus detekciós eljárás hatékonyságát. Az összehasonlítás alapja

- a hatékonyság és
- az algoritmikus bonyolultság.

A tesztelést két különböző csatornamodellre végeztük el, amelyek a digitális távközlésben gyakori, kétutas terjedéssel és fadinggel terhelt csatorna hatásait modellezik. Ezek a zavaró hatások a gyakorlatban a mobilhálózatokon, a mikrohullámú *QAM*-gerinchálózatokon és a nagysebességű DSL (Digital Subscriber Line) modemeken figyelhetők meg. A csatornamodellek paramétereit nagyarányú mérések statisztikai átlagával határozták meg. Az így nyert *hi* együtthatók egy ekvivalens mintavett alapsávi rendszer együtthatói, amelyek az 1. táblázatban foglalhatók össze.

Csatorna	$h_0$	$h_1$	$h_2$
Csat.1	0,818	0,407	0
Csat.2	0,688	0,46	0,277

1. táblázat A két felhasznált modell együtthatói

A szimuláció első fázisa a tanítás, második a detekció. A szimuláció első lépéseként a neurális hálózat súlyait egy adott számú tanítási cikluson keresztül iterál-



tuk (a tanulóhalmaz elemeiből véletlenszerűen választva ki mindig egyet).

A detekciós fázisban a neurális háló, a tanulás utáni (optimális) súlyokkal működött. Az eljárás hatékonyságát a küldött jelfolyam és a neurális hálózat által becsült jelfolyam közötti *bithibaarány* (*Bit Error Ratio = BER*) jellemzi. Az eredményeket a *jel-zaj viszony* (*SNR*), *bithibaarány* (*BER*) koordináta-rendszerben ábrázoltuk. A két csatornán való viselkedését külön diagramokon ábrázoltuk (5. 6. ábra).

A szimulációkhoz felhasznált paraméterek:

- a bitfolyam teljes hossza: 1200 bit,
- egy vektor hossza: 6,  $\forall$
- $P(x_i = 1) = 0,5 \Rightarrow P(x_i = -1) = 1 - 0,5 = 0,5 \quad i = 1, \dots, 1200$ .

A csatornán fellépő jel-zaj viszonyok:

- 5, 10, 15 és 20 dB

A zaj paraméterei:

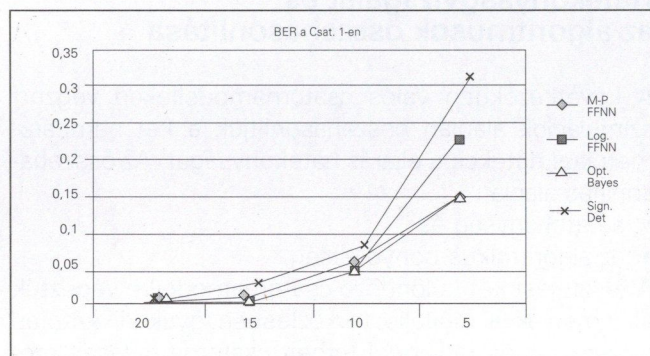
- Sávszélesség: 1 Mhz, ami a szimuláció során változatlan maradt.

A Moore-Penrose inverz kiszámítását alkalmazó FFNN (röviden: M-P FFNN) paraméterei:

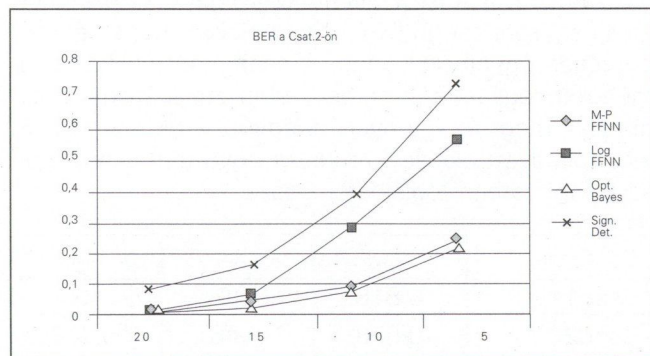
- a minták száma (amivel a tanítás zajlott): 64,
- a tanulóhalmaz mérete: 128,
- a tanulási együttható: 0,01.

A logaritmusos kódolású FFNN-hálózat paraméterei:

- tanítási ciklusok száma: 20 000.



5. ábra A szimuláció eredménye az 1. csatornán



6. ábra A szimuláció eredménye a 2. csatornán

A könnyebb összehasonlítás érdekében a diagramokon a hagyományos architektúrának mondható szignum detektor (az ábrákon Sign. Det.) által szolgáltatott ered-

mény és az elméletileg elérhető legjobb becslést adó optimális Bayes-döntés (az ábrákon Opt. Bayes) eredménye is látható.

A szimulációk alapján elmondható, hogy a vizsgált algoritmusok sokkal hatékonyabbak, mint a szignum detektor. Ehhez azonban (a logaritmusos kódolású FFNN-nél) további feltételeket kell kikötni [9]. Bár ezek a feltételek az adóteljesítmény növelésével teljesíthetők, bizonyos szint felett már fizikai és költségkorlátokba ütközhetünk.

A Moore-Penrose inverz kiszámolását alkalmazó neurális háló esetén nem kell a vett jelre semmilyen megkötést sem tenni. Ebben az esetben a küldött jelet mátrixinverzióval állítjuk helyre, ami viszont csak négyzetes középben ad optimális értéket. Ennek ellenére elmondható, hogy az M-P FFNN hatékonysága alig marad el az optimális döntés hatékonyságától.

Az első esetben a szimuláció eredménye azt mutatja, hogy a logaritmusos kódolású FFNN-hálózat bithibaaránya a nagyobb SNR-szinteknél jobb, mint a M-P FFNN-hálózaté. Kisebb SNR-szint mellett viszont már nem kapunk olyan jó eredményt. Ennek az az oka, hogy kis jel-zaj viszony mellett az említett feltételek nehezebben teljesülnek. A második esetben viszont egyértelműen a M-P FFNN-háló bizonyult jobbnak.

A szimulációk alapján elmondható, hogy kisebb ISI és kedvezőbb SNR-szint esetén a logaritmusos kódolású FFNN-detektor alkalmazása előnyös, mert ekkor a kikötött feltételek könnyebben teljesülnek. Ha viszont a szimulálóközi áthallás jelentősebb, és nem túl kedvező az SNR, akkor ajánlatosabb a M-P FFNN-eljárást alkalmazni.

Az elvégzett szimulációk alapján az eljárásokat a 2. táblázat szerint lehet rangsorolni. Az első oszlopban a hatékonyság szerint, a második oszlopban az algoritmus bonyolultság szerint rendeztük a bemutatott algoritmusokat. A mérnöki tervezés feladata, hogy a hatékonyság és a bonyolultság között jó kompromisszumot találjon. Ehhez nyújt jó támpontot a felvett táblázat.

Fontos kiemelni, hogy bár a M-P FFNN nagyobb komplexitású, viszont kedvezőtlen csatornákon is kis hibavalószínűséggel működik.

### Implementáció DSP-n

Bár komplexitásban van eltérés a két fajta neurális architektúra között, megvalósításuk azonban azonos is lehet. Erre a célra egy fejlett DSP lehet a legalkalmasabb eszköz. Az itt levezetett elméleti eredmények alapján, az ismertett eljárások könnyedén átírhatók DSP alkalmazásokká is. Az elérhető legnagyobb adatátviteli sebesség megbecsléséhez nézzük meg a következő példát! A megvalósítás (egyszerűsített) blokk-diagramja a 7. ábrán látható (tegyük fel, hogy az adó és a mintavevő szinkronizálva van).

A döntési algoritmus megvalósításához a TMS320C-5000-es családba tartozó processzoron az említett példában kb.

- 12 utasítás a súlyvektor és a bemenetek összeszorozása,



	Hatékonyság	Algoritmikus bonyolultság
I.	M-P FFNN	Szignum detektor
II.	Logaritmikusan kódolással FFNN (bizonyos esetekben ugyanolyan hatékony)	Logaritmikusan kódolással FFNN
III.	Szignum detektor	M-P FFNN

2. táblázat Az eljárások rangsorolása

- 10 utasítás a neuron nemlinearitásának kiolvasása táblázatból,

ezt meg kell szorozni a rétegek számával és a neuronok számával. Ez jelen esetben  $2 \times 6 \times (12+10)=264$ , de legrosszabb esetben sem lehet nagyobb 300 utasításnál.

Ha a TMS320C6000 sorozatból választanánk processzort, ahol több aritmetikai egység képes egymással párhuzamosan működni, akkor a fenti algoritmus még gyorsabb is lehet.

Egy 8 neuronból álló hálózattal, amit egy 100 MHz-es TMS320C5000-es processzorra telepítünk, kb. 1 Mbit/s-os adatátviteli sebesség érhető el. A DSP-k alkalmazhatóságának a felső határát általában 2 Mbit/s-ban szokták meghatározni. A cikkben tárgyalt algoritmusmal egy TMS320C6211-es processzoron (egy utasítási ciklus:  $1/150 \text{ MHz} = 6,6 \text{ ns}$ , ez alatt 8 utasítás hajtható végre  $\Rightarrow$  1 utasítás: 0,83 ns) ugyanezen feltételek mellett elérhető a 2,4 Mbit/s-os sebesség is.

## Konklúzió

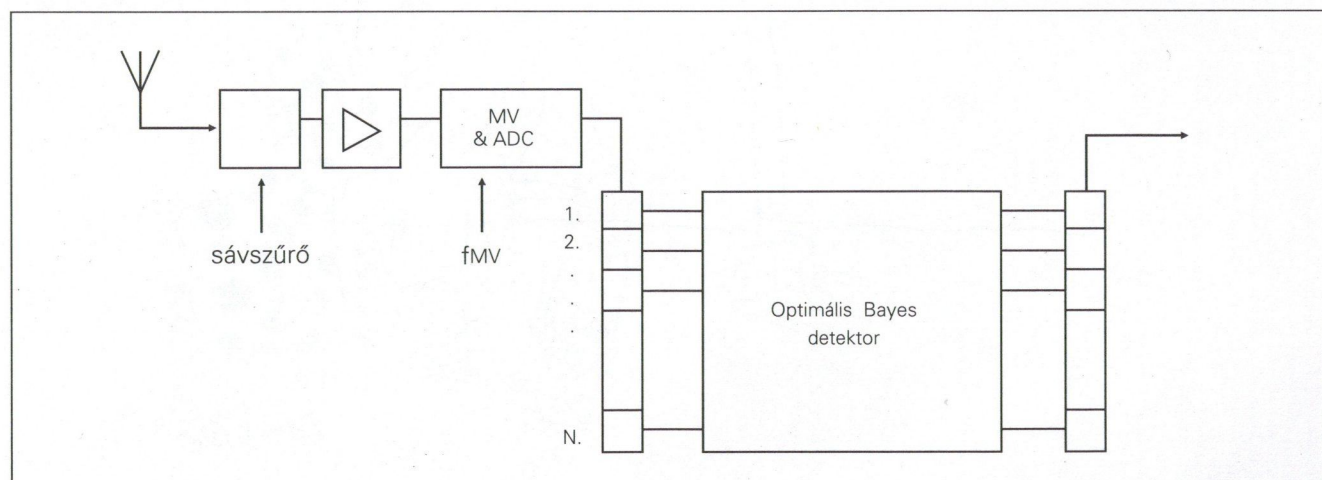
Ebben a cikkben két nemparametrikus detekciós algoritmust ismertettünk. Az elméletileg igazolt eredmények mellett az elvégzett szimulációk is alátámasztották az eljárások hatékonyságát. A nemparametrikus döntési eljárásoknak nagy jelentőségük lehet a mobiltávközlésben, ahol a jelentős szimbólumközi áthalás, a változó fading és a korrelálatlan zaj nehezíti az adat- és beszédátvitelt. A változó torzítások ellen a tanulóhalmaz folyamatos frissítésével lehet védekezni. Ekkor bizonyos időközökben egy tréning szekvencia

iktatódik az adatfolyamok közé, és a hálózat újabb súlyainak kiszámítása a tréning szekvencia mintái alapján történik.

A számítások és a szimulációk alapján a kidolgozott eljárások könnyen implementálhatók, és kis hibavalószínűségű detekciót tesznek lehetővé.

## Irodalom

1. Verdu, L.: Multiuser detection, John Wiley, 1999
2. Aazhang, B., Pairs, P., Orsak, G.: Neural Networks for Multiuser Detection in Code Division Multiple-Access Communications, IEEE trans. on Communications, Vol. 40, No 7, 1992
3. Fantacci, R., Forti, M., Marini M., Pancani, L.: Cellular Neural Network Approach to a Class of Communication Problems IEEE Trans. on Circuits and Systems, Vol. 46, No. 12., December, 1999
4. Haykin, S.: Neural Networks – a comprehensive foundation, John Wiley, 1999
5. Mommaerts, W.: Neural networks as binary classifiers for pattern recognition, PhD Thesis, Katholieke Universiteit Leuven, Dept. Of Mathematics, 1992
6. Proakis, John G.: Digital communication, McGraw-Hill, 1983.
7. Viterbi, A., Amura J.,K.: Principles of digital communications, Prentice-Hall, 1989.
8. Levendovszky, J., van der Meulen, E.,C.: Nonparametric detection by feedforward neural networks, accepted for publication in Neural Network World.



7. ábra A megvalósítás blokkdiagramja



9. Levendovszky, J., van der Meulen, E.,C., Elek, Zs.: Nonparametric Bayesian Estimation by Feedforward Neural Networks, Prague, Czech Rep., Aug., 1998
10. Duda, R.O. and Hart, P.E.: Pattern Classification and Scene Analysis, John Wiley Interscience, 1973, New York
11. Viterbi, A.J. and Omura, J.K.: Principles of Digital Communication and Coding, McGraw-Hill, 1979, New York.
12. Byeong Gi Lee, Minhoo Kang, Jonghee Lee: Broadband Telecommunication Technology, Artech House Inc, 1996

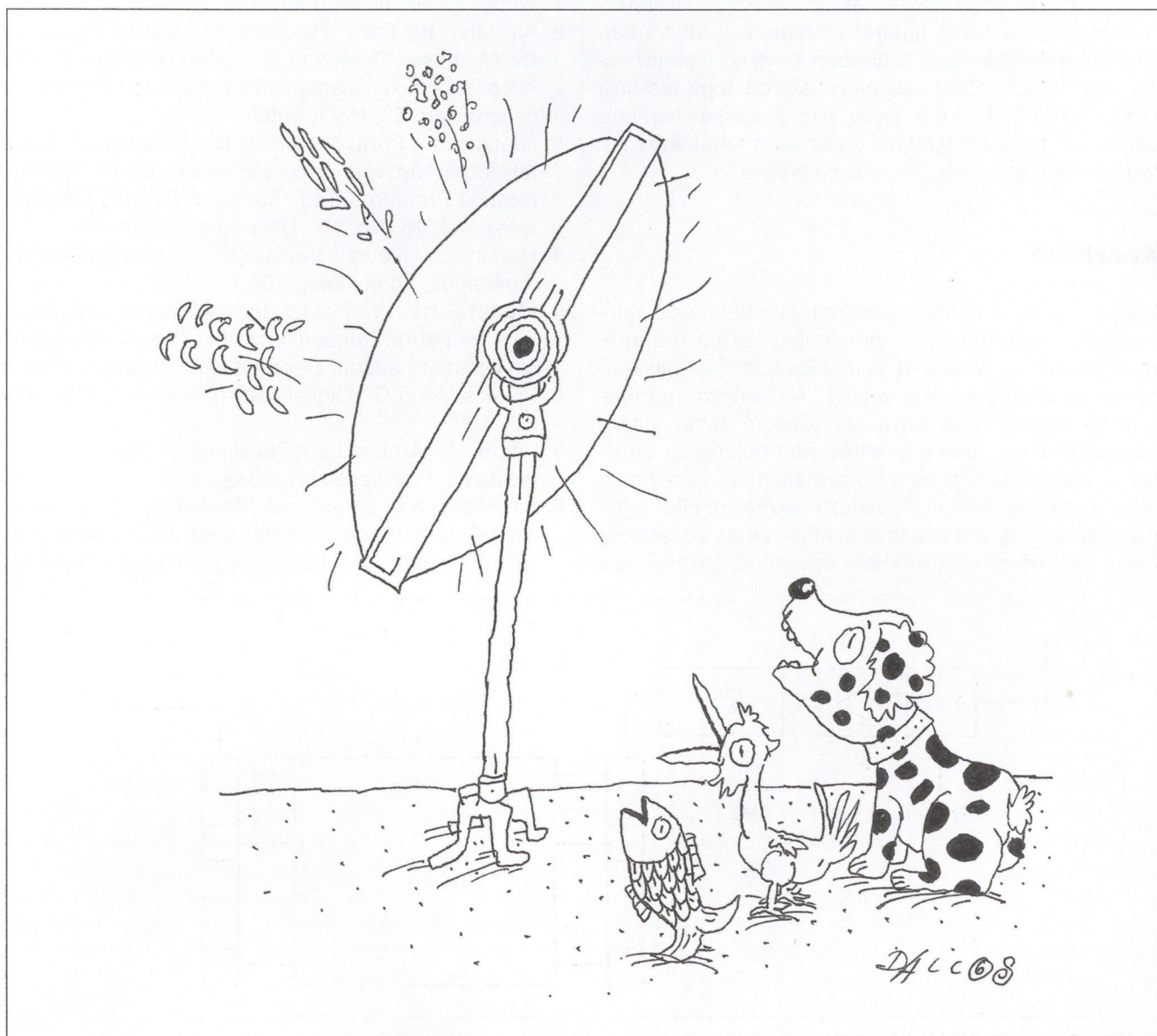
#### Levendovszky János

A BME Híradástechnikai Tanszékének docense. Diplomáját a BME-n szerezte 1986-ban. Az MTA-ösztöndíjasaként műszaki tudományok kandidátusa címet szerzett 1989-ben. 1989-től egy

évig Soros-ösztöndíjasaként University of Oxford (UK) mérnöki fakultásán neurális hálózatokkal és ezek optikai implementációjával foglalkozott. 1990–1993 a Katholieke Universiteit Leuven (Belgium) Matematika Tanszékén Senior Research Fellow-ként az adaptív algoritmusok, tanulás és neurális approximáció matematikai elméletét kutatta. Co-managerként vezette a COP579 EU projektet, amely az ATM-hálózatok CAC-algoritmusait kutatta, számos nyugat- és kelet-európai társintézménnyel együtt. Részt vett és témákat vezetett a Benn Franklin R&D Found (Central Pennsylvania) projektjein. 1994-től rendszeres nyári kurzusok tartója a Katholieke Universiteit Leuven Matematika Tanszékén, valamint számos folyóiratcikk és konferenciapublikáció szerzője.

#### Elek Zsombor

1997-ben informatikus mérnökként végzett a Budapesti Műszaki Egyetemen, azóta a Híradástechnikai Tanszéken doktoranduszként a következő tématerületeken végezte kutatásait: neurális hálózatok alkalmazása kommunikációs rendszerekben, hívásengedélyezés, hálózatmegbízhatóság. PhD-disszertációjának védeése előre láthatólag 2001 őszén lesz.





# A DRM, a digitális világrádió

DR. FALUS LÁSZLÓ

tanácsadó mérnök

*A Digital Radio Mondiale (DRM) elkötelezte magát, hogy létrehozza a 30 MHz alatti, hosszú-, közép- és rövidhullámú sávok új, digitális, jobb vételi minőségű és könnyebben használható technológiájának a szabványát. A hallgató, a műsorszóró/hálózatüzemeltető és a vevőkészülékgyártó közötti kulcsösszefüggések szabták meg a kidolgozás módját és menetét. Ezen túl a rendszer jellemzőit is áttekinti a cikk.*

A rádiózás hőskorában minden egyes adóállomás megindulása nemzetközi visszhangot kiváltó esemény volt. A mai rádiós meglepve olvassa a régi adótáblázatokat és azt, hogy a korabeli, egyenes erősítésű, nem transzponáló vevőkészülékekkel a '20-as években az Európa tulsó felén lévő néhány kW-os adókat hallgatták.

Érdekes lehet néhány állomás és teljesítményük a Magyar Rádió Újság 1926. július 17-i számának felsorolásából:

Budapest	2 kW
Bécs	7 kW
Berlin	4,5 kW
Milano	1,5 kW
Zürich	1 kW

Kilenc évvel később, amikor már évek óta működött a lakihegyi 120 kW-os „óriásadó”, a Rádióélet „Éterkalauz”-ában a számos középhullámú állomás között már 14 teljesítménye meghaladta a 100 kW-ot. A II. világháború a rövidhullámú műsorszórás csatája is volt, amely csak főpróbája volt a hidegháborúnak. A negyvenes évek végén kezdődött időszak alatt az adók száma és teljesítménye hatalmas ütemben növekedett. A nemzetközi műsorszórási kézikönyv, a World Radio Handbook (WRTH) 1986. évi kötetének, a nagy nemzetközi mű-

sorszórókra vonatkozólag kiragadott adatai jól jellemzik az elért szintet. (1. táblázat)

A '90-es évek elejével a hidegháború befejeződött, a nemzetközi műsorszórás jelentősége lényegesen lecsökkent, a hatalmas adópark egy részét leállították. Az adástechnikusok érezték, hogy új megoldásokat kell találniuk. A 30 MHz alatti sávok műsorszórás szempontjából igen kedvező tulajdonságait nem akarták veszni hagyni. A műsorokat közvetlenül az otthonokba közvetítő műholdak a televíziós kép- és hangcsatornák mellett független analóg hangcsatornákat is továbbítanak. Csak az ASTRA műholdak 45 analóg és 86 digitális hangcsatornát sugároznak. A tervezett 3 műhold közül a Budapesten is fogható AfriStar kezdte meg elsőként a digitális sugárzást, elsősorban az afrikai országok számára.

A digitális rádióműsorszórás a DAB-bal, a Digital Audio Broadcastinggal már a '80-as évek elején erőteljesen felvetődött. Az 1988-ban jóváhagyott terv szerint indult el az Eureka Project keretében a DAB fejlesztése. Az 1987 és 1991 közötti években a 360 ember-év munkáját és 45 millió USD-t fordítottak a témára. A DAB elterjedése jól érezhetően lelassult, de az e cikk tárgykörét képező 30 MHz alatti digitális földfelszíni műsorszórás megvalósításának irányítói hasznosítják a DAB tanulságait.

Műsorszóró	100 kW	250 kW	500 kW	Összesen
British Broadcasting Corporation (BBC)	22	14	4	40
Deutsche Welle (DW)	9	12	10	31
Radio France International (RFI)	12		13	25
Radio Free Europe/Radio Liberty (RFE/RL)	21	20		41
Voice of America (VOA)	4	10		14

Megjegyzés: A Szovjet Rádió azért nem szerepel a táblázatban, mert nem közölt adatokat a WRTH-val.

1. táblázat A VOA csak Európának sugárzó adói



## A 30 MHz alatti sávok digitális földfelszíni műsorszórásának fejlesztése

### A DRM-rendszert fejlesztő szervezet megalakulása

1998. szeptember 10-én a világ műsorszóró intézményei, a hálózatüzemeltetők és az ipari vállalatok konzorciális egyezményt írtak alá a digitális rádió fejlesztésére [2]. Célul tűzték, hogy a meglévő korszerű berendezések és antennák viszonylag kis költséggel legyenek alkalmassá tehetőek az új rendszer adására. Az egyezmény alapjául az 1998. márciusában 20 érdekelt szervezet által Guangzhou-ban, Kínában aláírt Egyetértési Nyilatkozat (MoU) szolgált.

A DRM elnöke, [3] a megalakuláskor megfogalmazta, hogy mindenkinek, mindenhol, kis költséggel elérhető kell legyen a könnyen használható vevőkészülék, amely kiváló minőséget nyújt, és későbbi generációkban várhatóan kiegészül a szöveget és egyéb információkat továbbító szolgáltatokkal.

A DRM-konzorcium 32 taggal indult, amely később 60-ra növekedett. A jelenlegi tagok között a műsorszórás olyan jelentős reprezentánsai vannak, mint a BBC, a DW, az RFI és a japán NHK. Hazánkat a tagok sorában az Antenna Hungária képviseli. Az adóberendezéseket és a vevőkészülékeket gyártó cégek közül kiemelhetők a Continental (USA), a Harris (USA), a Thomcast (Franciaország), a Telefunken (Németország), a JVC (Japán), a Sony International Europe (Németország) és a Robert Bosch (Németország) cégek. Tekintélyes a társult tagok névsora is: International Telecommunication Union (ITU), European Broadcasting Union (EBU) és Magyarországról a Hírközlési Főfelügyelet (HIF). A DRM közvetlenül a megalakulása után az ITU-R, a rádiózás kérdéseivel foglalkozó szektor tagja lett. Mind az ITU, mind a DRM székhelye Genf, ami megkönnyíti a szoros együttműködést.

### A DRM bevezetési stratégiája

A DRM konzorcium irányító munkatársai tudták, hogy milyen nagy és bonyolult feladat egy új technológia bevezetése [4]. Más rendszerek tapasztalatai mutatták, hogy a piaci bevezetésre több körülmény van hatással. Ezek között a következők lényegesek, amelyek megnedzselése a DRM sikerének fontos tényezője:

- A hallgatót meg kell győzni, hogy a DRM lényeges újdonságot nyújt, és hogy megfelelő áron jut a vevőkészülékhez.
- A műsorszóró és a hálózatüzemeltető igényli, hogy ha átalakítja, vagy megépíti az adóberendezést, a vevőkészülék a kereskedelemben kapható legyen.
- A vevőkészülék gyártója látni szeretné a kellő számú műsorszórót, aki a piaci potenciál megteremtéséhez elegendő tartalmat szolgáltatja.

A műsorszóróknak és a hálózat üzemeltetőknek a gyáráktól adókra vagy a meglévők átalakítását biztosító összeállításokra van szükségük. A vevőkészülék-gyártó ipar számára a tömeggyártás-indításhoz rendelkezésre kell állnia a chip-készletnek. Az érintett DRM-tagok fo-

lyamatosan dolgoztak a fejlesztési, gyártási idő lerövidítésén. A DRM piaci sikerének igen fontos tényezője, hogy a chip-készlet elkészülte után a vevőkészülékek rövid időn belül kaphatók legyenek.

Az időtényező az üzemeltető és a gyártó kulcsszeplők kezében van, akik a kockázatot jelentősen csökkenthetik, ha kötelezettséget vállalnak, hogy a műsorszórást megállapodott időben megindítják. Természetesen ugyancsak fontos az ár kérdése. A DRM célul tűzte, hogy a digitális vevők ára a jelenlegi típusok áránál legfeljebb 25 USD-val lehet több.

### A DRM-rendszer néhány lényeges követelménye

A megfogalmazott felhasználói követelmények részletei képet adnak a rendszer lényegi előnyeiről, amelyek a következők:

- A hallgató által érzékelt hangminőség jobb legyen mint az AM-adásé úgy, hogy a DRM-állomások legalább versenyképesek legyenek az FM-állomásokkal. A jelenlegi AM-adások legszembetűnőbb minőségi korlátja a hangfrekvenciás sáv szélesség, jel-zaj viszony, a lassú vagy a gyors fading, a többutas terjedésből adódó szelektív fading, az azonos és a szomszédos csatornából származó interferencia és az emberi vagy a természetes forrásból eredő zavarok. A zavartűrő képesség és a sáv szélesség-követés fontos minőségjavulási tényező.
- A DRM-jelnek illeszkednie kell az AM-sávok jelenlegi csatornaelrendezéséhez, de legyen rugalmas a szabvány életideje alatt lehetséges újrendezés esetére is. Az átállási folyamat AM-ről DRM-re az adók átalakításához és a vevők elterjedéséhez szükséges idő miatt hosszú lesz. A sávok zsúfoltságát is figyelembe véve biztosítani kell, hogy az egyes állomások átállása a többieket ne zavarja. Ez a követelmény nem csak azt jelenti, hogy a DRM RF-jel sáv szélessége feleljen meg az AM-csatornának, hanem megköveteli a védelmi arányokra (AM-DRM, DRM-AM és DRM-DRM) és a kompatibilitás vonatkozásában a szükséges vivő-zaj arányra is.
- Legyen lehetséges a meglévő korszerű adóberendezések átállítása a DRM-üzemre. A korábban gyártott berendezésekben nemlineáris erősítők működnek, ezeknél a digitális modulációjú jel amplitúdó- és a fázismodulált összetevőjét külön csatlakoztatják a végfokozathoz. Az újabb, lineáris erősítőjű adóknál lehetséges a digitális jel együttes erősítése.
- Egyfrekvenciás (SFN) hálózatok lehetősége. A középhullámú AM-hálózatokban némelykor a közös vagy egyfrekvenciás üzemet alkalmazzák, amikor több adóállomás azonos frekvencián azonos műsort sugároz. A jelenlegi rendszernél a két adóállomás között vannak területek, ahol mindkettő jele vehető, és ez ott a vételt zavarja. Az egyfrekvenciás adás támogatására fejlesztett, és így e zavart kiküszöbölő DRM-rendszernek nagy előnye, hogy a jelenleg több frekvencián azonos műsort sugárzó hálózatok közös frekvenciára alakíthatók át.



- Fokozottan felhasználóbarát működés. A jelenlegiekhez képest könnyebbé kell tenni a hallgató készülékbeállítás feladatait. A DRM-vevő mentesítse a hallgatót a sávra és a frekvenciára vonatkozó adatok ismeretétől. Ezek és egyéb adatok a műsorjellel együtt kerülnek átvitelre, és azok például kijelzőn megnézhetők, vagy beszéd szintetizátor segítségével meghallgathatók. Ez a szolgáltatás hasonló a rádiós adatrendszerhez (RDS). Ezúton közölhető a hallgatóval, hogy legközelebb hol találja meg ezt az adót, milyen frekvencia-óratervezés szerint adásnak és egyéb, ma még kialakulatlan adatközlésekre is van lehetőség.
- Flexibilitás. A DRM lehetővé teszi a műsorszórók számára, hogy a minőség és az adatkapacitás közötti, igényüknek megfelelő kompromisszumot megválasszák. Egy helyi vagy körzeti középhullámú adó felületi hullámokkal sugároz, amelyeknek általában kis azonos és szomszédos csatornás zavaró hatása van, és így kismértékű hibavédelemre van szüksége, ami nagy adatsebességet tesz lehetővé. Ezzel szemben a nagytávolságú, térhullámú adásnak meg kell felelnie a többutas terjedés, a zavarok és a kis jel-zaj viszony egyidejű fellépéséből adódó körülményeknek.

A DRM-rendszer fejlesztése során a fenti alapkövetelményeket messzemenően figyelembe vették.

### A DRM-rendszer, a szabvány fejlesztése

A DRM-konzorcium első tevékenysége az Eredménykövetelmény (Output Requirement) összeállítása volt. A második feladat az e követelményeken alapuló digitális szabvány fejlesztése volt. Ehhez figyelembe vették a szoros időtervet, az alkalmazható technológiát, a meglévő adóberendezéseket és a jelenlegi AM-szolgáltatást. A harmadik feladatként komplex döntési folyamatot alakítottak ki, amely valamennyi egyedi értékelési feltételt, a műszaki, a kereskedelmi és a marketing szempontokat figyelembe veszi. A negyediknek a DRM-szabványt dolgozták ki és hagyták jóvá.

A megalakulással párhuzamosan folyt a rendszerjavaslatok összegyűjtése, majd 1999 tavaszán a laborszimuláción alapuló előválogatásra került sor. Az értékelő vizsgálatokat követően, 1999 márciusában kialakították az optimalizált rendszert, amelynél a hangfrekvenciás tömörítés, a jelek elő- és utófeldolgozása, a kódolási módszerek és a korszerű rendszerek területén elért legújabb eredményeket alkalmazták. A kialakított rendszerrel tartották meg 1999 novemberében és 2000 márciusa között az első helyszíni, külső vizsgálatot, a Field Test Phase 1-et. Ennek során értékes üzemi tapasztalatokat szereztek, amelyeket a rendszerparaméterek további optimalizálásánál hasznosítottak.

A DRM-ben 2000. július és augusztus hónapjaiban lefolytatták a második laboratóriumi és helyszíni vizsgálat sorozatot, a Field Test Phase 2A-t. Ennek alapján adták meg az ITU WG 6/6-nak kért kiegészítő információkat. Az ITU jóváhagyási folyamattal párhuzamosan a DRM 2000 októberében megkezdte a szabványosítást,

hogy 2001 végére megszülethessen a szabvány, és így annak publikálása után a rendszer részletei felhasználhatók legyenek az eszközök fejlesztéséhez.

### Tevékenység az Nemzetközi Távközlési Egyesületben (ITU)

A tervezési és mérési munkák mellett folyt az ajánlástervezet (Recommendation Draft) kidolgozása. Az ITU keretében a 30 MHz alatti műsorszórással foglalkozó 10. Tanulmányi Bizottság (Study Group 10) és ennek 10/6 feladatmegoldó csoportja (Task Group 10/6) az első, (1999. szeptember) ülésén meghatározta azokat a követelményeket, amelyeket a 30 MHz alatti digitális műsorszórásra vonatkozó ajánlásnak tartalmaznia kell. E követelményrendszerből a következők emelhetők ki: [5]

- A digitális vevőknek világszerte működniük kell;
- Biztosítani kell a folyamatos átállás lehetőségét az analóg adásról a digitálisra;
- Az adatszórásra lehetőség;
- Megnövelt hangminőség;
- Hatékony spektrumhasználat;
- Megbízható szolgáltatás;
- A korszerű AM-adók átállíthatósága és azonos ellátott terület kisebb teljesítménnyel.
- A műsorszórónak legyen lehetősége a rendszerparaméterek egyéni beállítására.

Beérkezett a DRM-javaslat, majd a kis késéssel az USA-ban tevékenykedő USADR-é. Ez utóbbi IBOC In-Band On-Channel néven vált ismertté. A továbbiakban mindkét dokumentumot figyelembe vették. Itt kell megemlíteni, hogy az USADR és a DRM elnökei 2000. január 24-én sajtóközleményben jelentették be, hogy a jövőben közösen dolgoznak az egységes „világszabvány” kidolgozásán. A TG kérte, hogy a két javaslattevő szervezet, a DRM és az USADR havonta adjon tájékoztatást a munka állásáról. A Tanulmányi Bizottság, az SG 10 október 26-i ülésén elfogadott BS 1514 ajánlás 6 azonban kettős felépítésű. Az A melléklet tartalmazza a DRM-, a B melléklet az IBOC-rendszer leírását, a C melléklet az értékelési feltételeket, a D és az E mellékletek pedig a jellemzőket tartalmazzák. Így tehát még nem született meg az egységes „világszabvány”. Ez azonban nem tekinthető végleges helyzetnek, mivel a DRM és az USADR szándéka továbbra is az egységes rendszer létrehozása.

### Üzemi és a helyszíni vizsgálatok

A kísérleti adásokat 6 meglévő, különböző típusú, rövid- és középhullámú adóval sugározták. E vizsgálat célja az volt, hogy valóságos körülmények között igazolja a laboratóriumi értékelés pontosságát, és adatokat szolgáltatson a további fejlesztéshez. A 2000 júliusában és augusztusában végrehajtott Field Test Phase 2A az ITU által igényelt kiegészítő információkat szolgáltatotta. A helyszíni vizsgálatok eredményei különböző konfigurációkból származnak. A kísérleti adásokat különböző adóberendezések sugározták, és eltérőek voltak a terjedési viszonyok is. A berendezések között voltak adócsöves nagyteljesítményűek, mind PSM,



mind PDM nagyszintű modulációval és modern, teljesen félvezetős, kis- és nagyteljesítményűek. A valóságos viszonyok nappali és éjszakai középhullámú adást, többutas rövidhullámú terjedést interferenciával és zavarással jelentettek. Az eredmények összehasonlítása az alkalmazott moduláción (16 QAM vagy 64 QAM), az átviteli módokon (felületi vagy térhullám, különböző védelmi szintekkel), az adóberendezések műszaki jellemzőin és a terjedési csatornán alapult. 2001 elején megkezdődött a következő helyszíni vizsgálat, a Field Test Phase 2B, amelynek során a rendszer üzemi minősítését a szabványosítási folyamattal párhuzamosan végzik.

Ezen az alapon, figyelembe véve a chip-készlet fejlesztéséhez szükséges időt, a résztvevők bíznak abban, hogy a közszükségleti vevőkészülék 2002-re rendelkezésre fog állni.

A helyszíni, terepi vizsgálatokat a következő adó- és vevőállomások közreműködésével végezték (2. táblázat). Vevőállomások:

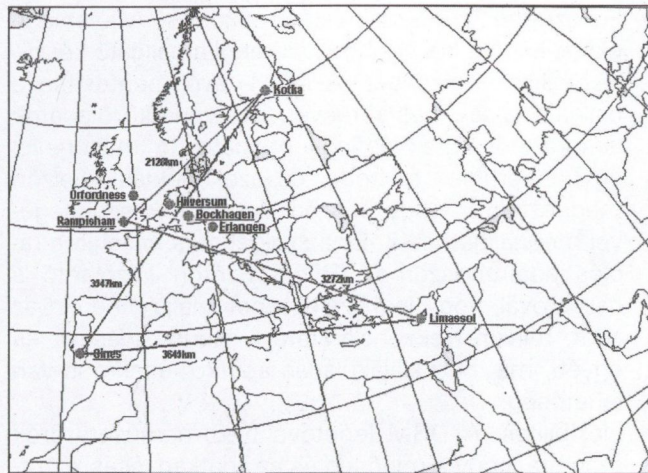
- Erlangen (Németország)
- Bockhagen (Németország)
- Hilversum (Hollandia)
- Kotka (Finnország)
- Limassol (Cyprus)

A méréseket egy középhullámú (1296 kHz) és több rövidhullámú frekvencián végezték.

Néhány, az adó- és a vevőállomások közötti nagy távolságok közül (1. ábra):

- Sines – Limassol 3645 km
- Sines – Kotka 3528 km
- Ramispham – Limassol 3272 km
- Ramispham – Kotka 2128 km

Az adásokat röviddel egymás után AM- és DRM-modulációval sugározták és a méréseket, rögzítették a vevőállomásokon. Ezek a hangfelvételek a DRM-szervezet honlapján megtalálhatók (www.drm.org), továbbá a témával foglalkozó előadások látványos és meggyőző részei. Az AM-adásról készített felvételek a megszokott módon magas hangokban szegények, kisé torzak és érthető áthallásokkal zavartak. A DRM-adás minősége megfelel a mono FM-adásénak. A két legnagyobb távolságú szakaszon a rögzített kísérletre Sines és Limassol között 21 630 kHz frekvencián, vala-



1. ábra A vizsgálati összeköttetések útvonala

mint Sines és Kotka között 17 740 kHz-en került sor. A digitális moduláció az előbbinél az ellenállóképes, robosztus átvitelnek megfelelően 16 QAM volt 15 960 bit/s adatsebességgel. Az utóbbinál a kiváló minőségű átvitelt alkalmazták 64 QAM modulációval és 22 220 bit/s adatsebességgel (3. táblázat).

**Szabványosítás**

Az ITU ajánlásán túlmenően a Nemzetközi Elektrotechnikai Bizottság (IEC) 102. számú Műszaki Bizottságában (TC 102) a következő dokumentumok készülnek:

- IEC 62272-1 Digital radio in the bands below 30 MHz – Part 1: System aspects
- IEC 62272-2 Digital radio in the bands below 30 MHz – Part 2: Methods of measurem radio transmitters

Az első rész a DRM-rendszer részletes ismertetését tartalmazza, a második pedig az adóberendezések mérési módszereit határozza meg. Tervezik továbbá a vevőkészülékre vonatkozó szabvány kiadását is.

Az ITU-n és az IEC-n kívül a DRM más szervezetekkel is együttműködik e téren.

A kisugárzott jelre vonatkozó szabvány kiadása az Európai Távközlési Szabványintézettől (European Telecommunications Standards Institute ETSI) várható.

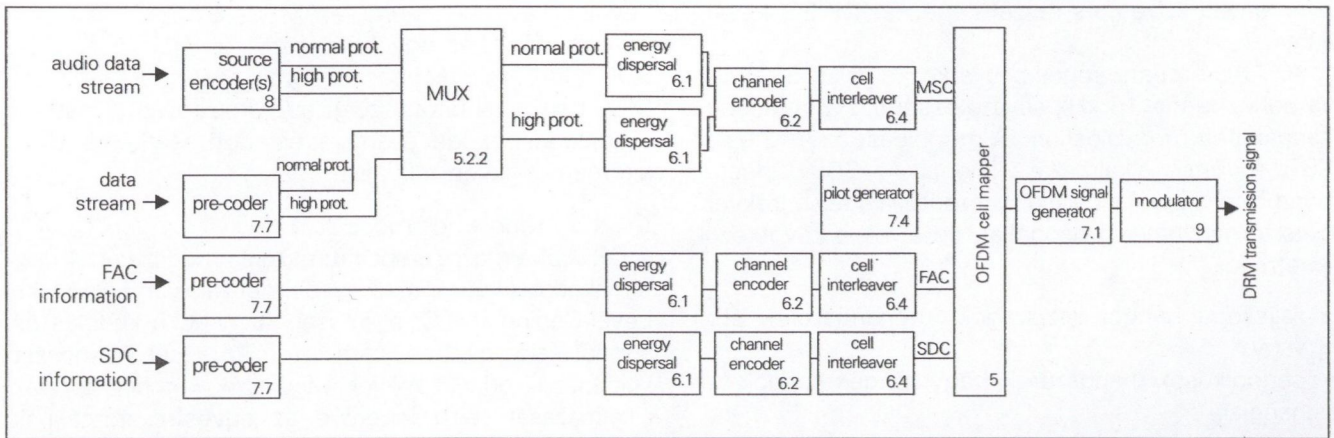
Állomás	Ország	Csúcsteljesítmény [kW]	Átlagteljesítmény [kW]	
			AM	DM (Digitális teljesítmény)
Sines	Portugália	1000	200	80
Rampisham	UK	2000	450	170
Orfordness	UK	1400	250	100

2. táblázat Adóállomások és a berendezések teljesítménye

Vevőállomás	Frekvencia [kHz]	Üzem mód	Forráskódolás	Adatsebesség [bit/s]
Limassol	21 630	robosztus	AAC	15 960
Kotka	17 740	kiváló minőségű	AAC + SBR	22 220

3. táblázat





2. ábra A rendszer felépítése

## A rendszer felépítése

### Meghajtófokozat

A DRM-rendszer adóberendezésének meghajtófokozata a következő főbb egységekből áll (2. ábra):

- Forráskódoló: A hangfrekvenciás jelet először digitálizálja. A kiinduló sebesség célszerűen nagy, ezért azt megfelelő mértékben csökkenti.
- Multiplexer: A forráskódolt adatot egyesíti, multiplexálja egyéb az adáshoz szükséges és azt kiegészítő adatokkal.
- Csatornakódoló és modulátor: A multiplexált adatokat a csatornakódolás során ellenállóvá, robusztussá teszi. A csatornakódolt jellel az RF vivőfrekvenciás jelet modulálja.

Megjegyzendő, hogy az adatsebességet a forráskódolás csökkenti, a csatornakódolás pedig növeli.

A vevőoldalon a következő, az adási oldallal ellentétes sorrendű fokozatokban dolgozza fel a jelet. Ennek során a jelet először szinkronizálódik a vett adatfolyamhoz.

- Demoduláció és csatornadekódolás, az átviteli hibák kijavítása.

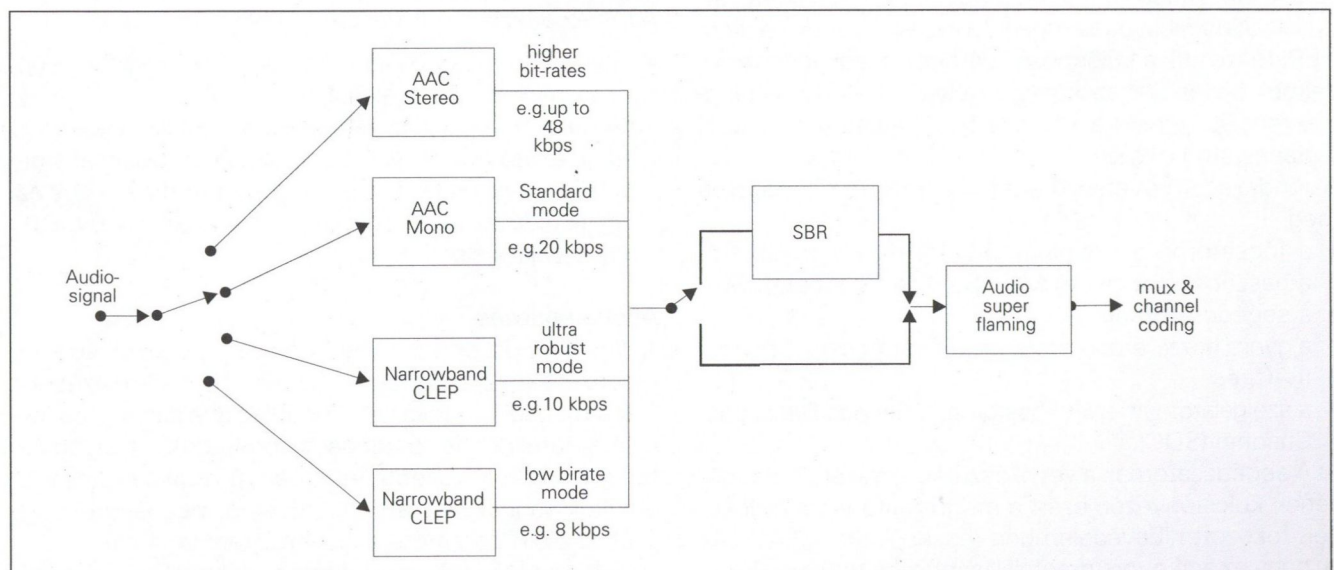
- Demultiplexálás, az adatok szétválasztása komponens adatfolyamokká.
- Forrásdekódolás, a hangfrekvenciás jel előállítás az audio adatfolyamból.

A gyakorlatban a jelfeldolgozási folyamatok nem válnak szét ilyen tisztán, de az egyes fogalmak helytállóak. [7]

### Forráskódolás (3. ábra)

Az átviteli adatsebességet a 9 kHz vagy 10 kHz szélességű RF-csatorna jelentősen korlátozza. Ez világosan jellemzi a forráskódolásra háruló jelentős feladatot, amelynek jó hangminőséget kell biztosítania mind beszéd, mind zene átvitelénél. A beszéd, zene és háttérhangok véletlenszerű keverékéből álló általános műsoranyag kódolására „hullámalak”-kódolót az AAC (Advanced Audio Coding) eljárást alkalmazzák a DRM-rendszerben.

A „hullámalak”-kódolók, mint amilyen az AAC is, elemzik a hangfrekvenciás spektrum részeit, és az eredményt leírják, de csak a hallgató fülének megfelelő pontossággal. Az erős hangok környezetében a jelek kitakarását, maszkolását is alkalmazzák. E tekintetben az AAC az MPEG-1 Layer 2 és az MP 3 kódolások ha-



3. ábra A forráskódoló felépítése



gyománnyait követi, és részét képezi az MPEG-4 szabványnak.

Az AAC-t mesterséges beavatkozás nélkül alkalmazva nehéz lenne 15 kHz sávszélességű, FM-minőségű hangátvitelt megvalósítani. A megoldást az AAC és az SBR együttes alkalmazása jelenti. Az SBR (Spectral Band Replication) előállítja, szintetizálja a felső frekvenciatarományba eső hangokat, amelyek a következők lehetnek:

- zajjellegű hangok (sziszegők, ütőhangszerek stb.) vagy
- periodikusok (hangszerek, vagy zöngés hangok felhangjai).

Az SBR-nél a 6 kHz feletti frekvenciatarományt vizsgálják és megállapítják, hogy a tapasztalt jelek a fenti kategóriák melyikébe tartoznak. Erről kis, max. 2 kbit/s adatsebességű mellékinformációt küldenek a vevő dekódere számára. A felső frekvenciatarományt ezután, mielőtt a jel az AAC-kódolásra kerül, eltávolítják. A vevőoldalon az AAC-dekóder a fő frekvenciatarományt dekódolja, az SBR-dekóder pedig a beérkezett mellékinformáció alapján előállítja a felső frekvenciataromány jeleit. Az SBR-dekóder a zajjellegű hangokat zajgenerátorral és megfelelő spektrumalakítással állítja elő, a felhangokat pedig az AAC-dekóder kimenőjeléből képezi.

Kizárólag beszéd átvitelére a DRM rendszer a CELP-kódolást ajánlja, amely a standard sebességnél kisebb sebességgel, elfogadható minőséget nyújt. A CELP 8-10 kbit/s adatsebességével alkalmas egy RF-csatornában két beszédcsatorna átvitelére, simulcast üzemre és beszédadás különösen robusztus továbbítására.

### Multiplexálás

A korlátozott sebesség következtében fontos a flexibilitás és a határfok közötti helyes arány kialakítása. Emiatt meg kell különböztetni a fő adatokat és a különböző, a vevőkészülék számára az adás megtalálásához és a kívánt műsor dekódolásához szükséges adatokat. Egyenlőtlen hibavédelemben (Unequal Error Protection, UEP) részesítik a különböző adatokat, a legnagyobb védelmet biztosítva azoknak, amelyek romlása a hangfrekvenciás jelben a legzavaróbb hatást (kimaradás, kattanás stb.) okozza.

A rendszer a következő adatcsatornákat különbözteti meg:

- a főcsatorna a szolgálat lényegi részét továbbító, a hasznos jelet alkotó Main Service Channel (MSC);
- a segédcsatornák:
  - a gyors hozzáférésű csatorna, a Fast Access Channel (FAC) és
  - a szolgálatot ismertető csatorna, a Service Description Channel (SDC).

A segédcsatornák a vevőkészülék egyszerű működésének kulcstényezői, ezért a megbízható vétel érdekében fokozott hibavédelemben részesülnek. A FAC célja, hogy az adó gyors megtalálását biztosítsa a vevőnek. Folyamatosan ismételt adatokat tartalmaz, amelyek a

vevőt a sávszélességről, az MSC- és SDC-csatornák modulációjáról és egyéb jellemzőkről tájékoztatják. Az SDC több, de ritkábban ismételt adatot tartalmaz az MSC-ben továbbított szolgálat(ok)ról, továbbá instrukciókat ad a dekóder számára, és adott esetben közli az alternatív frekvenciákat is.

### Csatornakódolás és moduláció

A DRM alkalmazza a spektrumszórás módszerét. A csatornakódolás kétszintű hibavédelmet valósít meg a Multi-Level-Coding (MLC) eljárással. Az MLC a kódolás és a moduláció együttes optimalizációján alapul. A rendszer különböző kódsebességek vagy azok kombinációjának alkalmazását teszi lehetővé az egyes csatornáknak megfelelő hibavédelem érdekében. A FAC- és SDC-segédcsatornákat ellenállóbb kódolási móddal jobban védik, mint az MSC-t. Így például az SDC-t 16 QAM, vagy 4 QAM, a FAC-t 4 QAM móddal, míg az MSC-t a hatékonyabb frekvenciakihasználású 64 QAM vagy az ellenállóbb 16 QAM móddal viszik át. Ez utóbbit alkalmazják például akkor, amikor a terjedési úton Doppler-hatás léphet fel.

A kódolási és modulációs séma a Coded Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (COFDM) változata, amely az Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (OFDM) sémát az MLC-kódolással kombinálja.

Az OFDM-jelek szimbólumok sorozatából állnak, amelyek mindegyike védőintervallumot tartalmaz a terjedési idő ingadozásának kiegyenlítése érdekében. A szimbólumokkal a 9 kHz vagy 10 kHz szélességű csatornában elhelyezkedő nagyszámú segédvívót modulálják. A segédvívók száma az adási módtól és az átviteli módtól (felületi vagy térhullámmal vagy különösen ellenállóképes) függ. Az alkalmazott modulációs rendszer következtében az RF-kimenőjelet spektrumanalizátorral megfigyelve, jól határolt, zajjellegű ábrát kapunk.

Az OFDM-jelekkel a vevőkészülék számára szükséges referenciajeleket is átvisznek. Ezek a pilotjelek, pontosabban pilotcellák, amelyek a csatornák értékelésére és szinkronizálására szolgálnak.

Az RF-csatorna beültetésére két lehetőség van:

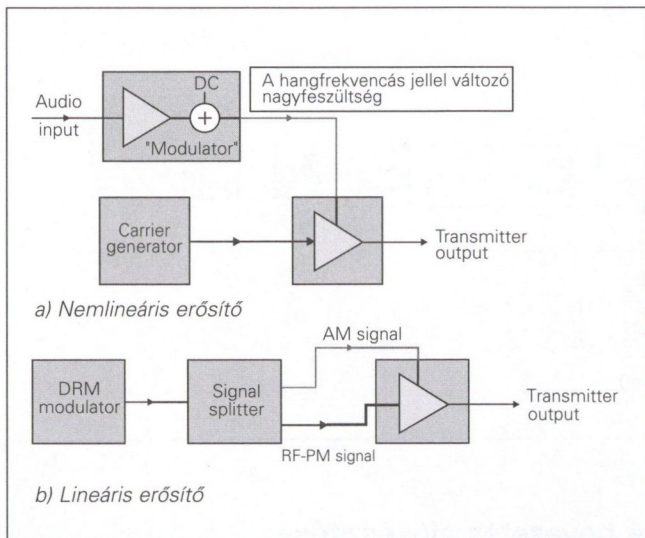
- Standard, amely a 4,5 kHz, vagy 5 kHz szélességű csatornakiosztáson alapul;
- Simulcast, amely az analóg és a digitális jelek egyidejű adását valósítja meg. A simulcast adásnál a digitális spektrumrész az analóg spektrumnak vagy az egyik oldalán, vagy szimmetrikusan felosztva, mindkét oldalán jelenik meg.

### Adóberendezés

A DRM-rendszerben túlnyomórészt meglévő adóberendezéseket alakítanak át. Ezeknek a berendezéseknek a többsége nagyszintű modulációt alkalmaz, és így azok a nemlineáris kategóriába sorolhatók. Az újabb és főleg a kis- és középteljesítményű adókban lineáris erősítők vannak, így azok képesek a meghajtófokozat jelét az előírt paraméterekkel erősíteni (4. ábra).

A berendezések egyik fontos jellemzője a kimenő spektrum alakja és elsősorban a vállcsillapítás. (5. ábra)





4. ábra Az adóberendezések csatlakoztatása

A spektrumra az ITU tőrésábrát ír elő, amely rögzíti az átviteli sávon kívül megengedett spektrumszintet. A zajjellegű meghajtójel következtében az elégtelen linearitású erősítő kimenetén az átviteli sávon kívül is intermodulációs termékek jelennek meg. Az ITU által előírt vállcsillapítás, amely a szomszédos csatorna zavarása miatt fontos 9 (10) kHz szélességű csatorna esetén a közepén elhelyezkedő névleges vivőtől  $\pm 4,5$  ( $\pm 5$ ) kHz távolságban 32 dB.

Az adóberendezés másik paramétere a csúcstényező, a Crest Factor (CF), amely a digitális jel átlag- és csúcsteljesítményei közötti arányt jellemzi. Ez a nagyteljesítményű fokozatok szempontjából fontos, mivel a berendezésnek az átlagteljesítményt kell szolgáltatnia, miközben az erősítők a kivezérlés, a lineáris torzítás és a feszültségterhelés szempontjából a csúcsteljesítményre vannak igénybe véve. A DRM laboratóriumi vizsgálata során különböző jelekkel a következő csúcstényezőket (CF) mérték.

Jel	Térhullám	Térhullám	Felületi hullám
	64 QAM	16 QAM	64 QAM
Csúcstényező (CF) (dB)	8,7	8,3	9,7

**Vevőkészülék**

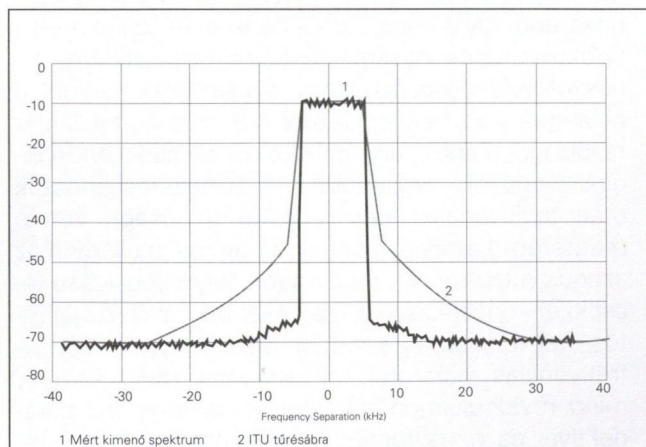
A fejlesztés jelenlegi, előrehaladott szakaszában talán a legfontosabb tevékenység a vevőkészüléknek és az annak szívet alkotó chipnek a fejlesztése. A témában részt vevő vevőkészülék-gyártók közül a Sony és a JVC azonos alap-rendszertervezést tervez (6. ábra). Ennek lényege, hogy a modulárisan felépített készülék bemeneti része alkalmas lesz a DAB-, a DRM- és a hagyományos AM/FM-adások vételére. Az ezt a részt követő, közös, alapsávi rész, amely analóg-digitális átalakítót is tartalmaz, digitális jelfeldolgozást valósít meg. A készülékeket hordozható, mobil és fix vételre tervezik. Minden bizonnyal alkalmasak lesznek a karak-

terekből és az ábrákból álló adatok vételére is. A részleteket pillanatnyilag érthetően titokban tartják. Az integrált áramkör egyik fejlesztője a német Fraunhofer Intézet.

**A DRM-rendszer jellemzői, válasz az ITU-nak**

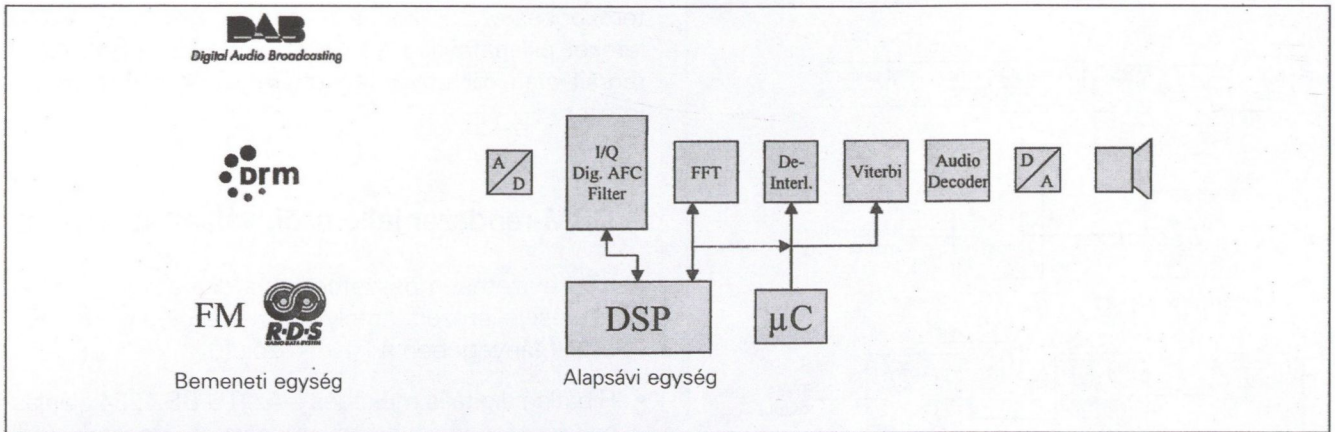
Az ITU előzetesen összefoglalta a digitális rendszerek értékelési jellemzőit, amelyek és az azokra adott DRM válaszok lényegében a következők [6]:

- Hibátlan digitális működés – Az ITU BS.1284 ajánlásnak megfelelő szubjektív vizsgálatot végeztek. A digitális átvitel 4,2-es, az azonos műsoranyagnál az AM-adás 3-as osztályzatot kapott.
- Átviteli megbízhatóság – Az átvitel ellenálló képességét különböző terjedési körülmények között a rövid távolságoktól a 15 000 km úthosszig vizsgálták. A rendszerjellemzők romlása nem volt tapasztalható a Doppler-hatás vagy a késleltetés ingadozásának szélsőséges értékeinél sem. A digitális átvitel jelentősen jobb volt az analógnál, amelynek okai a következők:
  - A digitális jel érzéketlen az azonos és a szomszédos csatornás zavarokra. A hangminőség a jel-zavar arány kis értékéig teljesen hibátlan marad.
  - A hibajavítással együttes OFDM-jel ellenáll a szelektív fading és a többutas terjedés hatásainak.
- Ellátott terület – A felületi hullámú középhullámú ellátottságot vizsgálva azt tapasztalták, hogy a digitális adás teljesítményét az analóg adás teljesítményéhez képest 5 dB-lel csökkentve az ellátottság legalább olyan jó, mint az analógé. A digitális teljesítményt a középhullámú hálózattervek tipikus eseteinél 7 dB-lel az analóg alatt tartják. A rövidhullámú vizsgálatnál a csúcstényező miatt a digitális teljesítmény 10 dB-lel kisebb volt az adó csúcsteljesítményénél. Mivel AM-adásnál az átlagos teljesítmény 6 dB-lel kisebb, mint a csúcsteljesítmény, így a digitális adás teljesítménye 4 dB-lel kisebb, mint az AM-é.
- Kompatibilitás az új és a létező adókkal – A helyszíni vizsgálatokat négy C osztályú és egy-egy lineáris közép-, illetve rövidhullámú adóval végezték. A line-



5. ábra A kimenő spektrum és a tőrésábra





6. ábra A vevőkészülék felépítése

áris adók közvetlenül erősítették az OFDM-jelet, a C osztályúakhoz külön csatlakoztatták az amplitúdó- és a fázismodulált jelet. A jelek spektruma a csatornában gyakorlatilag állandó volt, alatta és felette meredeken esett. Az esés 35 dB volt, de optimalizált berendezésnél elérte az 50 dB-t is.

- Csatornatervezési megfontolások – A mérések alapján megállapítható, hogy az analóg és a digitális jelek „együtt élhetnek” ugyanabban a sávban.
- Egyfrekvenciás hálózat (SFN) – Erre vonatkozólag nem végeztek vizsgálatot, azonban a védőintervallummal rendelkező OFDM-jelek eleve alkalmasak az SFN-üzemeltetésre. Ezt más rendszereken az elmúlt években végzett vizsgálatok igazolták.
- Zavarok – A vizsgálati eredményekből megállapítható, hogy ha egy létező vagy feltételezett AM-adót az érvényes védelmi arányoknak megfelelően terveztek vagy terveznek, és azt 7 dB-lel kisebb teljesítményű DRM adóval helyettesítik, akkor sem annak, sem más adónak a vételében nem jelentkeznek elfogadhatatlan mértékű zavarok. Megjegyzendő, hogy a DRM-jelek lényegesen ellenállóbbak, és így kisebb védelmi arányt igényelnek, mint az AM-adások.
- Gyors hangolás – A felületi hullámú vétel 0,8 s időbeli átszövést igényel, így a különböző csatornákból álló felépítés miatt a hang megszólalásáig 1,6 s szükséges. A térhullámú vételnél az átszövés ideje hosszabb, így a hang 3,6 s eltelte után szólal meg.
- Spektrumhatékonyság – A spektrum hatékony kihasználását biztosítja, hogy a csatornák szélén, a névleges vivő frekvenciájától 4,5 kHz, illetve 5 kHz távolságra a spektrum már 35 dB alá csökken. A digitális adások megindulása, a bevezetési időszak után az ellenállóképes jelek jó minőségű vétele megteremti az alapját annak, hogy rövidhullámon az azonos műsoroknak több sávon folyó sugárzása lecsökken, becslés szerint legfeljebb 2 sávra. Ez jelentős frekvenciamegtakarítást eredményez. Az egyfrekvenciás hálózatok alkalmazása mind közép-, mind rövidhullámon több területen is vonzó perspektíva, és ez is fontos spektrumhatékonysági tényező lehet.

## A bevezetés előkészítése

A munka a terv szerint halad, és a hivatalos indulást a Világ Rádió Értekezlet (World Radio Conference WRC) 2003. évi konferenciája idejére tervezik. A pilotadást 2002-ben kívánják elindítani. Az ITU-tól értesítést kaptak, hogy az DRM-re vonatkozó ajánlást a 189 tagország elfogadta. A műszaki munkacsoportok a rendszer finombeállításával foglalkoznak. Az értékelő munkacsoport tovább folytatja a különböző körülmények közötti kísérleti adásokat.

A Deutsche Welle a Triconalee-ban (Sri Lanka) lévő reléállomásán 2000-ben üzembe helyezett egy 400 kW AM-teljesítményű, digitális adásra alkalmas, félvezetős rövidhullámú adóberendezést. A Sines-ben, Portugáliában lévő reléállomásukon három, 250 kW AM-teljesítményű adóberendezést szereltek fel.

A 2001. augusztus végén Berlinben megrendezésre kerülő IFA-kiállításon a Telefunken SenderSysteme Berlin (TSB) cég együtt a Deutsche Telekommal és a Fraunhofer Intézet integrált áramkörök fejlesztő részlegével működő középhullámú digitális műsorszóró rendszert fog bemutatni.

## Irodalom

1. Narancsik Mihály: Digitális műsorszórás 30 MHz alatt. Híradástechnika 1999. augusztus
2. DRM honlap: [www.drm.org](http://www.drm.org)
3. Peter Senger: DRM – Digital Radio Mondiale. Ein weltweites Konsortium für einen neuen digitalen Standard. Rundfunktechnische Mitteilungen 1999. H1.
4. Jonathan Stott: DRM – key technical features. EBU Technical Review, March 2001
5. Narancsik Mihály: Digitális műsorszórás 30 MHz alatt. 9. Televízió és Hangtechnikai Konferencia (2000. május 23–25.)
6. Recommendation ITU-R BS 1514 – System for digital sound broadcasting in the broadcasting bands below 30 MHz
7. Mike Cronk: DRM – implementation issues. EBU Technical Review, March 2001



# És a stúdióval mi lesz?

HECKENAST GÁBOR

gépészmérnök

a Magyar Rádió kuratóriumának tagja

A kép- és hangműsorokat szinte mindenütt digitális módszerekkel viszik át. A jó minőség érdekében a sugárzás vagy szétosztás is digitális. Ezek után felmerül, hogy az egységes kezelés érdekében már a stúdióban a mikrofon kimenetétől lehetőleg digitális jelek hordozzák az információt. A cikk bemutatja, hogy nemcsak emiatt, hanem a stúdió munkája és az archiválás miatt is célszerű digitalizálni. Az eltett információk digitális formában könnyebben kereshetők és szerkeszthetők újabb feladatok megjelenésekor.

Ha az adás digitális lesz, akkor nyilvánvalóan az a cél-szerű, ha a stúdió is digitális jelet szolgáltat. A stúdióban azonban maradni fog egy olyan rész, ahol mindig analóg jelekkel kell foglalkoznunk, hiszen a hang analóg jelként jelenik meg a természetben, és mi is csak analóg jeleket tudunk érzékelni, csak ilyeneket tudunk kelteni. Nevezzük a stúdió ezen részét a stúdió „akusztikai szegmensének”! A jó hangzás kérdése elsősorban az akusztikai térben dől el.

A mikrofon után azonban egy másik világ kezdődik: a stúdió „elektronikus szegmense”. És itt mindenképpen át kell térni a digitális technikára. A stúdió az analóg és a digitális világ határállomása lesz. Az akusztikai szegmensben hangokkal foglalkozunk, az elektronikusban fájlokat kezelünk.

Valószínűleg eléggé elterjedt az a vélemény, hogy a digitalizálás fő célja a jobb hangminőség (ún. CD-minőség) biztosítása a rádiózásban. A jobb hangminőség a digitális technika egyik fontos eredménye, amely azonban önmagában nem lett volna elég ösztönző erő a minden résztvevőtől jelentős költségfordítást igénylő változtatások végrehajtásához.

A digitalizálás azonban a stúdiótechnikában is számos további előny forrása. Ezek a fájlkezelés ismert előnyeiből erednek. Ezek közül legfontosabbnak tartom a korlátlan számú, akár kaszkádban történő, minőségromlás nélküli másolás lehetőségét, amit az egyszerűség kedvéért klónozásnak neveznék el. A másik adottság a fájlokhoz való rendkívül gyors hozzáférés lehetősége. Ez a kettő együttesen biztosítja a gyors, roncsolásmentes editálás lehetőségét. A következő előny a stúdiótechnikában nem olyan jelentős mint az adástechnikában, mégis szólni kell róla. A mindig redundáns forrásjel egyébként sem észlelhető részeinek eltávolításával nagyfokú adattömörítés (bitredukció) érhető el. Ez digitális jelnél könnyebben, tökéletesebben és változtatható módon valósítható meg.

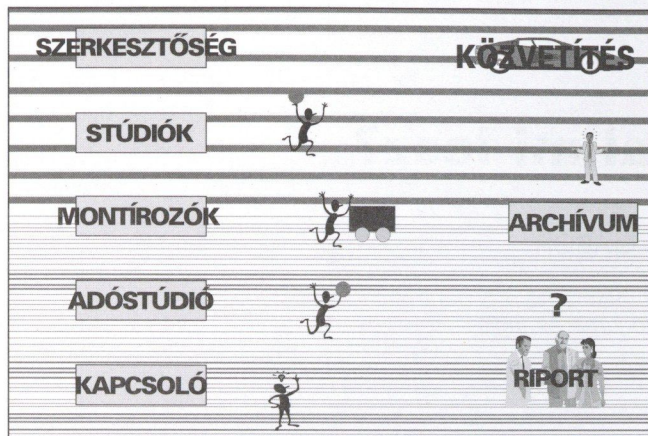
A számítástechnikához konvergáló digitális hangtechnikában mód van a számítástechnikában jól bevált, mozgóelem nélküli rögzítési eljárás alkalmazására. A klónozás (és bizonyos esetekben az adattömörítés) segít megoldani a digitális felvételek archiválását (1. ábra).

A digitális stúdió kulcskérdése a digitális archívum. Ha ezt sikerül jól megvalósítani, akkor létrejöhet a „tape-less” és „CD-less”, azaz a szalag és CD nélküli stúdió, ahol nem kell különböző formátumú hanghordozókat ide-



1. ábra Az analóg bemenet és a digitális jelkezelés kapcsolata





2. ábra Az archiválás és a digitális folyamatok kapcsolata

oda szállítani, raktározni, átjátszani stb., hanem munkáállomások között helyi hálózatokon, vagy akár távközlési rendszereken keresztül digitális adatcsomagok áramlanak. (2. és 3. ábra) A tárolórendszerrel szemben alapvető követelmény, hogy a tárolt információ degradálódása kellő időben észlelhető legyen. Ilyenkor a hibajavító rendszer segítségével az eredeti jel automatikusan átjátszásra kerül. Ez esetben még a jelhordozó közeg élettartama is másodlagos kérdéssé minősül. Ilyen rendszerben dolgozó stúdiók már ma is vannak, és léteznek olyan cégek is, amelyek a tervezést és a szükséges hardver és szoftver szállítást vállalják.

A digitális technikára való átállást egy lépésben kell végrehajtani, még akkor is, ha maradnak analóg adásrendszerek is (pl. FM). A vegyes üzemnek ugyanis nagyon nagy hátrányai vannak.

Természetesen gondoskodni kell arról, hogy a felbecsülhetetlen értéket képviselő, óriási analóg archívumok anyaga változatlanul hozzáférhető maradjon. A legcélravezetőbb az, ha ezek anyagát, a hosszú távú biztonságos megőrzés érdekében is, tervszerűen átírják digitális formátumba. Ha ez a munka volumene mi-

att nem oldható meg, akkor az egyes anyagok ismételt műsorra tűzésekor kell az átírást megoldani.

A fentebb felsorolt előnyök a stúdiók munkáját nemcsak könnyebbé és gyorsabbá, hanem gazdaságosabbá is teszik. Van azonban még egy döntő tényező, ami a digitalizálás irányába hajtja a stúdiókat: előbb-utóbb a gyártók már csak digitális berendezéseket fognak forgalomba hozni. Egyszerűen nem lesz más. Vagy ha igen, akkor mérheterlenül drágán (mint pl. jelenleg a csöves erősítők).

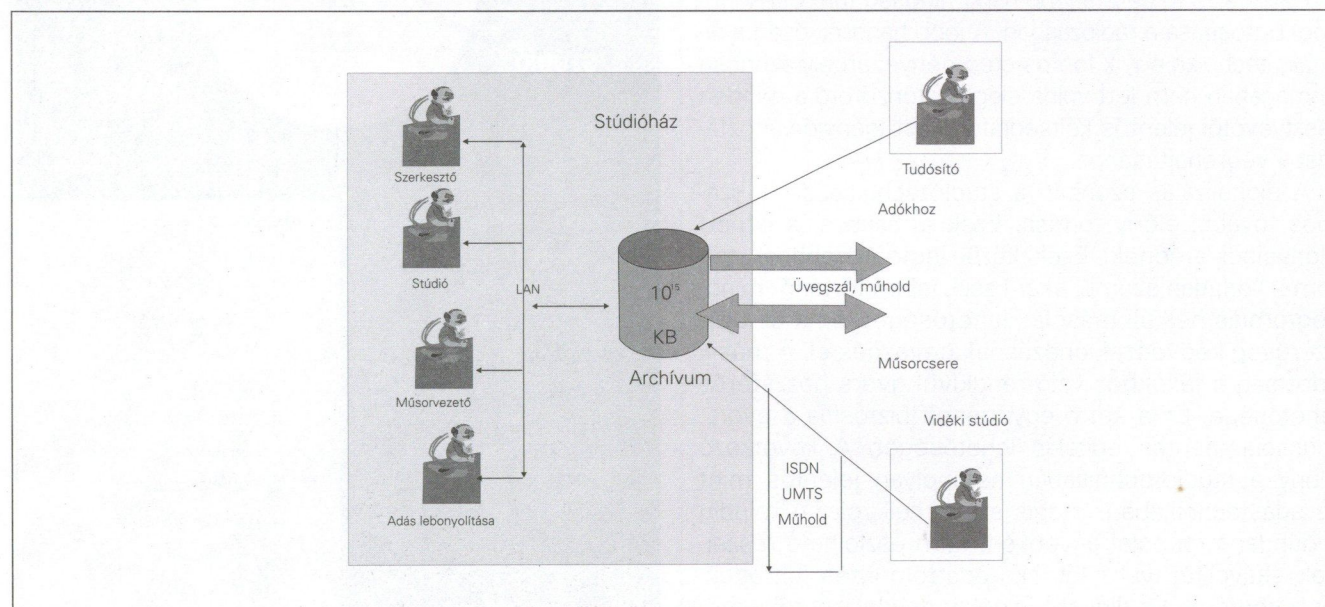
Mindezek alapján talán nem kell túl nagy merészség azt prognosztizálni, hogy a stúdiók rövidesen akkor is átállnak a digitális technikára, ha a digitális adásrendszerek bevezetése valamilyen okból késedelmet szenvedne.

**Heckenast Gábor**

*A Budapesti Műszaki Egyetemen 1950-ben szerzett gépészmérnöki oklevelet. Pályáját 1948-ban a lakihegyi rádióadónál kezdte. 1949-ben áthelyezték a Posta rádióstúdiójába, ahol fejlesztőmérnökként dolgozott 1962-ig. Jelentős része volt a hazai stúdió-magnetofon-gyártás megindításában, a rádió új, decentralizált rendszertechnikájának kialakításában, valamint az új, központi kapcsolóterem tervezésében.*

*1962-től a Magyar Televízióban, a mágneses képrögzítés bevezetését irányította. 1964-ben kinevezték a Magyar Televízió fejlesztési területét irányító műszaki igazgatóhelyettesévé. 1974-ben hívásra visszatért a Magyar Rádióhoz. 1992-ben történt nyugdíjba vonulásáig a Rádió műszaki igazgatója volt. Vezetése alatt a Magyar Rádió sok új műszaki létesítménnyel gazdagodott. 1996 és 2000 között tagja volt a Nemzeti Hírközlési és Informatikai Tanácsnak (NHIT), ma szakértőként dolgozik ugyanitt. 1998-ban beválasztották a Távközlési Érdekegyeztető Fórum (TÉF) felügyelő bizottságába. A TÉF 2001-ben a Magyar Rádió kuratóriumába delegálta.*

*1981 és 1990 között az OIRT Technikai Bizottságának elnöke volt. Tagja a HTE-nek és az OPAKFI-nak. Az Audio Engineering Society (AES) Magyar Tagozatának elnöke. Számos könyve és publikációja jelent meg. Sok kiténtetés tulajdonosa.*



3. ábra A műsorkészítés belső hálózata



# Crossbar kapcsoló és optikai mátrix-processzor akusztóoptikai megvalósítása

BARÓCSI ATTILA – MAÁK PÁL – JAKAB LÁSZLÓ – RICHTER PÉTER

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME), Fizikai Intézet, Atomfizika Tanszék

A modern optikai jelfeldolgozás széles körben alkalmazott eszköze az akusztóoptikai fényeltérítő (Bragg-cella). Alkalmazását azonban egy-dimenziós eltérítési tulajdonságai behatárolják. Kétdimenziós (mátrix) fényeltérítő megvalósításával az alkalmazási lehetőségek száma jelentősen bővül: képgenerálás, kép- és jelfeldolgozás, letapogatás, pozicionálás finommechanikai, mérés technikai, orvosbiológiai, távközlési stb. területeken. A következőkben egyetlen akusztóoptikai cellával megvalósított – monolit –, többcsatornás kétdimenziós fényeltérítő működését, valamint két tipikus alkalmazását ismertetjük, mint véletlen elérésű optikai crossbar kapcsoló, illetve optikai mátrixprocesszor.

Az akusztóoptikai (AO) eszközök működése a különböző anyagokban a fotorugalmassági effektus következtében létrejövő fény-hang (foton-fonon) kölcsönhatáson alapul. A kölcsönhatási közegben keltett  $f$  frekvenciájú mechanikai deformáció (akusztikus hullám) periodikus  $n(x)$  törésmutató-változást okoz, mely változás olyan diffrakciós rácsként viselkedik, amelynek rácsállandója az akusztikus hullám  $\Lambda$  hullámhosszával egyezik meg. A diffrakciós fázisrács megváltoztatja az akusztikus nyalábra közel merőlegesen ( $z$  irányban) beeső,  $E_0$  térerősség-amplitúdóval és  $\omega$  körfrekvenciával jellemzett

$$E = E_0 \sin \omega \left( t - \frac{zn(x)}{c} \right) \quad (1)$$

beeső fénynyaláb fázisát ( $c$  a vákuumbeli fénysebesség). Az AO diffrakció hasonló a fény optikai rácson történő elhajlásához két fontos eltéréssel. Egyrészt a rács véges  $L$  kiterjedéssel (kölcsönhatási hosszal) rendelkezik (vastag rács), aminek következtében lehetőség van csak egyetlen diffrakciós rend kialakulására, ha a vákuumban  $\lambda$  hullámhosszú beeső nyaláb  $\alpha$  beesési szögére a konstruktív interferencia Bragg-feltétele teljesül:

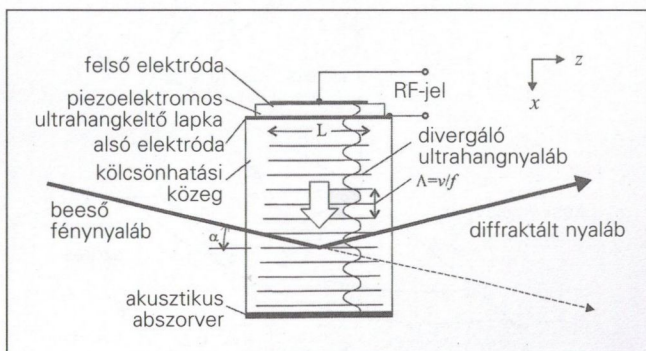
$$\sin \alpha = \frac{\lambda}{2n\Lambda} = \frac{\lambda}{2nv} f. \quad (2)$$

Másrészt a rács az akusztikus hullám  $v$  sebességével mozog. Ennek következtében az akusztikus frekvenciával megegyező Doppler-eltolódás lép fel. A leírt jelenséget Bragg-diffrakciónak, az ezen alapuló eszközt pedig Bragg-cellának nevezzük, mely működését tekintve fényeltérítőként alkalmazható, hiszen (2) alapján, kis szögekre  $\alpha \approx f$ . Az ultrahanghullámot piezoelektromos egykristálylapkával hozzuk létre, amely a rákapcsolt nagyfrekvenciás (néhány 10 MHz), néhány V nagyságú

feszültség hatására ultrahanghullámokat kelt. Egy tipikus AO-fényeltérítő felépítése az 1. ábrán látható.

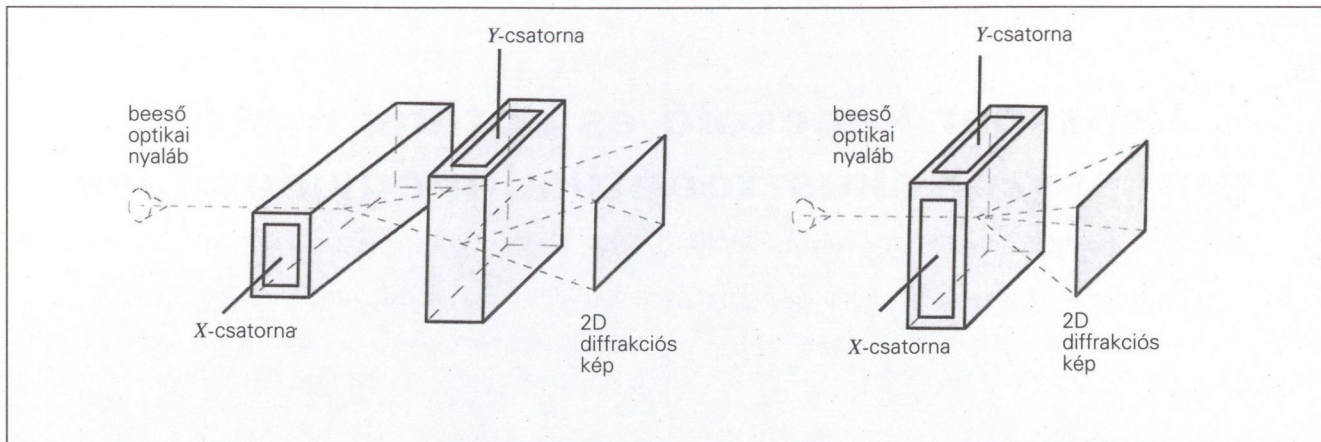
Igen sokféle AO-elven működő egydimenziós (vonal) fényeltérítő létezik a kereskedelmi forgalomban, melyekkel más-más frekvenciatartományokban különböző optikai felbontás és AO-hatásfok érhető el. Hamar felmerült az igény azonban kétdimenziós (mátrix, 2D vagy XY) fényeltérítők fejlesztésére változatos kép- és jelfeldolgozási feladatokra [1,2]. Az ilyen eszközök nyilvánvalóan felépíthetők két, egymásután elhelyezett egydimenziós Bragg-cella alkalmazásával (2. ábra). Azonban az eredő eszköz nagyméretű, mely sok alkalmazásban előnytelen. Továbbá az eszköz eredő hatásfoka esetenként számottevően lecsökkenhet, mivel azt a két különálló cella hatásfokának szorzata adja, és a második cella hatásfoka jelentősen változik az első celláról eltérő szögekben érkező optikai nyalábok miatt [3].

Az egyetlen cellában létrejövő kétdimenziós AO-kölcsönhatási elrendezést először Uchida és munkatársai javasolták [4]. A kompakt, monolit konstrukció következtében az ilyen eszköz számos speciális – pl. miniatűr szilárdtestlézerrrel felépített – alkalmazáshoz jó hatásfokkal adaptálható a látható és közeli infravörös (500–1100 nm) hullámhossztartományban [5,6].



1. ábra Az AO-fényeltérítő (Bragg-cella) felépítése





2. ábra Egy- és kétcélszerű kétdimenziós AO-fényeltérítő

Amennyiben a monolit kétdimenziós fényeltérítő egymásra merőleges vezérlőcsatornáit irányonként több csatornával helyettesítjük, az így kialakított kétdimenziós sokcsatornás fényeltérítő alkalmas komplex matematikai feladatok optikai feldolgozására, továbbá a bemenő és kimenő csatornák közötti tetszőleges kombinációjú kapcsolat megvalósítására [7,8,9,10].

### Kétdimenziós monolit fényeltérítő megvalósítása

#### Az eszköz működése

Ahhoz, hogy a kétdimenziós AO-kölcsönhatás egyetlen cellában lejátszódjon, a kölcsönhatási közegnek tetragonális (azaz 90-os forgási) szimmetriával kell rendelkeznie, mely lehetővé teszi a kölcsönhatás kialakulását mind az X, mind az Y irányokban. A 3. ábra akusztikus hullámszámvektorokkal leírt lehetséges kölcsönhatási geometriát mutat, anizotróp kettőtörő (ordinárius és extraordinárius törésmutatóval rendelkező) anyag esetén. Terjedjen a beeső  $|\mathbf{k}_{be}| = 2\pi n/\lambda$  hullámszámvektörű fénynyaláb az ábrán látható XY síkban. Az extraordinárius beeső nyalábot az X irányban a közegben terjedő  $|\mathbf{K}_{\alpha,x}| = 2\pi f/v$  akusztikus nyaláb által kialakított periodikus optikai törésmutató-változás (fázis-

rács) diffraktálja úgy, hogy a  $\mathbf{k}_{d,x}$  eltérített (diffraktált) nyaláb polarizációja ordináriusra változik. Ezt a nyalábot az Y irányban terjedő  $\mathbf{K}_{\alpha,y}$  akusztikus tér által keltett fázisrács diffraktálja tovább a  $\mathbf{k}_{d,xy}$  másodrendű, extraordinárius polarizációjú nyalábbá. A különböző polarizációs állapotokat eredményező anizotróp kölcsönhatás megvalósítása alapvető a nagy felbontás elérése céljából. Az  $N$  felbontást (vagyis a még felbontható elemi szögeltérések számát) a  $\Delta\theta$  teljes diffrakciós szögtartomány és az optikai nyaláb  $\delta\theta$  divergenciája (széttartása) adja, amely hányados kifejezhető az akusztikus nyaláb optikai nyalábon történő áthaladásához szükséges  $\tau$  idő és  $\Delta\theta$  végigpásztázásához szükséges  $\Delta f$  akusztikus frekvenciatartomány szorzataként [11]:

$$N = \frac{\Delta\theta}{\delta\theta} = \tau\Delta f. \tag{3}$$

Az akusztikus sávközépi frekvenciát, ahol a hullámszámvektor-illeszkedés tökéletesen megvalósul – azaz, a beeső és diffraktált optikai nyalábok és az akusztikus nyaláb fázisa pontosan illeszkedik (ahol a beeső és a diffraktált optikai, valamint az akusztikus hullámszámvektorok vektori összege zérus), így a (2) Bragg-feltétel teljesül – az

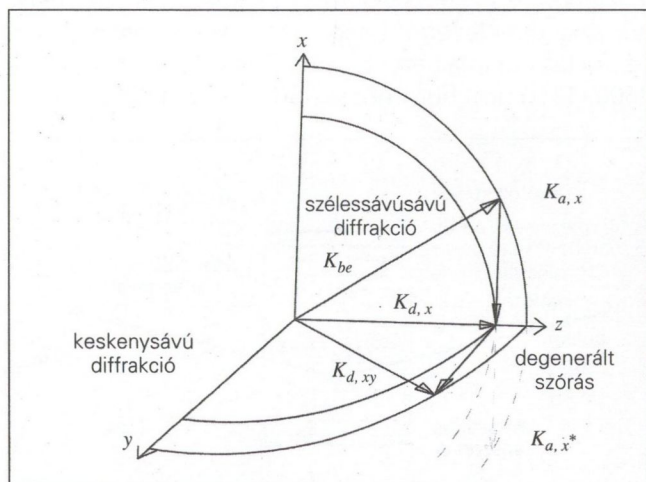
$$f_0 = \frac{v}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_0^2} \tag{4}$$

összefüggés adja, ahol  $n_0$  és  $n_1$  az ordinárius és extraordinárius nyalábra vonatkozó törésmutatók. Az X irányba eltérített optikai nyalábra vonatkozó diffrakciós sávszélességet a Dixon-féle egyenlettel közelíthetjük [4]:

$$\Delta f_x = 2v \sqrt{\frac{2n_0}{\lambda L}}. \tag{5}$$

Az Y irányú eltérített nyaláb diffrakciós sávszélességét a hullámszámvektor-illesztetlenségi feltételekből számíthatjuk az alábbiak szerint [12,13]:

$$\Delta f_y = \frac{n_1 v^2}{2\lambda f_0 L}. \tag{6}$$



3. ábra A kétdimenziós AO-kölcsönhatás hullámszámvektor-diagramja



Az eltérítő másik fontos paramétere a diffrakciós hatások (a diffraktált nyaláb intenzitása a belépőhöz képest), amit egy irányban az AO-Bragg kölcsönhatásra jól ismert egyenlettel közelíthetünk:

$$\eta = \sin^2 \frac{A\sqrt{P}}{\lambda}, \quad (7)$$

ahol a kölcsönhatási közeg anyagjellemzőit az  $A$  konstans tartalmazza [4,11],  $P$  az akusztikus meghajtó teljesítménye. Két dimenzióra első közelítésben az eredő diffrakciós hatásfokot az egy dimenzióra számolt hatásfokok szorzata adja.

### Tervezési megfontolások és anyagválasztás

A következő problémák merülnek fel a monolit kétdimenziós kölcsönhatás megvalósításakor:

- A diffrakciós tartomány (a tartomány amelyet az  $X$  és  $Y$  irányban eltérített nyaláb bejár) aszimmetrikus (téglalap alakú), mivel az  $X$  és  $Y$  irányokban más-más sáv szélesség adódik az (5) és (6) egyenletek alapján. A sáv szélességet az akusztikus divergencián keresztül a kölcsönhatás geometriája határozza meg, azaz, hogy a két optikai hullámvektor-felület közé hogy illeszthetők be a különböző frekvenciájú (különböző hosszúságú) akusztikus hullámvektorok. Az aszimmetria oka, hogy a két különböző irányban különbözőképpen görbülnek az optikai hullámfelületek, és ezért ugyanolyan divergenciájú (ugyanolyan irány-készletű) akusztikus nyalábokból különböző frekvenciatartomány vehet részt a diffrakcióban. A sáv szélességet maga az akusztikus átalakító is egy oktávra korlátozza mindkét eltérítési irány esetén. Az  $Y$  irányban megvalósuló kölcsönhatás – bár polarizációváltozás történik – keskeny sávú izotróp kölcsönhatási geometriaként írható le, és elsősorban a megvalósítható maximális akusztikus divergencia korlátozza.
- Az eredő diffrakciós hatások kisebb, mint az egydimenziós kölcsönhatásra számítható az egyes hatások összeszorozódása miatt. Ugyanakkor a hatások eloszlása a diffrakciós tartományban egyenletesebb lehet, mint azt az egyszerű szorzatból várhatnánk az  $X$  és  $Y$  kölcsönhatás (nemlineáris) egymásra hatása következtében.
- Az abszolút sáv szélesség növelhető, amennyiben a fő kristálytani irányoktól eltérő optikai vagy akusztikus terjedést valósítunk meg (*off-axis* vagy kiforgatott geometria) [3,14].

Kölcsönhatási közegként a tellúr-dioxidot ( $\text{TeO}_2$ ) választottuk. Ennek indokai:

- Kettőtstörő és tetragonális szimmetriával rendelkezik (kristálytani csoport: 422).
- Extrém alacsony terjedési sebesség a [110] kristálytani irányban a nagyfokú anizotrópia következtében. Az előzőekben általánosan megadott  $X$  és  $Y$  irányok a közeg [110] kristálytani tengelyeit jelentik, amelyek mentén  $v = 620$  m/s. Ez a sebesség igen nagy

akusztóoptikai jósági tényezőt – így diffrakciós hatásfokot – eredményez. Továbbá  $\tau$  értéke igen nagy lesz, ami (3) alapján nagy felbontást ad.

- Optikailag aktív, ami a [001] irányban terjedő optikai nyalábra nagy sáv szélességű anizotróp diffrakció megvalósítását teszi lehetővé (3. ábra) [15].

Az elméleti megfontolások és számítások alapján az alábbi következtetések vonhatók le:

- A  $\tau$  apertúraidő növelhető az optikai nyalábméret növelésével, azonban ennek gátat szab a [110] irányban terjedő, anizotróp kölcsönhatást megvalósító transzverzális akusztikus módus csillapítása.
- A jelentős iránybeli aszimmetria csökkenthető  $X$  és  $Y$  irányokban különböző kölcsönhatási hosszak kialakításával. Azonban a túlzottan kis  $L$  magasabb diffrakciós rendek (további diffraktált nyalábok) megjelenését eredményezi (a vékony optikai rács esetén kialakuló tökéletlen Bragg-diffrakció miatt).
- Az  $Y$  irány sáv szélessége megkétszerezhető, ha a cellát telítésben üzemeltetjük, a (7) egyenletben megadott nemlineáris diffrakciós karakterisztika miatt. Ez esetben a meghajtó teljesítménye ( $P$ ) az optimálisnál kissé nagyobb, így a sáv középi diffrakciós hatások kissé lecsökken. Ugyanakkor a sáv szélességen radikálisan megnő a hatások, az akusztikus tér divergenciájának látszólagos növekedése következtében.

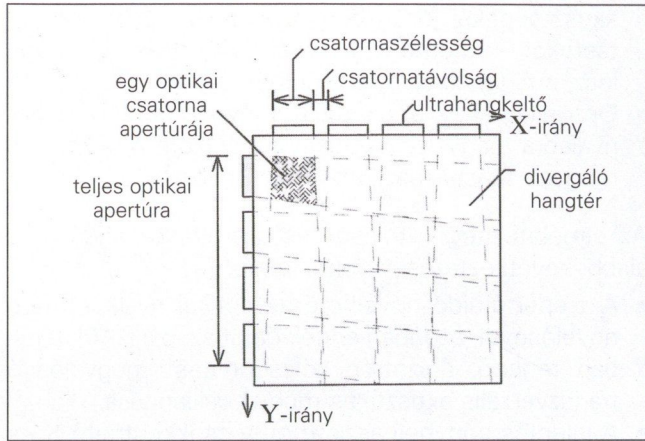
Mindegyik felbontásnövelő eljárás kompromisszumot követel az eredő hatásokkal, az indukált mellékhatások miatt. A legjelentősebb probléma a középsávi degeneráció, mely a 3. ábra alapján értelmezhető. Az elsőrendű  $\mathbf{k}_{d,x}$  nyalábot az öt kialakító  $\mathbf{K}_{\alpha,x}^*$  akusztikus tér (szaggatott vonal) diffraktálja tovább úgy, hogy polarizációja a beeső nyalábéval egyezik meg. Ez sáv közepén a  $\mathbf{k}_{d,x}$  rendben megjelenő intenzitáscsökkenést eredményez. A degenerált visszaszórás az akusztikus teljesítménnyel növekszik. A degenerált akusztikus frekvencia megegyezik a (4)-ben megadott sáv középi értékekkel és ( $\text{TeO}_2$ -ra) 633 és 1060 nm hullámhosszak esetén sorrendben 37 és 18 MHz.

A jelenség úgy csökkenthető, hogy a kölcsönható nyalábok irányát a fő kristálytani irányoktól némileg eltérőre választjuk, kis (3-5o-os) szögben elforgatjuk. Az elforgatás azonban a nyalábalakot torzítja (így a felbontást csökkenti) az anizotrópiából adódó akusztikus *walk-off* jelenség (az akusztikus fázistér és energia terjedésirányának eltérése miatt fellépő „kisértés”) miatt. Mindezek alapján a két hullámhosszhoz sorrendben 47 és 27 MHz-es középfrekvencián üzemelő elforgatott kölcsönhatást alakítottunk ki.

### Többcsatornás kétdimenziós fényeltérítés

Az egycsatornás  $XY$  eltérítő módosítható úgy, hogy mindkét irányban több RF meghajtó csatornát alakítunk ki. Az így kapott eszköz a be- és kimenőcsatornák számával jellemezhető. A kimenőcsatornák maximális száma elméletileg az eszköz kétdimenziós felbontásával azonos. A bemenőcsatornák maximális szá-





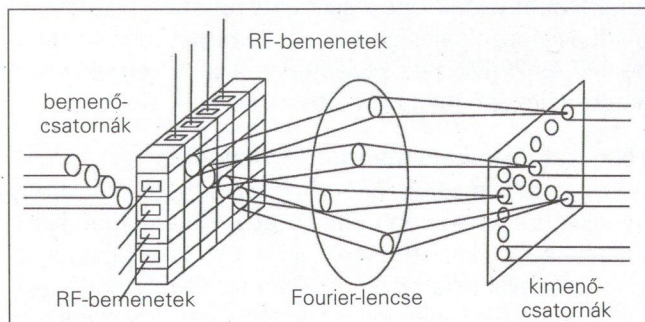
4. ábra. A bemenőcsatornák számát limitáló paraméterek (az Y irány a [110] irányból kismértékű elorientálás miatt kisétáló hangtér okozta apertúratorzulást mutatja)

mát is több paraméter korlátozza, melyek a 4. ábra alapján:

- Az akusztikus csillapítás által korlátozott maximális optikai apertúra, mely a lassú nyíró akusztikus módus esetén számottevő lehet ( $290 \text{ dB/cm GHz}^2$ ). Ha az ebből eredő veszteséget  $-3 \text{ dB}$  alatt akarjuk tartani, az apertúra nem lehet nagyobb, mint  $25 \times 25 \text{ mm}^2$ .
- Aktív csatornaszélesség, mely befolyásolja mind az eszköz felbontását, mind az akusztikus divergenciát. A felbontás csökken, a divergencia növekszik a csatornaszélesség növekedésével.
- Csatornatávolság, mely a csatornák közötti áthallás kis értéken tartásához szükséges. A csatornatávolság növelése szükséges, ha az akusztikus divergencia nő, hogy elkerüljük az ultrahangterek átlapolását. Itt kell megjegyezni, hogy a [110] kristálytani irány nagy anizotrópiája miatt annak igen nagy pontosságú orientálása szükséges. Ellenkező esetben az optikai apertúra torzul, amint az ultrahang erősen „kísétál” a kristálytani irányból.

### Többcsatornás XY fényeltérítőn alapuló crossbar kapcsoló

A crossbar kapcsoló elvi rajza a 5. ábrán látható,  $4 \times 4$  csatornás eszközre. Azaz az elrendezés egy vektor-mátrix konverternek tekinthető, ahol az  $M$  hosszúságú bemenő vektort pl.  $M$  darab szál alkotja. A bemenő szálakat az el-



5. ábra Az AO optikai crossbar kapcsoló felépítése

térítő átlós csatornához pozicionáljuk, mivel ezek választathatók ki egymástól függetlenül.

A kimenőcsatornák egy  $N \times N$  elemű mátrixot alkotnak, ahol  $N$ -et a (3) felbontás korlátozza. A vektorelemek átkapcsolását tetszőleges mátrixpozícióba az RF-bemenetekre adott különböző frekvenciájú jelekkel vezérelhetjük. Az eszköz alkalmas több vektorelem azonos pozícióba kapcsolására, ezeket a csatornákat a kimenetre helyezett vékony lencse adja össze. A kimenő mátrix lehet pl. szintén optikai szálköteg, vagy CCD detektor mátrix. A kapcsolóalkapítás többféle átkötési kódolás megvalósítására alkalmas, pl.  $M$ -ből  $M$ ,  $M$ -ből  $N \times N$ , vagy akár  $1$ -ből  $M$ ,  $1$ -ből  $N \times N$  (minden egyes bemenetre vonatkoztatva), ha minden egyes RF-csatornát  $M$  különböző frekvenciájú jellel hajtunk meg.

A csatornaszám és hatásfok (vagy veszteség) mellett a harmadik fontos jellemző a kapcsoló átkonfigurálási ideje. Egy adott idő szükséges a bemenőcsatornák új kimenő pozícióba helyezéséhez, mely az 6. ábra alapján két részből tevődik össze:

- Késleltetési idő ( $t_d$ ), mely ahhoz szükséges, hogy az ultrahang elérje az átkapcsolandó csatornát. A maximális késleltetési időt az ultrahangkeltotól legtávolabb lévő csatornára definiáljuk, és a teljes optikai apertúra befolyásolja.
- Felfutási idő ( $t_r$ ), mely ahhoz szükséges, hogy az ultrahang átérjen a kapcsolandó optikai apertúrán. Esetünkben az átkonfigurálási idő  $\mu\text{s}$  nagyságrendű.

### Vektorok és mátrixok optikai feldolgozása

#### Vektor- és mátrixmanipulációk

Az előző pontban ismertetett kapcsoló működése kiterjeszthető  $M \times M$  bemenetre is. Ebben az esetben az eszköz alapvető mátrixmanipulációk elvégzésére alkalmas (7. ábra), mint pl. sor- vagy oszlopvektor-generálás, mátrixtranszponálás vagy rotáció. Itt a mátrixelemeket a bemenő optikai jelintenzitások definiálják, az elemek kapcsolását pedig a csatornákra adott RF-jel biztosítja.

Megjegyzendő, hogy a transzponálás ezen eszköz-konfiguráció alapvető sajátja, vagyis minden manipuláció esetén automatikusan megtörténik.

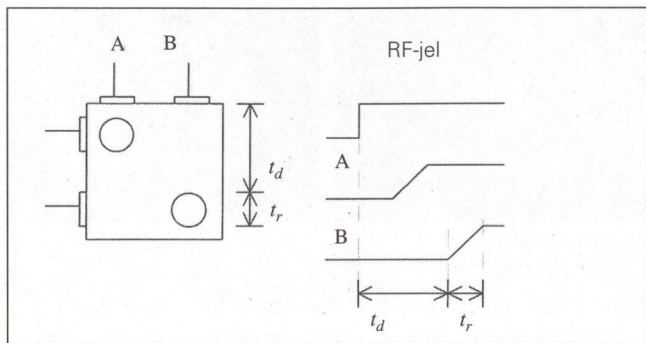
Amennyiben az RF-csatornákra adott jelet nem csak kapcsoló jelnek tekintjük, hanem az RF-jel nagysága (és nem a bemenő optikai jel intenzitása) hordozza a bemenő mátrixinformációkat, lehetőség van analóg mátrixszorzás elvégzésére is. Ebben az esetben az egyes mátrixelemeket az egyes eltérítési irányok RF-bemenetei definiálják. Mátrixok szorzása kétféle módon lehetséges: sorosan, illetve párhuzamosan.

#### Mátrixok soros szorzása

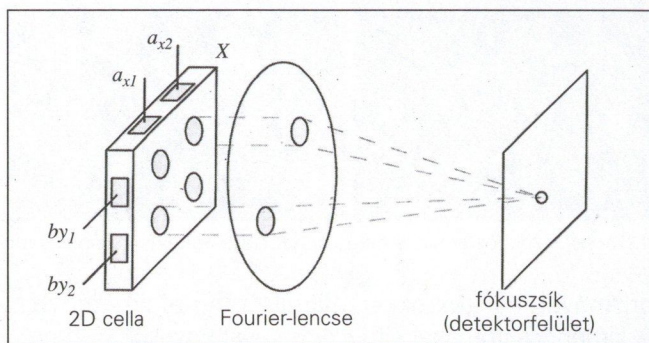
Legyenek az összeszorozandó (egyszerűség kedvéért  $2 \times 2$  elemű) mátrixok következő sor-, illetve oszlopvektorokba csoportosítva:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{a}_{x1} & \mathbf{a}_{x2} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{b}_{x1} \\ \mathbf{b}_{x2} \end{bmatrix}. \quad (8)$$

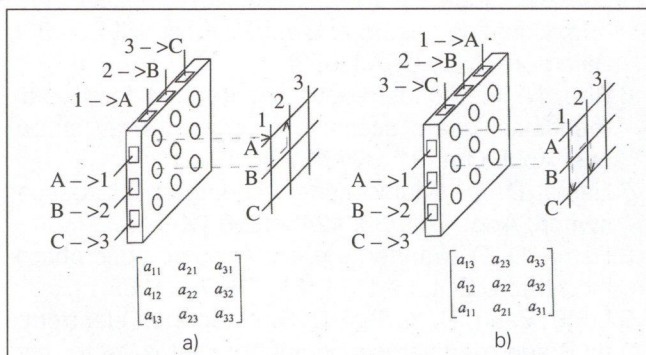




6. ábra Az átkonfigurálási idő értelmezése a késleltetési ( $t_d$ ) és felfutási ( $t_r$ ) idővel



8. ábra A soros mátrixszorzás

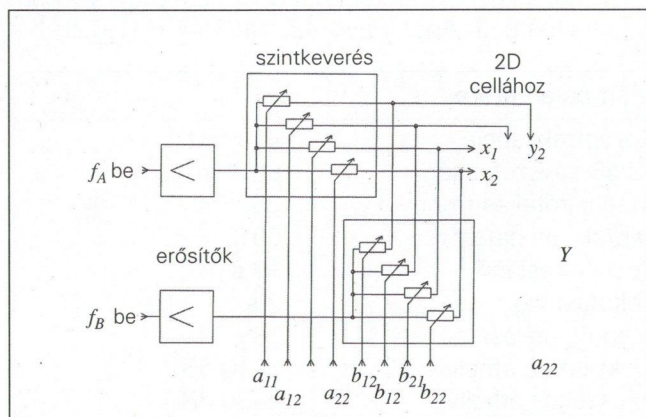


7. ábra a) 3×3-as mátrix transzponálása, b) Transzponálás az 1. és 3. oszlop cseréjével

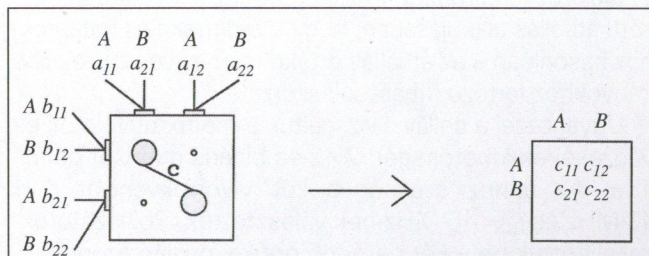
Ha mindkét vektort a maga (1) és (2) elemével a 2×2 csatornás eltérítő (X1, ... Y2) RF-bemenetéhez rendeljük, a mátrixszorzás a következő sorrendben végezhető:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{a}_{x1}(1) \cdot \mathbf{b}_{y1}(1) + \mathbf{a}_{x2}(1) \cdot \mathbf{b}_{y2}(1) &= c_{11} \\
 \mathbf{a}_{x1}(1) \cdot \mathbf{b}_{y1}(1) + \mathbf{a}_{x2}(1) \cdot \mathbf{b}_{y2}(1) &= c_{12} \\
 \mathbf{a}_{x1}(2) \cdot \mathbf{b}_{y1}(1) + \mathbf{a}_{x2}(2) \cdot \mathbf{b}_{y2}(1) &= c_{21} \\
 \mathbf{a}_{x1}(2) \cdot \mathbf{b}_{y1}(2) + \mathbf{a}_{x2}(1) \cdot \mathbf{b}_{y2}(1) &= c_{22}
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

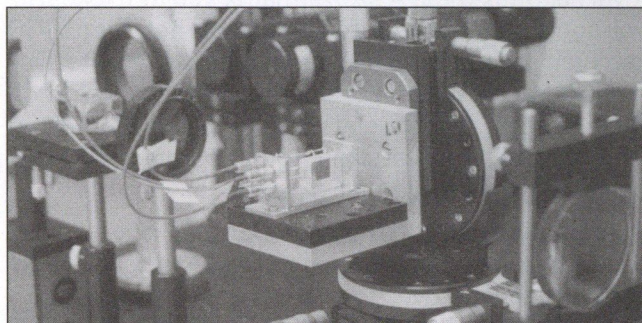
Vagyis a szorzatmátrix elemeit 4 lépésben kapjuk egymás után. Az elemek szorzása a 2D kölcsönhatás multiplikatív tulajdonságából ered, míg az összeadást Fourier-lencse végzi a fókusz síkjába helyezett fotodetektoron (8. ábra).



11. ábra A 2×2 csatornás XY fényeltérítő vizsgálatához összeállított elektronika blokkvázlata



9. ábra Párhuzamos mátrixszorzás különböző (A és B) frekvenciával vezérelt RF-bemenetekkel



10. ábra A kísérleti 2×2 csatornás XY fényeltérítő

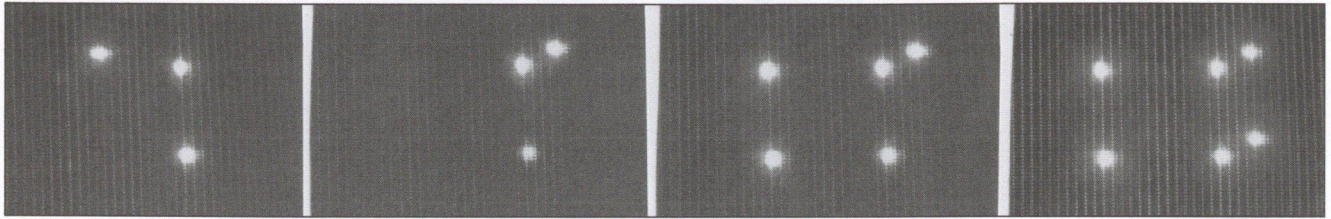
### Mátrixok párhuzamos szorzása

A fenti eredmény egy lépésben is elérhető, ha kihasználjuk az XY cella azon tulajdonságát, hogy a különböző frekvenciával vezérelt bemenetek különböző helyekre diffraktálják a bemenő optikai nyalábokat, valamint ezek az RF-jelek összegezhetőek is egyetlen csatornán. Ebben a megközelítésben a bemenetek száma mindkét eltérítési irányban megegyezik a mátrixelemek számával, a 9. ábra szerint. A szorzatmátrix elemei a megfelelő (összekötött) csatornapárokban keletkeznek, melyeket egy lencsével össze kell adni. Az egyes csatornákat más-más frekvenciával kell vezérelni, az ábrán látható módon (M eltérő frekvencia M×M-es mátrix esetén).

### Kísérleti eredmények

A fentiek igazolására demonstrációs rendszert állítottunk össze a 10. ábrán látható 2×2 csatornás 2D fényeltérítővel. A vezérlőrendszer elvi rajza a 11. ábrán látható, és alkalmas mind a crossbar kapcsoló, mind a vektor- és mátrixműveletek vizsgálatára. A két bemenő optikai csatornát két He-Ne lézer biztosítja, melyek nyalábjait osztó-





12. ábra Különböző bináris mátrixok szorzata defokuszált optikai rendszerrel rögzítve

prizmával és tükrökkel állítjuk megfelelő irányba. A kimenőcsatornákat CCD kamerával figyeljük. A mérések alapján a crossbar kapcsolóra kapott adatokat az 1. táblázat tartalmazza. Pozitív tendencia a csatornák közötti áthallás alakulásában, hogy – a diffrakciós hatáshoz hasonlóan – az áthallás értéke is az egyes diffrakciós irányokhoz tartozó áthallások szorzata.

Ugyanezzel a cellával vizsgáltuk a mátrixműveletek elvégzésének lehetőségét, 2x2-es bináris mátrixot definiálva. Az ehhez szükséges két vivofrekvenciát  $f_A = 43$  MHz és  $f_B = 45$  MHz-nek választottuk. Polarizátorokkal állítottuk be a két bemenő optikai nyaláb azonos intenzitását. Az XY cellát két RF-generátort és egy 8-ból 4-es keverőt tartalmazó, 4-csatornás vezérelhető erősítővel hajtottuk meg. A szorzatmátrix 100 mm fókusztávolságú Fourier-lencse fókuszsíkjába helyezett CCD kamerán keletkezett, melyet monitoron jelenítettünk meg. A 12. ábra különböző bemenő mátrixpárok szorzatát mutatja. A szemléletesség kedvéért a detektort elmozdítottuk a fókuszsíkból, így az összegzendő képpontok egymás mellett keletkeztek.

A kutatómunkát a Thomson-CSF cég együttműködése, valamint a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatása tette lehetővé.

**Irodalom**

1. Mait, J. N., Prather, D. W., Athale, R. A.: Acousto-optic processing with electronic image feedback for morphological filtering, Appl. Opt. 31, 5688-5699 (1992)
2. Prather, D. W., Mait, J. N.: Acousto-optic generation of two-dimensional spot arrays, Opt. Lett. 16, 22, 1720-1722 (1991)
3. Maák P., Jakab L., Barócsi A., Richter P.: Improved design method for acousto-optic light deflectors, Opt. Comm., 172, 297-324 (1999)

4. Uchida, N., Ohmachi, Y.: Acousto-optical light deflector using TeO2 single crystal, Japan J. Appl. Phys. 9, 155-156 (1970)
5. Dizier, F., Ayrat, J-L., Montel, J., Huignard, J-P.: A 30 Hz phase conjugate Nd:YAG laser with 2D beam steering, Conf. on Lasers & Electro-Optics (CLEO '93), Baltimore, MD, USA (1993)
6. Riza, N. A.: Acousto-optic architecture for two-dimensional beam scanning in phased-array antennas, Appl. Opt. 31, 3278-3284 (1992)
7. Harris, D. O.: Multichannel acousto-optic crossbar switch, Appl. Opt. 30, 4245-4256 (1991)
8. Harris, D. O., VanderLugt, A.: Acousto-optic photonic switch, Opt. Lett. 14, 1177-1179 (1989)
9. Le, P., Zang, D. Y., Tsai, C. S.: Integrated electrooptic Bragg modulator modules for matrix-vector and matrix-matrix multiplications, Appl. Opt. 27, 1780-1785 (1988)
10. Sawchuk, A. A., Jerkins, B. K., Raghavendra, C. S., Varma, A.: Optical crossbar networks, IEEE Computer, pp50-60 (1987)
11. Uchida, N., Niizeki, N.: Acousto-optic deflection materials and techniques, Proc. IEEE 61, 1073-1092 (1973)
12. Chang, I. C.: Acousto-optic devices and applications, IEEE Trans. Sonics and Ultrasonics, SU-23, 2-21 (1976)
13. Chang, I. C., Hecht, D. L.: Characteristics of acousto-optic devices for signal processors, Opt. Eng., 21(1) 76-81 (1982)
14. Elston, G.: Optically and acoustically rotated slow shear Bragg-cells in TeO2, Advances in Optical Information Processing III, SPIE 936, 95-101 (1988)
15. Warner, A. W., White, D. L., Bonner, W. A.: Acousto-optic light deflectors using optical activity in paratellurite, J. Appl. Phys. 43, 4489-4495 (1972)

Tervezési paraméterek		Mért paraméterek	
Kölcsönhatási közeg	TeO2	Középfrekvencia	41 MHz
Optikai hullámhossz	633 nm	-3 dB sávszélesség	8 MHz
Bemenőcsatornák száma	2x2	Meghajtóteljesítmény	350 mW
Csatornaszélesség	3 mm	Diffrakciós határfok	50%
Csatornatávolság	2 mm	Késleltetési idő	16 s
Optikai nyaláb átmérője	1 mm	Felfutási idő	2 s
Optikai polarizáció	lineáris	Átkonfigurálási idő	18 s
[110] akusztikus módus	lassú nyíró	Elektromos áthallás	<-10 dB
		Akusztikus áthallás	<-30 dB
		Felbontás	15x15

1. táblázat A crossbar kapcsoló mért adatai



# Különböző IP/WDM-implementációk tesztelése

BŐHM TAMÁS – ZOMBORI TAMÁS

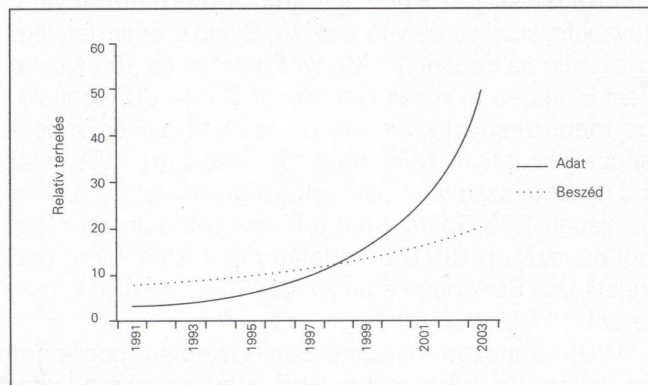
egyetemi hallgatók, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME)

(FRANÇOIS TILLEROT, France Télécom R&D:

EURESCOM Project 1014 TWIN Experience in Testing IP over WDM Networks című előadása nyomán)

Az EURESCOM P1014 Testing WDM IP Networks (TWIN) projektje a P918-as projektben leírt megoldásokat ellenőrizte négy kísérleti rendszerben Finnországban, Franciaországban, Svájcban és Svédországban. Egy további összeköttetést is felépítettek a francia és a svájci laborok között. A négy helyszínen három protokoll (POS, GbE, DPT) vizsgálata folyt. A projekt eredményei útmutatásként szolgálhatnak a jövőbeni rövid és középtávú IP/WDM-hálózatok telepítésekor.

Egyre fokozódik a társadalmi igény a sávszélesség-intenzív alkalmazások – úgy mint a világháló vagy a videokonferencia – iránt. Ez túlmutat a jelenleg elterjedt nagysebességű technikák (pl. ATM) lehetőségein, kielégítésére az optikai hálózatok alkalmasak. Bár a fényvezető szálal mint átviteli technológiával már régóta foglalkozik a szakma, az optikai hálózatok csak az elmúlt években



1. ábra Az adat- és beszédforgalom múltbeli és becsült jövőbeli alakulása

váltak központi témává. A legígéretesebb, már a gyakorlatban is használt megoldás az „elektrooptikai szakadék”<sup>1</sup> áthidalására a hullámosztásos nyalábolás, azaz WDM (Wavelength Division Multiplexing) [1].

Az előbb említett növekedésnek jellegzetes az időbeli alakulása: míg a beszédforgalom nagyjából lineárisan évi 7%-kal emelkedik, az adatátvitel iránti igény exponenciális görbét követ (1. ábra). Ez a hirtelen növekedés az utóbbi területen elsősorban az IP-alapú forgalomra összpontosul – így ennek hatékony átvitele egyre fontosabb a távközlési szolgáltatóknak.

Ezért indította az Eurescom<sup>2</sup> a P918-as projektjét, melynek célja az IP-alkalmazások WDM feletti megvalósítási lehetőségeinek vizsgálata volt [2]. Az 1999. februártól 2000. júniusig tartó munka során összehasonlították a piacon kapható megoldásokat a funkcionalitás, költség, támogatott szolgáltatások és egyéb szempontok alapján.

A hálózattervezőknek és -menedzsereknek több egymásnak ellentmondó szempont között kell megtalálniuk az arany középút:

- a rendszer egyszerűsítése, szemben a növekvő szolgáltatásigénnyel;
- a már üzembe helyezett technológiákkal való kompatibilitás a hálózatok fejlődésével, a mind magasabb bitsebességre való törekvéssel;
- a beszerzett eszközök és az összekapcsolhatóság igénye, szemben a teljesítménnyel.

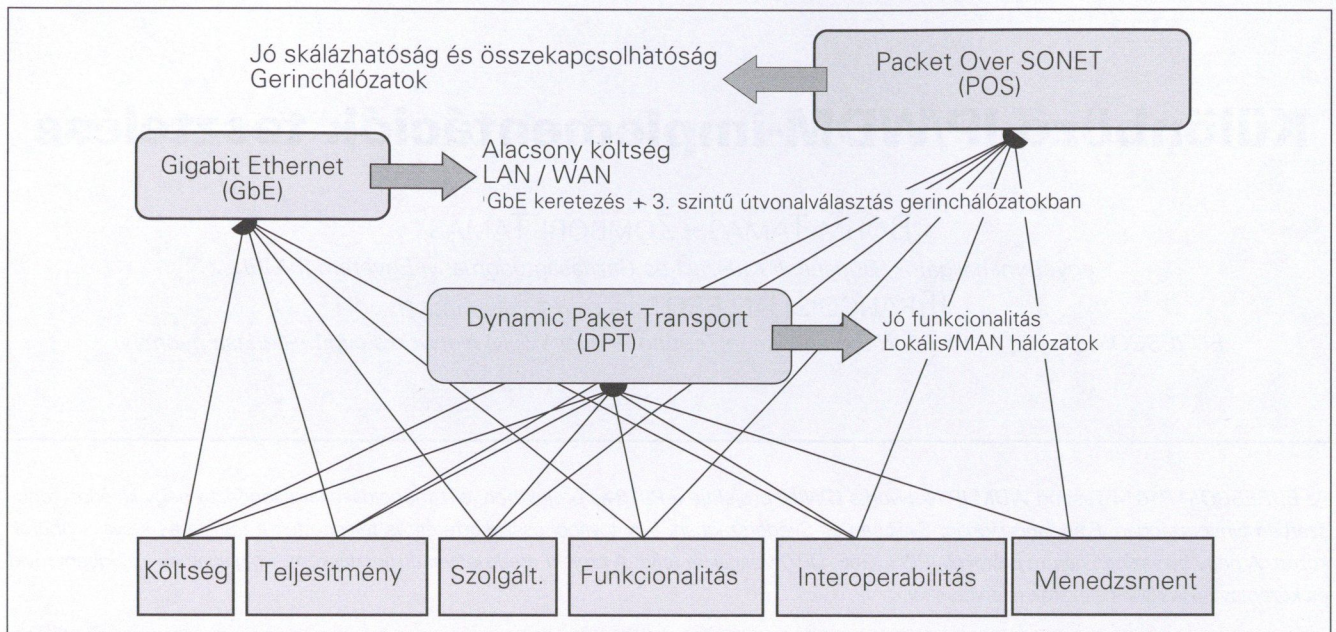
Ezekben a döntésekben szeretnének támpontot nyújtani a projekt résztvevői a tagok részére készített elemzéseikkel.

A számos megvizsgált protokollréteg [3] közül – amelyek a fizikai szintű WDM és a szállítási rétegbeli IP közé ékelődhetnek be – hármát további, kísérleti vizsgálatra javasolnak [4]. Úgy döntöttek, hogy a legígéretesebb technológiákat egy külön projektben, a tavaly indított P1014-ben fogják összehasonlítani és az együttműködésüket tanulmányozni. A TWIN (Testing WDM IP Networks) terv alapvető célja ajánlások és segédanyagok kidolgozása optika feletti IP-gerinchálózatok tervezéséhez és megvalósításához. A teszteket négy kísérleti hálózaton végezték (Finnországban, Franciaországban, Svédországban és Svájcban), valamint a francia és a svájci hálózat összekapcsolását is megvalósították.

<sup>1</sup> Az elektronikus és a fényvezető eszközök közötti négy nagyságrendbeli bitsebesség-különbség.

<sup>2</sup> Európai hálózatüzemeltetők, szolgáltatók, gyártók és kereskedők által létrehozott szervezet, melynek célja a közös kutatás és stratégiai tanulmányok készítése a távközlés minden területén.





2. ábra A műszaki lehetőségek összehasonlítása

A három technológia közül egyik sem múlja fölül egyértelműen a másikat, ezért a helyzet tisztázása és a döntések elősegítése érdekében kísérletekre és éles próbákra van szükség. A P1014-es projekt két területen szeretné élesíteni a képet:

- teljesítményelemzés és a funkcionalitás bemutatása valóságos környezetben;
- az együttműködés képessége (különböző eszközök, megoldások és gyártók termékei között).

A főbb tesztelési szempontok: költség, teljesítmény, szolgáltatások, együttműködő-képesség és menedzselhetőség (2. ábra).

A TWIN-ben alkalmazott három megoldást az alábbiakban ismertetjük.

## Packet over SONET/SDH (POS)

A POS úgy képezi le az IP-csomagokat SDH-keretekre, hogy azokat az IETF által meghatározott szabványos módon először a Point-to-Point Protocol (PPP – [5]) szerint csomagolja, majd High-level Data Link Control (HDLC – [6]) keretbe illeszti. A HDLC elsődleges feladata az aszinkron IP-datagrammok szinkron átvitelhez illesztése.

Ez a technológia nem a hagyományos SDH-nyalábolást használja, hanem az „összefűzött SDH-rakomány” módszerrel (STM-4c) több konténerkeretet egybe képez le, és így nagyobb lesz a sebesség az interfészen. A POS révén full duplex pont-pont összeköttetést hozhatunk létre két útvonalválasztó között. Az SDH- és a WDM-rendszer kiváló együttműködő-képessége miatt a skálázhatóság nem jelent problémát, a csomópontok számára nincs elvi határ.

Segítségével hatékony nagy sebességű összeköttetések hozhatók létre útvonalválasztók között. Mivel SDH-n alapul, könnyen integrálható a már meglévő gerincháló-

zatokkal. MPLS-támogatással a QoS terén jelenkező hátrányai is kiküszöbölhetők, és így különlegesen megnyerve válhat a távközlési szolgáltatók számára.

## Gigabit Ethernet (GbE)

A lokális hálózatokban elterjedt Ethernet-szabvány továbbfejlesztéséről van szó. A Gigabit Ethernet leggyakoribb változatai (10 Mbit/s Ethernet és 100 Mbit/s Fast Ethernet) fő vonzerejét jelentő CSMA-CD technológia megőrzésével kíván túlélni azok térbeli és sebességbeli korlátain. Mint nevéből látszik, az IEEE által kidolgozott szabvány sávszélessége 1 Gbit/s, bár ez valójában 1,25 Gbit/s, mert a fényvezetős átvitel céljából bevezetett 8B/10B kódolás miatt 25% overhead keletkezik. Bár ebben a projektben nem vizsgálták, már létezik 10 Gbit/s-os Ethernet-szabvány is [7].

WDM-transzportálózatokban kizárólag pont-pont összeköttetésre használják GbE interfésszel rendelkező IP-útvonalválasztók között. Ezt kapcsolással lehet többpontos hálózattá alakítani, de több tulajdonsága ez ellen szól (pl. nincs MPLS-támogatás).

Legnagyobb előnye az alacsony költség: egy GbE eszköz ára az ötöde az egyenértékű SDH-kártyáénak. Gyengesége a nagy overhead, de figyelembe véve a használhatóságát és költségét, előnyös megoldás lehet WAN-környezetben. Egyszerű, költségkímélő technológia az útvonalválasztók nagysebességű összeköttetésére a gerinchálózatokban.

## Dynamic Packet Transport (DPT)

A Cisco által javasolt átviteli technológia az IP-csomagokat kettős gyűrű topológiájú hálózatokon továbbítja. Lehetőség van több ilyen struktúra összekapcsolására



is – például több hálózatüzemeltető által fenntartott gerinchálózati gyűrűk létrehozására. Ez az automatikus konfigurációnak köszönhetően (pl. topológia automatikus felismerése) nem igényel kézi beállítást.

A DPT-hálózatok közegyelérési rétegében a Spatial Reuse Protocolt (SRP) alkalmazzák, melynek fő funkciója a gyűrű sávzálességének jobb térbeli kihasználása. Ennek érdekében a csomagot a gyűrűről nem a feladó, hanem a célállomás veszi le, és így párhuzamosan több átvitel folyhat – „van elég hely számukra”. A hálózat elérését az SRP-fairness algorithm (SRP-fa) szabályozza, amely minden csomópont rendelkezésére bocsátja az őt megillető sávzálességet, lehetőséget ad a hely-újrafelhasználásra, valamint a sok csomóponttal rendelkező gyűrűk működőképességét is megengedi [8]. Az SRP révén QoS bizottsítására is van lehetőség: a két bevezetett forgalmi osztály közül csak az alsó sávzálességét korlátozza. Bár az SRP maga független az alatta levő közegtől, egyelőre csak SDH-hoz kapható – STM-4-hez csatlakoztatható interfész áll rendelkezésre, de várhatóan nagyobb sebességekre is ki fogják dolgozni.

Az Intelligent Protection Switching (IPS) szint felel a védelemért és az átviteli utak helyreállításáért [8]. Egy módusú szálon 40 km a legnagyobb áthidalható távolság – amennyiben az adott alkalmazás hosszabb csomópontközi utat igényel, IP vagy (külső gyártó által biztosított) SDH-jelfrissítők segítségével megoldható.

Bár a DPT-gyűrűk hasznosak lehetnek lokális és MAN-hálózatokban, egyelőre nem tűnik alkalmasnak a transzport-hálózati alkalmazásra. Ennek oka az áthidalható távolság, valamint a többi megoldással való inkompatibilitás és az MPLS-lehetőség hiánya.

## Kísérleti rendszerek

Habár a négy partner által kialakított kísérleti hálózatokon ugyanazokat a kérdéseket kívánták vizsgálni, mind egyedi volt, hiszen különböző protokollokat használtak, különböző méretekben (WAN, MAN), különböző szolgáltatók eltérő hálózatain. Egyik résztvevő sem végzett vizsgálatokat valamennyi rendszeren. Az Elisa Communications, a finn partner a Dynamic Packet Transport (DPT) megoldást mérte, a svéd Telia Research a Gigabit Ethernet (GbE) technológiát vizsgálta, a France Télécom és a Swisscom pedig mind a Packet over SDH (POS), mind pedig a GbE-hálózatokon végzett kísérleteket.

A nagy távolságú IP/WDM-összeköttetés demonstrálására egy külön kapcsolatot hoztak létre a Swisscom és a France Télécom laboratóriumai között (3. ábra). Az itt használt protokoll a GbE volt, és az összeköttetés – amennyire lehetett – a már a két szolgáltató által korábban kiépített hálózatok segítségével valósult meg. Bern és Grenoble között egy külön hullámhosszát (1552,53 nm, 31-es csatorna) foglaltak le a kábelen.

A grenoble-i routert rövidre zárva (a bemenetét a kimenetére visszakötve), egy 745 km hosszú szakaszt ka-

punk. A szakasz érdekessége, hogy nem tartalmaz 3R regenerátort (újraerősítés, újraformázás, újraidőzítés), csak 3 Alcatel 2R transzpondert (újraerősítés, újraformázás). A szakasz átlagos késleltetése 3601,55  $\mu$ s volt, és a mérések során továbbított 568 182 165 csomag mind hiba nélkül érkezett meg.

A Gigabit Ethernet használatának számos előnye van:

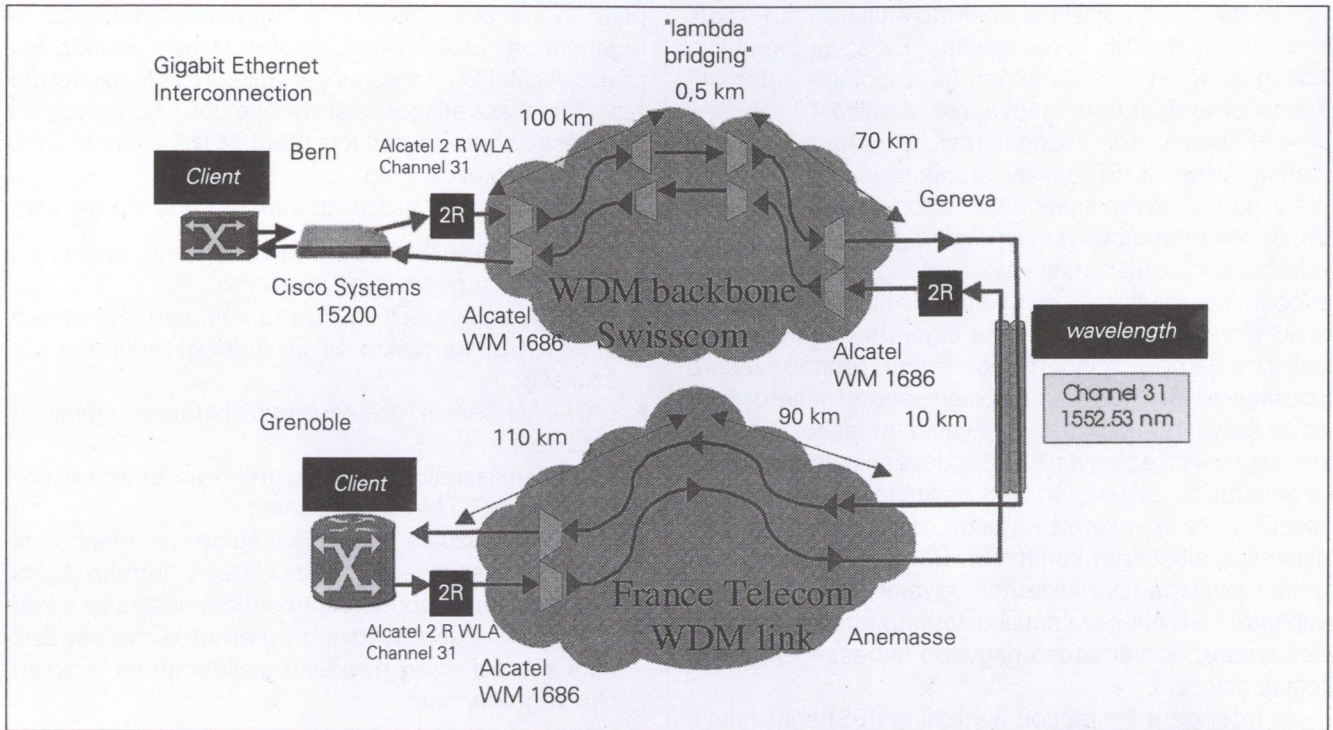
- Minimális befektetéssel megvalósítható, így új szolgáltatásként gyorsan bevezethető.
- A már meglévő SDH-hálózatra könnyen ráültethető, csak a GbE-kártyákra és 2R transzponderekre van szükség.
- LAN-LAN összeköttetés megbízhatóan megvalósítható vele.
- Mind felhasználói interfész, mind az Ethernet port olcsóbb, az STM-megoldásnál.
- Ha a felhasználó sávzálességigénye megnövekszik, nincs szükség új összeköttetés létrehozására, csupán a transzponderek átfigurálására és a kapcsolat két végén gyorsabb Ethernet-kártyákra. Ezáltal a sávzálesség növelése olcsóbban és gyorsabban végrehajtható.

## Vizsgálati módszerek

A mérések végrehajtása egy előre meghatározott program (TPL, Test Purpose List) alapján történt. Mivel a kísérleti hálózatok eltérőek voltak, nem minden vizsgálatot lehetett elvégezni minden környezetben. Ezért absztrakt tesztkészleteket (ATS, Abstract Test Suites) definiáltak, hogy az eredmények összevethetőek legyenek. Az absztrakt tesztkészleteket, amelyek leírása [2]-ben található, 7 kategóriába sorolták:

- Minősítés (Qualification tests): ezekkel ellenőrizhetjük, hogy a környezetet megfelelően építettük-e ki, és hogy alkalmas-e kifinomultabb vizsgálatok elvégzésére.
- Konformancia (Conformance tests): ellenőrzik, hogy a telepített berendezések megfelelnek-e a szabványoknak.
- Teljesítménymérések (Performance tests): a rendszer teljesítményéről szolgáltatnak információt az üzemeltetőknek.
- Menedzsmentműködés (Management tests): vizsgálatok a rendszer paramétereinek konfigurálására, a hibajelzések kezelésének ellenőrzésére, és a teszt során a rendszerből összegyűjtött adatok érvényesítésének ellenőrzésére.
- Alkalmazási vizsgálatok (Application tests): felhasználói alkalmazások becslése az előrelátható forgalomra.
- Interoperabilitás (Interoperability tests): a különböző szolgáltatók hálózatain közti együttműködési képesség ellenőrzésére végzett vizsgálatok.
- Konceptióérvényességi vizsgálatok (Concept Validation tests): ellenőrzik, hogy a kísérleti hálózatok megfelelnek-e a P918-ban [3, 4] foglaltaknak.





3. ábra A France Télécom és a Swisscom közötti összeköttetés

### Eredmény

Mindegyik rendszer használhatónak bizonyult, azonban apróbb eltérések mutatkoztak. A POS például azért előnyös, mert a már kiépített SDH-rendszert használja, amit az üzemeltetők jól ismernek. A GbE-ről ezzel szemben viszonylag kevés műszaki tapasztalattal rendelkezünk, viszont olcsóbb és egyszerűbb interfésszel rendelkezik, aminek segítségével már meglévő LAN-okat csatlakoztathatunk egy GbE kapcsoló segítségével. A projekt azt is megmutatta, hogy a GbE alkalmas akár 740 km távolság áthidalására 3R regenerálás nélkül.

A helyreállítási idő vizsgálatának alapján jelentős eltérés mutatkozott a POS és a GbE között. A kísérlet során az üzemi útvonalat egy attól független védelmi útvonallal biztosították. Az üzemi vonal elvágása után a vevő a védelmi útról kapta az adatokat, és az átkapcsolás miatt elvesztett csomagok mennyiségét vizsgálták. A kísérletet többször is elvégezték, hogy statisztikai értékekhez jussanak. A POS átlagos helyreállítási ideje 0,579 ms (= 3271,24 csomag) volt, míg ugyanez a GbE-nél 0,031 ms-nak (= 46,71 csomag) adódott, azonban a helyreállítási idő maximális értéke a 99,856 ms-t (= 564316 csomag) is elérte. A protokollok közti különbségek vizsgálata során kiderült, hogy az eltérések oka valószínűleg a szinkronizáció, amit a POS nehezebben kezel, mint a GbE.

Egy hullámhossz lefoglalásához szükséges idő függ a menedzselési lehetőségektől. Jelenleg a lefoglalás elég lassan megy: először találni kell egy szabad hullámhosszat, majd az útvonal mentén található eszközök és a rendszerparaméterek alapján meg kell határozni, hogy az összeköttetés megvalósítható-e, illetve, hogy kellene-e további eszközök (erősítők, transzponderek) a rendszerbe, és csak ezután lehet kapcsolatot létesíteni. Ez a fel-

adat feletti időigényes, és egy apró hiba vagy késés az egész folyamat elcsúszását eredményezheti.

Míg a transzponderek tudják, milyen hullámhosszak mennek át rajtuk, a multiplexerek és demultiplexerek csak a rajtuk áthaladó jel energiáját ismerik, az egyes hullámhosszokon levő jeleket azonban nem. Kifinomultabb szolgáltatásokhoz szükség lenne arra is, hogy a berendezéseknek részletes információja legyen a rajtuk áthaladó jel hullámhosszáról is.

A szerzők ezúton is szeretnék megköszönni Dr. Cinkler Tibornak a cikk elkészítéséhez nyújtott segítségét.

### Irodalom

1. Biswanath Mukherjee – WDM Optical Communication Networks: Progress and Challenges, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 18, No. 10, October 2000
2. Deliverable 1 of P918: Integration of IP over Optical Networks: Networking and Management, Network scenarios for IP over optical networks
3. Deliverable 2 of P918: Integration of IP over Optical Networks: Networking and Management, Network scenarios for IP over optical networks
4. Deliverable 4 of P918: Integration of IP over Optical Networks: Networking and Management, Network scenarios for IP over optical networks
5. W. Simpson: The Point-to-Point Protocol (PPP), RFC1661
6. Andrew S. Tannenbaum: Számítógép-hálózatok, Panem Könyvkiadó Kft, 1999
7. Jonathan Thatcher: The P802.3ae 10 Gigabit Ethernet Project, IEEE Network Magazine, March/April 2000
8. Dynamic Packet Transport Technology and Overview, White Paper, www.cisco.com



# Eredmények a magyar nyelvű nagyszótáras és kapcsoltszavas gépi beszéd felismerésben

SZARVAS MÁTÉ–FEGYÓ TIBOR–MIHAJLIK PÉTER–TATAI PÉTER

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME), Távközlési és Telematikai Tanszék  
Távközlési és Jelfeldolgozási (TSP) Laboratórium

*A számítógépek egyre szorosabb integrálódása a mindennapi életbe folyamatosan növeli az igényt a billentyűzetnél természetesebb adatbeviteli eszközök iránt. Mivel az ember számára a beszéd az egyik legtermészetesebb kommunikációs forma, világszerte folyamatosan növekszik az emberi beszédet mint számítógép-bemenetet hasznosító technológiák kutatása. Ebben a dolgozatban röviden ismertetjük a magyar nyelvű gépi beszéd felismerés terén a BME TSP Laboratóriumában elért legújabb eredményeket.*

A magyar nyelv esetében a gépi beszéd felismerés legnagyobb nehézségét a szókészlet mérete okozza. Ennek kezelésére bevezetjük a sztochasztikus morfológiai elemzés módszerét, amely a helyesírás-ellenőrzésben már bevált. Ezt az eljárást terjesztjük ki a nem determinisztikus megfigyeléssorozatokat esetére. Röviden bemutatunk egy eljárást, amely az előbbi szókészlet-ábrázoláshoz illeszkedően képes a kiejtési változatok kezelésére is. A gyakorlati eredmények közül egy beszélőfüggetlen kapcsoltszavas számjegyfelismerő, valamint egy 2000 szavas városnévfelismerő rendszerrel végzett kísérleteket mutatjuk be. Ennek során ismertetjük a kísérletek során használt jelreprezentációt, a használt akusztikus modellek szerkezetét, valamint az elért felismerési pontosságot.

## Morfémaalapú szókészlet-ábrázolás

Ebben a fejezetben két alternatív megoldást mutatunk be az agglutináló (toldalékoló) nyelvek szókészletének ábrázolására. Mindkét módszer morfémákat használ alapelemként, de míg az első alapvetően csak szabványos statisztikus nyelvmodellezési technikákat alkalmaz, a második lehetővé teszi az adott nyelv morfológiájáról rendelkezésre álló nyelvészeti tudás explicit beépítését is. Ennek megfelelően az elsőként bemutatandó módszer fő erénye, hogy egyszerűen és gyorsan alkalmazható tetszőleges nyelvre, a második viszont pontosabb modellt eredményez, alkalmazása a beszéd felismerő rendszerekben várhatóan csökkenti a felismerési hibát.

## A morféma bigram modellje

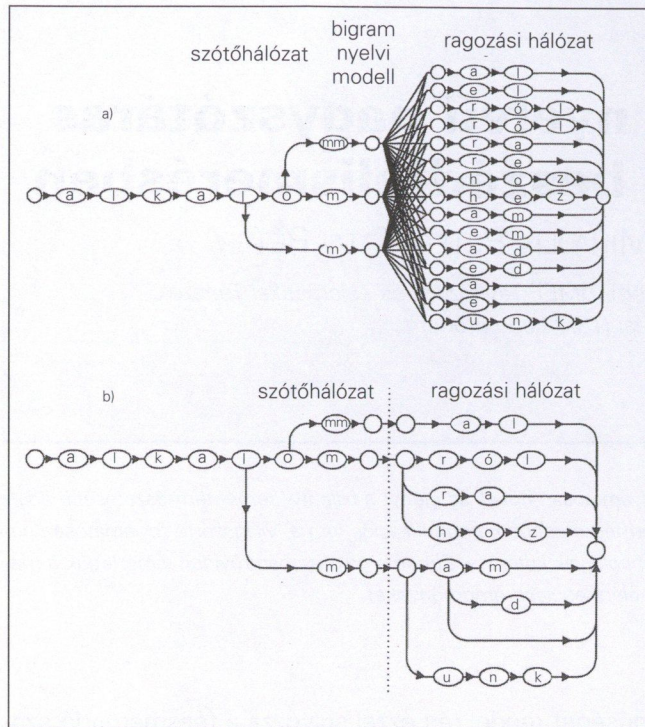
Izoláló nyelvekre – mint például az angol – a sztochasztikus nyelvmodellezés jól bevált módszer a felismerés hatékonyságának javítására. Az általánosságban  $n$ -gram nyelvmodellként hivatkozott eljárás úgy segíti a felismerést, hogy minden lehetséges szó  $n$ -eshez statisztikai úton (relatív gyakorisággal becsült) valószínűsége

rendel, és ezzel súlyozza a felismerendő szófüzér tagjait. Így a hibás szórendek nagy része kiszűrhető, mivel 0 vagy nagyon kicsi valószínűségeket kapnak. A szókészletek ábrázolása ilyenkor  $n$  db párhuzamos lexikon segítségével történik, ahol a szomszédos lexikonok közötti  $n \times n$  linkhez vannak rendelve az említett valószínűségek, az ún. sztochasztikus átmenetmátrix elemei. A gyakorlatban az  $n$  értéke 2 (bigram) vagy 3 (trigram), mivel ennél magasabb rendű nyelvmodell átmenetmátrixainak megfelelő becsléséhez gigantikus méretű szövegadatbázisokra (és ezzel arányos processzálási időre) lenne szükség.

Az eredetileg tehát szavak kapcsolatainak modellezésére tervezett eljárást az említett szókészlet-ábrázolási probléma kezelésére is fel tudjuk használni. A szókészlet ábrázolása morfémák használatával a legkézenfekvőbb módon úgy történik, hogy létrehozunk két részlistát. Egyikben a felismerési feladathoz kapcsolódó szavak szótári és alternatív töveit, a másikban pedig az összes lehetséges toldalék szerepel. A ragozott alakokat ezek után a szótó és a toldaléklista összekötve a bigram nyelvi modellel ábrázolja. Egy ilyen reprezentációt az 1. a) ábrán mutatunk be. Ebben a példában csak egyetlen szó, de annak mindhárom lehetséges tőváltozata szerepel a szótólistán. A toldaléklistát 8 különböző toldalék minden lehetséges alakja alkotja. (Természetesen a toldaléklista közel sem kimerítő a példában, hiszen legalább 1000 különböző toldalékkombináció kapcsolható ehhez a szóhoz.) Mivel a toldaléklista általános, abban az összes toldalék összes alakjának szerepelnie kell. A megengedett kapcsolódásokat az egyes szótóvegek (tulajdonképpen tőváltozatok) és a toldalékok között a bigram nyelvi modell (sztochasztikus átmenetmátrix) adja meg.

Nyilvánvaló, hogy ez az ábrázolási módszer a szótólistán szereplő összes szó összes ragozott alakját magában foglalja. A módszer nagy előnye, hogy a toldalék





1. ábra Ragozási információ ábrázolása bigram nyelvi modellel (a), illetve morfológiai elemzővel (b)

kok csak egyszer szerepelnek a modellben, míg a teljes szavas ábrázolási módszer esetén (ha a szavak különböző toldalékkal ellátott változatait külön mind szóknak vennénk, és az összeset párhuzamos lexikonban tárolnánk) minden toldalék annyiszor szerepelne, ahány szót a tőlista tartalmaz. Ezenfelül a tövek is annyiszor szerepelnének, ahány lehetséges toldalékkombináció kapcsolódhat hozzájuk. A nagymértékű memóriamegtakarítás mellett a módszer erőssége, hogy létrehozásához csak a lehetséges szótöveket és a toldalékokat kell összegyűjteni, míg a bigram átmenetmátrix becslése szabványosnak tekinthető automatikus módszerekkel történhet.

A módszer hátránya is az automatikus becslési eljárásból ered. A bigram átmenetmátrix pontos becslése a gyakorlatban ugyanis nehéz feladatnak bizonyul. Ennek az az oka, hogy véges méretű szövegadatbázis használata esetén mindig lesznek olyan ragozott szóalakok, amelyek nem szerepelnek a tanító adatbázisban, de a rendszer használata során előfordulhatnak. A hiányzó ragozott alakokhoz a becslő eljárás nulla valószínűséget becsülne, és ezért a rendszer nem lenne képes az adott szóalak felismerésére. Az ilyen eseteket a szokásos „simító” eljárások használatával kezeli. Ezek lényege, hogy a tanító adatbázisban nem szereplő kombinációkhoz is nullától eltérő (kis) valószínűséget rendelnek.

Az ilyen algoritmusok azonban nem képesek az adathiány, illetve a nyelvi szabályok miatt hiányzó ragozott alakok megkülönböztetésére. Az eredmény az, hogy a simított nyelvi modell a nyelvileg helytelen ragozott alakokhoz is pozitív valószínűséget rendel, azaz például a helyes „alkalm-ad” alak mellett a helytelen alkalm-ed alakhoz is.

### A sztochasztikus morfológiai analízis használata

A fentiekben vázolt megoldás alternatívája lehet a helyesírás-ellenőrzésben már bevált [5] morfológiai elemző használata.

Mindezedig azonban a morfológiai elemzőket főként írott nyelvi rendszerekben – mint például lemmatizáció, fordítástámogatás, helyesírás-ellenőrzés – hasznosították. Ennek következtében a számítógépes morfológia kialakult módszerei arra a feltevésre épülnek, hogy az elemzendő szavak szóveges formában vannak ábrázolva. A gépi beszédfelismerésnél azonban az analóg beszédjel lényegkiemelése során keletkező sztochasztikus megfigyeléssorozatok nyelvi szimbólumokhoz való illesztésére van szükség, vagyis a hagyományos determinisztikus megközelítés közvetlenül nem használható. Így a morfológiai elemzőket idáig főként a felismerés utófeldolgozási lépéseként javasolták alkalmazni [5], miután egy „előfelismerő” már meghatározott egy megközelítőleg pontos fonémasorozatot.

Ez a paradigma azonban nem teszi lehetővé, hogy az „előfelismerő” hozzáférjen a nyelvi információhoz, ezért az első lépésben meghatározott fonémasorozat minősége nagyon alacsony lehet, erősen lecsökkentve annak az esélyét, hogy a második lépés során a morfológiai elemző elfogadható szóalakokat találjon.

Egy javaslatot mutatunk be a hagyományos – egészen pontosan a kétszintű [3] – morfológiai elemzők sztochasztikus megfigyeléssorozatok kezelésére történő kiterjesztésére. A javasolt módszert *sztochasztikus morfológiának*, az elemzőt pedig *sztochasztikus morfológiai elemzőnek* fogjuk hívni. A következőkben felvázoljuk a sztochasztikus morfológiai elemzés alapelveit, és megmutatjuk, hogyan használható az elemző a beszédfelismerésben.

### Formalizáció

A morfológiai elemző alapfeladata, hogy a bemeneti szót a felépítő morfémák sorozatává konvertálja. Bár számos implementációs alternatíva kínálkozik, a következőkben a morfológiai elemzőt alapvetően egy véges fordítónak fogjuk tekinteni, a kétszintű morfológiában [3] használt modellnek megfelelően.

A véges fordító egyesével olvassa a bemeneti megfigyeléssorozatot, és minden olvasott megfigyeléshez kiír egy kimeneti szimbólumot, miközben az állapotgép a következő állapotába lép. Mind a bemeneti, mind a kimeneti szimbólum lehet az üres megfigyelés is. A kimenetet általában a bemeneti szó morfémáinak kanonikus alakjai adják, esetlegesen az adott morféma nyelvtani szerepére utaló címkéssel ellátva. Ha az állapotgép az utolsó bemeneti szimbólum feldolgozása után elfogadó állapotban áll meg, akkor a bemenő sorozat elemzése sikeres volt, és a kimeneti sorozat tartalmazza az elemzés eredményét. Ha a gép nem elfogadó állapotban áll meg, akkor a sorozat elemzése sikertelen volt (nem része annak a nyelvnek, amit az automata feldolgoz). Ennek a modellnek az az erőssége, hogy hatékony módon képes ábrázolni a nyelv szókészletét.



Másrészről viszont a modell egyik korlátja az, hogy egy-egy állapotátmenet csak akkor tehető meg, ha pontosan az előírt szimbólumot olvassa a gép a bemenetről. Ez a tulajdonság megakadályozza a való életben (és a beszéd felismerésben) oly gyakori zajos bemeneti sorozatok elemzését.

A fentiekben leírt determinisztikus morfológiai elemzőt a működésének alapját adó véges állapotú gépnek rejtett Markov-modellre cserélésével alakíthatjuk sztochasztikussá. Az állapotátmenetek a Markov-modell esetében is függenek a bemenő szimbólumoktól, de ez a függőség nem determinisztikus, hanem sztochasztikus. Tetszőleges bemenő szimbólum esetén bármely átmenet megtehető bizonyos valószínűséggel, de az átmenet valószínűsége függ a bemenő szimbólumtól. (A modellparamétereinek speciális megválasztásával az elemző működése a determinisztikus elemzőének megfelelővé tehető.) A sztochasztikus működés következménye, hogy az elemző bármely bemeneti sorozathoz több elemzést is elfogadhat (a választott állapotátmenetek függvényében). A gyakorlati alkalmazások szempontjából a legvalószínűbb (vagy a legvalószínűbb N) elemzés meghatározása a feladat, ami a jól ismert Viterbi-algoritmussal végezhető el.

Az ily módon létrehozott elemző a determinisztikus elemzőhöz hasonlóan hatékonyan reprezentálja az adott szóképzést. A nyelvtanilag helytelen szóalakokhoz tartozó állapotsorozatok továbbra is 0 valószínűségűek, mivel az állapotgép topológiája nem változott meg. A sztochasztikus elemző esetében azonban már nem követelmény, hogy minden szó egy előre meghatározott sorozattal legyen ábrázolva a bemeneten. Ez a tulajdonság a sztochasztikus morfológiai elemzőt ideális eszközzé teszi az agglutináló nyelvek változatos szóalakjainak beszéd felismerő rendszerekben történő ábrázolására.

Az „alkalom” szó 8 ragozott alakjának ábrázolására sztochasztikus morfológiai elemzővel az 1. b) ábra mutat egy példát.

## Kiejtésmodellezés

Az előző fejezet témájával – a szóképzés-ábrázolással – is összefüggő probléma, hogy hogyan tehetjük képessé a rendszert az egyes szavak különböző (helyes) kiejtési változatainak elfogadására. Például az angol nyelvre alkalmazható módszer, hogy az adott szótárellem alternatív fonetikus átíratait párhuzamosan egymás alá rakjuk, és ezek közül bármelyiket ismervén fel a rendszer, az adott szótárellemre asszociál, és azt írja ki a számítógép képernyőjére.

Csak hogy ez a módszer már önmagában is memóriapazarló, hiszen általában a kiejtési változatok között csak egy-két hangban van különbség, a többi hang változatlan marad, az ismétlésük fölöslegesen foglalja a tárhelyet. Súlyosabb probléma azonban, hogy az eljárás párhuzamos lexikon szóképzés-ábrázoláshoz ké-

szült, sztochasztikus morfológiai elemzőhöz egyáltalán nem használható.

A következőkben nagyon röviden bemutatunk egy kiejtésmodellezési módszert, amely illeszkedik a sztochasztikus morfológiai szóképzés-reprezentációhoz, egyszersmind minimális a memóriagénye.

Az algoritmus lényege a következő:

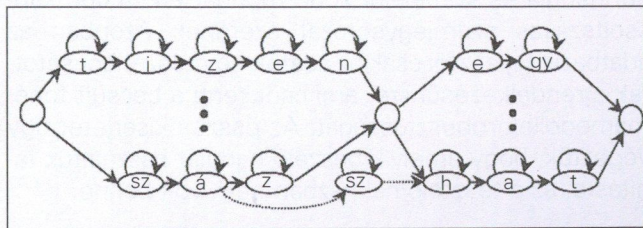
1. Az egyes szótárelmek (morfémák) kanonikus fonetikus átíratait automatikusan előállítjuk [4]. (Mivel a kiejtési változatok a leggyakrabban a morfémák határain lépnek fel, a különálló morféma fonetikus átírata – ritka kivétellel – egyértelmű, és megfelel az általánosan elfogadottnak, azaz kanonikus.)
2. A szótárelmek fonetikus átíratait a sztochasztikus morfológiai elemző állapotgép topológiájának megfelelően egy gráfba kapcsoljuk össze. Voltaképpen egy olyan rejtett Markov-modellt állítunk elő, amely lexikális, morfológiai és részben kiejtési információt tartalmaz, de nem modellezi a morfémakapcsolódások révén keletkező fonetikai változásokat.
3. Végül a magyar nyelv kiejtési szabályait formalizálva, azokat a morfémahatárokon alkalmazzuk. Ehhez először fonémaszintűvé alakítjuk a HMM-gráfot, majd a megfelelő fonémaállapotok és élek beiktatásával, valamint – ha szükséges – a gráf újrakomponálásával reprezentáljuk a kapcsolódási pontokon fellépő kiejtési lehetőségeket (2. ábra).

Végeredményül egy olyan felismerési hálózatot kapunk, amely minden elérhető, fonémaszint fölötti információt tartalmaz.

A továbbiakban a felismerési kísérleteinket ismertetjük, röviden kitérve az akusztikai, illetve jelfeldolgozási részletekre is.

## Felismerési kísérletek

A mai napig viszonylag kevés kutatás folyt a magyar nyelvű beszélőfüggetlen beszéd felismerés területén, és kísérleti eredmények csak fonéma-, illetve félszótag-felismerésről kerültek publikálásra [8, 1, 2]. A gyakorlatiasabb eredményeket megcélzó kísérletek egyik legnagyobb akadálya a megfelelő beszédadatbázis hiánya volt. Ez az akadály azonban a BABEL adatbázis elkészültével elhárult [9], és bár a beszélők száma és a beszédanyag mennyisége tekintetében jóval elmarad az angol nyelvterületen elérhető társaitól, már alkalmas



2. ábra A morfémahatárokon fellépő fonológiai változások modellezése újabb fonémaállapotok és élek (szaggatott vonallal) bevezetésével



beszédfelismerő rendszerek tanítására és tesztelésére. Mi is alapvetően ezen ellenőriztük a felismerési módszereink és eszközeink hatékonyságát.

### Jelfeldolgozás

Ebben a részben a jelfeldolgozási modul beállításait ismertetjük, amelyek az összes kísérlet során azonosak voltak. A jelfeldolgozási lépés során a mintavételezett beszédet egy vektorsorozattá konvertáltuk, amelynek minden eleme a beszéd spektrális jellemzőit írja le egy keret idejére. A beszéd felvétel során a mintavételi frekvencia eredetileg 20 kHz volt. Ezután 10 milliszekundumos időközönként egy 10 dimenziós, mel-skála szerinti kepsztrum vektort számítottunk ki, a soron következő 25 milliszekundum hosszúságú Hamming-ablakkal súlyozott beszédsegmentum felhasználásával. A kapott vektorhoz a keretre vonatkozó energia logaritmusértékét is hozzácsatoltuk.

Ezek mellett a statikus együttthatók mellett az úgynevezett delta, vagy más szóval differenciális együttthatókat is használtuk. A delta együttthatókat a regressziós módszerrel számítottuk,  $\pm 2$  keretnyi adat felhasználásával (például [6]), és a jobb időbeli átfogás biztosítása érdekében a differenciális együttthatók deriváltjait, más néven a „gyorsulás” együttthatókat is figyelembe vettük. Így végeredményben 33 dimenziós jellemzővektorokat kaptunk.

### Eredmények a BABEL adatbázis használatával

A BABEL adatbázis a mai napig a legnagyobb jó minőségű, magyar nyelvű beszédadatbázis, ami kutatási célokra rendelkezésre áll. Az adatbázis három különböző részből áll: izolált és kapcsoltszavas számjegybemondásokból, CVC (mássalhangzó-magánhangzó-mássalhangzó) szótagokból, valamint folyamatos, olvasott beszédből [9]. A folytonos részben a bemondások némelyike suttogó hangú, de ezeket nem használtuk fel a jelenlegi kísérletekben.

Mind az olvasott mondatokat, mind a számjegysorozatokat oly módon tervezték, hogy jól lefedjék a magyar nyelvben előforduló hangkombinációkat. Az adatbázis egy kis része fonémákra van szegmentálva és meg van címkézve. A rendelkezésünkre álló mintában összesen 5 beszélő hangja tartalmazott fonémaszintű címkéket, összesen 400 másodpercnyi beszédben. (A beszéd felismerő fejlesztés során legalább több órányi fonémaszinten címkézett beszédet szokás használni.)

Az adatbázisban összesen 30 beszélő (15 férfi és 15 nő) hangja és körülbelül 2000 mondat és 14 000 kapcsoltszavas számjegysorozat szerepel. Azonban az adatbázis fejlesztői csak az adatok egy részét bocsátották a rendelkezésünkre, ami csökkenti a becsült fonémamodellek robusztusságát. Az összes kísérletet úgy végeztük, hogy amelyik beszélő hangját használtuk tanításra, az a tesztelő halmazban nem volt benne.

#### *A modellek betanítása*

Mivel az adatbázisnak csak egy kis része tartalmaz fonémaszintű címkéket, a tanítást két lépésben hajtottuk

vége. Az első lépésben kezdeti modelleket tanítottunk be a rendelkezésre álló fonémacímkek felhasználásával, majd ezeknek a modelleknek és a FlexiScribe [7] program felhasználásával automatikusan felcímkéztük a teljes tanítóhalmazt. A második lépésben az ily módon gyártott címkékkel és a teljes tanítóhalmazzal folytattuk a modellek tanítását. A modellek balról jobbra modellek voltak, fonémánként 3 állapottal. A megfigyelési valószínűségeket minden állapotban egy 10 komponensű diagonális kovariancia mátrixú gaussi keverékeloszlással modelleztük. A magyar nyelv 64 fonémája közül csak a magánhangzókat és a rövid mássalhangzókat használtuk (39 fonémát összesen), mivel a rövid és hosszú mássalhangzók főként csak az időtartamban különböznek, a használt rejtett Markov-modellek viszont nem modellezik az időtartamot.

#### *Izolált szavas számfelismerés*

Ezeket a kísérleteket kettős céllal végeztük. Egyrészt, hogy összehasonlítani alapul szolgáljanak a további kísérletekhez, másrészt, hogy kipróbáljuk, hogy a többféle alternatív kiejtés megengedésének a felismerési hiba szempontjából mekkora jelentősége van.

Az izolált szavas számfelismerési tesztek elvégzését az tette lehetővé, hogy az adatbázisban összesen 140-féle számalak szerepelt (mint például: ezerhuszonhárom, kettő, négy százhat stb.), amelyeket több beszélő, többször is bemondott. Az adatbázisnak ez az általunk elérhető része voltaképpen 1 és 10 000 közötti számokat tartalmaz, összesen mintegy 9 700 bemondást.

Az is a vizsgálat tárgyát képezte, hogy a tanítóbeszéd jellegétől mennyire függ a felismerés. Ezért kétféle tanítóhalmazzal kísérleteztünk. Az egyik esetben a számadatbázis kb. kétharmadával tanítottuk be az akusztikus modelleket, a maradék 3340 bemondáson pedig ellenőriztük. A másik esetben folytonos – általános fonetikai összetételű – beszédet használtunk tanításra, és 3600 számbemondáson vizsgáltuk a felismerést.

A számok szómodelljeit kontextusfüggetlen fonémamodellekből építettük fel, az automatikus fonetikus átíró által meghatározott módon összekapcsolva. A kísérletek egyik felében az egyes szavak átírataiból csak a legvalószínűbb (leggyakoribbnak ítélt) alakot tartottuk meg, míg a másik felében meghagytuk a kiejtési opciókat. A szóképzlet-ábrázolásra legegyszerűbb párhuzamos lexikont alkalmaztuk. A kísérleti eredmények az 1. táblázatban találhatók.

Látható, hogy ennél a speciális felismerési problémánál a kiejtési változatok bevezetése önmagában alig befolyásolta a hibarányt. A tanító-adathalmaz fonetikai összetétele viszont szembeötlően nagy hatással van a felismerés biztonságára. Így ez az eredmény elsősorban a megfelelő kontextus-függő akusztikus modellek kialakításának szükségességét sugallja.

#### *Kapcsoltszavas számfelismerés*

Ezen a felismerési feladaton próbáltuk ki a dolgozatban ismertetett sztochasztikus morfológiai elemző alapú szóképzlet-ábrázolást, és az ehhez illeszkedő kiejtés-



a) az akusztikus modelleket számokon tanítva

Fonetikus átírat	Felismerési hiba	A hibák relatív csökkenése
Egyszeres (leggyakoribb forma)	0,48%	6,3%
Kiejtési változatok	0,45%	

b) általános beszéden tanítva

Fonetikus átírat	Felismerési hiba	A hibák relatív csökkenése
Egyszeres (leggyakoribb forma)	2,69%	4,1%
Kiejtési változatok	2,58%	

1. táblázat Izoláltszavas számfelismerési eredmények

modellezési technikát. A rendszerszótár összesen 23 morfémát tartalmazott (úgy mint: nulla, egy, két, kettő, három, hárm, ... an, en, van, ven, ... ezer), amelyeknek a nyelvtani hálózatba történő összekapcsolásával a véges automata 0 és 999 999 között minden helyes számalakot elfogadott.

A kísérleteket kétféle – az előző pontban ismertetett módon (számokon, illetve általános beszéddel) betanított – akusztikus modellel végeztünk. Elsősorban azonban azt vizsgáltuk, hogy a kiejtésmodellezés itt a kapcsoltszavas feladatnál javítja-e lényegesen a felismerés hatékonyságát. Ezért a kísérletek egyik részét a pusztán kanonikus morfémákat tartalmazó rejtett Markov-modell gráffal végeztük, amely nem modellezte a kiejtés változásait a morfémahatárokon, míg a kísérletek másik részét a már a kiejtési opciókat is magában foglaló gráffal végeztük. (A rejtett Markov-modell gráf kifejezés mindig sztochasztikus elemzőt takar, amely az utolsó példánál morfológiai és fonológiai elemző is egyben.)

a) az akusztikus modelleket számokon tanítva

Szókészlet-ábrázolás	Felismerési hiba	A hibák relatív csökkenése
Sztoch. morfológiai elemző kanonikus fonetikusalakokkal	5,89%	41,4%
Sztoch. morfológiai elemző kiejtésmodellezéssel	3,45%	

b) általános beszéden tanítva

Szókészlet-ábrázolás	Felismerési hiba	A hibák relatív csökkenése
Sztoch. morfológiai elemző kanonikus fonetikusalakokkal	16,28%	18,4%
Sztoch. morfológiai elemző kiejtésmodellezéssel	13,28%	

2. táblázat Kapcsoltszavas számfelismerési teszteredmények

A felismerési eredményeket a 2. táblázatban foglaltuk össze.

Amint az eredmények mutatják, a kiejtés modellezése szignifikáns javulást hozott mindkét akusztikus modell esetén. Érdekes, hogy a relatív javulás ott volt lényegesen nagyobb, ahol már eredetileg is jobb volt a felismerés. A táblázatban szereplő számok a számsorozathibák arányát jelzik, de a legtöbb hiba esetében a többjegyű számnak csak egyetlen számjegyét tévesztette el.

A felismerési hibákat összehasonlítva az izoláltszavas eredményekkel, kb. 5-7-szeres szorzóval nagyobb értékeket kapunk. Ez talán elsősorban soknak tűnhet, de ne felejtjük el, hogy a morfológiai elemző által elfogadott számalakok száma viszont kb. 10 000-szeresére nőtt (a memóriaigény vagy a számítási kapacitás növekedése nélkül)! Ennek fényében az eredményeket jónak értékeljük, azzal a megjegyzéssel, hogy kontextusfüggő fonémamodellek használatával az általános beszéden tanított akusztikus modellel elért hibaarányok is tovább csökkenthetők (illetve csökkentendők).

### Városnév-felismerés

Ez a kísérlet egy nagyszótár felismerési probléma volt általános irodai környezetben. A feladat a 2000 legnagyobb magyar település nevének felismerése volt. A felismeréshez a kiejtési szótárt a [4] hivatkozásban ismertetett algoritmussal automatikusan készítettük. A szómodelleket ebben az esetben is a BABEL beszédatbázison tanított fonémamodellel építettük. A tanítóhalmaztól eltérően a tesztelőhalmazt egy zajos számítógép-laboratóriumban vettük fel, miközben a számítógépek működtek, és a bent lévő emberek végezték a napi munkájukat. A használt mikrofon is eltérő volt a tanító adatbázis felvételéhez használttól. Az akusztikus modelleket nem adaptáltuk az eltérő körülményekhez. A vizsgálóhalmazban két férfihang volt és összesen 2550 bemondás, szünetekkel az egyes szavak között. Az elért hibaarány 14,58% volt. A hibaarány csökkentésére irányuló munka jelenleg is folyik az irodai környezetnek megfelelő tanító adatbázis és kontextusfüggő fonémamodellek fejlesztésével.

### Köszönetnyilvánítás

A dolgozatban ismertetett kutatások a Magyar Távközlési Vállalat, illetve a japán Nippon Telephone and Telegraph Corporation támogatásával folytak. A támogatásért köszönetünket fejezzük ki. Köszönjük továbbá, hogy a BME Akusztikai Kutatólaboratóriuma rendelkezésünkre bocsátotta a BABEL beszédatbázis szükséges részét.

### Irodalom

- Kocsor, A.–Kuba A.–Tóth, L.: An overview of the OASIS speech recognition project. ICAI'99. 1999. Megjelenés alatt.
- Kocsor, A.–Tóth, L.–Kuba, L.–Kovács, K.–Jelasity, M.–Gyimóthy, T.–Csirik, J.: A comparative study of several feature transformation and learning me-



- thods for phoneme classification. International Journal of Speech Technology.
3. Koskenniemi, K.: Two-level morphology. University of Helsinki. Helsinki, 1983
  4. Mihajlik Péter–Tatai Péter: Automatikus fonetikus átírás magyar nyelvű beszéd felismeréshez. Beszéd-kutatás 2000
  5. Prószéky Gábor–Kis Balázs: Számítógéppel emberi nyelven. Szak Kiadó. Bicske, 1999
  6. Rabiner, L. R.–Juang, B.-H.: Fundamentals of Speech Recognition. PTR Prentice Hall. Englewood Cliffs 1993
  7. Szarvas, M.–Fegyő, T.–Mihajlik, P.–Tatai, P.: Automatic recognition of Hungarian: Theory and practice. International Journal of Speech Technology, Vol. 3, Num. 3/4, pp. 237–251, 2000
  8. Vicsi, K.–Vig, A.: Text independent neural network/rule based hybrid, continuous speech recognition. EUROSPEECH '95. Madrid, 1995. 2201-04
  9. Vicsi, K.–Vig, A.: Babel – a multi-lingual database. Technical report. <http://www.ttt.bme.hu/speech/database.htm>. György Békésy Acoustics Research Laboratory of the Budapest University of Technology and Economics. Budapest, 1997

## Hír

A Prim Online 1999. május 30-án küldte ki az első napi hírlevelét. Azóta nem volt olyan nap (legyen az karácsony, húsvét vagy nyári hétvége), amikor ne ment volna ki a hírlevél, s ne tartalmazta volna az informatikai világ fontos eseményeit.

A hírszolgáltatáson belül az alap-rovatszerkezetben elkülöníthetők egymástól az üzleti, a technológiai, a mobil-, a médiahírek, így ha valakinek sok a napi félszáz hír, elegendő, ha csak a hozzá közelálló rovatra lapoz.

A hírekkel kapcsolatos szolgáltatások két éve tartó folyamatos terjesztése eredményeként a közel-múltban a Kapusoft keresőgépeire építve a Prím elindította a szamitastechnika.com szolgáltatást is, amely több, mint két tucatnyi magyar és külföldi IT-hírforrást pásztáz folyamatosan, és tünteti fel a legfrissebb hírek címsorait. Annak tehát, aki úgy gondolja, hogy a Prím mellett megnézné a C/Net, a Newsbyte vagy a német Golem híreit is, netán kíváncsi a magyar Terminálra, hws-w-re, CŰV Számítástechnikára, elegendő ezt őt érdeklő címet megjegyezni, és innen mindjárt eltalál az adott hírforrások megfelelő hírére.



# Elektromágnesek tekercseinek programozásra is alkalmas egyszerűsített számítása

CHARLES GARAM (USA)

mérnök

Ez a tanulmány a szerző közeljövőben angol nyelven megjelenő *Szolenoidok és elektromágneses vezérlőelemek* című könyvének egyik témáját foglalja össze, melyben olyan „tekercsállandó” kerül bevezetésre, mely által az elektromágnesek tervezése jelentősen egyszerűbbé válik, ugyanakkor könnyebbé tehető a korszerű követelményeknek megfelelő a számítások programozása is.

## Tervezési alapok

A tekercsek számításával foglalkozó szakirodalomban többnyire azzal az eljárással találkozunk, mely a tekercstest közepes átmérőjének kiszámítására épül, majd ezt követi a menetszám, a huzalhosszúság és a tekercs ellenállásának meghatározása. A tervező problémája ilyenkor a huzalvastagság helyes megválasztása. Az adatok meghatározása ebben az esetben gyökös egyenleten át vezet, és számítógépes programozásra kevésbé alkalmas. A számítás menete közismert a szakirodalomban, ezért e helyen nem ismételjük meg. Viszont a következőkben gyakorlati példák által ilusztráljuk újabb módszerünket.

Itt előljáróban kívánjuk megjegyezni, hogy számítási eljárásunk a rézhuzal átmérőjét és egyéb geometriai adatait a kétféle mértékegységrendszer bármelyikében megadhatjuk. Jelen tanulmányunkban az 1980 óta is törvényesen bevezetett SI alapján a metrikus egységeket követjük. Itt azonban említést teszünk a még használatos angol-amerikai mértékegységrendszerről, mivel táblázatainkban az AWG (American Wire Gauge, azaz Amerikai Huzalméretek) adatai is szerepelnek. Eredetileg az AWG „Brown and Sharpe” rendszere a vaslemez vastagságát adta meg. Ebben a Gage-szám jelöli a lemez vastagságát, újabban a huzal átmérőjét is. Így például az 1. számú AWG-huzal átmérője 0,2893 inch azaz 7,3 mm. A 30-as huzalszámú vezeték 0,001 inch azaz 0,0254 mm. Megjegyezzük, hogy a nagyobb AWG-szám kisebb átmérőt jelent.

Bármely mértékegységrendszert használjuk is, a tekercstérszükséglet szerinti eljárásunk egyaránt jól alkalmazható, mely az egységnyi területre jutó menetszámon alapul. Ebben a tanulmányban elsősorban a tekercsek geometriájával foglalkozunk, és hallgatólagosan feltételezzük, hogy a teljes tervezéshez szükséges villamos és termikus adatok (tápfeszültség, áramerős-

ség, hőmérséklet) egyéb számításokból már ismertek, így a tekercs ellenállása is.

Leírásunk egyaránt alkalmazható egyéni tervezők számításaihoz, valamint a mellékelt grafikonok által a számítások és programozásuk ellenőrzésére is.

## A kiinduló számítás

Első lépésünk az ablakkeresztmetszet ( $A_w$ ) és a tekercselési térfogat ( $W_v$ ) meghatározása ezúttal kör profilú tekercstest esetén. Példaként felvett geometriai adatok:

A tekercselés megengedett  
külső átmérője:  $OD_w = 30 \text{ mm}$   
A tekercselés hossza:  $L = 27 \text{ mm}$   
A tekercstörzs átmérője:  $ID_w = 15 \text{ mm}$

Ezekkel az ablakkeresztmetszet kiszámítható:

$$A_w = [(OD_w - ID_w)/2] \times L \quad [\text{mm}^2]$$

A tekercselés térfogata a tekercsváz hasznos oldalapterületének és a tekercselés hosszának szorzata:

$$W_v = (OD_w^2 - ID_w^2) \times 0,785 L [\text{mm}^3] \text{ és } 0,785 = \pi/4$$

Amennyiben a tekercselés külső átmérője nincs megadva, ez az érték következőképpen számítható:

$$OD_w = (2 A_w / L) + ID_w \quad [\text{mm}]$$

A megadott geometriai értékekkel:

Ablakkeresztmetszet:  $A_w = [(30 - 15)/2] \times 27 = 202,5 \text{ mm}^2$

Tekercselés térfogata:  $W_v = (30^2 - 15^2) \times 0,785 \times 27 = 14\,306 \text{ mm}^3$

## Alkalmazási feladatok

1. példa: Menetszám és ellenállás meghatározása

Legyen a szigeteletlen huzal átmérője 0,1 mm (lásd 1. Metrikus huzal táblázat csupasz huzalátmérői között 0,1 mm és egyszer szigetelt huzal esetén ez 0,113 mm). Ha a huzalt úgy tekercseljük, hogy minden sor huzal a meg-



előző tetején helyezkedik el, akkor elvileg egy  $\text{cm}^2$  területbe 7831 menet fér el. Azonban a térkitöltési tényezőt, esetünkben 84%-ot figyelembe véve a menetek száma valójában  $0,84 \times 7831 = 6578$  menet, ahogy ez az 1. táblázat menet /  $\text{cm}^2$  oszlopából is kiolvasható.

A *tekercs teljes huzalhossza* a menetszám és az egységnyi terület, ill. térfogat oldalhosszának, azaz 10 mm-nek a szorzata:  $6578 \times 10 \text{ mm} = 65\,780 \text{ mm} = 65,78 \text{ m}$ .

A huzal ellenállása a táblázat szerint 100 m-enként 219 ohm, így a teljes tekercsellenállás:  $0,6578 \times 219 = 144 \text{ ohm}$ .

#### Megjegyzések:

1. A menetek számát elvileg úgy határoztuk meg, hogy a szigetelt huzal átmérőjének négyzete megadta egy huzalt érintő négyzet területét ( $0,1132 \text{ mm}^2 = 0,012769 \text{ mm}^2$ ), így  $1 \text{ cm}^2 = 100 \text{ mm}^2$  területben  $100/0,012769 = 7831$  menet fér el kereken.

2. A huzal ellenállását 100 m-re vonatkoztatott értékből (táblázat 3. oszlop) így számíthatjuk ki:

$R = (219/100)/d^2 = 2,19/0,01 = 219 \text{ ohm}$  100 m-enként, viszont  $0,6578 \text{ m}$  esetén  $R = 144 \text{ ohm}$ .

Minden más esetben az 1–3 táblázat  $0,04 \dots 1,5 \text{ mm}$  átmérőkre megadja a 100 m huzal ellenállását.

2. példa: Adott menetszámhoz és csévetesthez keressük az ellenállásértéket.

Tételezzük fel, hogy tekercsünk menetszáma 3000, és ezt kívánjuk elhelyezni az előzetes számításokban meghatározott  $14\,306 \text{ mm}^3$  tekercs térfogatban. A legnagyobb huzalátmérőt kell megkeresnünk, mely az adott ablakkeresztmetszetben elfér.

A feladat megoldásához is a Metrikus huzal táblázatot használjuk, ahol a terület mértékegysége  $\text{cm}^2$  a térfogaté pedig  $\text{cm}^3$ . A 3000 menet feltekeréséhez szükséges ablak terület ( $A_w$ ), a fentiek alapján  $202,5 \text{ mm}^2$ , vagyis  $2,025 \text{ cm}^2$ , az ablakterületre eső menetszám:  $3000/2,025 = 1,481$  menet/ $\text{cm}^2$ .

Általános kifejezéssel:

Táblázatból vett menetszám/ $\text{cm}^2$  = adott menetszám/adott ablakkeresztmetszet ( $\text{cm}^2$ -ben).

Most keressük ki a táblázatból a követelményt kielégítő huzalátmérőt! Ezt  $0,23 \text{ mm}$ -nél találjuk. Az ehhez tartozó, felületegységre eső menetszám egyszer szigetelt huzalnál 1428.

Az új ablakkeresztmetszet tehát:

$$A_w = 3\,000/1428 \text{ cm}^2 = 2,1 \text{ cm}^2$$

Az új ablakmagasság:

$$H_w = A_w/L = 2,1/2,7 \text{ cm} = 0,777 \text{ cm} = 7,77 \text{ mm}$$

A tekercselés külső átmérője:

$OD_w = 2 \times 7,77 + 15 \text{ mm} = 30,54 \text{ mm}$ , szemben a  $30 \text{ mm}$  értékkel. Így valamivel nagyobb külső oldalfalátmérőt kell alkalmaznunk.

A módosult csévetestátmérő alapján a tekercs térfogata így változik:

$$W_v = (OD_w^2 - ID_w^2) \times 0,785 \times L = (30,54^2 - 15^2) \times 0,785 \times 27 = 14\,999 \text{ mm}^3 = 15 \text{ cm}^3$$

Miután a huzal térfogategységre eső ellenállása a táblázat szerint  $5,92 \text{ ohm/cm}^3$ ; a tekercselés ellenállása:

$$R = 5,92 \times 15 = 88,8 \text{ ohm}$$

3. példa: Az ellenállás adott, keressük a megfelelő tekercselési adatokat. A felhasználandó tekercs testet az előbbi. A kívánt ellenállás legyen  $2500 \text{ ohm}$ .

A csévetest adatai:

Ablakkeresztmetszet:

$$A_w = 202,5 \text{ mm}^2, \text{ vagyis } 2,025 \text{ cm}^2$$

A tekercselés térfogata:

$$W_v = 14\,360 \text{ mm}^3 \text{ kb. } 15 \text{ cm}^3$$

Miután  $2500 \text{ ohm}$  ellenállású tekercs testet ebben a  $15 \text{ cm}^3$  térfogatban kívánunk elhelyezni, így  $\text{cm}^3$ -ként  $2500/15 = 166,6 \text{ ohm}$  adódik.

A táblázatban megkeressük ezt az értéket, és úgy találjuk, hogy  $0,09 \text{ mm}$  átmérőjű huzalhoz tartozik a legközelebbi érték, mely  $\text{cm}^3$ -ként  $220 \text{ ohm}$ , tehát a tekercs térfogata kisebb lesz:

$W_v = 2500 / 220 = 11,36 \text{ cm}^3 < 14,94 \text{ cm}^3$ . Mint látjuk, ez kevesebb, mint  $15 \text{ cm}^3$  tehát az ablakkeresztmetszetet nem töltjük ki teljesen.

A menetszám meghatározásához szükséges a tekercselési test számítása, ami a térfogat adataiból kapható meg.

A tekercselési térfogat:

$$W_v = (OD_w^2 - ID_w^2) \times k,$$

és ebből

$$OD_w = (W_v/k \cdot ID_w^2)^{1/2},$$

ahol  $k$  itt bevezetett konstans, melynek értéke:

$$0,785 \text{ L} = 0,785 \times 27 \text{ mm} = 21,2 \text{ mm}$$

Esetünkben a tekercs külső átmérője:

$$OD_w = (11\,360/21,2 + 15^2)^{1/2} = 27,58 \text{ mm}$$

A következő lépés a tekercselési tér  $A_w$ -meghatározása:

$$A_w = (27,6 - 15)/2 \times 27 = 170 \text{ mm}^2 = 1,7 \text{ cm}^2$$

A táblázat szerint  $0,09 \text{ mm}$  átmérőjű huzal  $\text{cm}^2$ -ként  $8156$  menetszámot biztosít. Ez esetben:

$$N = 8156 \times 1,7 = 13\,862 \text{ menet}$$

Végül a teljes adatsor:

Huzalátmérő:  $0,09 \text{ mm}$  egyszer szigetelt huzal

Menetszám:  $13\,862$

Ellenállás:  $2500 \text{ ohm}$

A tekercs külső

átmérője:  $27,6 \text{ mm}$

Tekercs terület:  $1,7 \text{ cm}^2$

A tekercs térfogata:  $11,36 \text{ cm}^3$

#### Tekercsszámítási eljárás a tekercsállandó felhasználásával

Ezt a számítási módszert akkor használjuk, ha a tekercs menetszámát és ellenállását egyidejűleg megadjuk. Az eljárás megadja a helyes huzalátmérőt.

Ennek kiszámítása az előző módszerek alkalmazásával hosszabb időt venne igénybe, mivel végig kellene próbálkozni az összes huzalátmérővel – a legnagyobbtól a legkisebbig. Ezzel szemben az alább meghatározott tekercsállandó segítségével könnyebben meghatározhatjuk az eredményt.



Az adott tekercstest geometriai méreteitől és a huzalmérettől függően a tekercsállandó értékét a tekercs menetszámának és ellenállásának hányadosa adja (menetszám/ellenállás). A mellékelt Metrikus huzal táblázat utolsó oszlopa megadja azon esetekre, amikor az ablakkeresztmetszet  $1 \text{ cm}^2$ , és a tekercs térfogata  $1 \text{ cm}^3$ , mint látható, ez huzalátmérőkkel változó érték.

A táblázatot úgy használhatjuk, hogy a szükséges menetszámot átszámoljuk  $1 \text{ cm}^2$ -re, az ellenállást  $1 \text{ cm}^3$ -re, és vesszük a hányadosukat, és ezt az értéket megkeresjük az utolsó oszlopában (K). Ezt az értéket általában két másik táblázatbeli érték fogja közre, így kétféle huzalátmérő-értéket kapunk, amelyek mindegyike használható, a tervező belátása szerint.

#### 4. példa

A 3. példában  $1,7 \text{ cm}^2$  korrigált ablakkeresztmetszetbe a  $0,09 \text{ mm}$ -es huzalból  $13\,862$  menetet tudunk tekercselni, aminek az ellenállása  $2500 \text{ ohm}$  volt. Ennek a tekercsnek az adatait számoljuk ki a tekercs állandó használatával.

Kezdeti feltételek:

Ablakkeresztmetszet:  $2 \text{ cm}^2$

Tekercselési tér:  $15 \text{ cm}^3$

Menetszám:  $13\,862$

Ellenállás:  $2500 \text{ ohm}$

Következő lépés a tekercsállandó meghatározása.

Menetszám:  $13\,862/2 = 6\,931 \text{ cm}^2$ -enként

Ellenállás:  $2500/15 = 166 \text{ ohm cm}^3$ -enként

Tekercsállandó:  $6931/166 = 41,7$

Összehasonlítva a Metrikus huzal táblázattal, azt találjuk, hogy a  $0,09 \text{ mm}$  és  $1,0 \text{ mm}$  átmérőjű huzalok  $37$  és  $46$  tekercsállandója közé esik a  $41,7$  érték. Ezek után az 1. példában alkalmazott számítást követhetjük.

Eddigi számításaink helyett grafikus eljáráshoz is folyamodhatunk a mellékelt diagram segítségével.

## A tekercselési diagram használata

A diagram használata meggyorsítja egy adott menetszámhoz adott térfogat esetén a huzalátmérő megtalálását, valamint programkészítés folyamán a gyors ellenőrzés lehetőségét.

Az adott térfogat  $0,5$  és  $10,0 \text{ cm}^3$  között választható mint segédváltozó. A huzalátmérő a baloldali függőleges tengely belső oldalán van feltüntetve mm-ben. A külső oldal az ellenállást adja meg  $1 \text{ cm}^3$  térfogatra.

Legtöbb esetben a keresett huzalátmérő két érték közé esik, mivel a diagram az ellenállásértékeken alapul, ilyen esetekben ajánlatos a kisebb huzalt választani.

*Példa: A diagram használata*

Ha  $1000$  menetet kívánunk feltekercselni, akkor  $1 \text{ cm}^3$  térfogat esetén  $0,28 \text{ mm}$  átmérőjű huzalt kell alkalmazni, ami  $2,72 \text{ ohm}$  ellenállást ad.

$3 \text{ cm}^3$  térfogat esetén a huzalátmérő  $0,5$  és  $0,55$  közé esik. A kisebb  $0,5 \text{ mm}$ -es huzalt választva az ellen-

állása  $0,29 \text{ ohm/cm}^3$ , tehát a tekercs ellenállása  $3 \times 0,29 = 0,87 \text{ ohm}$  lesz.

$0,5 \text{ cm}^3$  térfogat megválasztása  $0,19 - 0,2 \text{ mm}$  átmérőjű huzalt eredményez. A  $0,19 \text{ mm}$  átmérőjű huzal  $12,0 \text{ ohm/cm}^3$ , ebből az ellenállás  $12/2 = 6 \text{ ohm}$ .

A grafikon használata áttekintést ad, hasznos a számítás kiindulásánál. Pontosabb számítást az előzőekben megadott eljárás tesz lehetővé.

A táblázat fordítottan is alkalmazható. Az adott ellenállásértékekhez megkereshető különböző térfogatok mellett a vízszintes tengelyen a menetszám.

## Irodalom

1. d. d. Miller: Design of Electro magnet (Western Electric Co. London)
2. MWS Wire Industries – Technical data
3. C. R. Underhill: Coils and Magnet Wire (McGraw – Hill Book Co.)
4. Rotter: Mágneses terek és körök (Tankönyvkiadó, Budapest, 1959.)
5. E. Schaefer: Mágnes technika (Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1972.)

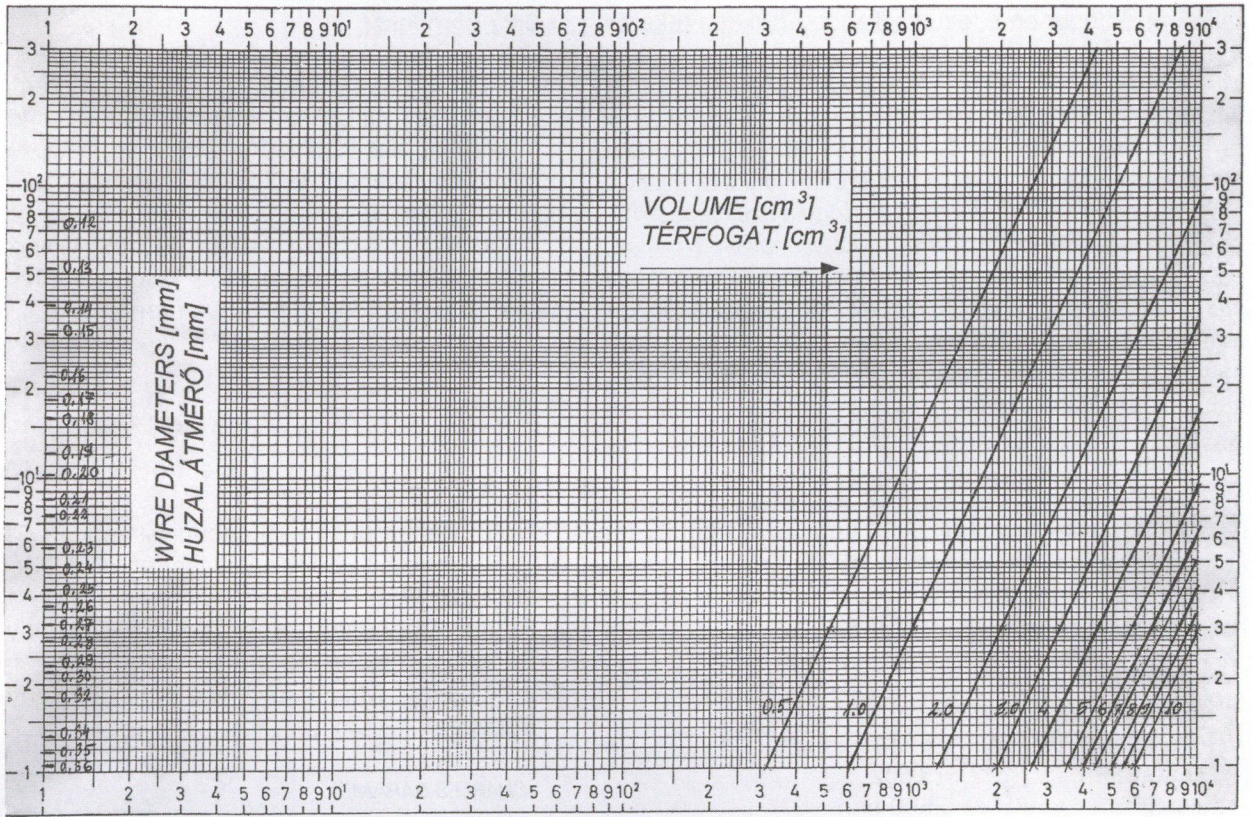
### CHARLES GARAM

*Mint fiatal mérnök a budapesti Standard Villamossági Vállalatnál dolgozott az 1940-es évek végétől, ahol az akkor korszerűnek számító 3- és 12-csatornás átviteltechnikai berendezések és Pupin-tekercsek fejlesztésével foglalkozott. Istvánffy Edvin szellemi örökségét folytatta. Gobbi István fizikustól sok elvi kérdésben kapott támogatást.*

*1956-ban elhagyta Magyarországot, és a londoni anyavállalat, a Standard Telephone Corp. hullámszűrő-tervező csoportjában volt 6 évig tervezőmérnök. Majd Amerikába költözött, ahol egy akkor alakult vállalat, a Peter Pál Electrical Co., főmérnökeként az új gyártmányok elektromos és gyártási problémáival foglalkozott. Több mint egy évtized után egy másik vállalat műszaki problémáit oldotta meg sikerrel. Majd egy rugókészítő vállalatnál megtervezte a teljesen mechanikusan vezérelt gépek elektronikus szabályozását, melyet több vállalat is átvett. Így lett az Amerikai Rugógyártók Egyesületének örökös tagja. Több szakirányú társulat – mint pl. a Society of Automotive Engineers és a Fluid Control Institute – tagja.*

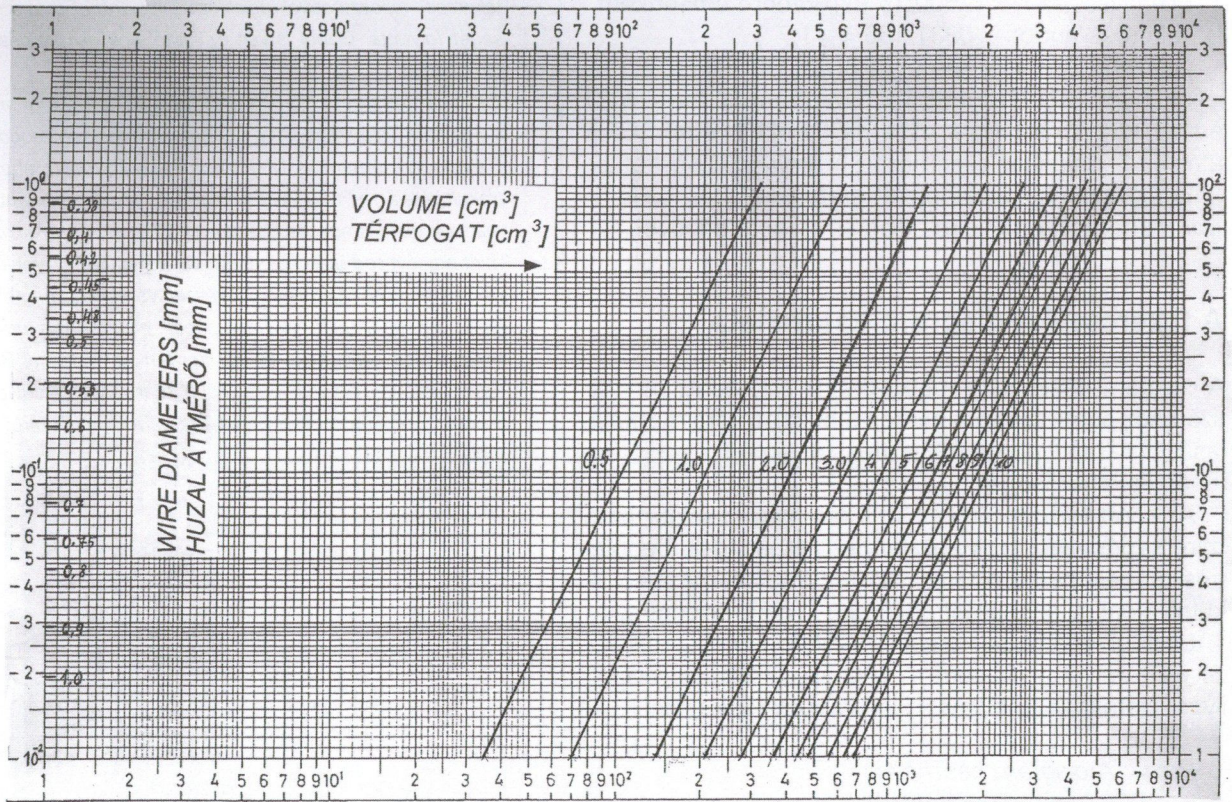


Resistance/Volume [ohm/cm<sup>3</sup>] Ellenállás/térfogat



URNS - MENETSZÁM

Resistance/Volume [ohm/cm<sup>3</sup>] Ellenállás/térfogat



URNS - MENETSZÁM

1. ábra Tekercselési diagram



## METRIKUS HUZAL TÁBLÁZAT

Csúsz huzal

Egyszer szigetelt huzal

Kétszer szigetelt huzal

AWS	át- mérő	ohm / 100 m	kereszt- metszet	átmérő [mm]			kg / 100 m	menet / cm <sup>2</sup>	ohm / cm <sup>3</sup>	átmérő [mm]			kg / 100 m	menet / cm <sup>2</sup>	ohm / cm <sup>3</sup>	cm / ohm	K
				min.	névl.	max.				min.	névl.	max.					
45	0,04	1 372,025	0,00126	0,044	0,047	0,051	0,001176	36 215	4968,8	0,047	0,051	0,055	0,001214	30 757	4220	7,288	
44	0,05	878,096	0,00196	0,053	0,057	0,061	0,001817	24 622	2162	0,050	0,058	0,066	0,001828	23 781	2088	11,39	
42	0,06	609,789	0,00283	0,064	0,069	0,074	0,002625	17 433	1063	0,068	0,073	0,078	0,002681	15 575	949,7	16,4	
41	0,07	448,008	0,00385	0,075	0,080	0,085	0,003565	12 968	580,98	0,081	0,086	0,091	0,003662	11 222	502,8	22,32	
40	0,08	343,006	0,00503	0,086	0,091	0,096	0,004648	10 022	343,76	0,093	0,099	0,105	0,004797	8 468	290,5	29,15	
39	0,09	271,017	0,00636	0,095	0,101	0,107	0,005855	8 136	220,5	0,102	0,109	0,116	0,006020	6 985	189,3	36,9	
38	0,10	219,524	0,00785	0,107	0,113	0,119	0,007246	6 656	146,12	0,115	0,123	0,129	0,007478	5 518	121,1	45,55	
37	0,11	181,425	0,00950	0,117	0,123	0,129	0,008736	5 618	101,92	0,127	0,134	0,141	0,009014	4 733	85,87	55,12	
	0,12	152,447	0,01131	0,127	0,133	0,139	0,010366	4 805	73,251	0,137	0,145	0,153	0,010693	4 042	61,62	65,6	
36	0,13	129,896	0,01327	0,139	0,145	0,153	0,012220	3 987	51,789	0,149	0,158	0,167	0,012578	3 404	44,22	76,98	
35	0,14	112,002	0,01539	0,149	0,155	0,163	0,014135	3 492	39,111	0,159	0,168	0,177	0,014516	3 011	33,72	89,28	
	0,15	97,566	0,01767	0,159	0,163	0,173	0,016092	3 192	31,143	0,169	0,178	0,187	0,016594	2 682	26,17	102,5	
34	0,16	85,752	0,02011	0,171	0,179	0,185	0,018487	2 652	22,741	0,181	0,189	0,199	0,018648	2 379	20,4	116,6	
	0,17	75,960	0,02270	0,184	0,191	0,198	0,020900	2 467	18,739	0,194	0,203	0,212	0,021364	2 188	16,62	131,6	
33	0,18	67,754	0,02545	0,194	0,201	0,208	0,023382	2 391	16,2	0,204	0,214	0,224	0,023912	1 965	13,31	147,6	
	0,19	60,810	0,02835	0,204	0,213	0,218	0,026087	1 983	12,059	0,214	0,224	0,234	0,026559	1 793	10,9	164,4	
32	0,20	54,881	0,03142	0,214	0,221	0,228	0,028765	1 842	10,109	0,226	0,236	0,246	0,029438	1 615	8,863	182,2	
	0,21	49,779	0,03464	0,223	0,231	0,239	0,031666	1 686	8,3927	0,235	0,247	0,257	0,032417	1 428	7,108	200,9	
	0,22	45,356	0,03801	0,233	0,237	0,249	0,034519	1 602	7,2681	0,245	0,257	0,269	0,035488	1 362	6,178	220,5	
31	0,23	41,498	0,04155	0,243	0,251	0,259	0,037886	1 428	5,9259	0,255	0,267	0,279	0,038700	1 203	4,992	241	
	0,24	38,112	0,04524	0,253	0,261	0,269	0,041205	1 321	5,0346	0,265	0,277	0,289	0,042050	1 172	4,467	262,4	
	0,25	35,124	0,04909	0,264	0,274	0,284	0,044824	1 198	4,2078	0,277	0,289	0,303	0,045653	1 077	3,763	284,7	
30	0,26	32,474	0,05309	0,274	0,284	0,294	0,048428	1 115	3,6208	0,287	0,300	0,313	0,049346	1 000	3,247	307,9	
	0,27	30,113	0,05726	0,284	0,294	0,304	0,052172	1 041	3,1348	0,297	0,310	0,323	0,053121	936	2,819	332,1	
	0,28	28,001	0,06158	0,294	0,304	0,314	0,056055	973	2,7245	0,307	0,320	0,333	0,057036	878	2,458	357,1	
29	0,29	26,103	0,06605	0,304	0,314	0,324	0,060077	912	2,3806	0,317	0,333	0,343	0,061284	856	2,234	383,1	
	0,30	24,392	0,07069	0,317	0,327	0,337	0,064431	888	2,166	0,330	0,343	0,356	0,065483	807	1,968	410	
28	0,32	21,438	0,08042	0,337	0,347	0,357	0,073185	789	1,6915	0,352	0,365	0,378	0,074443	713	1,529	466,5	
	0,34	18,990	0,09079	0,357	0,369	0,381	0,082642	697	1,3236	0,373	0,387	0,401	0,083978	643	1,221	526,6	
	0,35	17,920	0,09621	0,368	0,380	0,392	0,087586	657	1,1774	0,384	0,398	0,412	0,088960	608	1,09	558	
27	0,36	16,939	0,10179	0,378	0,390	0,402	0,092596	624	1,057	0,394	0,408	0,422	0,094007	570	0,965	590,4	
	0,38	15,202	0,11341	0,398	0,411	0,424	0,103117	565	0,8589	0,416	0,431	0,446	0,104770	511	0,777	657,8	
26	0,40	13,720	0,12566	0,421	0,432	0,447	0,114203	509	0,6984	0,436	0,451	0,466	0,115850	467	0,641	728,8	
	0,42	12,445	0,13854	0,441	0,455	0,467	0,126034	458	0,57	0,459	0,489	0,489	0,129185	397	0,494	803,6	
25	0,45	10,841	0,15904	0,470	0,484	0,498	0,144348	405	0,439	0,488	0,504	0,520	0,146288	373	0,404	922,5	
	0,48	9,528	0,18096	0,502	0,516	0,530	0,164209	356	0,3392	0,520	0,536	0,552	0,166274	330	0,314	1050	
24	0,50	8,781	0,19635	0,522	0,536	0,550	0,178020	330	0,2898	0,540	0,556	0,572	0,180164	307	0,27	1139	
23	0,55	7,257	0,23758	0,572	0,586	0,600	0,214989	276	0,2003	0,590	0,607	0,624	0,217448	257	0,187	1378	
	0,60	6,098	0,28274	0,619	0,636	0,653	0,255444	234	0,1427	0,640	0,659	0,678	0,258369	218	0,133	1640	
22	0,65	5,196	0,33183	0,669	0,686	0,703	0,299387	201	0,1044	0,690	0,709	0,728	0,302537	188	0,098	1925	
21	0,70	4,480	0,38485	0,722	0,740	0,758	0,347397	173	0,0775	0,742	0,762	0,782	0,350641	163	0,073	2232	
	0,75	3,903	0,44179	0,772	0,790	0,808	0,398354	152	0,0593	0,772	0,790	0,808	0,398354	152	0,059	2562	
20	0,80	3,430	0,50265	0,821	0,841	0,862	0,452963	134	0,046	0,821	0,841	0,862	0,452963	134	0,046	2915	
	0,85	3,038	0,56745	0,871	0,891	0,912	0,510904	119	0,0362	0,871	0,891	0,912	0,510904	119	0,036	3291	
19	0,90	2,710	0,63617	0,921	0,942	0,964	0,572516	107	0,029	0,921	0,942	0,964	0,572516	107	0,029	3690	
	0,95	2,432	0,70882	0,971	0,992	1,014	0,637441	97	0,0235	0,971	0,992	1,014	0,637441	97	0,023	4111	
18	1,00	2,195	0,78540	1,022	1,045	1,069	0,706468	87	0,0191	1,045	1,057	1,069	0,708944	85	0,019	4555	
	1,05	1,991	0,86590	1,072	1,095	1,119	0,778397	86	0,0171	1,095	1,119	1,144	0,783613	73	0,014	5022	
	1,10	1,814	0,95033	1,122	1,145	1,169	0,853813	79	0,0143	1,146	1,170	1,194	0,859495	69	0,013	5512	
17	1,15	1,660	1,03869	1,172	1,195	1,219	0,932716	72	0,0119	1,195	1,220	1,246	0,938643	64	0,011	6024	
	1,20	1,524	1,13097	1,225	1,250	1,275	1,016331	66	0,01	1,248	1,274	1,300	1,022278	59	0,009	6560	
	1,25	1,405	1,22718	1,275	1,301	1,325	1,102513	61	0,0085	1,298	1,309	1,350	1,104562	55	0,008	7118	
16	1,30	1,299	1,32732	1,325	1,351	1,375	1,191936	56	0,0073	1,348	1,374	1,400	1,198089	50	0,007	7698	
	1,35	1,205	1,43139	1,375	1,401	1,425	1,284847	52	0,0063	1,398	1,414	1,430	1,288439	48	0,006	8302	
	1,40	1,120	1,53938	1,427	1,453	1,479	1,381815	49	0,0054	1,450	1,477	1,540	1,388718	44	0,005	8928	
15	1,45	1,044	1,65130	1,477	1,503	1,529	1,481719	45	0,0047	1,477	1,514	1,554	1,484977	41	0,004	9578	
	1,50	0,976	1,76715	1,527	1,548	1,570	1,583589	42	0,0041	1,550	1,577	1,604	1,592486	38	0,004	10249	

1. táblázat



# Hírek

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Elektronikus Eszközök Tanszéke a közelmúltban két jelentős nemzetközi elismerést kapott.

Rencz Márta és Székely Vladimir Harvey Rosten kiválósági díjat (Harvey Rosten Award of Excellence) nyertek az integrált áramkörök termikus viselkedésének vizsgálata és modellezése területén elért több-éves munkájuk elismeréseként. A díjat évente ítélik oda az adott tématerületen legkiemelkedőbb jelentőségű tudományos eredményeket elért kutatóknak. A díj átadására az adott szakterület évente megrendezendő legfontosabb konferenciáján kerül sor Californiában, a Szilícium-völgy fővárosában, San Joséban.

A díj rendkívül nagy jelentőségű az adott szakterületen dolgozó kutatók, kutatócsoportok és cégek nemzetközi megítélése szempontjából.

A tanszék kutatóinak egy franciaországi kutatólaboratóriummal és a MICRED Kft.-vel közösen tervezett áramköre első díjat nyert az akadémiai szférában kutatási célú integrált áramköri tervek évente megrendezett versenyén. A kutatási célú integrált áramkörök és mikrorendszerek versenyét évente 4 kategóriában hirdetik meg. A díjakat a Design and Test in Europe ( DATE ) konferencián adják át, évente egy alkalommal, ez évben Münchenben. A díj jelentős siker a tanszék integráltáramkör-tervezői kollektívája számára, bizonyítja, hogy az adott területen nemzetközi szinten is élenjáró munkát végez.



A Linux-felhasználók Magyarországi Egyesülete és a Sun Microsystems Magyarország Kft. együttműködnek az OpenOffice irodai programcsomag lokalizálásában, terjesztésében és a felhasználói ismeretek oktatásában.

A StarOffice komplett irodai programcsomagot kifejlesztő StarDivision céget a Sun Microsystems 1999-ben vásárolta fel. Ezt követően a Sun a szoftvereket a weben keresztül bárki számára elérhetővé, használatát pedig ingyenessé tette. A StarOffice gyakorlatilag minden olyan funkcióval rendelkezik, amit a felhasználók napjainkban egy irodai programcsomagtól elvárnak, képes programok konvertálására is, amivel lehetővé teszik a felhasználók meglévő dokumentumainak, táblázatainak stb. változatlan használatát. A csomag nemcsak Windows, hanem Linux és Solaris operációs rendszerkörnyezetben is működik.

2000-ben a Sun OpenOffice.org címen fejlesztői közösséget hozott létre a weben, melyen a StarOffice programcsomag további fejlesztéseihez közzétette annak forráskódját, így bárki számára megnyílt a lehetőség az OpenOffice-programok fejlesztésére, nyelvi változatok lokalizálására.

A Linux-felhasználók Magyarországi Egyesülete 2001-ben jelentős összeget nyert el a Széchenyi-terv keretében, az OpenOffice-programcsomag magyar nyelvű verziójának elkészítésére.

A Linux-felhasználók Magyarországi Egyesülete és a Sun Magyarország megállapodása értelmében együttműködnek a programcsomag minél széleskörűbb terjesztésében azért, hogy valós alternatívát legyenek képesek nyújtani az irodai szoftverek napjainkban igen monopolisztikus piacán.

A Sun Microsystems, hasonlóan a Linux-felhasználók és -fejlesztők népes táborához, egyértelműen elkötelezett minden, nyílt forráskódon alapuló szoftverfejlesztés és ingyenes szoftverhasználat iránt. A Sun jövőképe szerint ugyanis, az internet korában az egyre bonyolultabbá váló szoftvereket nem a hálózatra kapcsolódó klienseken vagy más hozzáférést biztosító eszközökön kell futtatni, hanem nagy teljesítményű adatközpontokban. A hálózatra kapcsolódó klienseken vagy más hozzáférést biztosító eszközökön kell futtatni, hanem nagy teljesítményű adatközpontokban. A hálózatra kapcsolódó eszközökön futó szoftvereknek, hasonlóan a mai mobil-telefonkészülékekben működő szoftverekhez, operációs rendszertől függetlenné és ami a legfontosabb – ingyenessé kell válniuk.



# A tőkeköltség értelmezése és felhasználási területei

IMOLAY OLIVÉR

*treasury-menedzser, Matáv Rt.*

NYEVRIKEL EMÍLIA

*igazgató, Matáv Rt.*

*Minden vezetőnek, fejlesztőnek, beruházónak meg kell ismernie döntése hatását. A számviteli eredmény azonban a vállalat szokásaitól, az állami előírásoktól is függhet. A cikk bemutatja az újdonságok bevezetéséhez szükséges befektetések formáit és a szükséges kölcsön vagy részvénykibocsátás gazdasági következményeit, valamint meghatározza a módszerhez kapcsolódó fogalmakat is.*

## Alapfogalmak

A gazdasági társaságok működésük élettartama alatt olyan eszközök megvásárlásába próbálják befektetni tőkéjüket, amelyek megfelelő felhasználás, üzemeltetés mellett adott időtávon profitot képesek hozni. A veszteséges vállalatok hosszú távon nem életképesek. De mi lehet a profitnak (vagy hozamnak) az a szintje, amely mellett a vállalat úgy dönt, hogy érdemes az erőforrásokat az adott területre átcsoportosítani? Erre a kérdésre a választ a vállalat számára a finanszírozást biztosító befektetői csoportok elvárásaiban kereshetjük:

- A tulajdonosok vagy (saját)tőkebefektetők viselik a legnagyobb kockázatot, és ezért az ő hozamelvárásuk a legmagasabb. Követelésük ugyanis csak a reziduális jövedelemre vonatkozik, vagyis a vállalati jövedelemnek arra részére, amely minden egyéb kötelezettség (kamatfizetés, adófizetés, elsőbbségi részvényesek osztaléka stb.) kielégítése után megmarad. Hozamuk nincs rögzítve, az az alaptervekenység sikerességének a függvénye.
- A hitelezők által elvárt hozamot a hitelszerződésben rögzítik. (Ez nem jelent feltétlenül egy abszolút kamatszintet vagyis fix kamatokat. A vállalat kamatfizetési kötelezettsége valamilyen piaci alapkamathoz is kötve lehet, és ennek függvényében folyamatosan változhat.) A szerződésbe foglalt kamat mértéke a vállalat kockázati szintjének, hitelviszafizető képességének a függvényében alakul ki.
- A hitelezőket és a normál- (vagy törzs-)részvénytulajdonosokat úgy tekinthetjük, mint egy skála két vége. A részvénytulajdonosok szavazati jogukon keresztül közvetlenül birtokosai a cégnek (a jövedelemre biztosított elsőbbségi jogok nélkül), míg a hitelezők a vállalat jövedelmének egy meghatározott részére formálhatnak igényt, de irányítási joguk nincs

(csak csőd esetén válnak a cég eszközeinek közvetlen tulajdonosaivá). E két végpont között a tulajdonosi formák rengeteg változata képzelhető el attól függően, hogy egy adott befektető a közvetlen irányítás és a vállalat jövedelmeire biztosított előjogok milyen kombinációját birtokolja: elsőbbségi részvényes, átváltható kötvény tulajdonosa stb.

- Ebben az összefüggésben különleges szereplőként kell megemlíteni az államot, amely a vállalat jövedelméből szintén követeli a saját részét, és ezzel befolyásolja a tőketulajdonosok elvárásait.

A WACC (Weighted Average Cost of Capital), vagyis a súlyozott átlagos tőkeköltség egy olyan százalékos érték, amely egy számba tömörítve fejezi ki, hogy adott időtávon a vállalatnak eszközei működéséből mekkora profitot kell kitermelnie, hogy a befektetett tőke elvárásainak megfelelően. A vállalat alaptervekenységét kiszolgáló eszközök értékelése a WACC felhasználásával történik, vagyis praktikusán a DCF-módszer, (diszkontált cash flow, ami a különböző időpontokban keletkező cash flow-k jelenértékének kiszámításához használt módszer, és így a különböző időpontokban jelentkező kiadásokat és bevételeket a jelen időpontra vonatkoztatja) alapján a kitermelt szabad cash flow-t a WACC-vel kell diszkontálni. Mivel a vállalat értéke megegyezik összes eszközeinek az értékével, ezért – az előzőek alapján – a vállalat értéke akkor maximális, amikor a WACC minimális (alacsonyabb számmal történő diszkontálás magasabb jelenértékhez vezet). A vállalatnak ezért olyan tőkeszerkezet kialakítására kell törekednie, amely a WACC-t minimalizálja.

## A WACC számítása

A WACC a vállalat működésének finanszírozását biztosító egyes tőkeelemek (hitel, részvény stb.) elvárt hozamának a vállalat piaci értéken vett tőkeszerkezeté-



vel súlyozott átlaga. A szakirodalom a WACC-ben szereplő egyes tőkeelemek elvárt hozamának számítását illetően lényegében egységes, de természetesen léteznek különböző számítási módok.

Ennek a cikknek a keretében a WACC számításának legáltalánosabban elfogadott módját szeretnénk bemutatni. A tőkeelemek közül a két legfontosabbat emeljük ki: a hitelt (idegen tőke) és a normál törzsrészcsemet (saját tőke). (Ezekon kívül még az elsőbbségi részvényeket szokták a számításban figyelembe venni.) Az összefüggés:

WACC:  $E/V \times Re + D/V \times Rd$ , ahol

Re – a saját tőke hozama,

Rd – az idegen tőke hozama,

E – a vállalat piaci értéken számított saját tőkéjének az értéke,

D – a vállalat piaci értéken számított idegen tőkéjének az értéke,

V – a vállalat teljes piaci értéke (E+D).

### A saját tőke hozama (Re)

Az a hozam, amit a vállalat (részvény)befektetői elvárnak a vállalatotól azért cserébe, hogy tőkéjüket nem más alternatív befektetésbe helyezték. A modell legkritikusabb részéről van szó, mert meglehetősen nehéz a becslése. Meghatározására leggyakrabban a részvénytőke kockázat-hozam összefüggéseit egységes keretbe terelő CAPM (Capital Asset Pricing Model – tőkepiaci árfolyamok modellje) modellt használják. A modell csak nagyon szigorú feltételek teljesülése esetén működik, amelyek teljességükben még a legfejlettebb tőkepiacokon sem valósulnak meg. Nagy előnye viszont, hogy a számítási módszer nagyon egyszerű, és egyéb modellek sem tudnak sokkal kielégítőbb válaszokat adni a piaci eszközök árazására vonatkozóan. A CAPM a piaci instrumentumok – és ezek között a részvények – hozamára a következő összefüggést állapítja meg:

$$Re = Rf + \beta \times (Rm - Rf), \text{ ahol}$$

Rf – a kockázatmentes hozam,

$\beta$  – az egyedi részvény kockázati mutatója,

Rm-Rf – piaci kockázati prémium.

Ennek a lényegét a következőkben lehet tömören összefoglalni. Az a befektető, aki részvénybe fekteti a pénzét, nyilvánvalóan magasabb hozamot vár el befektetésétől, mint ha a kockázatmentes instrumentumot megtettesítő állampapírt vásárolná meg. (Az állampapírok sem kockázatmentesek, de a modell szempontjából ez nem lényeges. Ezek a legalacsonyabb kockázattal megvásárolható instrumentumok). Ez utóbbinak a hozamát tekinthetjük a kockázatmentes hozamnak (Rf). Részvény vásárlása esetén a befektetők egy bizonyos prémiumot (felárat) várnak el a kockázatmentes hozam felett a nagyobb kockázat kompenzálása végett. De mekkora pontosan ez a felár? A modell ehhez első lépésként megbecsüli, hogy a részvénytőkepiactól általában mekkora kockázati prémiumot, vagyis hozamtöbbletet várnak el a befektetők (ez az Rm-Rf szám, amit a jól működő tőkepiacokon historikus adatokból becsülnek), majd ezt a számot megszorozza az adott részvény pi-

achoz viszonyított kockázatával (ez a  $\beta$ , ami azt mutatja, hogy ha a részvénytőkepiac 1%-kal elmozdul, akkor ez az adott részvény árának hány százalékos változását implikálja – ezt is historikus adatokból becsülik). A részletek említése nélkül fontos kiemelni, hogy a piaci kockázati prémium nagysága időben nem stabil, és bár értékeik megfelelő historikus idősorokból jól becsülhetők, az aktuális értékeket mindig fenntartásokkal kell kezelni.

### Az idegen tőke hozama (Rd)

Ez a vállalat hiteleire fizetett átlagos kamatszint. Ennél a résznél nagyon fontos hangsúlyozni a WACC-modell előretételeit. Az idegen tőke hozamának számításánál a könyvekben szereplő hitelek átlagos kamatszintjének az alkalmazása nem elfogadható, bár valóban ez lenne a legegyszerűbb megoldás. A WACC-értékek használata jövőbeni döntésekhez kapcsolódik, ezért kevésbé releváns, hogy a vállalat a múltban milyen kondíciókkal tudott hitelt felvenni. Az idegen tőke költségének a számításához azt kell figyelembe venni, hogy a vállalat a jelenlegi piaci kondíciók alapján milyen szinten tudja magát megfinanszírozni a kalkuláció alapjául szolgáló időtávra.

Ezt az értéket szintén a kockázatmentes hozamot biztosító állampapírhozamokból kiindulva érdemes meghatározni, hozzászámolva egy piaci alapon becsült kockázati felárat. Amennyiben a vállalat aktív a hitel- és tőkepiacokon, akkor a felár könnyen becsülhető a felvett hitelek, illetve a kibocsátott kötvények hozamai alapján. Az idegen tőkéből elvárt hozam képlete:

$$Rd = Rf + a \text{ vállalat hitelkockázati felára.}$$

### A tőkeszerkezet

A tőkeszerkezet a vállalat finanszírozási struktúrája. Jelen cikk vonatkozásában ezen a saját és idegen tőke egymáshoz való viszonyát értjük, vagyis ezek súlyát a finanszírozási struktúrában. A tőkeszerkezetre vonatkozó megfontolásoknál két dolgot kell kiemelni:

- Az idegen tőke hozamának a részletezésénél és a tőkeszerkezettel kapcsolatos megfontolásoknál az említett előre tekintő jellegre vonatkozó állításokat is hangsúlyozni kell. A WACC számításakor az idegen- és saját tőke hozamát az adott tőkeelemnek a teljes finanszírozási struktúrában megtettesülő arányával kell súlyozni, és ezeket az arányokat *piaci értéken* kell számba venni. Az adott helyzetben ez fogja tükrözni a piaci realitást, vagyis a saját és idegen tőke tényleges értékét. A könyvekben megjelenő historikus számadat ebből a szempontból nem releváns: a múltbeli befektetések értéke az eltelt időszakban jelentősen ártértékelődhetett.
- Esett már szó arról, hogy a vállalat értékének a maximalizálása lényegében a WACC minimalizálásával érhető el. Ebből következően minden olyan vállalatnak, amelynek célja a részvényesi érték maximalizálása, finanszírozási struktúrájában törekednie kell a WACC-t minimalizáló *optimális tőkeszerkezet* kialakítására. Ez az optimális tőkeszerkezet nehezen



meghatározható, és igazából nem is lehetséges egy bizonyos idegen tőke/saját tőke arányt optimálisnak elnevezni: inkább egy olyan tartományt kell kijelölni, amelynek határain belül egészséges tőkeszerkezetről beszélhetünk, és célul kell kitűzni a tőkestruktúra ezen határokon belüli menedzselését. Ha feltételezzük, hogy a társaságok eszerint cselekszenek, akkor a WACC-számításokban – előrettekintő jellegük-ből következően – az optimális tőkeszerkezetre vonatkozó arányoknak kell megjelennie.

Itt egy esetleges félreértést szükséges eloszlatni. Az  $R_d$  minden esetben alacsonyabb, mint az  $R_e$ , hiszen a részvényesek csak a hitelezők (és az adók) kifizetése után fennmaradó jövedelemre tarthatnak számot, vagyis nagyobb a kockázatuk és az elvárt hozamuk. Ebből látszólag az következik, hogy a hitelállomány mértéktelen növelése vezethet el a kívánt célhoz: a WACC minimalizálásához. Ez tévedés. Alacsony hitelállománynál kicsi a hitel visszafizetésének a kockázata, ez a kockázat azonban a hitelállomány növekedésével már kritikussá válhat, és az  $R_d$  erőteljes növekedésében ölthet testet. Ezzel párhuzamosan  $R_e$  is az égbe szökik, hiszen a reziduális jövedelem egy részvényre jutó nagysága egyre bizonytalanabbá válik. A két tényező együttes hatása a WACC-t egy idő után az alacsonyabb hitelállománynál jelentkező WACC fölé emelheti. Ebből következően a WACC minimalizálásához addig a szintig érdemes növelni a hitelállományt, amíg annak emelkedő kockázata nem hatástalanítja az alacsonyabb hozamból eredő előnyeit.

Az előzőeket összegezve a WACC számolásához a tőkeszerkezetből eredő súlyokat ( $E/V$  és  $D/V$ ) piaci értéken kell figyelembe venni az optimális tőkeszerkezetre vonatkozó megfontolások beépítésével.

### Az adó hatásai

Az adózás vonatkozásait is bevonva az elemzés körébe kétféle WACC-számítást különböztethetünk meg:

- AT WACC (After tax WACC – adózás utáni WACC);
- BT WACC (Before tax WACC – adózás előtti WACC).

### AT WACC

Az adózás utáni hozamelvárások becslésénél abból kell kiindulni, hogy a kamatokat (idegen tőke költsége) az adózás előtti eredményből fizeti a cég, vagyis a kamatfizetés adómentesítést generál. Adózás utáni szempontból ez csökkenti az idegen tőkétől elvárt hozamot, hiszen a vállalatnak csak az adómentesítéssel csökkentett kamatokat kell kitermelnie. Az előzőek tükrében a képlet a következőképpen módosul:

$AT\ WACC = E/V \times Re + D/V \times Rd \times (1 - t)$ , ahol  $t$  – a társasági adókulcs.

Az összefüggés arra is rávilágít, hogy minél nagyobb a társasági adókulcs, a társaságnak annál nagyobb mértékben érdemes eladósodnia, és ezzel csökkentenie a tőke költségét. Ennek következtében egy magasabb idegen tőke/saját tőke arány lesz az optimális a vállalat számára.

Az optimális tőkeszerkezet megfontolásánál, valamint az adózás utáni pénzáramlások diszkontálásánál minden esetben az AT WACC összefüggést kell alkalmazni.

### BT WACC

Abban az esetben, ha adózás előtt akarjuk meghatározni a vállalat tőke költségét, az adó éppen ellentétes szerepet játszik: a vállalati jövedelemnek – a saját tőke vonatkozásában – a részvényesek hozamelvárásain felül az adót is ki kell termelnie, hiszen a részvényesek elvárásai a már említett reziduális jövedelmekre vonatkoznak. Ez utóbbi pedig a vállalat minden kötelezettségének a teljesítése után keletkezik – beleértve az állam felé fennálló kötelezettségeket is. Az idegen tőke hozamát, vagyis a hitelkamatokat adózás előtti pénzből fizeti a vállalat, ezért ennek – az adózás előtti számításnál – nincsenek adóvonzatai. Ezeknek függvényében az alapképlet a következőképpen módosul:

$$BT\ WACC = E/V \times Re / (1 - t) + D/V \times Rd$$

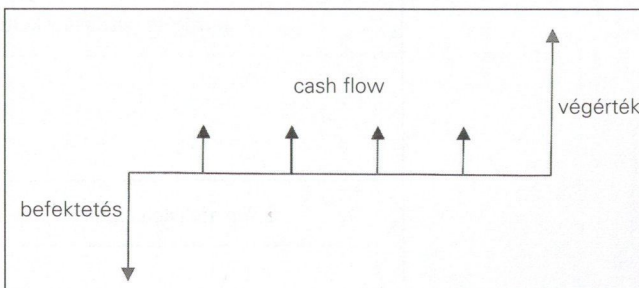
A BT WACC-összefüggést használhatjuk a súlyozott átlagos tőke költség kiszámításához árképzésnél, illetve a befektetési lehetőségek adózás előtti pénzáramlásának elemzésénél. Befektetési lehetőségek elemzésénél az adózás hatásait jobb a pénzáramlások között figyelembe venni, mint a diszkonttényezőben (WACC). Megjegyzés: a BT WACC-képlet foglalja magában az adózás hatásait – bár neve szerint ez adózás előtti hozam –, hiszen olyan hozamszintet feltételez, amely fedezetet nyújt a vállalati adók megfizetésére. Ezért a befektetési lehetőségeknél az AT WACC használata indokoltabb (adózás utáni pénzáramláshoz).

### A tőke költség felhasználási területei

A tőke költséget alapvetően két területen használják:

#### Értékteremtési (value creation) mutatók számítása

A megtérülési mutatók (return on investment, return on equity, return on assets) statikus szemléletűek, melyeknek több hátrányuk van: a mutatók értéke javítható a beruházások visszafogásával, időben lehetnek ingadozóak stb. Ezért felmerült, hogy a hosszabb időtávot átfogó mutatók jobb képet mutatnának valamely döntés gazdasági eredményességéről. A kérdés alapképlete a következő: valamely időszak első évében egy egyszeri kifizetést eredményező döntést hozunk (beruházás, részvény- vagy vállalatvásárlás stb). Az akció/vállalkozás meghatározott időszak alatt jövede-



1. ábra Az értékteremtési folyamat pénzáramai



lemhez juttat bennünket (cash flow), és az értékelési időszak végén rendelkezik egy végértékkel (eszköz, részvény eladási ára, vállalkozás végértéke).

A döntés mindaddig ésszerű (érték teremtődik a tulajdonosnak), amíg az évenkénti cash flow-k és a végérték diszkontált jelenértéke meghaladja az időszak első évében eszközölt befektetést. A diszkontálás rátája pedig a fentiekben jellemzett tőkekölttség.

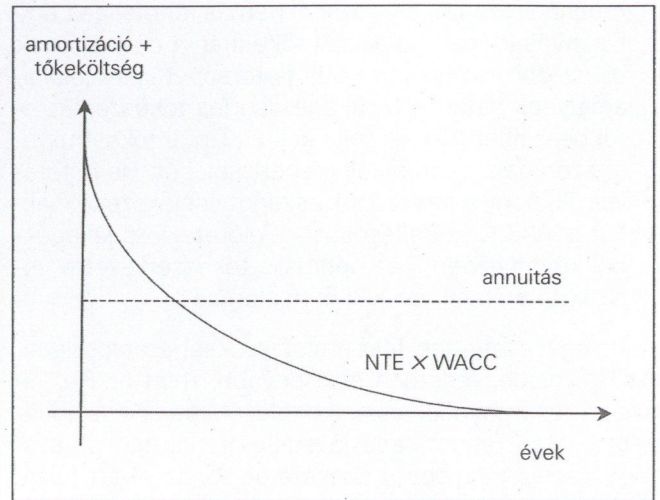
**Árak költség oldali megalapozása**

Az árak alapvetően kétfélék: költségalapúak vagy értékalapúak. Az első esetben szükséges, a másodikban célszerű kiszámítani az árak költségtartalmát. Az értékalapú áraknál azt a terméknek tulajdonítható költséget indokolt meghatározni, amely nem merült volna fel, ha a kérdéses terméket nem állítanánk elő (ez a termék árküszöbe vagy minimál-ára). Az áraknak – kínálati oldalról vizsgálva – olyannak kell lenniük, amelyek biztosítják a termékek előállításához felhasznált befektetett eszközök megtérülését. Ezt a hozamkövetelményt a távközlésben ma az európai unió ajánlások is tartalmazzák a szabályozott árú szolgáltatásokra. Ezt a költséget a tőkekölttség képviseli a termékek árában, melyet szintén a fenti súlyozott átlagos tőkeköltséggel számítunk alapvetően kétféleképpen:

- A befektetett eszközök nettó értékére vetítve:  
 $TK = WACC \times BNÉ$ , ahol  
 TK = tőkekölttség,  
 BNÉ = befektetett eszközök nettó értéke.
- Annuitással:  
 $PV = C \times AF(t,r)$ , ahol:  
 PV = az annuitás jelenértéke,  
 AF: az annuitás faktor t évre és r (= WACC) hozam mellett,  
 C = járadéktag (amortizáció+tőkekölttség).

A két módszer különbsége: Az első termékek még vissza nem térült, azaz nettó értékének arányában számítja fel a tőkekölttséget. Az annuitás pedig a teljes „lejáratú időszakra” egyenlő összeggé teszi az amortizáció és a tőkekölttség összegét.

A két módszer függvényében tehát az amortizáció és a tőkekölttség összege az eszközök élettartama alatt az

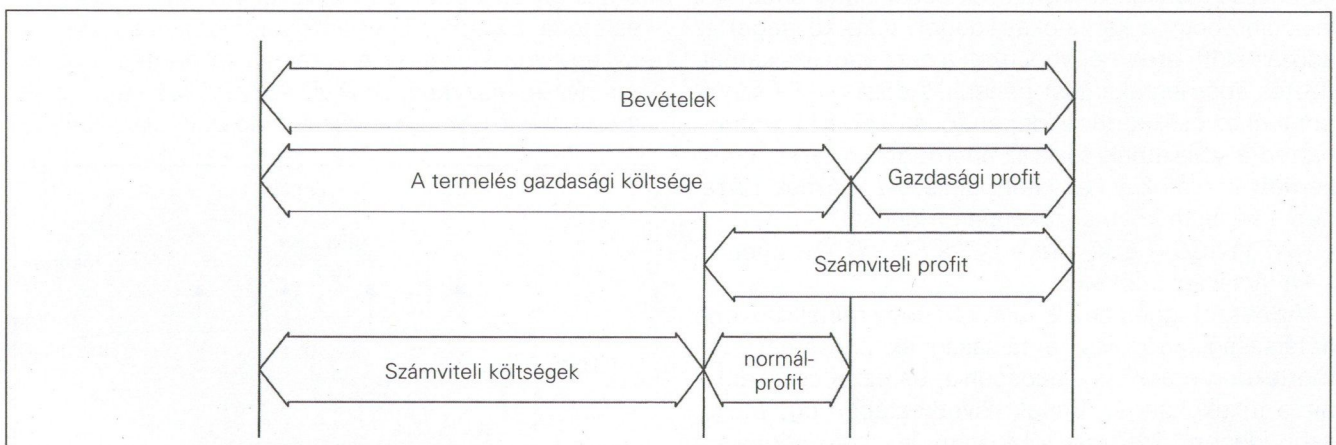


2. ábra A tőkekölttség számítási módszerek hatása

alábbiak szerint alakul (2. ábra), és üzletpolitikai döntés, hogy melyik módszert használja egy vállalat, és a 0-ra írt eszközök értéke melyiknél jelenik meg (exponenciális leírás).

**A tőkekölttség hatása a profit értelmezésére**

Cikkünk első része bemutatta, hogy a tőkekölttség egy mutatóban egyesíti a kölcsön és a befektetői tőke megszerzésének árát, s ez egyúttal azt is kifejezi, hogy gazdasági szempontból mindkettőt egyformán költségnek tekintjük. Nevezetesen mind a hitelezők kamatát, mind a befektetők elvárt hozamát a források árának tekintjük, melyet a forrástulajdonosok számára ki kell fizetni. Ezért gazdasági szemléletben a termelés gazdasági költségei közé soroljuk a tőkekölttséget is, csak az e feletti profitot tekintjük profitnak (ezt gazdasági profitnak, angolszász területen *super normal profit*nek nevezik). Számviteli megközelítésben egy vállalat profitja ettől eltér. A számviteli költségek közé az összes termelési költség és a kamat tartozik, s valamennyi e feletti többlet a bevételhez képest profitnak számít. A számviteli profit tehát a tőkekölttség alkalmazásával két részre bomlik: normál- és gazdasági profitra. Természetesen minden vállalat gazdasági profit elérésére törekszik, hiszen ez biztosítja növekedésének forrását.



3. ábra A gazdasági és számviteli profit összefüggése



# A szerzői jogi törvény és az internet

DR. TATTAY LEVENTE

egyetemi docens, Pázmány Péter Katolikus Egyetem Jog- és Államtudományi Kar

## Az internet

A szerzői jogot érintő műszaki fejlődés leglátványosabb színtere az internet, a számítógépes világhálózat.

Az internet fejlődésének egyik láncszeme, eleme a megnövekedett tárolókapacitású számítógép, amelynél a képek automatikus bevitele az ún. grafikus scanning módszerrel történhet. A másik a távközlő hálózat, melynek sebességnövekedése (koaxális vagy fénykábel) hihetetlen mennyiségű adat jó minőségű továbbítására képes. A harmadik elem a fejlett számítógép hálózatkezelő programjai. Ezekkel ma már egyszerűen elérhető egy távoli központi elektronikus adattárnak használható számítógép.

Ma már gyakorlatilag létrejött a nemzetközi számítógépi hálózat, amely a nagy adattárak és személyi számítógépek millióit kapcsolja össze, egyes becslések szerint 50-500 millió háztartást kötve össze.

Az internethasználók száma Magyarországon 1997-ben 102 000 volt. Ez a szám 1998-ban 254 000-re, 1999-ben 522 000-re, 2000-re 600 000-ra emelkedett. [1]

Az internethasználók száma a világban:

1995 = 20 millió	1998 = 135 millió
1996 = 40 millió	1999 = 170 millió
1997 = 65 millió	2000 = 260 millió [2]

Az internet rohamosan növekvő fontosságú rendszer, amelyet egyre több célból a társadalmi élet egyre több területére kiterjedő módon használnak fel. A sokoldalú felhasználás számos jogi kérdést vetett fel, amelyekre nemzetközi léptékben a Szellemi Tulajdon Világszervezete, a WIPO (= World Intellectual Property Organisation) 1996-ban létrehozott internetszerződések a legsokrétűbben, leghatásosabban kívánták megadni a választ.

A WIPO által létrehozott és az internetre vonatkozó szerződések:

- WIPO Copyright Treaty = WIPO Szerzőjogi Szerződés (1996), rövidítve WCT;

- WIPO Performances and Phonograms Treaty = WIPO előadásokról és hangfelvételekről szóló szerződése, rövidítve WPPT.

Az internettel kapcsolatos jogi problémák közül számos jelentős mértékben foglalkoztatja a közvéleményt, pl.:

- az általános személyiségi jogi problémák,
- az interneten tárolt és lehívott irodalmi és zenei alkotások szerzői vagyoni és személyiségi jogainak védelme és más szerzői jogi kérdések,
- a domain-nevek problematikája,
- felelősség az internet útján véghezvitt cselekményekért (internetkalózkodásért),
- az internet útján megvalósult elektronikus kereskedelem jogi aspektusai és problémái (adatátvételi szerződések, fizetési problémák, vesztegetések, fiktív pénzáttalások, dezinformáció, valótlán információ terjesztése).

Az internetre minden szerzői oltalom alatt álló mű felvihető. Az interneten irodalmi művekkel, képzőművészeti alkotásokkal, fényképekkel, audiovizuális alkotásokkal, zeneművekkel, szoftverekkel, adatbankokkal egyaránt találkozhatunk. Szereplői:

- a felhasználó (pl. lekérdez, távoli gépre kapcsolódik, bármely hálózatra kapcsolt gép),
- hozzáférést biztosító szolgáltató (pl. Posta, Matáv stb. adatátviteli csatornát üzemeltet),
- tartalomszolgáltató (pl. hirdet a NET-en, weblapja van, műveleteket tárol, bármely résztvevő lehet),
- internet szolgáltató (pl. számítógépén helyet, bejelentkezést biztosít, keresőközpontként üzemel).

Ezek lehetnek különbözők, de egybe is eshetnek.

## A felhasználás fázisai

Az interneten a jogi értelemben vett „felhasználás” számos minősítési problémát vet fel, mivel nem felel meg



a szerzői jogi törvényben meghatározott felhasználási módok ismérveinek. Az internetes felhasználások egyes szakaszai egymásba fonódnak, és nehéz megállapítani, melyek technikailag önállóak, és melyek jelentenek már egy külön műveletet (annak lehetőségét), tehát melyek független felhasználások. [3]

Az interneten való felhasználás több technikai szakaszból áll, azonban a szakaszok mind a felhasználást segítik elő:

- A mű betöltése a kiszolgáló fizikai háttértárolójából a memóriájába.
- A memóriából áttöltés a hálózatra csatoló adóberendezésbe. A hálózatra csatolt adóeszköz a művet csomagokra bontja és elküldi a hálózatra.
- Ideiglenes tárolás az útvonalon található számítógépek memóriájában.
- A célszámítógépben a csomagok ismételt összeillesztése.
- Tárolás a célszámítógép memóriájában.
- A célszámítógép képernyőjén való megjelenítés. [6]

Az interneten történő felhasználás a többszörözés, a terjesztés, a sugárzás és a nyilvános előadás különböző elemeit egyaránt tartalmazza a felhasználási formák törvényi értelmezésének megfelelően.

Az interneten a honlapoknak és hiperkapcsolatoknak a szerzői jogi oltalom szempontjából kiemelkedő jelentősége van.

A honlapok számos olyan elemet tartalmazhatnak, amelyek szerzői vagy szomszédos jogi oltalom alatt állhatnak. Ezek lehetnek szövegek, ábrák, fényképeszeti alkotások és mások. A honlapok egészében a gyűjteményes művek ismérveinek felelhetnek meg. E honlapokon önmagukban is szerzői oltalom alatt levő alkotások szerepelhetnek. A honlapok tartalma külön oltalom alatt álló elemek sajátos eredeti elrendezését jelentik. A honlapok egészében szerzői jogi oltalom alatt állnak.

## Szerzői jogi törvényünk és az internet

Az új szerzői jogi rendszerünk megalkotásánál már létező realitásként vették figyelembe az internetes felhasználást.

A szjt. kidolgozásánál az alapkoncepció az volt, hogy ne dolgozzanak ki külön jogi szabályozást a digitális technika, az internetes felhasználás problémáira, hanem hogy a szjt. rendelkezéseit olyan tág és széles körben értelmezhető módon fogalmazzák meg, hogy ez alkalmas legyen a technikai fejlődés által felvetett problémák megválaszolására, ugyanakkor a törvényszöveg egyaránt vonatkoztatható legyen a hagyományos (könyvkiadás), a modern (hangfelvétel-előállítás, sugárzás) és a legújabb (interaktív, számítógépes hálózati szolgáltatások) felhasználási követelményeire.

A változásra, megújulásra kényszerítő technikai fejleményekre az új szerzői jogi törvény nem a szerzői jog rendszerének – tematikájának és terminológiájának – fel-

forogatásával, ötletszerű újításokkal válaszol, hanem a hagyományos kategóriák felhasználásával tartalmuk gazdagításával. [6] Az internetes felhasználás legfontosabb kapcsolódási lehetőségét a szerzői jogi törvény 26. § (8) bekezdése teremti meg a szerzői mű nyilvánosságához való közvetítésének internetspecifikus szabályozásával.

A szerző engedélyezési joga kiterjed különösen arra az esetre, amikor a művet vezeték útján, vagy bármely más eszközzel és módon úgy teszik a nyilvánosság számára közzétehetővé, hogy a nyilvánosság tagjai a hozzáférés helyét is idejét egyénileg választják meg. A szjt. itt jelentős újdonságként megfogalmazza az interaktív, ún. lehívásos műterjesztésnek azt a módját, melynél a nyilvánosság tagjai az általuk élvezni kívánt művet a kínálatból egyénileg választják ki tetszőleges időben és sorrendben. Ilyennek tekinthető a mű közvetítése internet útján. A törvény nem a nyilvánosság fogalmát értelmezi újra ehhez a felhasználási módhoz, hanem megállapítja, hogy az a közönség, amelyhez ezen módon jut el a mű, ugyanúgy nyilvánosságnak (tehát nem magánszférának) tekinthető, mint akár a nyilvános előadás, akár a sugárzás közönsége. Ekként tehát az internetes nyilvánosságához való közvetítés is a szerző kizárólagos engedélyezési jogkörébe tartozik. [7]

## Az internet és a szerző személyiségi jogai

### Névfeltüntetés

A szerző nevének feltüntetése a művén, amelyet a szjt. 12. § (1) bekezdése ír elő, az internetes felhasználás tekintetében is aktuális kérdés. A digitális környezetben még értelmezésre szorul a névfeltüntetés mint a személyhez fűződő jog alkalmazása. Az nem kétséges, hogy az eredeti formából digitális formába alakítás nem szünteti meg a kötelezettséget, hogy a mű címével együtt a szerző neve is átkerüljön ebbe az elektronikus formába.

Az viszont vitatott tehát, mikortól van olyan kötelezettsége a digitális rögzítőnek, hogy olyan azonosító jelet is rögzítsen, amely mint egy digitális vízjel, bár sugárzáskor, közvetítéskor nem hallható vagy látható, de gépi úton érzékelhető, és így lehetővé teszi a mű azonosítását. Ez ma az interneten a jogvédelem előfeltételének látszik.

### Az integritáshoz való jog

A digitális információáramlás erőteljes módon veszélyezteti a szerzők integritáshoz fűződő jogait. A mű integritásának sérelme esetén mind nemzetközi léptékben, mind a nemzeti jogi szabályozás szerint lehetőség van a fellépésre. Az USA-ban 1998-ban kibocsátott Digital Millennium Copyright Act direkt módon felelőssé teszi az internetszolgáltatót a hálózatra vitt és általa továbbított vagy jogszerűen többszörözött anyag mindennemű megváltoztatásáért. Ezt az előírást az EU jogrendszere is alkalmazza.

A fentiek értelmében az szjt. 13. §-ának rendelkezése a mű egységének a védelméről nyilvánvalóan az internetes felhasználásra is vonatkoztatható.



Itt figyelembe kell venni azt, hogy az szjt. 13. § úgy rendelkezik, hogy a szerzői mű jogtalan megváltoztatása ellen csak akkor lehet fellépni, ha az a szerző becsületére és a hírnevére sérelmes.

### Felelősség a honlapokért és hiperkapcsolatokért

A honlap tulajdonosa a honlapban foglalt, annak útján hozzáférhetővé tett anyagokért közvetlenül felelős a különböző jogági felelősségek szabályai szerint. Pl.:

- rágalmazásért és becsületsértésért a büntetőjog szabályai szerint,
- tiltott reklámért a reklámjogi előírások szerint,
- a szerzői jogi jogsértésekért a szerzői jog előírásai szerint.

A honlap tulajdonosa felel a honlapon alkalmazott hiperkapcsolatokért.

A hiperkapcsolat látható formája, a képernyőn megjelenő dokumentum eltérő szín használatával, aláhúzással vagy más hasonló módon kiemelt része, amelyre való rákattintással közvetlen kapcsolat létesíthető más dokumentumokkal vagy azok meghatározott részével, ideértve azokat, amelyek mások honlapján érhetők el. [5]

## Felhasználás az interneten

A szerzői jog felhasználási kategóriái közül a többszörözés, nyilvános előadás és a nyilvánosságához közvetítés jön figyelembe.

### Többszörözés az interneten

A Berni Unió Egyezmény és a WIPO Szerzői Jogi Szerződés (WCT) előírásai értelmében az interneten megvalósított felhasználás többszörözésnek tekinthető.

Megjelenésen a BUE értelmében a megjelent mű olyan, a szerző vagy jogutóda engedélyével bármilyen formában többszörözött művet kell érteni, amelyet azért terjesztenek, hogy biztosítva legyen a mű iránti kereslet kielégítése. A BUE értelmében valamely mű internet útján a nyilvánosságához közvetítése nem számít megjelenésnek.

A szjt. 18.§ (2) bekezdése értelmében többszörözésnek minősül a mű tárolása digitális formában elektronikus eszközön, valamint számítógépes hálózaton átvitt művek újraelőállítására rögzített információhordozón, pl. papíron, CD-n, DVD-n. A szerzőket megilleti az a kizárólagos jog, hogy műveikről bármely módon és formában csak az ő engedélyükkel készüljön többszörözés.

A valamely módon és formában történő többszörözés körébe belefér a számítógépeken, illetve az interneten nem dologi formában és ideiglenesen történő többszörözés.

Az internetről való többszörözés – mint szerzői jogi felhasználási mód – közismert a magyar szerzői jog szakemberek számára. [7]

Az internetről való többszörözés az alábbiak szerint értelmezhető.

Engedélyköteles felhasználásnak minősül a mű tárolása digitális formában elektronikus eszközön, valamint a számítógépes hálózaton átvitt művek anyagi formában való előállítására. Ez nem más, mint az interneten keresztül a hálózatba kerülő és onnan letölthető művek többszörözése, amelyre az szjt. szerint egy szerző vagy meghatalmazottja jogosult.

A digitális felhasználásoknál a rögzítés többnyire egy összetett folyamat eleme, de a rögzítés gyakran csak pillanatnyi vagy átmeneti, ezért időleges másolatok jönnek létre. A programok futtatása, az elektronikus információ hálózati továbbítása, az internetoldalak gépi böngészése időleges gépi másolatok sorozatával jár. Az ideiglenes rögzítés is engedélyköteles, minőségileg bővíti a mű felhasználási lehetőségeit, a szerző díjazása indokolt.

Példák a digitális többszörözésre:

- elektronikus szöveg digitális kimásolása CD-re a könyvtár által pl. látogató részére, vagy
- tömörített zenének az internetről az erre alkalmas hordozható készülékre való kimásolása, vagy
- rögzítés mágneslemezen, optikai lemezen, merevlemez tárolón.

Az szjt. 19. § (1) bekezdése a digitális hordozón terjesztett zeneművek többszörösét és (példányonként) terjesztését multimédiaműveken a közös jogkezelés körébe vonja.

A szjt. 19.§ (1) bekezdése értelmében többszörözésnek minősül a digitális hordozón terjesztett multimédiaműben vagy elektronikus adattárban való többszörözés.

E mű egyes részei különböző sorrendbe állíthatók, leghívhatók, kombinálhatók. Mű tárolása digitális formában elektronikus eszközön lehetséges. Ez pl. olyan internetszolgáltatók gyakorlata, akik zeneművek ezreiből elektronikus adattárat állítanak össze számítógépi memóriából – web site-ról, honlapról hálózati úton való lehívás céljára (music on demand).

### A terjesztés joga (szjt. 23. §)

A terjesztési jog elvileg valamennyi műfajra vonatkozik. A terjesztés a mű átruházását, bérbeadását, az adott országba behozatalát jelenti. A számítógépes adatbank on-line használata, bár a végpontokon eredményezhet műpéldányokat, mégsem terjesztés, mert nem maga a dologi műpéldány kerül forgalomba (kerül át), hanem jelátvitellel a küldő és fogadó között a rádiósugárzás-hoz hasonló nem anyagi közvetítés történik.

### A nyilvános előadás joga (szjt. 24. §)

Nyilvános előadásnak nemcsak az élő előadás számít, hanem a mű érzékelhetővé tétele bármilyen műszaki eszközzel.

A szjt. 24. § (2) bek. b) pontja kimondja, hogy előadásnak minősül a mű érzékelhetővé tétele bármilyen műszaki eszközzel vagy módszerrel, így például filmal-



kotás vetítése vagy a mű megszólaltatása hangszóróval, megjelenítése képernyőn.

A megjelenítés nemcsak a televíziókészülékek működtetését jelenti nyilvános helyen, de ilyen helyen a szöveg vagy kép megjelenítést is számítógépek képernyőjén. Legyen annak forrása akár helyi személyi számítógépen tárolt információ, akár helyi hálózaton, vagy világhálózaton továbbított információ.

### A mű nyilvánosságához közvetítése

A nyilvánosságához közvetítés nemcsak interneten lehetséges. Így nyilvánosságához közvetítésnek számít:

- hotelmozi-csatorna saját szerkesztésű műsoros videokazettákból,
- telefonos műsorszolgálat,
- telefonközpontokban várakozás közben lejátszott zene,
- az ún. emeltdíjas távbeszélő-szolgáltatások közben lejátszott zene.

A sugárzás szabályai nem alkalmazhatók az interneten az alábbi közvetítésekre, mint saját műsor közvetítésére:

- eredeti műsorszolgáltatás az interneten (webcasting),
- rádió- és televízióműsorok egyidejű internetes közvetítése.

Az egyidejű internetes közvetítés esetén az RTV elektromágneses sugárzás mellett másik, ezért új, különálló közvetítésről van szó, amire kifejezetten csak az RTV-sugárzásra jogosító szerződések nem terjednek ki.

Az interaktív, lehívásos műsorterjesztés újdonsága, hogy az ilyen műsorterjesztés során a felhasználók az általuk élvezni kívánt művet a kínálatból egyénileg választhatják ki tetszőleges időben és sorrendben. A törvény tehát nem a nyilvánosság fogalmát értelmezi újra ehhez a felhasználási módhoz, hanem megállapítja, hogy az a közönség, amely ugyanezen módon jut el a műhöz, ugyanúgy nyilvánosságnak tekinthető, mint a nyilvános előadás és sugárzás közönsége.

## Szabad felhasználás

A szabad felhasználás vagyis a szerzői művek díjtalan és szerzői engedélyhez kötött felhasználása az interneten is jelentős méreteket ölt. Csak nyilvánosságra hozott művek használhatók fel.

Az elektronikus felhasználások lehetőségei kétségkívül új helyzetet teremtettek. A végtelen számú, azonos minőségű, elenyésző költségű többszörözés könnyű közvetítés személyek és csoportok között, amely tartós példányokat is eredményezhet, általános lehetőség arra, hogy bárki az elektronikusan tárolt műhöz hozzáférjen.

A szabad felhasználás számos esetben, így magáncélú másolatok készítése, híryanagot tartalmazó közlemények megjelentetése, vizuális alkotások digitális hordozókon való szabad felhasználása – zártkörű előadás – analóg vonásokat mutat a szerzői jog korlátai között bemutatott szabad felhasználással, azonban eltérő, speciális, jellemzői is vannak.

A szjt. 35. § (1) bekezdése szabályozza a magáncélú másolások kérdését. Ebben a vonatkozásban is felmerül az internetes másolatkészítés.

A magáncélú másolás az interneten való felhasználás körében gyakori. Célja lehet szórakozás, tanulás, ismeretszerzés, mint a szabad felhasználás általános fajtái vonatkozásában.

Az internetről magáncélú kimásolás tárolóba attól függően szabad felhasználás, hogy az interneten levő zeneművet már előzőleg, jogszerűen nyilvánosságra hozták-e. Zenekarok, előadóművészek saját honlapján saját program megjelentetése nyilvánvalóan jogos. Zeneművek otthoni saját másolása, továbbá irodalmi művek saját átmásolása szövegszerkesztővel vagy más formában történő mechanikus vagy elektronikus másolása megengedett.

Teljes könyv, folyóirat, napilap számítógépes másolásának tilalmát az indokolja, hogy nem életszerű, hogy ilyen szövegeket számítógépbe magáncélra gépeljenek be, vagy más módon rögzítsenek. Ha viszont az mégis megtörténik, az internet és az otthoni CD-írás korában túl nagy a veszélye annak, hogy az ilyen másolat a rendes felhasználással (kiadással) fog versenyezni. Nem szabad arról elfeledkezni, hogy *nem szabad felhasználás* magáncélú másolat készítése szoftverről, vagy adattárról, és ha a műről számítógéppel vagy elektronikus adathordozóra mással készítettnek másolatot.

Híryanagok, közlemények a forrás megjelölésével szabadon átvehetők. Átvételre bárki (nemcsak a sajtó) jogosult. Így a tényszerű közlemény átvétele on-line felhasználásra kialakított adattárba is, az üzleti cél sem kizáró ok.

Nyilvánosan kiállított képzőművészeti, fotóművészeti, építészeti, iparművészeti és ipari tervezőművészeti műveket mind a napilapok és a folyóiratok, mind a műsorszolgáltatók híradói és más időszervi műsor-számai bemutatathatnak. A digitálisan rögzített példányokon (CD stb.) terjesztett folyóiratokra és az internetre is vonatkozik ez a szabad felhasználás. A szabad felhasználás körében a szjt. 38. § (1) bekezdése említi a magánhasználatra vagy alkalomszerűen tartott zártkörű összejöveteleken elhangzott előadásokat.

### Ideiglenes többszörözés mint szabad felhasználás

Az ideiglenes többszörözés szabad felhasználásnak minősül a szjt. 35. § (6) bekezdése értelmében, ha kizárólag az a célja, hogy megvalósulhasson a műnek a szerző által engedélyezett és a törvény szerint megengedett felhasználása, feltéve, hogy nincs önálló gazdasági jelentősége. Ez elsősorban a digitális mű továbbítása során a számítógépen ideiglenesen megjelenő közzébeeső művekre terjeszti ki a szabad felhasználást.

A szabad ideiglenes többszörözés esetkörébe tartoznak:

- interaktív (lehívásos, internet típusú on-line) közvetítés. A honlapokra, tárolókba műveket rögzítő tartalomszolgáltatók nyilvánosság számára hozzáférést biztosító személyeknek minősülnek;
- böngészés, keresés (browsing) a felhasználó szempontjából mindig szabad felhasználásnak minősül;



- kutatás megkönnyítése, szoftverekkel (search engine).

A szabad felhasználás és a díjköteles felhasználás közötti határ nagyon keskeny, elmosódó. Az olyan közbelső tároló, amelynél plussz minőségi szolgáltatás lehetősége jelenik meg – pl. szervertartalom kihelyezése, átmásolása egy más gépre abból a célból, hogy ahhoz bármely használó gyorsabban hozzáférhessen (mirror caching) már nem minősül szabad felhasználásnak, mert önálló gazdasági jelentősége van.

## A közös jogkezelés és az internet

A szjt. 85. § szerint közös jogkezelésnek minősül a szerzői művekhez, az előadóművészi teljesítményekhez, a hangfelvételekhez, a sugárzott vagy vezetéken átvitt műsorokhoz, valamint a filmelőállítói teljesítményekhez kapcsolódó és a felhasználás jellege, illetve körülményei miatt egyedileg nem gyakorolható szerzői és szomszédos jogok érvényesítése a jogosultak által erre létrehozott szervezet útján, függetlenül attól, hogy azt a törvény írja elő, vagy a jogosultak elhatározásán alapul.

A közös jogkezelés tárgya a szerzői jogi törvényben védett alkotások bármelyike lehet. Egyes jogosultságokra a szjt. kötelező jelleggel előírja, más esetekben a jogosultak önként valósítják meg.

Az interneten az engedélyezési jogok vagy díjigények érvényesítésének gyakorlati nehézségek állják útját. Sem a szerző, sem az internetszolgáltató nincs abban a helyzetben, hogy megállapíthassa, ki mikor és milyen mértékben használta a művet, továbbá nem képes külön-külön tárgyalni a felhasználókkal és behajtani a kikötött jogdíjat. Az internetfelhasználótól sem lehet elvárni, hogy felkutassa mindazon művek szerzőinek, előadóinak címét, amelyeket a felhasználandó művek hosszú listájára fel akar venni, és nem képzelhető el, hogy minden műre, előadásra, hangfelvételre, egyedileg előre kialakítja a felhasználás feltételeit.

Az internet decentralizált jellege miatt ezen a felületen az egyes jogosultak által történő egyedi joggyakorlás lehetetlen, ezért a jogkezelésnek igazodnia kell az internet műszaki adottságaihoz. A közös jogkezelés arra hivatott, hogy szabályozza, ellenőrizze és rögzítse a szerzői alkotások felhasználását, az interneten megállapítsa, érvényesítse és szétossza a jogosultaknak járó jogdíjakat.

## Szerzői jogsértések az interneten

Az interneten elvileg minden szerzői alkotás felhasználható. Az engedély nélküli felhasználás az interneten szerzői jogbitorlásnak minősül, melynek következményeit az szjt. 94–97. szakaszaiban foglaltak figyelembevételével kell alkalmazni.

A számítógép-használat természetessé válása, a számítógéprendszerek elégtelen védelme, valamint az internet mindennapos használata, párosulva a haszon-

szerezés vágyával, mindinkább növelik a szerzői jogok jogsértésének lehetőségét az interneten. [5]

Az interneten történő jogsértések elterjedését az a divatosá vált szemlélet is támogatja, miszerint az internet által létrehozott „kibertérben” a jognak – legalábbis az egyes államokban megalkotott, vagy kormányközi szervezetek által kezelt nemzetközi egyezményekben rögzített jogi normák érvényesítésének – nincs helye. Eszerint az interneten a használók döntenek arról, hogy mit csinálhatnak, intézményes szabályokra nincs szükség, elegendők az önszabályozásra épülő, nem kötelező hatályú normák (netikett). [8]

Ez az elmélet különös tekintettel az interneten kialakult bűnözésre, elfogadhatatlan.

Az internet segítségével elkövetett jogsértések vonatkozásában igen gyakori a szerzői és szomszédos jogok megsértése és a szoftverkalózkodás. Ez ugyan egyidős a személyi számítógépek elterjedésével, de számuk az internet fejlődésével növekszik. A kalózok a világhálón keresztül behatolnak olyan szerverekre, ahonnan értékes szoftvereket másolhatnak ki, ezeket pedig továbbadják. Internetes kalózkodásnak számít az is, ha a kereskedelmi szoftvert felteszik a website-re, ahonnan ellenértékért vagy ingyen letölthetők. Ezek az úgynevezett „warez” fájlok. [8]

## Az interneten megvalósuló jogsértések leküzdésének problémái

Az interneten megvalósított jogsértések tömegesek, leküzdésük az alábbiak miatt nehéznek látszik:

- Az internet speciális jogi szabályozása nem valósult meg. Szabályozás híján az internet jogi szabályait analógiák útján próbálják megoldani.
- Az internetet nem szabályozza a médiajog.
- Nem szabályozott a felelősség.
- Az internet-tartalomszolgáltatók azonosítása (elektronikus aláírással) nincs megoldva.
- Az internetes csatornák nem számítanak nemzeti vagyonnak, mint például a frekvenciák. Ezért értelmetlenek a tartalmi kikötések, pl. mennyi reklám legyen a honlapon.

## Irodalom

1. Internet az egész világ. EASY Internet 2000/1.
2. Ficsor Mihály: Az internet jogikérdései. Pázmány Péter Katolikus Egyetem jegyzete. Budapest, 1999
3. Kövi László: A szerző jogvédelmi eszközei az interneten. Diplomadolgozat PPKE-JÁK. Budapest, 2000
4. Gyertyánffy Péter: Jogharmonizáció az információs társadalomban. Magyar Tudomány 1998/2
5. Ficsor Mihály: Segédanyag az internet jogi kérdéseiről. PPKE-JÁK, 1999
6. Ifj. Ficsor Mihály: A szerzői jogi törvény Viva Média Holding. Budapest, 1999
7. Mann Judit: Jó tudni, hol mi változott a szerzői és kiadói jogban. Perfekt Kiadó, Budapest
8. Veress Jenő: Hálózati bűnözés. De Jure. Jogászok Társasági Magazinja. 2000. november



## Behálózott gazdaság – tudástársadalom

A HTE ez évben is megrendezte az INFO 2001 Nemzetközi Informatikai és Kommunikáció-technológia Szakkiállításal párhuzamosan tartott szakmai napját. Idén kilenc előadás hangzott el a Behálózott gazdaság – tudástársadalom címet viselő konferencián. A délelőtti szekció, melyet dr. Pap László, a HTE elnöke vezetett, főként a gazdaság és a társadalmi aspektusok oldaláról közelítette meg a kérdéskört részint hazai, részint EU-látószögéből. A konferencia délutáni szekciója, melyet dr. Sallai Gyula, a HTE alelnöke vezetett, az infokommunikáció néhány izgalmas területére kalauzolta el a szépszámú hallgatóságot.

Az első előadó, Vértes András, a Gazdaságkutató Intézet vezetője az infokommunikáció fejlődésének a hazai gazdaságra gyakorolt hatását mutatta be a következő évekre vonatkozóan. Ami a hírközlést illeti, ennek az ágazatnak a GDP-hez való hozzájárulása már 4% körül van, tehát nagyobb, mint a teljes mezőgazdasági szektor. Ez az érték néhány éven belül a 6%-ot is meg fogja haladni. Ami a GDP növekedésére gyakorolt hatást illeti, ez a liberalizáció utáni néhány évben 1% körüli, majd később 0,3-0,4%-os lesz. Vértes szerint a liberalizáció következtében évi 6-8%-kal csökkenő tarifák az inflációra is jótékony hatással lesznek, ez a faktor kb. 1 százalékponttal lesz alacsonyabb, mint a liberalizáció hiányában lenne. Összefoglalóan azt lehet mondani, hogy az infokommunikáció fejlődésére nem szabad makrogazdasági álmokat építeni, de hatásai mindenképpen kedvezőek lesznek.

Tamás Pál, az MTA Társadalmi Konfliktusokat Kutató Intézetének az igazgatója a hazai társadalmi hatásokat elemezte előadásában. Megállapításait öt pontban foglalta össze. Elsőként leszögezte, hogy a nagy csodavárás időszaka itthon is lezárult, már látható, hogy az informatika nagyon fontos elem, de csodát tenni nem fog. Ez egy jó tendencia, mert helyére kerül a szerepe, s ez utat nyithat a reális fejlődési folyamatok előtt. Másodikként leszögezte, hogy korai még itthon a digital divide – az informatikai megosztottság – hatásait mérni, elemezni, mert a lakosság 3-4%-a rendelkezik csak internethozzáféréssel. Ez a 60-as évek televíziós elterjedtségének a szintje, s abból a korszakból hiába következtettünk volna a mai tv-használati szokásokra, az sem sikerült volna. A harmadik gondolat a hazai informatikai fejlődés ütemével foglalkozott. Tamás megállapította, hogy míg Nyugat-Európa a GDP 2,3-2,4%-át fordítja IT-beruházásra, addig Magyarország csak ennél kevesebbet, miközben maga a GDP is jóval alacsonyabb. Ezzel jó esetben is csak a lemaradásunkat tudjuk konzerválni. Negyedikként a Budapest és a vidék közötti különbség és a középosztály kiürülése miatt kialakuló problémákra figyelmeztetett, míg az utolsó pontban változó – vagy inkább visszaforduló – geopolitikai szerepünkre és ennek informatikai hatásaira tért ki. Tamás Pál szerint újra mi letünk Nyugat-Európa balkáni kapuja, s ennek megfelelően alakul át déli városaink társadalmá, szerepe is.

Fodor István, az Ericsson Magyarország vezetője az internet és a mobilitás mint két meghatározó trend hatásait mutatta be a hallgatóságnak. Az internet már komoly hatással van az életünkre, új foglalkozásokat, iparágakat hoz létre, miközben mindent felgyorsít, átalakít. A mobilitással társulva együttesen határozzák meg a jövőt, ahol a QoS helyett már a QoL, a Quality of Life lesz a meghatározó. Már látszik, hogy az internet helyett jön a hypernet, a 3G után 2010-2012 körül jön a 4G, a mobilitás felnőtt korszaka. Ezt a távoli jövőt azonban most kell megalapoznunk, a következő 2-3 évben, mert a késlekedés most komoly hibát jelentene.

Dr. Schmideg Iván azt mutatta be előadásában, hogyan érvényesül az EU szabályozási rendszere az egyes tagországokban, és részletesen ismertette, mely országok milyen témában részesültek elmarasztalásban, büntetésben: többek között Belgium a hatóság gyengesége miatt, Görögország az elnöki dekrétumokkal bevezetett direktívák okán, Németország az érvényszerzés hiánya miatt. Különösen érdekes volt, hogy az Egyesült Királyságot oly sokat emlegetett hatóságának, az OFTEL-nek a feladatokhoz képest kis létszáma s a magas fluktuáció miatt marasztalták el.

A délelőtti szekció zárásaként Szeffő Balázs, a Carnation vezetője a dotkom cégek összeomlásának okait elemezte és hasonlította össze az 1929-es tőzsdei krach lefolyásával.

A délutáni szekcióban Sugár András, a Westel Rt. vezérigazgatója a mobilitás társadalmi vízióját fogalmazta meg, Kárpáti Rudolf, az Antenna Hungária Rt. marketingigazgatója pedig a digitális televíziózás rejtelméről tartott érdekes előadást. Dr. Thúróczy György egy sokat emlegetett témáról, a mobilrendszerek bázisállomásairól mondta el mindazokat a tényeket, amiket ma tudni lehet. Végezetül Szalay Dorottya, a UPC képviselőjében a kábeltelevíziós piac fejlődéséről, annak buktatóiról és a közelgő multimédia-kommunikáció világról festett képet.

Összességében a rendezvény igen plasztikus áttekinthető képet adott az infokommunikáció fejlődési lehetőségeiről, a társadalom, a gazdaság egészére, de az egyének életformájára, lehetőségeire való kihatásairól is, nem hallgatva el azokat az esetleges problémákat, veszélyeket, melyeket időközben valamilyen módon közös erővel orvosolnunk kell.

*dr. Bartolits István*



# Hirdetni jó – mobilon!

HORVÁTH GYULA

távközlési tanácsadó mérnök

*Ez a vágya sok hirdetési vállalatnak, amelyeknek már alig van új ötletük mosószer újszerű hirdetésére a televízióban, pedig a mosószernek szorulnak leginkább hírverésre. Itt van viszont az új vezeték nélküli technika, amibe, mint valami mentőövbe, talán meg lehet kapaszkodni.*

## Nézzük először a lehetőségeket!

Ismeretes, hogy nem hanginformációkat a meglévő mobilhálózatokon SMS formájában, vagy WAP esetén a mobilkészülékről PDA-ra továbbított kép alakjában lehet küldeni. Az SMS-ek terjedelme erősen behatárolt (160 karakter), a képernyők, ahol a kapott kép megjelenhet, szintén korlátozott méretűek. Ezek a körülmények nem döntő akadályok, de komolyan figyelembe veendőek. Előny viszont, hogy a hirdetés tárgyát (terméket vagy szolgáltatást) akár hagyományosan az eladó (küldött hirdetés), akár a WAP által lehetővé tett kétirányú kapcsolatot kihasználva a potenciális vevő (hívott hirdetés) határozhatja meg. A két lehetőség kombinálható úgy is, hogy az eladó ajánlatát SMS formájában juttatja el a megcélzott vásárlónak, hivatkozással a WAP vagy internet útján elérhető helyre. Másfajta hirdetések WAP-portálokon található helyekre vezető WAP-linkekre utalnak.

Miután jelentős elméleti és gyakorlati támpontok nem állnak rendelkezésükre, kaliforniai hirdetési szakemberek (pl. a SkyGo cég marketingesei) szimulációs kísérletekkel próbálták meg fölmérni, hogy milyen hirdetésekkel lehet a mobilkészülékek használóit vásárlásra bírni. [1] Reményt keltő, hogy a rövid, meglepő mondatok vagy félmondatok, találó, humoros rajzok úgyis divatosak. A kísérletek eredményei még nem nyilvánosak, de az amerikai elemzők már figyelmeztetnek: az amerikai mobilhasználók alig fognak átlagosan havi 20 percnél (napi 40 másodpercnél) több reklámot eltűrni. Ha van WAP-hozáférésük, szerintük havonta 45 percet (napi másfél percet) szánnak majd hirdetésekre. Ezt az időt tehát jól ki kell használni.

A mobilkészülékek nagy előnye, hogy azokon – WAP használatával vagy a nélkül – célzott hirdetéseket lehet olcsón küldeni és ezeket ugyanolyan kényelmesen, mint a postán érkezetteket átnézni. Európának

további előnye Amerikával szemben, hogy az európai országokban egységesen bevezetett GSM-et használja, a többféle amerikai szabványú második generációs (2G) mobilrendszerektől és a nagyon elterjedt PDA-któl (személyi digitális segítő) eltérően. [2]

A hirdetések finanszírozására és tartalmuk előállítására többféle módszer alkalmazható. A hirdetővállalatok gyakorlottak a hirdetés elkészítésében és megbízójuk testére szabásában. A költségeken a távközlési vállalattal osztozkodhatnak, de az is rendjén van, ha a hirdetés megrendelője rögzített összeget fizet. Mindenesetre a vezeték nélküli hirdetés jóval drágább, mint az online hirdetés. A szokásos mértékegység az ezer címzettre gyakorolt hatás költsége (CPM). Például egy digitális marketingre specializált seattle-i cég (Avenue A) szerint egy egyirányú SMS-formátumú üzenet CPM-je az Egyesült Államokba 8-10 dollár, míg kétirányú WAP-formátumú üzenetek CPM-je 20 és 50 dollár között van. Az Egyesült Királyságban SMS-üzenetek CPM-je 50-60 dollár, míg WAP-üzenetek CPM-je bárhol 80-100 dollár. Ezek a költségek sokkal magasabbak, mint az online hirdetéseké. Ebből a Forrester tanácsadó cég szerint az következik, hogy a WAP-portálok sem kérhetnek sokkal többet, mint az internet, pl. 5 dollárt CPM-enként.

Az elszámolást nehezíti, hogy igen nehéz visszajelzést kapni arról, hogy az egyes megcélzott személyek a hirdetésre hogyan reagáltak, különösen ha az SMS-formában van. Ezért a SkyGo említett kísérletében a WAP-ra szorítottak. Számos hirdető cég már dolgozik a visszajelzés technikáján, és ez fontos témája az olyan globális szervezeteknek is, mint a Wireless Advertising Industry Association (WAIA, vezeték nélküli-hirdetés ipari szövetség). [3]

A WAIA-ban tömörült hirdetési vállalatok a mobiltechnikát a hirdetések számára is egészen új csatornának tekintik. A hirdetési technikát szerintük az ala-



poktól kezdve újra kell gondolni, eljutva a mobilhírközlés felhasználásáig. Új paradigmák kellenek az üzenetek eljuttatása, a mérés és szabályozás céljára. A hirdetések befogadására új közönséget lehet teremteni, de még sok munka szükséges – elsősorban szabványok megalkotásában, hogy a ma még éretlen mobilhirdetési szakma idejében érje el a kritikus tömeget, a kiváló paramétereket –, nehogy a közönség elutasítsa.

Az *Ovum* kutatási igazgatója szerint az amerikai, európai és a japán piac eltérő. Az első kettő még gyerekcipőben jár, és 5 éven belül nagy fejlődés alig várható, egyelőre csak Japánban indult jól a piac, nem kis mértékben *DoCoMo* i-mode megoldásának köszönhetően. A piac 2003-ra lesz nyereséges, majd 2006-ra 16 milliárd dollárra nő. Japánon kívül jó esélye van még az olyan országoknak, mint Olaszország, ahol az internet kevésbé elterjedt, de majdnem mindenkinek van mobiltelefonja.

## Esettanulmányok

A *Telia* [4], a svéd távközlési vállalat, SMS- és WAP-kampányt indított a 118-118 számon hívható tudakozószolgálatának célzott előfizetők körében ismertté tételére. A *Halebop* (nyílt mobilportált rendelkezésre bocsátó szolgáltató, amely szolgáltatásait tekintet nélkül a telefonáló tartózkodási helyére és az általa választott mobilszolgáltatóra, díjmentesen nyújtja) portálon keresztül az érdeklődők bárhol, bármilyenfajta telefonról, kézi vagy személyi számítógépről munkaidő alatt, ingyen hívhatnak, kívánságra SMS- vagy WAP-formátumban. Cél az előfizetők gyors elérése éppen akkor, amikor a szolgáltatásra szükségük van, továbbá a mobilképernyő hatásának kihasználása a cég márkájának bevésésére.

A kampány során elért személyek életkora 15 és 45 év között volt. 4,19%-uk kattintott a részleteket ismerető weblaphoz vezető linkre. Ez az arány meghaladta a korábbi tapasztalatok alapján vártat.

Egy másik kampány megrendelője, a *Kilroy Travels* utazási iroda csak villámlevél e-mail kapcsolatot kért. Elérték a célcsoport 10 184 tagját, egyenként 0,24 euró árán. Közülük 1289, vagyis 12,66%-uk kereste föl a megrendelő weblapját, ami igen jó eredmény. A teljes költség 1,91 euró volt kattintásonként.

## Kitekintés

Az elmondottak tovább erősítik a megfontolt tanácsadók véleményét, mely szerint a „hirdetés mobilon” sorsa is azt fogja szemléltetni, hogy egyre inkább – végül teljes egészében – a tartalom minden szempontból jó minősége fogja eldönteni, hogy a kiforrott csúcstechnikával készített, de sokszor túlozva és idő előtt beharangozott újdonságok teret nyernek-e a piacon, vagy csöndben elsüllyednek a használhatatlan áruk és szolgáltatások között. Esetünkben ettől függ, hogy a címbebeli vágyalom valóban ténnyé változik-e, vagy csak egy megghiúsult óhaj marad.

## Irodalom

1. Jane Hodges: Ads on the go, On The new world of communication, April 2000, pp: 24.
2. Johan Andersson: Old continent, new tricks, On The new world of communication, April 2000, pp: 26.
3. [www.adforce.com/wais](http://www.adforce.com/wais)
4. <http://www.telia.se>



# Könyvet ajánlunk

## Gratulálunk

A mikroelektronikai ipar állandó gyors fejlődése egyre bonyolultabb, „intelligens”, (**Intellectual Property, IP**) készen kapható funkcionális egységeket kínál építőelemekként a tervezőknek. Az ilyen komponensek (IP-k) adaptálhatósága, programozhatósága és rekonfigurálhatósága kedvező lehetőséget nyújt azonos típusok ismételt felhasználására (**reusing**). Ily módon a tesztelés és a gyors prototípus-készítés kisebb ráfordítást igényel.

Ezzel szemben a többé-kevésbé egzakt logikai szintézis módszertana, amely viszonylag egyszerű építőelemek (kapuk, flip-flopok, regiszterek, számlálók stb.) alkalmazásán alapul, gyökeres változtatásra szorul. A megoldandó feladatból kiinduló rendszerspecifikáció ugyanis már elképzelhetetlen a komplex építőelemek (IP), kezelésével, mint konkrét erőforrásokkal.

Jóval magasabb absztrakciós szintről kell indítani a tervezési folyamatot, amelyet emiatt **rendszerszintű szintézisnek** (system-level synthesis, SLS) neveznek. A kiindulási magas absztrakciós szinten a **viselkedési specifikációból** (behavioral specification) kell kiindulni, amely fiktív viselkedési összetevők együttműködésének leírása.

A rendszerszintű szintézis további lépéseiben olyan dekompozíciós algoritmusra van szükség, amely a teljes rendszert felbontja előre definiált IP-kre. Ennek során sokszor egymásnak ellentmondó peremfeltételek mellett (az IP-k közötti kommunikáció sebessége, a vezérlési struktúra egyszerűsége, az ismételt felhasználás mértéke, a különböző költségtényezők egymáshoz képesti aránya, pipe-line működés biztosítása stb.) kell a lehető legkedvezőbb megoldásokat megtalálni, lehetőleg szisztematikus lépésekben.

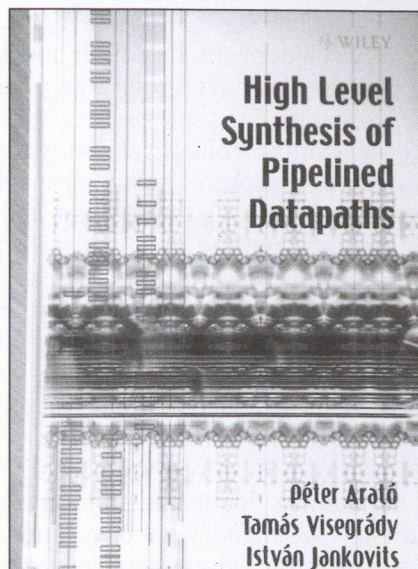
A gyártók az IP-k egyre növekvő választékát kínálják. Az IP-k között teljesen programozható cél- és általános processzorok is megjelennek (pl. DSP). Ezáltal a rendszerszintű szintézis egyre inkább olyan felépítést eredményez, amely hardware és software összetevőket egyaránt tartalmaz. Így a hardware-software együttes tervezés (**hardware-software codesign**) része a rendszerszintű szintézisnek.

A tervezés automatizálása (**design automation**) döntő jelentőségű a rendszerszintű szintézisben, mert a legtöbb lépés NP-teljes jellegű, így nem mindig kerülhetők el a közelítő optimumkereső eljárások. A technológiai fejlődés következtében egyre komplexebb rendszerek hozhatók létre egyetlen integrált áramkörtokban (**System on Chip, SoC**) a fentiekben vázolt felülről lefelé haladó (top-down) metodika szerint a magas absztrakciós szintű viselkedési specifikációból kiindulva.

A magas szintű specifikáció általában valamilyen magas szintű programnyelven történik, miáltal a számítógéppel segített automatikus tervezőeljárások (CAD tools) bemeneti adatai közvetlenül képezhetők. A viselkedési szintről kiinduló szisztematikus tervezési lépéseket elsőként az ún. magas szintű szintézishez (**high-level synthesis, HLS**) kezdték alkalmazni a 80-as évek közepétől. A HLS-algoritmusok főként a nagy sebességű célhardware-ként megvalósított jelfeldolgozó eszközök struktúrájának optimalizálását támogatják. A HLS-algoritmusok többsége kiterjeszhető és alkalmazható a rendszerszintű szintézis céljaira. Ezen belül a HLS-algoritmusok előnyösen alkalmazhatók pl. az IP-k tervezéséhez is. A HLS-algoritmusoknak támogatniuk kell a pipeline üzemmódban is működtethető struktúrák optimalizálását.

**P. Arató–T. Visegrády–I. Jankovits: High Level Synthesis of Pipelined Datapaths** könyve a pipeline adatfeldolgozást megvalósító célrendszerek tervezésére mutat be didaktikus felépítésben egy módszert, amely a szerzők – a BME Irányítástechnika és Informatika Tanszékének oktatói – kutatási eredményein és oktatási tapasztalatain alapul. A könyvhöz CD-n mellékelt PIPE tervező programrendszert az olvasó mind a benchmark-feladatoknak, mind a saját feladatainak megoldásához egyaránt alkalmazhatja.

Bár a könyvnek nem célja a magas szintű szintézis szakirodalmának teljes körű feldolgozása és bemutatása, a leglényegesebb elvek és módszerek összefoglalása révén mégis segítséget nyújt a szakirodalmi





eredmények megismeréséhez és értékeléséhez. A bemutatott modell és módszer főként az alábbi szempontokból tekinthető különbözőnek a szakirodalomból ismert releváns megközelítésekhez képest:

1. Az algoritmusok mindig pipeline-működést tételeznek fel (a nem pipeline-esetet a pipeline speciális eseteként kezelik, amikor az újraindítási idő egyenlő a lappangási idővel), továbbá a kívánt újraindítási idő előre megadható.
2. A viselkedési modell olyan speciális szinkron adatfolyamszerű (dataflow-like) elemi műveleti gráf, amelynek alapján egyszerűen elkerülhetők az időzítési és hazárdproblémák a magas szintű szintézist követő tervezési lépések során.
3. Az adatszinkronizáló algoritmus közvetlenül szolgáltatja az ASAP (minden művelet a lehető legkorábban indul) és az ALAP (minden művelet a lehető legkésőbb indul) ütemezést. E két szélső eset közötti bármely ütemezés egyszerűen képezhető a szinkronizáló késleltető hatásoknak, mint fiktív, egymás után kapcsolt pufferregisztereknek az adatutak mentén történő mozgatása révén.
4. Az előre megadható kívánt pipeline újraindítási idő a minimális számú pótlólagos pufferregiszter beépítésével és/vagy a minimális számú műveletnek a lehető legkisebb példányszámú többszörözésével (strukturális pipeline) valósítható meg.
5. Az algoritmusok kiterjeszthetők többfelhasználós rekurzív hurkokat tartalmazó alkalmazások esetére is.
6. Az allokációs algoritmus a páronként nem konkurens műveletek közötti kompatibilitási relációra alapulva a maximális kompatibilitási osztályokból képezhető fedőrendszer meghatározásán alapul.

A könyv külön fejezetben foglalkozik a magas szintű szintézis felől közelítve a hardware-software együttes tervezés (codesign) és a rendszerszintű szintézis alapfogalmaival és fejlődési irányjaival. Ugyancsak külön fejezetben szerepelnek a gyakorló feladatok megoldásokkal együtt.

A könyv a graduális és posztgraduális egyetemi képzés mellett mindazoknak a villamosmérnököknek és műszaki informatikusoknak is ajánlható, akik kutató-fejlesztő munkájuk során komplex jel- és adatfeldolgozó célrendszerek tervezésével foglalkoznak.

A könyv azonos címmel 1999-ben jelent meg itthon angol nyelven a Panem Kiadónál, ennek kiterjesztett változatát jelentette meg az igényes és nagy hírű John Wiley & Sons Kiadó 2001-ben.

Az egyik szerzőt, *Arató Pétert* az MTA májusi közgyűlésén az Akadémia levelező tagjává választották, továbbá ő lesz a következő négy évben a Villamosmérnöki és Informatikai Kar dékánja. Mindkettőhöz külön-külön is gratulálunk.



# ELEKTRO 2001

NEMZETKÖZI TUDOMÁNYOS KONFERENCIA A ZSOLNAI MŰSZAKI EGYETEMEN

DR. LAJTHA GYÖRGY

*egyetemi tanár*

A Zsolnai Műszaki Egyetemen a Villamosmérnöki Kar minden páratlan évben külföldi előadók és vendégek meghívásával konferenciát szervez. A kar felépítésének megfelelően 4 szekcióban folynak az előadások, de vannak olyan kiemelt témák, melyeken több szekció hallgatósága is részt vesz. Az egyetem szoros kapcsolatban van a szlovák vasutakkal, ezért minden szekcióban kiemelt szerepet kapnak a közlekedéssel kapcsolatos témák. Újabban az erőművek és az áramszolgáltatók is érdeklődést mutatnak, és ezért az erőáramú szaknak megfelelő előadások ez évben kiemelt szerepet kaptak.

A távközlés szekció ez évben ugyancsak a felhasználók támogatásának megnyerése céljából az informatikai és biztonsági tanszékkel együtt tartotta üléseit. A karhoz tartozó negyedik tanszék megfelel a hazai fizika, villamosságtan és alkalmazott matematika tanszékeknek, és elnevezése a villamosmérnöki tudományokhoz kapcsolódó alapismeretek. E szoros kötődések ellenére az előadások szélesebb spektrumot mutattak.

Néhány témát érdemes megemlíteni. Elsősorban a fényvezető technikai ismeretek területén jeleskedtek. Aktív optikai hálózatok, VDM-rendszerek mellett az elméleti tanszék dolgozói érdekes új kérdéseket vetettek fel. Egyik előadásuk a módusok közötti interferenciákat tárgyalta különböző fényvezetők esetén, és a hossz függvényében meghatározta, hogy milyen távolságig lehet a különböző módusokon különböző információt átvinni. Hasonlóan tanulságos volt az a vizsgálat, melynek során a törésmutató-ingadozás és az átviteli jellemzők közötti kapcsolatot vizsgálták. Itt nemcsak a véletlenszerű ingadozások hatását akarták meg-

határozni, hanem a tervszerűen kialakított profillal igyekeztek a különböző átviteli jellemzőket befolyásolni.

A másik érdekes és általánosan hasznosítható téma volt a forgalmi modellek kérdése. Mind vezeték nélküli hálózatokra, mind ATM-rendszerekre végeztek méréseket, és ezeket általánosították. Különleges fontosságú volt számukra, hogy bizonyos információk minden torlódás vagy hiba ellenére célhoz érjenek. Ez természetes ha a vasúti jelzések átvitelére és az automatikus menetirányításra gondolunk.

A két súlyponti témán kívül a kutatási programjukban szerepelt a szélessávú előfizetői elérés, a mesterséges beszéddel működő információs rendszer, a kiterjesztett spektrumú rádiós rendszerek biztonságos alkalmazása és a véletlenszerű események kölcsönhatásának vizsgálata. Bár biztonsági rendszerek vizsgálatára alkalmazták, de ennél lényegesen általánosabb eredményeket vezettek le a Fuzzy-logikára épülő ellenőrző rendszer kidolgozása során. Mivel ezen túlmenően is többször elhangzott a Fuzzy-logikai számítások alkalmazása, ezért ebben a témában a Zsolnai Műszaki Egyetem egyik fiatal kutatójának a cikkét a közeljövőben közöljük.

A Zsolnai Műszaki Egyetem kutatásait áttekintve meglepő az, hogy ezeket nem nagy ipari cégek, internacionális nagyvállalatok finanszírozzák, hanem főként szolgáltatók. A témák kitűzése szintén ezen vállalatok aktuális problémáit tükrözik. Érdekes, hogy a szolgáltatók nemcsak diplomatervezésben, hanem a doktoranduszképzés során is aktív részt vállalnak a fiatal szakemberek szakmai profiljának kialakításával. Jellemző erre, hogy berendezésfejlesztési kutatások nem szerepeltek a programban. Ennek ellenére sikerült számos újdonságot és érdekes eredményt bemutatniuk.



# Hírek

## A bank- vagy az IT-szektor fizet a legjobban?

A bank- vagy az IT-szektorban munkát vállalók számíthatnak a legkedvezőbb jövedelmekre a Jobpilot komparatív fizetési felmérése szerint. A bankok részlegvezetőinek vagy osztályvezetőinek évi bruttó 10,7 millió forintos keresete és a beosztott munkatársak havi bruttó 220 ezer forint körüli jövedelme egyaránt a legmagasabbak közé tartozik magyarországi viszonylatban.

Egyre többen vesznek részt a Jobpilot internetes fizetési felmérésében, amellyel saját helyzetüket ismerhetik meg az alkalmazottak a munkaerőpiaci versenyben. A program iránti érdeklődésnek köszönhetően folyamatosan gyarapodó mintából készülnek a kimutatások, így azok végeredménye is egyre reálisabb, már érdemessé vált az elemzésre.

Az eddig feldolgozásra került adatok szerint az IT-szektorban beosztottként egyes szélsőséges esetekben akár 800 ezer forint havi bruttó fizetés is előfordulhat, de nem ez a jellemző. Projektvezetői vagy csoportvezetői beosztásban átlagosan havi bruttó 370 ezer forint körül lehet keresni, de előfordulnak félmillió körüli havi összegek is. A felmérésből kitűnik, hogy az ezen a piacon tevékenykedők elsősorban mérnöki, informatikus, illetve közgazdasági alapvégzettséggel rendelkeznek, de jelentős hányaduk egyéb posztgraduális képzésben is részt vett. Érdekességként megemlítendő, hogy az ezen a területen munkát vállalók kiemelten nagy százalékban (86%) kapnak cégüktől gépkocsit. A felső vezetők az IT-cégeknél körülbelül havi bruttó 730 ezer forintot keresnek, de vannak, akik ennél jelentősen nagyobb összegért vállalnak munkát.

Marketingterületen állást keresők beosztottként, 1-2 éves szakmai tapasztalattal havi bruttó 140 ezer, míg egy szinttel feljebb, projektvezetőként, csoportvezetőként bruttó 220 ezer forint körüli fizetést tarthatnak reálisnak. Ugyanezen a szakterületen felső vezetőként azonban már bruttó 500-600 ezer forint közötti havi jövedelem tekinthető reálisnak.

Amennyiben az összehasonlításokat a legmagasabb iskolai végzettség alapján végezzük el, akkor megállapítható, hogy a szakmunkások számára a legjobban fizető szektor a film- és rádióipar, az érettségizetteknek pedig a távközlési és informatikai vállalatok. A felsőfokú végzettséggel rendelkezők körében vizsgálva a Jobpilot felméréséből nem lehet egyértelműen kiemelni a legjobban vagy a legkevésbé fizető szakterületeket. Általánosságban azonban elmondható, hogy a hat hónapnál hosszabb külföldi szakmai tapasztalat és az adott szakterülethez kapcsolódó posztgraduális képzések elvégzése szinte alapfeltételnek tekinthető.

A ma divatosnak számító területek mindegyikéről kellő számú érdeklődő vett részt eddig a felmérésben, összesen pedig több mint 12 ezren töltötték ki a kérdőívet. Kérdés persze, hogy önmagában a mintanagyságtól függ-e egy internetes felmérés eredményeinek realitása.

Mindenesetre a visszajelzések alapján az anonim felmérésben részt vevők nagyon tanulságosnak találták a kapott végeredményt: többen közülük komolyan fontolóra veszik a munkahely-változtatás lehetőségét is.

*Kerekes Pál közleménye alapján*



Átfogó megoldás született, amely ösztönzően hat az intelligens Gigabit Ethernet hálózatok bevezetésére jelentette be a Cisco Systems Inc.

Számos ipari tendencia készíti a vállalatokat a Gigabit Ethernet (1000-Mbps Ethernet) alkalmazására. A legfontosabbak egyike az intranetes forgalom, a kevesebb nagy szerver használatának és a multicast-alkalmazások megnövekedett számának együtteséből származó, előre kiszámíthatatlan hálózati forgalom. A Gigabit Ethernet lehetővé teszi a meglévő kábelezési és operációs rendszerek, protokollok, asztali alkalmazások, valamint hálózati felügyeleti staratégiaik és eszközök használatát.



# Hírek

Az ideai megállapodás annak az 1993-ban kezdődött együttműködésnek a folytatása, melynek értelmében a Nokia lett a Pannon GSM-hálózat beszállítója. A Pannon GSM 1994 márciusa óta nyújt kereskedelmi szolgáltatást. A cég a holland KPN, a finnországi Sonera, a norvég Telenor és a MédiaTel Holding vállalatokból álló konzorcium tulajdona. Előfizetőinek száma 2000 decemberében meghaladta az 1,2 milliót.



2001 utolsó negyedében kerül az üzletkebe a klasszikus Nokia-telefoncsalád. A GPRS folyamatos WAP-hozzáférést tesz lehetővé. Amint a GPRS-t konfigurálták és a telefon működik, a szolgáltatások a GPRS-hálózattal rendelkező területeken a hálózaton azonnal elérhetővé válnak. A GPRS csomagokban küldi az adatokat. A számlázás ezáltal a kapcsolat időtartama helyett a küldött vagy fogadott információ mennyiségén alapul. A rugalmas adatkapcsolat érdekében a telefon a HSCSD-t (nagy sebességű áramkörkapcsolt adatátvitel) is támogatja.



2001-ben a TNT azt várja, hogy továbbra is központi szerepet játsszanak az elektronikus kereskedelemhez kapcsolódó szolgáltatások. A cég március első felében indította útjára megújított rendszerét iSolutions néven, amely az ügyfelek számítógépeire díjmentesen telepíthető szoftvercsomagok, illetve az interneten keresztül használható szolgáltatások összefoglaló neve. A küldemények indításához az ügyfeleknek elég egy internetes csatlakozás bárhol a világon, s a programcsomag egyik eleme már lehetővé teszi a WAP-os mobiltelefonról történő nyomon követést is.

Az elektronikus kereskedelemhez kapcsolódó integrált szállítási és logisztikai szolgáltatások alapja az integrált „demand chain management”, amely információs technológiai oldalról az XML (extended markup language) nyelvet használja.



Ha színes számlákat küldenek ki partnereiknek a vállalkozások, azokat közel 40%-kal nagyobb arányban egyenlíti ki azonnal a partnerek, mint az ugyanolyan összegű fekete-fehéreket – áll a Minolta egyik felmérésében. Ez a pszichés hatás az egyik fő témája annak a sajtótájékoztatónak, amelyet a legrangosabb művészképző felsőoktatási intézményben tartanak – nem véletlenül.

A Magyar Képzőművészeti Egyetem és a Minolta ugyanis hosszú távon együttműködik a művészi kreativitás hasznosításában a technológiai fejlesztésben. Viszont az is fontos, hogy a művészet mindennapjaiban elemként legyen jelen a csúcstechnológia. E kétirányú folyamat mindig, minden korban létezett spontán módon. A Minolta pályázatot írt ki a Magyar Képzőművészeti Egyetem grafikus hallgatói számára Környezetbarát színek címmel.

A jövő irodája színes lesz – a piackutatók felmérései és a technológiai fejlődés egyaránt ezt prognosztizálják. Az irodai munkafolyamatokban szükségszerűen bekövetkező változások azon nyugszanak, hogy minden, ami színes, sokkal figyelemfelkeltőbb, s egyúttal mélyebben is rögzül a befogadó tudatában. Ezért a színek nem csak kellemesebbé teszik a munkakörnyezetet, de az üzleti élet számos területén hatékonyságnövekedést is hoznak. Így például: a kiküldött színes ajánlatokra 20%-kal több visszajelzés érkezik, mint a fekete-fehérekre, s ha az eddig sok kínlódást okozó formanyomtatványokat piros, kék, zöld vagy sárga kiemelésekkel értelmezhetőbbé teszik, az emberek 30%-kal kevesebb hibával töltik ki a rubrikákat.



# Contents

<b>Dr. György Lajtha:</b> About this issue .....	1
<b>DIGITAL BROADCASTING</b>	
<b>János Levendovszky–Viktor Urbin–Zsombor Elek:</b> New nonparametric detectin methods in modern telecommunications .....	3
<b>Dr. László Falus:</b> DRM, the Digital Worldwide Radio .....	11
<b>Gábor Heckenast:</b> And what about studios? .....	19
<b>OPTICAL TELECOMMUNICATIONS</b>	
<b>Attila Barócsi–Pál Maák–László Jakab–Péter Richter:</b> Acousto-optical implementation of crossbar switch and optical matrix processor .....	21
<b>Tamás Bóhm–Tamás Zombori:</b> Testing different IP/WDM implementations .....	27
<b>TECHNOLOGY</b>	
<b>Máté Szarvas–Tibor Fegyő–Péter Mihajlik–Péter Tatai:</b> Achievements in computerized voice recognition of Hungarian speech, based on thesaurus and idiomatic expressions .....	31
<b>Charles Garam:</b> Simplified calculation of electromagnetic coils applicable even for being programmed .....	37
<b>LAW AND ECONOMY</b>	
<b>Olivér Imolay–Emília Nyevrikel:</b> Interpretation and application purposes of capital costs .....	43
<b>Dr. Levente Tattay:</b> Copyright and Internet .....	47
<b>Gyula Horváth:</b> Favourable advertising – by mobile phones .....	53
Recommended books .....	55
<b>Dr. György Lajtha:</b> ELEKTRO 2001 .....	57
Content in English .....	60

## Szerkesztőség

HTE Budapest V., Kossuth L. tér 6–8.  
Tel.: 353 1027, Fax: 353 0451  
e-mail: hte@mtesz.hu

## Előfizetés

HTE Budapest V., Kossuth L. tér 6–8.  
Tel.: 353 1027, Fax: 353 0451  
e-mail: hte@mtesz.hu

## Cikkek eljuttathatók az alábbi címre is

BME Mikrohullámú  
Híradástechnikai Tanszék  
Budapest XI., Goldmann Gy. tér 3.  
Tel: 463 1559, Fax: 463 3289  
e-mail: zombory@mht.bme.hu

## 2001-ES ELŐFIZETÉSI DÍJAK

*Hazai közületi előfizetők részére*

1 évre bruttó 30 000 HUF

*Hazai egyéni előfizetők részére*

1 évre bruttó 6 000 HUF

*Subscription rates for foreign subscribers*

12 issues 150 USD, single copies 15 USD



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

Felelős kiadó: MÁTÉ MÁRIA

Design by: Kocsis és Szabó Kft.

Printed by: Regiszter Kft.

HU ISSN 0018-2028



# 19 900 Ft

DN Szereld magad  
csomag **telefonnal**



# Tegyük fel!

**Tegyük fel, hogy Ön szeretne egy olyan vonalat, amelyen végre egyszerre tud telefonálni és gyorsan internetezni. Tegyük fel, hogy ráadásul sok hasznos szolgáltatást is szeretne igénybe venni! Mi tévő legyen?**



Rendelje meg a Matávtól az **ISDN Szereld magad** csomagot! Mi elküldjük az ISDN-csatlakozót, Ön pedig útmutatónk alapján felszereli, csatlakoztatja hozzá a telefont és a számítógépet, majd elvégvez néhány alapbeállítást. Ennyi! Utána már csak élveznie kell az ISDN előnyeit: a két digitális vonalat – amelyen egyszerre tud telefonálni és nagy sebességgel internetezni – és a számos kényelmi szolgáltatást. A ráadás: 10 000 forintnyi forgalmi-díj-kedvezmény és kedvezményesen megrendelhető, korlátlan Axelero internet-előfizetés.

Felteheti a kérdést: mindezt mennyiért? Az **ISDN Szereld magad csomag ISDN-telefonnal együtt most csak 19 900 Ft!** További információk és megrendelés az 1212 ingyenes telefonszámon, a Matáv Pontokban, hivatalos partnereknél és viszonteladóknál, üzletkötőknél.

A megrendeléshez meglévő hagyományos, analóg vonal és a műszaki feltételek megléte szükséges. Az ajánlat a készlet erejéig érvényes.

•  **matáv**

a szavakon túl



# Third International Workshop on DESIGN OF RELIABLE COMMUNICATION NETWORKS (DRCN 2001)

"Price and Value of Reliability"

7-10 October 2001, Budapest, Hungary

Organized by:

- Scientific Association for Infocommunications (HTE)
- Budapest University of Technology and Economics (BME)  
Faculty of Electrical Engineering and Informatics

Supported by:

Siemens Hungary  
Hungarian Telecommunications Co. (Matáv)  
NOKIA  
Antenna Hungária Co.  
Ericsson Hungary

In cooperation with:

IEEE Communications Society (ComSoc)  
Eurescom  
Hungarian Academy of Sciences (MTA)  
Communication Authority, Hungary (HIF)

## Scope of DRCN 2001

The current evolution of the information society is relying more than ever on the availability of an efficient communications infrastructure. This workshop is focusing on the design aspects of various communications networks with special emphasis on the **reliability** of services these networks can provide.

### Topics include

- Network Planning, Design & Configuration (Topology, Routing, Dimensioning, Spare Capacity)
- Network Survivability (Protection & Restoration) Architectures
- Performance Evaluation (Analytical, Simulation, Experimental) reliability measures and guarantees, cost - performance analysis
- Network Resource Management & Traffic Engineering, Interaction with TMN
- Multilayer Interactions
- Network Nodes and Subsystems (Switches, Routers, Gateways, Base stations)
- Tool Development

**Networks of interest** include various Access and Transport networks:

Optical (WDM), SDH, ATM, IP, MPLS, Wireless, Mobile (GSM, 3G), xDSL, ...

The conference will consist of technical presentations, tutorials, panel discussions, posters, exhibitions and demos.

**Participants and Exhibitors are welcome!**

For further details and preliminary program, please, visit the DRCN homepage  
<http://www.drcn.org/2001> or contact the Scientific Society for Infocommunications  
(Tel.: +36 1 353-1027, e-mail: [hte@mtesz.hu](mailto:hte@mtesz.hu))