

E 870

HÍRADÁSTECHNIKA

XLVI. ÉVFOLYAM

1995. ÁPRILIS

CDMA RENDSZEREK

Bevezető gondolatok	Baranyi A.	1
Az SST-CDMA rendszerek tulajdonságai. Cellás rendszerek összehasonlítása	Pap L. és Dárdai Á.	2
Szórt spektrumú rendszerek	Schmittererné Bausz A.	13
Néhány megjegyzés az IS-95 CDMA szabványhoz	Y. I. Kalet	18

Termékek – Szolgáltatások

Direkt szekvenciális spektrumszórás megvalósítása egy konkrét berendezésben	Beviz J.	21
A DSC mérőfeldeket halad előre	DSC Communications	24
Kiterjesztett spektrumú rádiókapcsolatok a vezeték nélküli összeköttetésekben	M. Mulcay	25

Egyedi cikkek

Nagysebességű digitális áramkörök szimulációja	Eged B., Novák I. és Bajor P.	29
--	-------------------------------	----

Gazdaság – Kutatás – Oktatás

VSAT alapú távközlés Magyarországon	Duró Imre	34
---	-----------	----

HÍRADÁSTECHNIKA

A HÍRADÁSTECHNIKAI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET FOLYÓIRATA

SZPONZOROK

Főszerkesztő

BARANYI ANDRÁS

Rovatvezetők

BATTISTIG GYÖRGY

KORMÁNY TERÉZ

PRÓRAY GÁBOR

SOMOGYI ANDRÁS

Szerkesztők

BARTOLITS ISTVÁN

KÁSA ISTVÁN

LADVÁNSZKY JÁNOS

FÖLDVÁRINÉ OROSZ JULIANNA

ANTALNÉ ZÁKONYI MAGDOLNA

WILK NÓRA

Munkatárs:

LESNYIK KATALIN

Szerkesztőbizottság

TÓFALVI GYULA

elnök

BERCELI TIBOR

FRAJKA BÉLA

FRIGYES ISTVÁN

GORDOS GÉZA

MOJZES IMRE

PAP LÁSZLÓ

SALLAI GYULA



ERICSSON

Ericsson Technika

SIEMENS

Siemens Telefongyár Kft



"AZ ÉPÍTÉS FEJLŐDÉSÉÉRT"
ALAPÍTVÁNY

MAGYAR
SAJTÓALAPÍTVÁNY

Szerkesztőség

Budapest XIV., Ungvár u. 64-66.

Telefon: 251-1163

201-7471

Telefax: 251-9878

201-7471

Előfizetési díj

Hazai közületi előfizetők részére

1 évre 6000,- Ft, egyes számok 650,- Ft

Hazai egyéni előfizetők részére

1 évre 960,- Ft, egyes számok 110,- Ft

Külföldi előfizetők részére

1 évre 6 angol szám 90 USD, 12 szám 150 USD, egyes számok 24 USD

HÍRADÁSTECHNIKA megjelenik havonta váltakozva magyar és angol nyelven. Kiadja a TypoTeX Elektronikus Kiadó Kft. 1024 Budapest, Retek u. 33-35. Telefon: Telefon/Fax: 115-1759. Felelős kiadó: Votisky Zsuzsa. Készült a Dabasi Jegyzetnyomdában. Szövegszedés: TypoTeX Elektronikus Kiadó Kft. A lap példányonként megvásárolható a kiadónál.

HU ISSN 0018-2028

A CDMA RENDSZEREK témája a Híradástechnika folyóirat 1995. évre tervezett számai között eredetileg nem szerepelt. A szám beiktatásának közvetlen oka a HTE Vezetéknélküli Adatkommunikációs Szakosztálya részéről felmerült igény az 1995. május 31-én rendezendő CDMA Fórum előadásainak kiadvány formájában történő megjelentetésére. Az igény teljesítésével egy, két évvel ez előtt megkezdett kapcsolat folytatására találtunk módot. 1993 februárjában ugyanennek a szakosztálynak rendezvényéről készült a VSAT HÁLÓZATOK témájával foglalkozó számunk, amely jól beleilleszkedett tematikus számaink sorába és olvasóink körében nagy érdeklődést keltett.

Az eredeti terveinktől való eltérést a Vezetéknélküli Adatkommunikációs Szakosztály igénye mellett az a körülmény is indokolta, hogy a CDMA rendszerek témája széleskörű elméleti megfontolásokra épül, és elsősorban az Egyesült Államokban számos gyakorlati alkalmazással is rendelkezik. A CDMA Fórum előadásai jó lehetőséget adtak arra, hogy a hazai távközlési szakemberek körében kevésbé ismert témakör anyagát tematikus szám formájában dolgozzuk fel.

A CDMA RENDSZEREK szám tematikus része három áttekintő cikket és három termékismertető anyagot tartalmaz. Pap László és Dárdai Árpád cikke a CDMA rendszerek tulajdonságaival és alkalmazási lehetőségeivel foglalkozik. A cikk az elméleti alapok igényes tárgyalása után mélyreható összehasonlítást ad a különböző rádiótelefon rendszerek paramétereiről, így a GSM az AMPS és a CDMA rendszerek jellemzőiről. Bausz Andrea cikke is a mobil alkalmazások lehetőségeivel foglalkozik. Értékes adatokat közöl a műholdas távközlés tervezett rendszereiről. A cikk világos felépítésű és jól olvasható. A cikkek sorát Yitzhak Irving Kalet munkája zárja, aki az IS-95 szabványhoz fűzött megjegyzéseivel a Viterbi és Jacobs nevével fémjelzett

Qualcomm rendszer egyesült államokbeli sikertörténetének műszaki hátterét ismerteti.

A szám termékismertetőit egy magyar és két külföldi vállalat készítette. Örömkre szolgált, hogy a Finommechanika Rt. többszáz darab legyártása után ma is forgalmazza szórtspektrumú rádióberendezését. A részletekbe menő termékismertetőből a berendezés működése jól megismerhető. Rövid ismertetőt közöl a Digital Switch Corporation az AIRSPAN elnevezésű berendezésről. Ennek a berendezésnek a helyi hálózatokban lehet nagy jelentősége. Az ismertető a berendezés sikeres próbaüzeméről is beszámol. Az US/H Supracom forgalmazza Magyarországon azokat a kiterjesztett spektrumú rádióberendezéseket, melyekről a Western Multiplex Corp. szerzője számol be. A színvonalas ismertető a működési mód leírása mellett alkalmazási példákat is bemutat a magánhálózatok, helyi hálózatok és a mobil hálózatok köréből.

A tematikus szám teljességéhez hozzájárult volna a CDMA Fórum további két tervezett előadásának megjelenése is. Érdekes lett volna a Hírközlési Felügyelet álláspontjának megismerése az alkalmazás szempontjairól. Hiányt ébreszt a Motorola SST-CDMA berendezéseiről szóló ismertetés elmaradása. Többszöri felkérés ellenére — feltehetőleg az idő rövidege miatt — ezek a közlemények kimaradtak tematikus számunkból.

A vendégszerkesztőnek nagy öröm, hogy egy elméletileg érdekes és a gyakorlati alkalmazások szempontjából is sokat ígérő téma ismeretei aktuális, de a jövőben is jól használható szám formájában jelennek meg. A szám megjelenése nem lett volna elképzelhető a Vezetéknélküli Adatkommunikációs Szakosztály vezetőségének támogatása nélkül. Különösen jelentős volt Dárdai Árpád minden részletre kiterjedő segítsége. Ezért neki és a többi szerzőnek is hálás köszönetet mondok.

BARANYI ANDRÁS



Baranyi András 1960-ban szerzett villamosmérnöki diplomát a Budapesti Műszaki Egyetemen. A műszaki tudomány kandidátusa fokozatot 1976-ban nyerte el a Magyar Tudományos Akadémián. 1960 óta a Távközlési Kutató Intézet dolgozója, jelenleg ennek jogutódjánál áll alkalmazásban. Kezdetben mikrohullámú rendszerek áramköreinek tervezésével, FM rendszerek torzításának korrekciójával és tranzistorok modellezési problémáival foglalkozott. 1973 és 1976 között adattáviteli berendezések fejlesztését irányította. 1980 és 1986 között úrtávközlési berendezéseket kidolgozó részleg vezetője volt. Tudományos eredményei a nemlineáris rendszerek modellezési és analízis problémáihoz kapcsolódnak. Jelenleg optikai-mikrohullámú átalakítók vizsgálatával foglalkozik. Több ízben tartott posztgraduális tanfolyamot a Budapesti Műszaki Egyetemen, melynek címzetes docense. Az 1970-71-es és 1980-as tanévben vendégkutató volt az Egyesült Államokban, a Marylandi Egyetemen és a Berkeleyben, a Kaliforniai Egyetemen. 1990-ben Akadémiai Díjban részesült. 1991 óta a Híradástechnika folyóirat főszerkesztője.

AZ SST-CDMA RENDSZEREK TULAJDONSÁGAI. CELLÁS RENDSZEREK ÖSSZEHAISONLÍTÁSA

PAP LÁSZLÓ

BME HÍRADÁSTECHNIKAI TANSZÉK
1111 BUDAPEST, SZTOCZEK U. 2.

DÁRDAI ÁRPÁD

MATÁV RT, PKI TÁVKÖZLÉSFEJLESZTÉSI INTÉZET
1456 BUDAPEST, PF. 2.

Az SST-CDMA technika a modulációs, illetve átviteli és a többszörös csatornahezáférési módok egy meghatározott csoportja. A CDMA rendszerek előnyös kapacitási, megbízhatósági, átviteli, szolgáltatási és gazdaságossági tulajdonságai miatt növekvő számú felhasználására tarthatnak igényt a földi és a műholdas távközlési rendszerekben, a WLL és a PCN/PCS szolgáltatók és felhasználók körében. A cikk összehasonlítja az FDMA, TDMA, CDMA rádiótelefon rendszereket, majd a CDMA rendszerek lehetséges jelenlegi és távlati alkalmazási lehetőségeit.

1. BEVEZETÉS

Az SST-CDMA (Spread Spectrum Technique — Code Division Multiple Access) technika a modulációs, illetve átviteli és a többszörös csatornahezáférési módok egy meghatározott csoportja. Előnyös kapacitási, megbízhatósági, átviteli, szolgáltatási és gazdaságossági tulajdonságai miatt e rendszerek alkalmazása az elkövetkező években nő a földi és a műholdas távközlési rendszerekben, illetve a WLL és a PCN/PCS szolgáltatások területén. Becslések szerint az FDMA, a TDMA és a CDMA rendszerek közötti verseny 5–10 éven belül számos fontos területen a CDMA rendszerek javára fog eldőlni. A cikk áttekinti a CDMA rendszerek alkalmazásának nemzetközi helyzetét, összehasonlítja az FDMA, TDMA, CDMA rádiótelefon rendszereket, foglalkozik a frekvenciafelhasználás kérdéseivel, áttekinti a fejlett hálózati technikák és az SST-CDMA modulációs és hozzáférési mód kapcsolatát, majd a CDMA rendszerek lehetséges alkalmazási lehetőségeit.

1. AZ SST-CDMA MODULÁCIÓ ÉS HOZZÁFÉRÉS ELVI ALAPJAI

1.1. A szórt spektrumú technika kialakulása

A szórt spektrumú kommunikáció (SST, Spread Spectrum Technique) a második világháború során fejlődött ki katonai céllal. Ez a technika igen jól szolgálta a nagy zavarállóság, az interferencia elnyomás, a csekély zavarkeltés, a titkosság, illetve titkosíthatóság és a nehéz felderíthetőség követelményeit [1]...[6].

Az SST modulációs, illetve átviteli és hozzáférési módok csoportjába tartozó eljárások közös jellemzője, hogy a moduláció során létrehozott jel sávszélessége a moduláló jel sávszélességénél lényegesen nagyobb, más szavakkal, az átvitelhez használt nagy sávszélességhez képest az átvitt információ viszonylag kevés. Az SST eljárás a nagy sávszélességet speciális spektrum kiterjesztő modulációval éri el. Az SST jel tulajdonsága az is, hogy a kiterjesztéstől függően, azonos frekvenciasávban több összeköttetés működtethető egyidejűleg.

A szórt spektrumú átviteli mód megnehezíti az átvitel zavarását és az adás jogosulatlan lehallgatását. Az SST adó

a keskenysávú moduláló jelet egy szélessávú, zaj jellegű rádiójellel transzformálja, az SST vevő pedig a moduláló jelet eredeti formájára alakítja vissza. A demoduláció során a zavaró interferenciák hatása erősen csökken, míg a hasznos információ torzítatlanul helyreállítható.

A jel spektrumának adóoldali kiterjesztése és a vevőoldali leszűkítése, valamint a kiterjesztéshez használt zajszerű kódok, illetve kódcsaládok célszerű kiválasztása számos olyan előnnyel jár, amelyekkel a szokásos modulációk nem rendelkeznek. Ilyen előnyök az alábbiak:

- a szelektív címzés lehetősége;
- kódosztásos többszörös hozzáférés, azaz egy RF csatornán sok SST adó üzemelhet;
- alacsony teljesítménysűrűségű rádiófrekvenciás adás;
- hatékony interferencia-elnyomási képesség;
- hatékony frekvenciafelhasználás;
- kedvező üzenetbiztonság és kvázi titkosság;
- nagy pontosságú rádiós pozíciómérés lehetősége.

Az SST technikának hátrányai is vannak, ezek azonban gyakran eltörpülnek az előnyök mellett. Hátrányok:

- egy csatornát tekintve a sávszélesség nagyobb, mint a hagyományos modulációs eljárásoknál;
- az SST eljárás sok esetben adóteljesítmény-szabályozást igényel;
- SST rendszer komplexitása nagyobb, mint a hagyományos rádiós rendszereké.

A szórt spektrumú rendszerek négy, illetve öt fő csoportba oszthatók:

- fázisugratásos (direct-sequence, DS-SST);
- frekvenciaugratásos (frequency-hopping, FH-SST);
- időugratásos (time-hopping, TH-SST);
- pulzus-FM (chirp-technique, Chirp-SST);
- hibrid SST (Hybrid-SST), ami nem más, mint a fentiek kombinációi.

A cellás mobil vagy WLL, továbbá a pont-pont, pont-sok-pont rádiós rendszerekben főleg a DS-SST és az FH-SST megoldásokra épülő CDMA megoldásokat használják.

1.2. Az SST átvitel elvi alapjai

Átviteli kritériumok

Az SST rendszereknek két alapvető kritériumuk van, ezek a következők:

a) az adás során továbbított RF spektrum sokkal szélesebb, mint ami a továbbítandó információ átviteléhez feltétlenül szükséges;

b) a spektrum kiterjesztéséhez a rendszer olyan eljárást alkalmaz, amely az átvitt információtól (jeltől) lényegében független és amely meghatározza az eredő modulált RF jel sávszélességét.

Az első tulajdonság értelmében az SST átvitel tipikus RF sávszélessége egyszerűbb eszközöknél 15–20-szor, hatékonyabb modemeknél $10^2 - 10^6$ -szor szélesebb, mint a továbbított információ sávszélessége. A második tulajdonság értelmében pedig az SST rendszer lényegében tér el pl. a szélessávú FM modulációs eljárástól, amelynél a nagy RF sávszélességet maga a hasznos jellel történő moduláció eredményezi. Az SST megoldások nagy sávszélességét viszont a továbbított információval közvetlenül össze nem függő zajszerű spektrumkiterjesztő kód speciális alkalmazása hozza létre.

Az SST rendszerek tulajdonságai

Az SST rendszerek tulajdonságainak közelítő leírása fehér Gauss-zajos csatornában végezhető el legegyszerűbben. Egy B sávszélességű fehér Gauss-zajos csatorna kapacitását a jól ismert Shannon-formula alapján a következőképpen számíthatjuk:

$$C = 1,44B \ln(1 + J/Z), \quad (1)$$

ahol

C a csatornapotencia, azaz a hibamentesen átvihető információ maximális sebessége, b/s-ban;

B a csatorna sávszélessége Hz-ben;

J a továbbított jel teljesítménye;

Z a csatorna zajteljesítménye (a B sávszélességre).

A továbbiakban azt feltételezzük, és ez indokolt esetben megengedhető, hogy a vevőben a spektrumkiterjesztés műveletének inverzét végrehajtva a zavaró jelek a csatornában fehér Gauss-zajjal helyettesíthetők. Tételezzük fel, hogy az általunk vizsgált SST rendszert akkor használják, ha az RF jel-zaj viszony igen kicsi. Ebben az esetben az $\ln(1 + x)$ függvény az $x = 0$ helyen a Taylor-sor első tagjával helyettesíthető. Ebből az alábbi összefüggés vezethető le:

$$Z/J = 1,44B/C. \quad (2)$$

A zaj-jel viszonyra nyert összefüggés szerint a zaj alatti hibátlan átvitelhez és vételhez elvileg elegendő a továbbított jel sávszélességét növelni a képlet szerint, akkor, ha a Z zajteljesítmény a B növelésével nem változik.

Feldolgozási nyereség

Jelölje G_p a feldolgozási nyereséget. A feldolgozási nyereség egy SST rendszerben a T bitidő és azon B sávszélesség szorzata, amelyben az információt továbbítják:

$$G_p = TB. \quad (3)$$

A feldolgozási nyereség bármely modulációs eljárásnál értelmezhető, ez az a szám amely kifejezi a jel-zaj viszony javulást az információ sávszélességben az átviteli, jelen esetben az RF csatornában elérhető jel-zaj viszonyhoz képest.

A B_{RF} RF sávszélességgel és az R_{adat} adatátviteli sebességgel:

$$G_p = B_{RF}/R_{adat}. \quad (4)$$

A feldolgozási nyereség dB-ben is megadható, szokásos értéke 20...60 dB.

Az SST vevő kimenő jel-zaj viszonya (a dekóder előtt) a bemenő RF jel-zaj viszony (a vételi helyen) és a feldolgozási nyereség szorzata:

$$(J/Z)_{ki} = (J/Z)_{be} \cdot G_p. \quad (5)$$

A szórt spektrumú rádiózásban (DS rendszert tekintve) a zaj és a zavaró interferencia közelítőleg azonos módon kezelhető, azaz a zavar fehér Gauss-zajjal helyettesíthető, így $(J/Z) \equiv (J/I)$ írható. Az (5) kimenő jel-zaj viszony kifejezésébe helyettesítve a bemenő interferencia-jel viszonyt, az alábbi összefüggést kapjuk:

$$(J/I)_{ki} = G_p \cdot (J/I)_{be}. \quad (6)$$

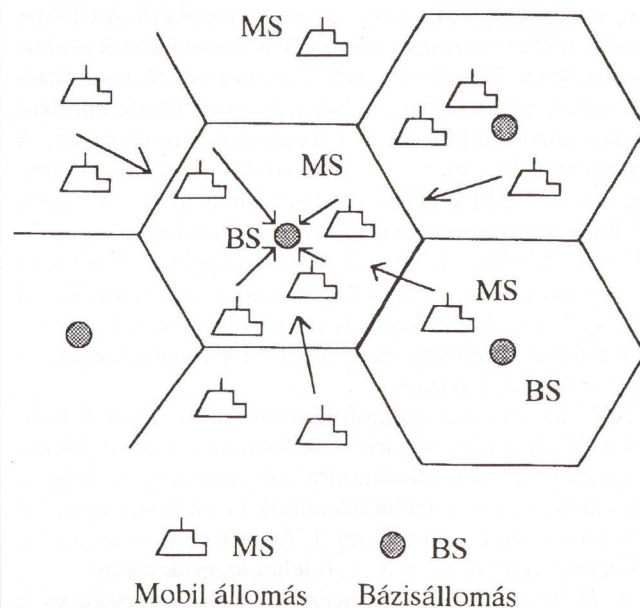
Az SST számára érdekes jel-zaj viszony tartományban a bemenő jelteljesítmény sokkal kisebb, mint a zajteljesítmény. A valóságos rendszerekben az ideális G_p általában csak közelítőleg valósítható meg. A realizáláskor fellépő mellékhatások miatt a rendszerben tipikusan 2-3 dB veszteség keletkezik.

Zavartatási küszöb

Az SST átviteli rendszerek fontos jellemzője a zavartatási küszöb (jamming threshold). A zavartatási küszöb egy adott rendszerre jellemző érték. A zavartatási küszöb nem más, mint egy adott kimeneti hibaarányhoz tartozó bemeneti jel-interferencia arány.

Egyidejű hívások száma

A CDMA cellás rendszer egy celláját az 1. ábra szemlélteti. A cella középpontjában (vagy alkalmas helyen) helyezünk el egy bázisállomást, a cella területén belül pedig legyen nagyszámú mobil (és hordozható) rádió állomás. Vizsgálandó, hogy egyidejűleg hány rádióállomás kommunikálhat a bázisállomással, első közelítésben csak a mobilbázis irányt, mint a CDMA rendszerben meghatározóbb esetet tekintve.



1. ábra.

A CDMA cellás rendszerekben 1-es, vagy 1/1-es frekvenciafelhasználás lehetséges. Ez azt jelenti, hogy azo-

nos frekvencia használható valamennyi cellában (lefedésenként). A rendszer a rádióállomásokat a hozzárendelt kódok alapján különbözteti meg. Ha N a cellában egyidejűleg adó mozgó, hordozható állomások száma az RF sáv szélességben, P egyetlen vett interferáló jel teljesítménye, akkor a bázisállomásnál a vevő bemenetén jelölje I a zavaró interferáló jelek (interferenciák) teljesítményének összegét (a hasznos J jel nélkül):

$$I = P(N - 1), \quad (7)$$

figyelembe véve, hogy a rendszerben alkalmazott teljesítményszabályozás miatt minden interferáló adó teljesítménye a vételi helyen, vagyis a bázisállomáson, P .

Ha a venni kívánt J hasznos jel teljesítménye is P , vagyis $P = J$, és első közelítésben feltételezzük, hogy az SST összeköttetést gyakorlatilag csak a saját rendszerből származó interferenciák zavarják, akkor a fentiekből

$$(N - 1) = (B_{RF}/R_{adat})(Z/J)_{ki}. \quad (8)$$

Ha $N \gg 1$, akkor az $(N - 1)$ helyett közelítőleg N írható. Ezt figyelembe véve, továbbá a (8) összefüggést kiegészítve a járulékos rendszerparaméterekkel,

$$N \cong (B_{RF}/R_{adat})(Z/J)_{ki}(F \cdot G/D), \quad (9)$$

ahol:

F a frekvencia újrafelhasználási faktor,

G az antenna szektorok száma a cellában,

D a beszéd aktivitási tényező.

A paraméterek értékeire példa adatok: $N = 20 - 40$, $B_{RF} = 1,25(2,5)$ MHz, $R_{adat} = 8$, illetve 16 kbit/s, $(Z/J)_{ki}^{dB} < -7$ dB. A többi paraméterhez a következő magyarázat adható.

Az F frekvencia újrafelhasználási faktor az SCPC, illetve az FDMA cellás rendszerekben a bázisállomáson használható csatornák számának és a teljes csatornakészlet csatornáinak számának viszonya, ami főleg az azonoscsatorna-védelemtől és az adódó azonoscsatorna-távolságtól függ. A CDMA cellás rendszerekben a frekvencia újrafelhasználás értelmezése hagyományos rendszerekétől eltérő. A CDMA rendszerekben a szomszédos cellák is működhetnek azonos csatornákon. Figyelembe kell azonban venni a szomszédos cellák adási folyamataiból származó interferenciákat (cellák közötti áthallás), ami megnöveli a rendszer zajt. A rendszer zaj 30–40 %-a a szomszédos cellákból származik. Így a CDMA cellás rendszerekben az F azt fejezi ki, hogy a kapacitás milyen arányban csökken az ideális ($F = 1$) értékhez képest. A fentiek alapján az F tényező a sokcellás rendszer egy cellájában és az egyetlen cellában egyidejűleg működni képes felhasználók maximális számának arányával adható meg. A CDMA rendszerekben az $F = 0,6 - 0,7$ közötti.

A G az antenna szektorok száma, a cellában a bázisállomás antennája sugárzási szektorainak számát jelenti. A szektorsugárzók alkalmazása azt eredményezi, hogy a bázisállomás csak a mobil állomások G -ed részét látja, így a rendszer által generált zaj $1/G$ értéke és a kapacitás G -szerese vehető. $G = 1 \dots 6$ lehet leggyakrabban.

A D beszédaktivitási tényező megadja a beszéd és a beszéd szünet időtartamok figyelembevételével definiálható csatornakihasználtságot, vagyis a beszéd aktív időtartományainak az arányát. A kihasználtság (közepes) értéke $D = 0,3 \dots 0,5$. A fejlett digitális rendszerekben, így

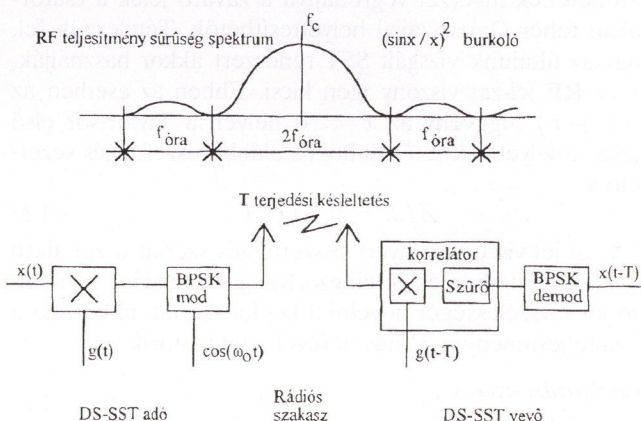
a CDMA rendszerekben is, az adás a beszéd szünetekben leáll, majd beszéd esetén újra indul (VAD). A folyamat megfelelő szinkronizálást igényel és tételez fel.

1.3. Az SST rendszerek típusai

Fázisugratásos szórt spektrumú rendszer (DS-SST)

A fázisugratásos SST rendszer neve abból adódik, hogy a rendszer a továbbítandó alapinformáció modulációja mellett egy nagysebességű kódszekvenciát is alkalmaz. A kódszekvencia AM-DSB/SC módon binárisan modulálja az RF vivőt. A kódszekvencia egy nagysebességű, hosszú, álvéletlen bináris jelsorozat, amely egyesekből és zérusokból áll, bitsebessége szokásosan 100 Mbit/s sebesség nagyságrendig terjedhet. A bináris kódsorozatok hossza néhány száz bit vagy akár 2 magas ($2^{10} \dots 2^{20}$) hatványaival megadható terjedelmű bit lehet. Az álvéletlen, bináris impulzussorozatot n -tagú tolóregiszterrel állíthatjuk elő. A PN generátor a regiszter elejére kizárásos VAGY-kapun át a regiszter meghatározott tagjairól visszacsatolást tartalmaz. A regisztert meghatározott órajellel vezérlik. A kódok a regiszter hosszától és a visszacsatolás helyétől függenek. A kódok lehetséges nagy száma miatt a kódok megválasztása megfelelő biztonság és titkosság mellett lehetséges.

A spektrum kiterjesztő bináris jelsorozat BPSK módon modulálja az RF vivőt, amely meghatározza az RF jel sáv szélességét. Az eljárásban használt bináris jelsorozat és a végrehajtott BPSK moduláció adja az eljárás nevét is: direct-sequence, fázisugratásos SST. Az RF jel modulációja a fenti kódsorozattal olyan teljesítmény spektrum sűrűséget ad, amelynek burkolója $(\sin x/x)^2$ alakú. A burkoló főnyalábjának szélessége a kiterjesztőkód órajel frekvenciájának kétszerese. A DS-SST moduláció spektrumát és az előállítására, illetve vételére használható elrendezést a 2. ábra szemlélteti.

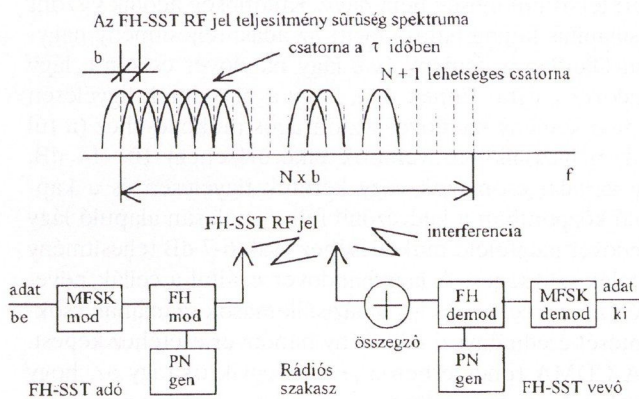


2. ábra.

A frekvenciaugratásos szórt spektrumú rendszer (FH-SST)

A frekvenciaugratásos rendszerekben a kívánt szélessávú frekvenciaspektrumot a DS-SST megoldásától eltérő módon generálják. A jel frekvenciája lényegében pontosan azt teszi, amit a neve is mond, vagyis egy széles frekvenciasávon belül ugrik egyik diszkrét frekvenciáról a másikra. Az FH-SST jel RF spektruma jelentősen eltér a DS-SST jelétől. Az FH jel spektruma egyenletes az egész frekven-

ciasávban, amelyet a rendszer használ. A 3. ábra az FH eljárás működését szemlélteti.



3. ábra.

A frekvenciák váltása egy meghatározott sorrend szerint követik egymást. A sorrend adott kódot képvisel, a kód adott csatornát, vagy felhasználót jelent. Az átváltások közötti időt időelemnek (time chip) nevezhetjük. Egy időelem alatt az információátvitelnek megfelelő típusú és sebességű moduláció történik. A moduláció lehet FSK, PSK stb. Az FH időelem a modulációs bitidőnél lehet nagyobb vagy lehet kisebb. Eszerint beszélhetünk lassú (SFH) vagy gyors (FFH) frekvenciaugratásos rendszerről. Az utóbbi esetben egy adatbit alatt több, igen távoli frekvenciaértéket vesz fel az FH rendszer, ami hatásos frekvencia diversity átvitelnek felel meg.

Egyéb szórt spektrumú megoldások

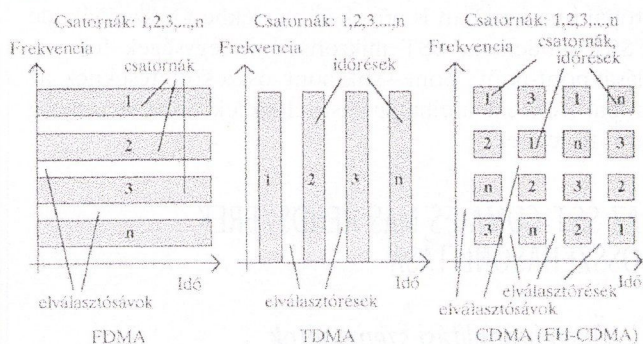
A teljesség végett megemlíti a TH-SST, a Chirp-SST és a hibrid SST rendszereket is, bár ezek ritkábbak. A TH-SST, azaz az időugratásos szórt spektrumú eljárás a TDMA rendszerhez hasonlít, de az egyes csatornához vagy felhasználóhoz tartozó időréseket a TH rendszer meghatározott zajszerű (álvéletlen) sorrend szerint változtatja és osztja ki, amelynek megfelelően történik a vétel is. Ily módon egyetlen csatornán nagyszámú felhasználó osztozhat. A pulzus-FM, vagy Chirp-SST megoldást gyakran használják a radartechnikában, helymeghatározásban. A Chirp-SST eljárás során a jel frekvenciáját adott f_1 és f_2 frekvenciákkal határolt frekvenciasávban lineárisan, vagy meghatározott függvény szerint változtatja a rendszer. A változás T idő alatt történik. A vétel általában illesztett szűrővel oldható meg, ami a hasznos jel sajátosságai miatt a vivő-típusú interferáló jeleket jelentősen elnyomja. A hibrid (Hybrid-SST) rendszerek a DS, az FH, a TH, vagy a Chirp SST eljárások kombinációit tartalmazzák.

1.4. Többszörös hozzáférés elve a szórt spektrumú adásmóddal

Az eddig kialakult és leggyakoribbnak tekinthető FDMA és TDMA hozzáférési technikák mellett az SST eljárás segítségével többszörös hozzáférést is megvalósíthatunk. Az SST modulációs mód a kódosztásos többszörös hozzáférést (SST-CDMA, SST Code Division Multiple Access) nyújtja.

Példaként tekintünk át az FH-CDMA eljárást, amelynél az egymástól független csatornához, illetve előfizetőkhöz

a rendelkezésre álló diszkrét frekvenciák készletéből más-más kombinációk, illetve az ennek megfelelő más-más egyedi kódok tartoznak. A kódokat álvéletlen (PN Pseudo Noise) generátorok hozzák létre. Az FDMA, a TDMA és a CDMA többszörös csatornahozzáférési elveket a 4. ábra szemlélteti. Az ábrán az FH-CDMA hozzáférést mutatjuk be.



4. ábra.

2. NEMZETKÖZI HELYZET

2.1. Közeli és távlati perspektívák

A CDMA rendszerek az FDMA és a TDMA hozzáférési eljárások kifejlődését és elterjedését követően alakultak ki. Létrejöttüket a fejlett távközlési és modulációs technológiák, valamint a korszerű VLSI integrált áramkörtechnika és a komplex jelfeldolgozási eljárások kifejlődése tette lehetővé. Segítségével a beszéd és az adatkommunikációs célokra, a WLL, PCN, PCS, DECT feladatok megoldására egyazon technológia körvonalazódik: a CDMA CAI rádiós interfész. Az SST-CDMA modulációs és hozzáférési mód a DECT rendszernek is komoly versenytársa lehet [7], [8], [9].

2.2. Alkalmazási kísérletek, elterjedtség

Az Amerikai Egyesült Államokban a Bell Atlantic, Nynex, Ameritech, GTE-Mobile, Motorola, PACTEL, Qualcomm és más amerikai szolgáltató és gyártó cégek használtak kísérleti, összehasonlítási célokra, illetve végleges jelleggel CDMA technikát műholdas távközlési és cellás rádiótelefon rendszerekben. A SST-CDMA termékek pont-pont, pont-sok-pont felhasználásai (zsinór nélküli LAN, vagyis CLAN, WLAN és SST rádiós modemek) Amerikában meglehetősen elterjedtek. Ausztrália, Korea, Kína, Japán, Dél-Amerika, és még több ország, illetve körzet szintén folytatott, vagy folytat kísérleteket cellás CDMA rendszerekkel. Európában Svájcban és Németországban történtek kísérletek, amelyek célja a CDMA és a TDMA (GSM), illetve a CDMA és az FDMA (pl. AMPS) rendszer összehasonlítása volt. A finn Nokia az USA laboratóriumában vizsgálta a CDMA cellás rendszereket. Az összehasonlító vizsgálatok területei [1]...[6]:

- hullámterjedés épületen belül és kívül, hívási folyamatok, handover;
- ellátás, ellátottság, kapacitás, hatékonyság;
- BS és MS adási teljesítmények, teljesítményszabályozás és vezérlés;

- az elosztott antennák hatása, interferencia és zavartatás;
- frekvenciafelhasználás és újrafelhasználás;
- a demodulátorok vizsgálata, hangátviteli minőség;
- adatátvitel és telefax, paging és üzenettovábbítás;
- cellás és WLL, továbbá PCS1900, IS95 (PCS2000) és egyéb alkalmazások.

Az ISM sávokban működő SST CLAN egységeket az európai országokban is növekvő mértékben használják, de az SST modemek, SST mikrohullámú egységek felhasználása pont-pont, pont-sok-pont összeköttetésekhez az európai frekvenciafelhasználási feltételek miatt viszonylag lassan terjednek.

3. AZ SST-CDMA ÉS MÁS RENDSZEREK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

3.1. Összehasonlítási szempontok

A CDMA rendszerek előnyei, hátrányai a következő tulajdonságok alapján vizsgálható:

- ellátás, az ellátott terület nagysága, a rendszer kapacitása;
- frekvenciafelhasználás, sugárzási viszonyok;
- a rendszer létesítéséhez szükséges kiadások, gazdaságosság;
- telefonía esetén az átvitt hang tisztasága, az átvitel minőségét befolyásoló tényezők.

A CDMA cellás rendszert a D-AMPS és a GSM rendszerhez hasonlíthatjuk célszerűen.

Ellátás, az ellátott terület nagysága

Az optimális ellátás a cellás rendszerek (PLMN, WLL, DECT, PCS) alapvető követelménye. Az ellátás, az ellátott terület nagysága viszonyításként egyetlen bázisállomásra (cellára) és az abban használt RF csatornákra vonatkoztatva vizsgálható. A cella ellátása a cella határokra, vagy megfelelően választott pontjára számítható összeköttetés zaj, illetve csillapítás mérleg alapján minősíthető, majd meghatározható a cella sugara, és egy adott terület lefedéséhez szükséges cellák száma.

A CDMA rendszerek vizsgálatok szerint a GSM-hez képest 10–12 db-lel kedvezőbb összeköttetés mérleget mutatnak. Ez a kedvezőbb handover tulajdonságok és a kisebb fadingtartalék követelmények következtében alakul így. Számítások alapján városi környezetben a CDMA rendszer azonos területen lényegesen (4–6-szor) kevesebb bázisállomást igényel, mint a GSM. Ugyanezen mutató cca. 60 %-os csökkenést mutat elővárosi és rurál környezetben szintén a CDMA javára [1]...[5].

Lágy és kemény handover

A cellák ellátásának vizsgálatához célszerű figyelembe venni a handover szerepét is. A handover vizsgálatához első közelítésben csak a csillapítás fading vehető figyelembe és elhanyagolható a többutas fading hatása, amelyet a CDMA rendszerben szokásos Rake-demodulátorok és a valamennyi digitális rendszerben használt interleaving és FEC kódolás csökkentenek. A többutas fadingből adódó hatások figyelembe vételét a jel-interferencia viszony követel-

mények magukba foglalják. Bár a lágy handover a többutas fading esetén kedvezőbb, mint a kemény handover, ez a járulékos különbség nem nagy. Különbség adódik viszont a csillapítás-fading hatása miatt az adási teljesítmény nagyságát illetően a kemény és a lágy handover esetén a lágy handover javára. Ennek oka, hogy a pl. szintek figyelésén alapuló kemény handover biztonságos működéséhez (a túl gyakori bázisállomás váltások elkerüléséhez) 10–14 dB, míg az adat csomagok vagy keretek figyelésén és a kapcsoló központban a kedvezőbb felhasználásán alapuló lágy handover megfelelő működéséhez csak 6–7 dB teljesítmény tartalék szükséges. A lágy handover ezáltal a cellák növelését, azaz a cellák, és így a bázisállomások számának csökkentését eredményezi a kemény handover esetéhez képest.

A CDMA rendszerben a javulás egyik oka így az, hogy lágy handover használható, vagyis nincs frekvenciaváltás a bázisállomás-váltás során, azaz azonos frekvencia mellett csak a bázisállomás változik. A lágy handover kisebb csillapítás fading védelmi tartalékot igényel. A mobil állomás számára az összeköttetés nem egyetlen, hanem két vagy több bázisállomás révén valósul meg, amely diversity jellegű ad. A diversity hatás a cellahatárok közelében nem csak a biztonságot, hanem az átviteli minőséget is javítja a CDMA rendszerben a GSM és az AMPS rendszerhez képest.

A bázisállomások száma

Egy területen szükséges bázisállomások száma alapvetően a C/N és a C/I (carrier to thermal noise, carrier to interference) viszonytól függ. A C/I viszonyt ugyanakkor a bázisállomások száma és a forgalom is befolyásolja. A GSM rendszerek az azonoscsatorna-védelem követelményeiből adódóan 3/9, 4/12, 7/21 méretű rasztereket használhatnak. A raszterekre használt jelölés azt jelenti, hogy a 9, 12, illetve 21 frekvenciás (cellás) klaszter (csoport) ellátásához háromszektoros antennákkal, a cellák sarkaiban elhelyezett bázisállomásokkal, rendre 3, 4, illetve 7 bázisállomás szükséges. E megoldásokkal szemben a CDMA cellás rendszerek alapvető tulajdonsága miatt (lásd 1.2 pont) 1, illetve 1/1 típusú rasztert igényelnek, így valamennyi bázisállomás azonos frekvenciasávban működik (lefedésenként). Az ellátás és a rendelkezésre álló frekvenciakészlet felhasználásának fontos kérdése a frekvenciaújrafelhasználás és a többszörös lefedés meghatározása is.

A rendszer kapacitása

A rendszer kapacitása, azaz a bázisállomások által lebonyolítható forgalom egyetlen bázisállomásra és a használt RF csatornára vonatkoztatva vizsgálható. A SCPC rendszerben (D-AMPS) egy RF csatorna egyetlen forgalmi (jelző) csatornát, a TDMA rendszerben (GSM) pedig 8 (16) forgalmi csatornát képvisel. Ha az RF csatornák száma egynél több, akkor a kapacitás ennek arányában nő.

A GSM bázisállomásának Erlang-ban kifejezhető kapacitása az alábbiaktól függ:

- a rendelkezésre álló (szükséges) forgalmi csatornák száma, vagy
- a bázisállomásnál minimálisan megengedhető C/I (> 14 dB).

Hasonló körülmények mellett a CDMA rendszer kapacitása közelítően:

- a feldolgozási nyereségtől és a rendszer realizálásától függ az 1.2 pontban foglaltak szerint, és az
- előfizetői készülék adóteljesítmény szabályozásának pontosságától és dinamika tartományának nagyságától.

A fentiek mellett valamennyi rendszer kapacitását befolyásolják még a modulációs hatékonyság (az alapsávi bitsebesség és a csatornaosztás viszonya), a hullámterjedési hatások, a figyelembe vett hullámterjedési modell, a cellák szektorizációja és a használt antenna technika (pl. térosztás, nyalábolt antennák, adaptív antennák) és a beszéd aktivitás detektálására (VAD) alapozott megoldások is.

Vizsgálatok szerint [1]...[6] a cellás CDMA rendszer spektrumhatékonysága a SCPC (AMPS, NMT) rendszerek spektrumhatékonyságának a többszöröse. Nagy mobilitású, nagy forgalmi terheltségű rendszerekben a CDMA megoldás 25 hívás/szektor/CDMA csatornateljesítményű, $2 \times 1,25$ MHz-es (duplex) RF csatornákkal és lágy handoverrel számolva. A lágy handover a kapacitás mintegy 35 %-át igényli. Kis mobilitású és WLL esetekben, nagy forgalmi terhelés mellett nincs nagy handover követelmény, ezért nagy nyereségű antennákkal legalább 40 hívás/szektor/CDMA csatornateljesítmény valósítható meg. A CDMA cellás rendszer automatikus dinamikus kapacitáskijelölést (ADCA) is használ, így a rendszer az éppen nem teljesen kihasznált cellák kapacitását is hasznosíthatja. Mindezek következtében a CDMA rendszerek kapacitása mind a GSM, mind az AMPS, illetve más SCPC rendszer kapacitásánál lényegesen nagyobb.

Gazdaságosság

A CDMA és a GSM rendszer összehasonlítása megmutatja, hogy a CDMA rendszer lényegesen kevesebb darabszámú, illetve kisebb teljesítményű bázisállomást igényel azonos vagy hasonló szolgáltatási feltételek mellett. A bázisállomások száma lényeges, mert a cellás rendszerekben a költségek tetemes részét a bázisállomások adják. A viszonylag kevesebb bázisállomás eredménye, hogy egy CDMA cellás rendszerrel az előfizetőre vetített költségek kedvezőbbek. A CDMA és a GSM típusú hálózatnál az előfizetőkre vetített fajlagos költségek egybevetése megmutatja, hogy a CDMA cellás rendszer a GSM rendszer költségeinek fele-harmada [2]...[5].

Gazdasági előnyként jelentkezik a CDMA rendszer lényegesen kedvezőbb spektrumkihasználási adottsága is. Ez vagy azt eredményezi, hogy azonos forgalomhoz kevesebb frekvencia szükséges, vagy azonos sávzélesség esetén lényegesen nagyobb forgalmat, azaz nagyobb előfizető számot szolgálhat ki a CDMA rendszer, mint a GSM. További gazdasági kihatással járhat az, hogy a CDMA rendszer egyrészt kisebb szintű zavartatást kelt más távközlési rendszerek számára, másrészt a CDMA rendszer nagyobb interferencia terhelést visel el, mint a TDMA, illetve az FDMA rendszerek. Ez kedvezőbb EMC és EMI feltételeket jelent a CDMA javára, vagyis a CDMA rendszerrel működő vagy működni kívánó PCS operátoroknak egyszerűbben kijelölhető és kisebb frekvenciasáv is elegendő.

Végül jelentős gazdasági értéke a CDMA rendszernek az, hogy egyazon rendszer, egyazon rádiós interfész alkalmas cellás mobil, DECT, PCS és WLL célokra, jelentősen javítva ezzel a távközlési infrastruktúra kihasználását és a kézi készülékek egységesítésének lehetőségét. Mindezekkel a CDMA WLL, PCS a hatékonyságot, kompatibilitást a felhasználók és a szolgáltatók számára kedvezőbbé teszi, alacsonyabb készülékárakat és alacsonyabb tarifákat eredményezve.

Az átvitel minősége

A hangátvitel minősége, az átvitt hang tisztasága, az átvitel minőségét befolyásoló tényezők a rádiós rendszereknél alapvetően a rádiós interfésztől, a beszéd vokóder minőségétől, a handover működésétől és a vételi jelek és a C/I nagyságától függ. A rádiós rendszerek közül a CDMA megoldás nyújtja a legkedvezőbb, legbiztonságosabb rádiós interfészt. A rádiós átviteli rendszert károsan befolyásolja a többutas fading és a csillapítás fading. A többutas terjedésre és az interferencia zavarokra a CDMA megoldás a legkevésbé érzékeny. A CDMA többszörösen diversity hatású:

- frekvencia diversity, amely az FH-SST rendszerrel az által jelentkezik, hogy a rendszer az adat szimbólumok átvitele során más-más, egymástól viszonylag távoli frekvenciákra ugrik,
- idődiversity, a DS szórtspektrumú rendszer a többutas terjedés hatását a Rake-vevőkkel kvázi inverz módon kiegyenlíteni törekszik, ez azt eredményezi, hogy a fading az átvitelt kevésbé károsítja, további javulást okoz fading és interferencia esetén a szimbólum interleaving és a FEC, amelyeknek következtében az átvitel a fadinggel, interferenciával szemben még ellenállóbb,
- térdiversity, az MS (mobil állomás) ellátását, főleg a cella határok közelében több BS (bázisállomás) nyújtja, ez eredőben vételi nyereséget képvisel, ehhez járul még a CDMA rendszerben megvalósuló előnyös lágy handover.

A CDMA rendszerben a GSM-ben használt kemény handoverrel szemben lágy handover használatos. A kemény handover először kis időre megszakítja a beszéd-összeköttetést, majd elvégzi a cella átkapcsolást, ami frekvenciaváltással is jár. A CDMA lágy handover megszakítás nélkül, finoman váltja az előző cellát a következőre, frekvenciát nem vált, hanem csak bázisállomást, mert a cellás CDMA PCS 1/1-es típusú frekvencia újrafelhasználással működik. A lágy handover előnyös mind a beszédátvitel, mind az adatátvitel esetén, mert az összeköttetések megszakadásának valószínűsége rendkívül kicsi.

A CDMA rendszer a jó működés és a kifogástalan átviteli minőség érdekében mindkét adási irányban (bázis-mobil, mobil-bázis) gyors és pontos adóteljesítmény szabályozást végez, amely figyelembe veszi a következőket:

- cellák forgalmi terhelése, a cellák zaj és interferencia viszonyai;
- teljesítményerősítő kimenete, antennanyereség;
- többutas fading, rádiós árnyékolás és csillapítás fading;
- mobil és bázisállomás adó-vevőjének távolsága, közelsége.

A CDMA rendszer automatikusan figyeli a jel-zaj viszonyt és az átvitel bithiba-arányát. Az automatikus teljesítményszabályozás (TPC) következtében a rendszer egyenletes, magas beszéd- és adatátviteli minőséget nyújt minimális átlagos RF adóteljesítménnyel.

3.2. A cellás rendszerek összehasonlítása a paraméterek tükrében

A CDMA rendszerek tulajdonságainak megítéléséhez a korábbi rendszerek is vizsgálандók. A fejlődésben az FDMA rendszereket követő TDMA rendszerek legfontosabb tulajdonságai az FDMA rendszerekhez képest [1]...[6]:

- kedvezőbb fajlagos rendszerköltségek az RF csatornákra vonatkoztatva;
- duplex szűrő elhagyható, mert az RF adó és az RF vevő más-más időrésekben működik, elvileg akár azonos frekvencia is lehetséges;
- hatékonyabb handover vezérlés, vezérlő időrés alkalmazása;
- rugalmas kialakítás, a beszéd-, illetve az adatátviteli sebességek változtathatósága, az időrések egyszerű átkonfigurálhatósága;
- bonyolultabb csatornaki egyenlítések szükségesek;
- szinkronizáció szükségessége a digitális átvitel következtében.

A CDMA rendszerek kifejlesztése és alkalmazása terén a távközlési rendszereknél szokásos lehetőségeket, fejlődési trendeket, szempontokat és követelményeket egyaránt figyelembe vehetjük [7]...[12].

A CDMA mellett szólnak:

- a VLSI digitális integráltáramkörök nagyfokú fejlődése,
- fejlett távközlési koncepciók és technológiák (ISDN, IMTS, UPT),
- a kívánt- és új távközlési szolgáltatások megvalósíthatósága,
- a távközlés átviteli és megbízhatósági követelményeinek fokozódása,
- a távközlés biztonságának fokozott előtérbe kerülése (titkosság),
- a frekvenciafelhasználás lényeges egyszerűsödése, valamennyi jel azonos sávon osztozik (1-es klaszter méret előnyösen használható),
- a frekvenciafelhasználás hatékonyságának javulása (az analóg SCPC/FDMA rendszerekhez képest cca. 20-szoros kapacitás növekedés),
- frekvencia diversity hatás érvényesülése (szélessávú frekvencia diversity), hatékony demodulációs technikák alkalmazása,
- az ár és a gazdasági kérdések kedvezőbbek a fejlett technológiákkal.

A kialakult és jelenleg is fejlesztés alatt álló, a digitális FDMA, majd a TDMA rendszereket követő CDMA rendszerek legfontosabb tulajdonságainak összehasonlítása az 1. és 2. táblázatokban található.

1. táblázat. A digitális rádiótelefon rendszerek rendszertechnikai tulajdonságai

Tulajdonság	D-AMPS	GSM	CDMA
Frekvenciasáv (MHz)	824-849 869-894	890-915 935-960	1,8-1,9 GHz, ill. adott cellás rendszer szerint
Csatorna-hozzáf.	SCPC/FDMA	TDMA/FDMA	CDMA/FDMA
RF csatorna-felhasználás	raszterelv, többfr. klaszterekkel	raszterelv, többfr. klaszterekkel	egy vagy több cellás raszter, egy fr. klaszter
Beszédkodek	CELP 8 kbit/s	RPE-LPC 13 kbit/s FBR	Q-CELP 13 kbit/s VBR
Átviteli sebesség	48,6 kbit/s	270,83 kbit/s	1,2288 Mbit/s
Moduláció	$\pi/4$ DQPSK	GMSK	QPSK
Kompatibilitás analóg rendszerekkel	van kompatibilitás	nincs kompatibilitás	nincs kompatibilitás
Interferencia tűrés	jobb, mint az analóg AMPS	jobb, mint a D-AMPS	jobb, mint a GSM
Szelektív fading tűrés	analóg rendszerhez hasonló	jobb, mint a D-AMPS	jobb, mint a GSM
Nemlin.tulajd.	érzékeny	nem érzékeny	nem érzékeny
Handover	kemény	kemény	lágú
Vevő-azonosítás	előfizető személy és készülék	előfizető személy és készülék	egyedi bin. kódszék., előfiz. és kész.az.

2. táblázat. A digitális rádiótelefon rendszerek átviteli tulajdonságai

Tulajdonság	D-AMPS	GSM	CDMA
Vevő demodulátor	Viterbi	Viterbi	3/4 Rake-dem., korr.
Átviteli sebesség rugalmassága	1,2-9,6 kbit/s	max.12 kbit/s	N-ISDN, távlatilag B-ISDN, multimédia
Hibajavítás		FEC (csak a fontos bitekre)	19,2 kbit/s FEC minden bitre
Minőség-romlás a bázisállomástól mért távolsággal	kb. arányos	a cellahatárig kb. egyenletes, utána rohamos romlás	fokozatos romlás, kedvező szubjektív megítélés
Kapacitás (felhaszn./km ² /Hz)	hagyományos	nagy	igen nagy
Vevőbonyolults.	egyszerű	bonyolult	igen bonyolult
Teljesítményszabályozási tulajdonságok		adóteljesítmény szabályozás a bázis oldalon	adóteljesítmény szabályozás a bázis és a mobil oldalon
Telematikai alkalmazások	korlátozottan alkalmas	korlátozottan alkalmas	jól alkalmas
Vezetéknélküli multimédia	nem alkalmas	korlátozottan alkalmas	jól alkalmas
Kutatás, tervezés, kifejlesztés	viszonylag egyszerű	bonyolult	bonyolult, időigényes, fejlett technológia igényes

4. FREKVENCIAFELHASZNÁLÁS

4.1. A frekvenciafelhasználás és a kapacitás összehasonlítása

A rádiótelefon rendszerek a szolgálattal ellátandó területet a cellás lefedés elvén látják el. A cellás lefedés geo-

metriailag M darab hatszögletes cellával közelíthető. A lefedések száma lehet egyszeres vagy többszörös a rendszer kapacitásától függően. Frekvenciafelhasználási lehetőségeket és paramétereket a 3. táblázat tekinti át.

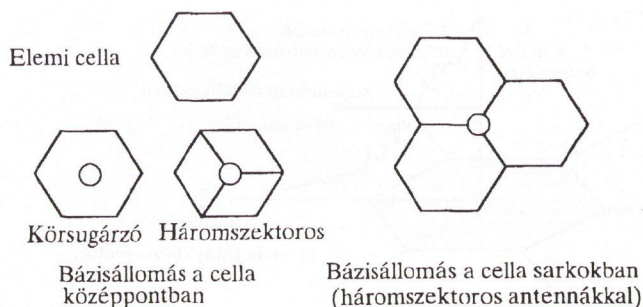
A SCPC/FDMA analóg, illetve a frekvenciafelhasználásban az analóg rendszerekhez hasonló D-AMPS cellás rendszerek, a TDMA/FDMA GSM és a CDMA (TDMA/FDMA/CDMA) rádiótelefon rendszerek frekvenciafelhasználási és kapacitás tulajdonságait a 3. táblázat foglalja össze. A CDMA rendszert az 1,8-1,9 GHz-es sávban tételezzük fel, de az más sávban is megvalósítható [13], [14].

3. táblázat. A digitális rádiótelefon rendszerek frekvenciafelhasználása és kapacitása

Tulajdonság	D-AMPS	GSM	CDMA
Frekvenciasáv (MHz)	824-849 869-894	890-915 935-960	1,8-19 GHz-es sávban
Frekvenciasáv szélessége (MHz)	2x25 MHz FDD átvitel	2x25 MHz TDD/FDD átvitel	2x25 MHz
Csatornaosztás	30 kHz	200 kHz	1,25 (2,5) MHz-es részsávok
RF csatornák száma (25 MHz-ben)	833	125	20
Beszédcsatornák/RF csatorna	1	8 (16) (teljes/félseb.)	25-40 (antennától függően)
Beszédcsatornák száma	833	1000 (2000)	500-800
Bázisáll./frek. klaszt. (háromszekt. cell.)	7/21	3/9	1/1
Beszédcsatorna/bázisállomás	119	333 (666)	1500–2400
Beszédcsatorna/szektor	40	111 (222)	500-800
Forgalom Erl/szek. (vesztesség 2%)	30	80 (180)	470-780
Csatorna-védelem	14 dB	14 dB	5 dB

Az FDMA, illetve a TDMA rendszerek frekvencia újrafelhasználása minden esetben egynél nagyobb méretű frekvencia klasztereket kíván meg (3. táblázat) az azonoscsatorna- és a szomszédoscsatorna-zavar, illetve a megkívánt csatornavédelmek miatt. A CDMA rendszerek inherens (veleszületett) tulajdonsága az 1-es, illetve 1/1-es frekvencia újrafelhasználás.

A D-AMPS rendszerre 3/21 klaszter kialakítású, a GSM rendszerre 3/9 méretű raszter használható. A CDMA rendszer 1/1 kialakítású frekvenciafelhasználását az 5. ábra szemlélteti. A 3/9-es cellaszerkezetű raszterhez megjegyezzük, hogy az interferencia védelem tekintetében a GSM-hez biztonságosabb a 4/12-es raszter, amely azonban a 3/9-es cellaszerkezethez képest 20–30 %-kal kisebb kapacitást nyújt.



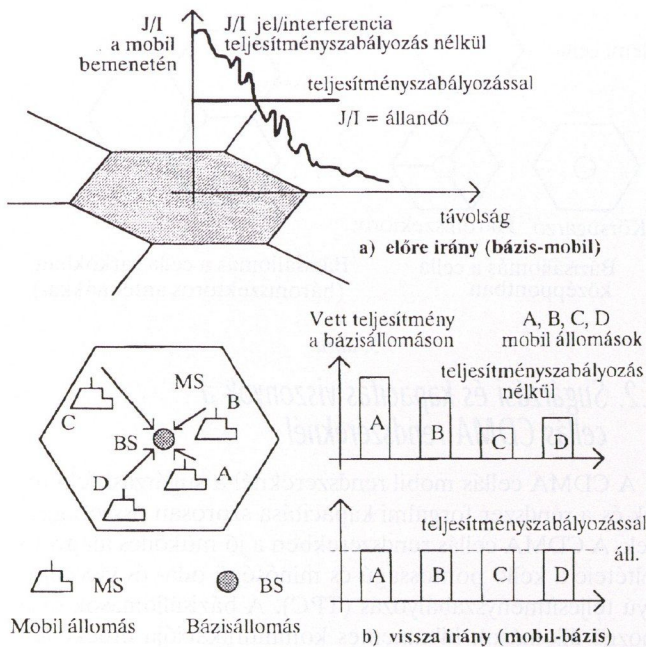
5. ábra.

4.2. Sugárzási és kapacitás viszonyok a cellás CDMA rendszereknél

A CDMA cellás mobil rendszereknél a sugárzási feltételek és a rendszer forgalmi kapacitása szorosan összefüggnek. A CDMA cellás rendszerekben a jó működés alapvető feltétele a kellő pontosságú és minőségű oda- és visszairányú teljesítményszabályozás (TPC). A bázisállomások és a mozgó állomások hibamentes kommunikációja érdekében enyhíteni kell a közel-távol problémát.

A közel-távol probléma abból adódik, hogy a bázisállomáshoz a mobil állomásoktól érkező RF jelek eltérő szintűek attól függően, hogy az ellátott területen belül a hol helyezkednek el, az egyes mobil állomásoktól mérve mekkora hullámterjedési csillapítás lép fel. A bázisállomáshoz közeli mobil állomások nagy RF jelet, a távolabbiak kisebb RF jelet eredményeznek a bázisállomás végjének bemenetén. Az elégtelen jel-interferencia teljesítmény viszony (SIR) hibás átvitelt, megnövekedett hibaarányt (BER) okoz, amely az átviteli minőség romlását eredményezi. Ugyanakkor a feleslegesen nagy adóteljesítmény megnöveli az interferenzia zavarási veszélyt a CDMA rendszer többi partnere számára, akik a csatornákon osztoznak. Ennek következtében a maximális csatorna kapacitás akkor érhető el, ha az adóteljesítmények azon minimuma valósul meg, amelyek mellett a specifikált jel-interferencia viszony teljesül. Ezt a mobil oldali teljesítmény szabályozás nyújtja. A CDMA rendszerben nemcsak a mobil oldalon szükséges az adóteljesítményt szabályozni, hanem a bázisállomásokon is. Ez a szabályozási mechanizmus a mobil állomások számára a térdiversity tulajdonság miatt indokolt. A mobil állomások számára a térdiversity különösen a cellahatárok közelében fontos.

A teljesen korrekt teljesítményszabályozás egy DS/CDMA cellás rendszer kapacitását az analóghoz (NMT, TACS, AMPS) képest mintegy húszszorosára növelheti. A bázisállomás oldali, valamint a mobil állomás oldali teljesítményszabályozás hatásának alakulását a 6. ábra szemlélteti.



6. ábra.

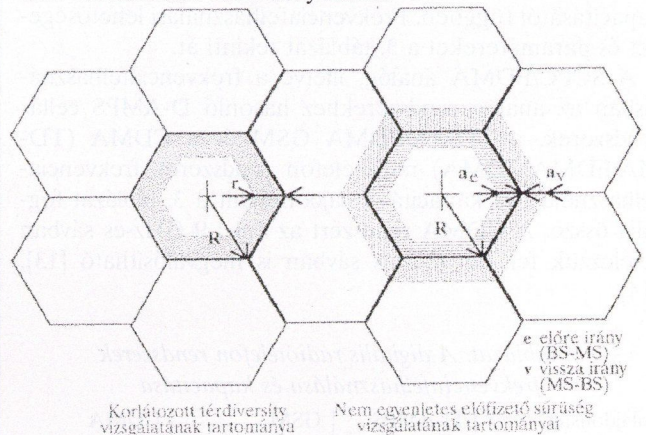
A teljesítményszabályozás pontossága kihat a forgalmi kapacitásra. A CDMA rendszerek forgalmi kapacitása lényegesen függ attól is, hogy a cella szélén milyen széles sávban működik a térdiversity. A teljes cellában a térdiversity képesség nem célszerű, mert ez a rendszer bonyolultságának növekedését eredményezné. A diversity szolgáltatást akkor célszerű működtetni, ha

- a mobil állomás a cella határához közel van, és ha
- a mobil állomás és a bázisállomás közötti szakaszcsillapítás nagy.

A kritériumok számszerűsíthetők, hozzájuk küszöbértékek rendelhetők, amelyeknek értékét a rendszer szükség esetén adaptívan változtathatja. A kritériumok értéke az elérhető forgalmi kapacitást jelentősen befolyásolja. A térdiversity csak a cellahatár r/R viszonytal jellemezhető sávjában működik, ezért beszélünk korlátozott térdiversity-ről. A mobil állomások (előfizetők) sűrűségét hasonlóan az a/R viszonytal jellemzett cellahatárhoz közeli sávban vizsgálhatjuk. Az r és az a mennyiségek definiálása a 7. ábra szerint történhet.

A cellahatárhoz közeli sáv vizsgálata azért fontos, mert ebben a bázisállomástól távoli távolság tartományban elhelyezkedő rádióállomások viszonylag nagyobb adóteljesítménnyel forgalmaznak, ugyanakkor a bázisállomások teljesítménye is az ezekkel való kommunikáció során nagyobb. A nagyobb adóteljesítmények megnövelik az interferencia

szinteket és az interferencia veszélyt, ami a forgalmi kapacitás csökkenését eredményezheti.



7. ábra.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A CDMA technológiák célszerűsége a kapacitás, a gazdaságosság, a létesíthetőség, és a szolgáltatások vizsgálatával állapítható meg. A CDMA megoldás kapacitása és frekvenciahatékonysága más rendszerekhez képest kedvezőbb, kevesebb bázisállomás létesítését igényli, ez a létesítési költségeket lényegesen csökkenti [10], [11], [12]. A CDMA átvitel zavarállósága következtében az alkalmazható kisebb adóteljesítmények kisebb energiateljesítményeket és kisebb eszközöket eredményeznek a bázisállomásoknál, ez az üzemeltetési feltételekre és gazdaságilag is kedvező. A hordozható készülékek teljesítményigénye is kisebb, ami hosszabb működési időt eredményez. A CDMA rendszerek a szolgáltatások szempontjából is előnyösek, mert viszonylag jó beszédátviteli minőség és nagy adatátviteli sebesség érhető el segítségükkel, teljesítik az átviteltechnikai eszközökre érvényes előírásokat, és több gyártmány esetében követik az ISDN szabványokat is. A CDMA rendszerekkel kapcsolatos frekvenciahasználat hatósági tennivalói is egyszerűbbek sok más rádiós rendszeréhez képest.

A CDMA technika, mint cellás rendszer a korszerű távközlés fejlesztési koncepciók megvalósítását elősegítheti. Ilyen pl. a költséghatékony MATÁV NET200 koncepció [15], [16]. A CDMA rendszerek a várhatóan gazdaságos létesítési és előfizetőre vetített fajlagos költségei, valamint sokoldalú szolgáltatásai miatt vonzóak mondhatók mind a távközlési hálózatfejlesztők, mind a szolgáltatók, mind a felhasználók számára is, így joggal tarthatnak jelentős érdeklődésre számot a következő évek távközlési fejlesztéseinél [7], [8], [9], [17].

FONTOSABB RÖVIDÍTÉSEK

ADCA	Automatic Dynamic Capacity Allocation, automatikus kapacitás hozzárendelés
B-CDMA	Broadband CDMA, szélessávú CDMA
CAI	Common Air Interface, pl. DECT-CAI, CDMA-CAI
CDMA (IS95)	Code Division Multiple Access, kódosztásos többszörös hozzáférés
CDMA-TACS	CDMA/TACS kettősmódusú vevők
D-AMPS	Digital AMPS, Digital Advanced Mobile Phone Service
DCS-1800	Digital Communications System 1800 (GSM-1800, 1,8GHz)
DECT	Digital European Cordless Telephone (ETSI)
DSP	Digital Signal Processing, digitális jelfeldolgozás
GSM-1800	a GSM szabványok alapján készülő rendszer az 1,8 GHz-es sávban
IMTS	Improved Mobile Telephone Service (USA)
IMTS	International Mobile Telecommunications System (UMTS, ETSI)
IS41	"Interim Standard 41", az AMPS hálózathoz
IS54	"Interim Standard 54", dual-mode TDMA/AMPS, kettős szabv. rádiós interfész
IS95	"Interim Standard 95", dual-mode CDMA/AMPS, kettős szabv. rádiós interfész
ISM	Industrial, Scientific, Medical Band (WARC, WRC)
PCN	Personal Communications Network személyi távk. hálózat (ETSI, GSM-1800)
PCS	Personal Communications System (Services), (lásd ETSI, PCN)
RAKE-vevő	a többutas terjedés (kvázi) inverzét közelítőleg megvalósító demodulációs megoldás, pl. a CDMA rendszerek alkalmazzák
RLL	Radio Local Loop, rádiós helyi hurok, rádiós helyi hálózat (lásd WLL, WILL)
SCPC	Single Channel Per Carrier, vivőnként egy csatorna
SIR	Signal to Interference power Ratio, jel-interferencia teljesítmény viszony
SST	Spread Spectrum Technique, Spread Spectrum Transmission, szórt spektrumú technika vagy adásmód
TPC	Transmitter Power Control, adóteljesítmény szabályozás
UPT	Universal Personal Telecommunication, univerzális személyi távközlés (ETSI)
VAD	Voice Activity Detection, beszéd aktivitás detektálás, illetve figyelés, ennek alapján az RF adás csak a hasznos beszédirőkre korlátozódik
WLL	Wireless Local Loop, vezeték nélküli helyi hurok, a helyi, illetve a rurál hálózatban (lásd RLL)
WILL	Wireless Local Loop, a Motorola WLL, illetve RLL célokra kifejlesztett rendszere

IRODALOM

- [1] Pap László és Vajda István: Zavarvédelem szórt spektrumú átviteli rendszerekben. *Híradástechnika*, XL. évfolyam, 1989. 12. szám.
- [2] Joao Celso Neto: Mobility. Networks' 94. Sixth International Network Planning Symposium. Proceedings. Budapest, Hungary, 4-6 September, 1994.
- [3] Ozan K. Tonguz and Melanie M. Wang: Cellular CDMA networks impaired by Rayleigh Fading: System performance with power control. *IEEE TR on VT*, Vol. 43 No. 3.
- [4] Robert C. Dixon: Spread spectrum techniques. *IEEE Press*. 1976, New York.
- [5] CDMA vs. GSM. A comparison of Six C's of Wireless Communications. Digital by Qualcomm. Qualcomm, 80-12589-1, Rev. x1.
- [6] István Vajda: Spread spectrum principle based wireless telecommunication networks. *Magyar Távközlés*. Selected Papers from the Hungarian Telecommunication Periodical, No. 93/10.
- [7] M. J. Mc. Tiffin, A. P. Hulbert, T. J. Ketseoglou, W. Heimsch, and G. Grispi: Mobile access to an ATM network using a CDMA air interface. *IEEE Journal on SAC*, Vol. 12. No. 5.
- [8] Dipankar Raychaudhuri, Newman D. Wilson: ATM-based transport architecture for multiservices wireless personal communication networks. *IEEE Journal on SAC*, Vol. 12. No. 8.
- [9] Do Van Tien, Tivadar Jakab and Miklós Telek: New services and ATM. *Magyar Távközlés*. Selected Papers from the Hungarian Telecommunication Periodical, No. 93/10.
- [10] Tamás Balogh: HDSL system in the subscriber network. *Magyar Távközlés*. Selected papers from the Hungarian Telecommunication Periodical. No. 94/1.
- [11] Pekka Nykänen: Vezeték nélküli helyi hurok. A lehetőségek-től a széleskörű alkalmazásig. *Magyar Távközlés*. 1994. V. évf. 12. szám.
- [12] Pohánka Béla: RAS 1000 fix telepítésű rádiótelefon rendszer Budán. *Magyar Távközlés*. 1994. V. évf., 3. szám.
- [13] The use of spread spectrum techniques. Draft new Recommendation (Doc. 1/43). ITU International Telecommunication Union, Radiocommunication Study Groups, 27. Sept. 1993.
- [14] Konstandinos G. Filis and Someshwar C. Gupta: Overlay of cellular CDMA on FSM. *IEEE TR on VT*, Vol. 43, No. 1.
- [15] Károly Borsos: Local telephone networks – "NET 200" system. *Magyar Távközlés*. Selected papers from the Hungarian Telecommunication Periodical. No. 94/1.
- [16] Dárdai Árpád: Rádiótelefon-rendszerek gazdaságos létesítése. *Magyar Távközlés*. 1994. V. évf., 5. szám.
- [17] Chokri Trabelsi and Abbas Yongacoglu: A reduced complexity DS-CDMA system for personal communication networks. *IEEE TR on VT*, Vol. 43 No. 3.

THE FEATURES OF SST-CDMA TECHNIQUE. COMPARISON OF CELLULAR SYSTEMS

L. PAPP

TECHNICAL UNIVERSITY OF BUDAPEST
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS
H-1111 BUDAPEST, SZTOCZEK U. 2.

Á. DÁRDAI

MATÁV CO., PKI TELECOMMUNICATIONS DEVELOPMENT INSTITUTE
H-1456 BUDAPEST, P.O. BOX 2. HUNGARY

The SST-CDMA technique is a certain group of modulations, transmissions and multiple access methods. The CDMA technology will be more and more important in the mobile and wireless terrestrial and satellite telecommunication, in the areas of WLL and PCN/PCS systems and services because of its very advantageous features on capacity, reliability, transmission, services and economy. In the paper the FDMA, TDMA and CDMA technologies are compared and the present and future possibilities of CDMA applications are summarized.



Pap László 1967-ben végezte el a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Karának Híradástechnikai Szakát. 1980-ban kandidátusi, 1992-ben akadémiai doktori fokozatot szerzett. 1992 óta egyetemi tanár, a Híradástechnikai Tanszék vezetője, 1994 óta a Villamosmérnöki és Informatikai Kar dékánja. Fő érdeklődési területe a hírközléstechnika, a kódolás és moduláció, a szinkronizáció, a mobil kommunikáció és a

modern távközlési rendszerek elmélete.



Dárdai Árpád villamosmérnöki és doktori oklevelét a Budapesti Műszaki Egyetemen kapta. Szakmai tevékenységét a BHG-nál, a BRG-nél, az EMV-nél és a Közlekedési és Távközlési Műszaki Főiskolán adjunktusként végezte, majd a MATÁV PKI-hoz került, ahol ma is dolgozik tudományos főmunkatársként. Az analóg és a digitális nyilvános és nem nyilvános vezeték nélküli beszéd- és adatkommunikációs célú rádió-

távközlő rendszerek kutatási, tervezési és alkalmazási témáiban tevékenykedik. Több főiskolai jegyzetet, szakmai könyvet és szakmai cikket készített. Szakmai társadalmi tevékenységet a HTE keretében végez.

SZÓRT SPEKTRUMÚ RENDSZEREK

SCHMITTERERNÉ BAUSZ ANDREA

MATÁV RT, PKI TÁVKÖZLÉSFEJLESZTÉSI INTÉZET
1456 BUDAPEST, PF. 2.

A cikk áttekintést nyújt a szórt spektrumú rendszerek tulajdonságairól, a spektrum kiterjesztésének módszereiről. Ismerteti a vezeték nélküli kommunikáció területén megjelenő és tervezett szórt spektrumú megoldásokat, valamint részletesebben bemutatja a CDMA technika jellemzőit mobil alkalmazás esetén.

1. BEVEZETÉS

A vezeték nélküli rendszerek napjainkban tapasztalható széleskörű elterjedése és a személyi távközlés koncepciójának megvalósítása számos, a rádiós technológia alkalmazásából eredő problémát vet fel. A hagyományos keskenysávú rendszerek kizárólagosan a számukra kijelölt frekvenciasávban működhetnek. A spektrum telítettsége miatt a kapacitás növelése a rendelkezésre álló sávon belül a csatornák számának növelésével, tehát keskenyebb sáv szélességű csatornák bevezetésével — azaz precíziós szűrők, frekvencia-szintézerek és kis sebességű beszédkódolók alkalmazásával válik lehetővé. A szórt spektrumú moduláció rádiós rendszerekben történő alkalmazása ezen a korlátok leküzdését ígéri.

Az eddig megszokott rádiós rendszerekhez képest a szórt spektrumú kommunikáció egészen más szemléletmódot követel, mivel ezzel a technikával egy adott frekvenciasávot számos előfizető használhat egyidejűleg, illetve más rendszerekkel együtt zavarás nélkül osztozhat a sávon. A szórt spektrumú rendszerekben ugyanis a már modulált jelet az átvitel előtt másodszor úgy kódolják, hogy az ugyanabban a frekvenciasávban lévő egyéb jelekkel ne keletkezzen jelentős interferencia. Ezzel jelentősen megnövelik a jel sáv szélességét, innen ered a „szórt spektrum” vagy „kiterjesztett spektrum” elnevezés (angolul spread spectrum, SS). A jel teljesítménye állandó marad, spektrális teljesítménysűrűsége azonban a spektrum kiterjesztésével lecsökken; így más rendszereket a hagyományosnál jóval alacsonyabb mértékben zavar [1]. A szórt spektrumú kommunikáció tehát a következő két tulajdonsággal definiálható [2]:

- a kiterjesztett jel sokkal — esetleg nagyságrendekkel — nagyobb sáv szélességet foglal el, mint amennyi az információ átviteléhez minimálisan szükséges lenne;
- a jel kiterjesztése az információtól független álvéletlen kódsorozattal történő kódolással valósul meg.

A szórt spektrumú rendszerek jellemzésére az átvitel során keletkező G energianyereségi tényező alkalmas, amely a vevő demodulátorában, a keskenysávú információ visszaállításakor fellépő jel-zavar viszony és a vevő bemenetén megjelenő jel-zavar viszony hányadosa:

$$G = \frac{SNR \text{ a vevő kimenetén}}{SNR \text{ a vevő bemenetén}}. \quad (1)$$

A gyakorlatban az energianyereségi tényező sokkal kényelmesebben számolható, ugyanis megegyezik az ST sáv szélesítési tényezővel, azaz a kiterjesztéskor elfoglalt B

sáv szélesség és az alapsávi információ R sebességének hányadosával:

$$ST = G = \frac{B}{R}. \quad (2)$$

2. A SPEKTRUMSZÓRÁS ELŐNYEI

A szórt spektrumú kommunikációs rendszereket a II. világháború időszakában kezdték el alkalmazni. A cél kiváló interferencia- és zavarelnyomással rendelkező, szinte észlelhetetlen rádiós technika kidolgozása volt. A szórt spektrumú jel tulajdonsága, hogy mind a rendszeren kívülről származó véletlen vagy szándékos keskenysávú zavarással, mind pedig többszörös hozzáférés esetén a rendszer többi felhasználójának jeleivel szemben igen ellenálló. A spektrum kiterjesztése, a teljesítménysűrűség lecsökkentése a lehallgatást több szempontból is megnehezíti, ugyanis a kódok bizonyos fokú természetes védettséget nyújtanak, a zaj-szerű jelek pedig rejtettséget biztosítanak, ezzel az észlelés lehetőségét csökkentik.

A fenti előnyös tulajdonságok azonban nem érvényesülnek olyan szélessávú zavar vagy interferencia esetén, melynek az energiaszintje azonos nagyságrendű az SS rendszer energianyereségi tényezőjének és adási energiájának szorzatával. A rendszer teljesítménye ilyen körülmények között leromlik.

3. A SPEKTRUMSZÓRÁS TÍPUSAI

A spektrum kiterjesztésére három eljárás ismeretes: az időugratás, a frekvenciaugratás és a közvetlen szekvenciális kódolás.

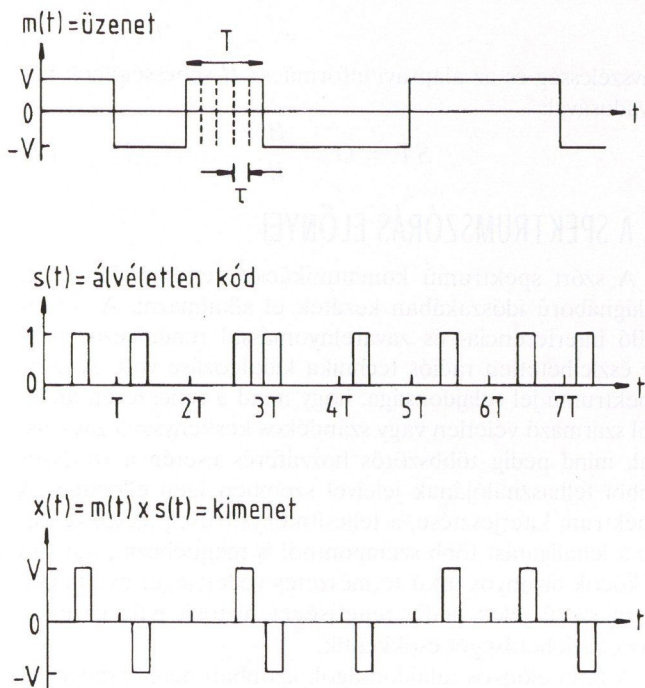
3.1. Időugratás

Időugratás (time hopping) esetén csak az álvéletlen kód-sorozat alapján kiválasztott időrésekben van adás, mint ezt az 1. ábra szemlélteti [2]. Az üzenetben a bitidő T , amely T/τ részre — ún. chip-re — alá van osztva; a kódnak megfelelően közülük bitenként egy, véletlenszerűen kiválasztott chip kerül a kimenetre. Ez a módszer a kommunikációs csatorna felfedezését és lehallgatását nehezíti meg az adási szakaszok közötti időtartam változtatásával.

Az időugratásos eljárás legegyszerűbb formájában egyetlen, állandó vivőt alkalmaznak. Ekkor azonban az összeköttetés igen könnyen zavarható, így ez a módszer önmagában nem rendelkezik a szórt spektrumra általában jellemző szándékos zavarás elleni ellenállóképességgel.

3.2. Frekvenciaugratás

A frekvenciaugratás (frequency hopping) során egy előre meghatározott frekvenciakészletből álvéletlen kód szerint választva az adó és a vevő frekvenciáit szinkronban változtatják. Ha a frekvenciaváltások közötti idő hosszabb az üzenet bitidejénél, lassú ugratásról beszélünk. Gyors frekvenciaugratásról akkor van szó, ha a bitidő alatt többször történik frekvenciaváltás. Az összeköttetést a felhasznált frekvenciák és az ugratási kód ismerete nélkül igen nehéz zavarni vagy lehallgatni.

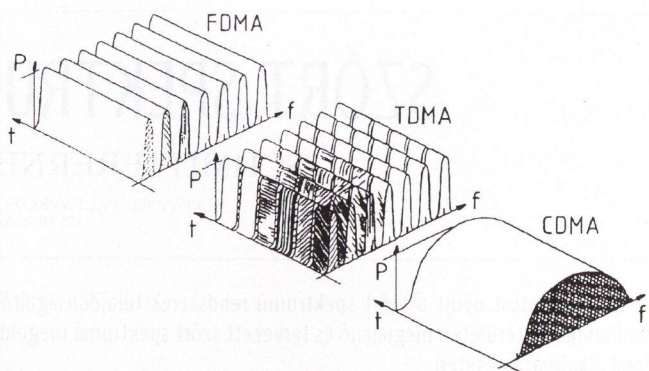


1. ábra. A spektrum kiterjesztése időugratással

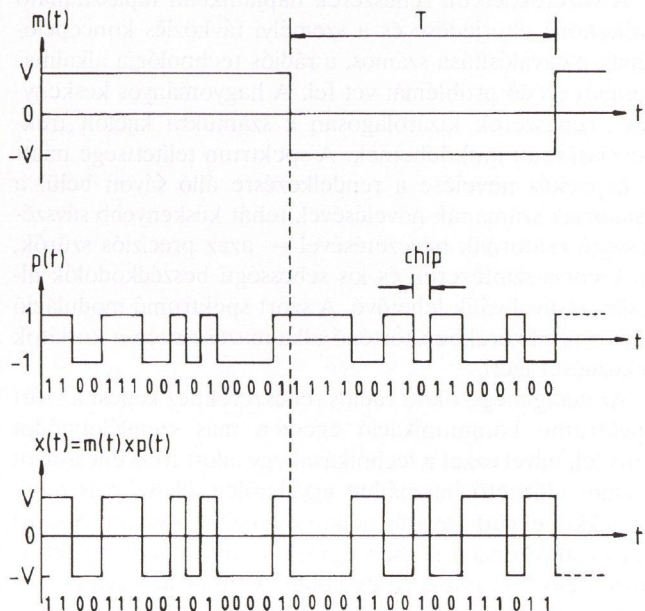
3.3. Közvetlen szekvenciális kódolás

A leggyerekesebbnek tartott spektrumszórás eljárás a közvetlen szekvenciális kódolás (direct sequence coding), más néven kódsztásos többszörös hozzáférés (Code Division Multiple Access, CDMA).

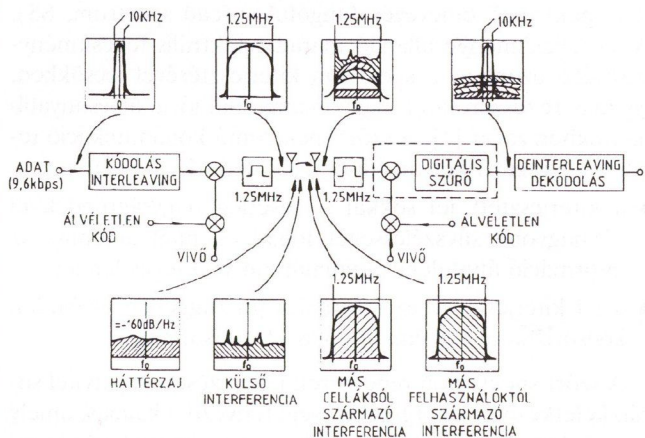
Az eddig széles körben alkalmazott többszörös hozzáférési módszerek (FDMA, TDMA) a felhasználók jeleit frekvenciában illetve időben elkülönítették egymástól. A CDMA esetében viszont az összes felhasználó elfoglalja a rendelkezésre álló teljes sáv szélességet az összeköttetés időtartamára, mint ez a 2. ábrán látható [3]. A CDMA lényege tehát, hogy egy azonos vivőfrekvenciát számos felhasználó használhat egyidejűleg úgy, hogy az egyes felhasználók jeleit álvéletlen bináris sorozatokkal (pseudo-random binary sequence) történő kódolással különböztetik meg. A kódsorozat időtartama azonos a kódolt beszéd egy bitjének időtartamával, és G chip található egy bitben. Ha az üzenet-bit értéke egy, akkor a kiterjesztett jelben a kódsorozat kerül a helyére, ha a bit értéke 0, akkor a kódsorozat chip-jei invertálva kerülnek a kimenetre, ahogyan ezt a 3. ábra mutatja [2]. Az így kódolt jel sáv szélessége kb. G -szeresére növekszik, bináris modulációt feltételezve.



2. ábra. Többszörös hozzáférési módszerek összehasonlítása frekvenciában és időben



3. ábra. A spektrum kiterjesztése közvetlen szekvenciális kódolással



4. ábra. A CDMA elve

A vételi oldalon a kívánt jel visszaállításakor az összes nemkívánatos jelek — köztük a többi előfizető jelei — zajnak minősülnek. Ugyanis az összes CDMA jelet véve és megszorozva az adott egyedi kóddal, a keresett jel visszakörül az eredeti alacsony sebességű, kis sáv szélességű állapotba, a többi CDMA jel pedig, mely más kóddal

került kiterjesztésre, kiterjesztett állapotban marad. Ezt a folyamatot érzékelteti a 4. ábra [3].

3.4. Hibrid rendszerek

A három spektrumszórás alapeljárás egymással kombinálva is alkalmazható, ezeket a megoldásokat hibrid rendszereknek nevezzük.

4. A SZÓRT SPEKTRUMÚ TECHNIKA ALKALMAZÁSAI

A félvezető technológia és a számítástechnika fejlődése az elmúlt években jutott el arra a szintre, hogy a szórt spektrumú rendszerek tömeggyártása gazdaságossá váljon. A polgári felhasználás lehetőségét elsőként amerikai cégek — pl. Qualcomm Inc., DSC CC, AT&T, Motorola, Northern Telecom — kezdték el vizsgálni. A szórt spektrumú modulációt kommunikációs célokra elsősorban vezeték nél-

küli rendszerekben alkalmazzák.

4.1. Helymeghatározó rendszerek

A GPS (Global Positioning System) műholdas helymeghatározó rendszer a CDMA technika alkalmazásával 30 méteres pontossággal megadja a tartózkodási hely koordinátáit bárhol a világon. Egy GPS vevő ára ma már 1000 USD alatt van [1].

4.2. Mobil műholdas rendszerek

Bár még néhány évet várni kell a személyi távközlést megvalósító, a teljes Földet lefedő mobil műholdas távközlő rendszerek szolgáltatásainak megindítására, a tervek már készen állnak. Ezen rendszerek többsége szórt spektrumú, leginkább CDMA technikát fog alkalmazni, mint azt az 1. táblázat összefoglalja [1].

1. táblázat. Mobil műholdas rendszerek néhány jellemzőjének összehasonlítása

Rendszer neve	Fejlesztő cég	Műholdak száma	Pálya [km]	Többszörös hozzáférési mód		Csatorna szélesség
				forward lin	return link	
Globalstar	LQSS	48	1414	CDMA	CDMA	1,25 MHz
Odyssey	TRW	12	10370	CDMA	CDMA	5,5 MHz
Ellipso	Ellipsat	6 később 24	580x7800	CDMA	CDMA	1,1 MHz
Aries	Constellation	48	1020	szórt TDMA	CDMA	16,5 MHz 1–5 MHz
Iridium	Motorola	66	780	FDMA/TDMA	FDMA/TDMA	41,67 kHz

4.3. Pont-pont közötti adatátvitel

Pont-pont összeköttetések megvalósítására kereskedelmi forgalomban kaphatók szórt spektrumú adatmodemek. Az USA-ban a 902–928 MHz-es, a 2400–2483,5 MHz-es és a 5725–5850 MHz-es sávokon belül egyedi engedélyezés nélkül telepíthető frekvenciaugratásos vagy direkt szekvenciális technikán alapuló összeköttetés. Ehhez a szabályozáshoz hasonlóan Európában a 2,5 GHz-es ISM sávot jelölték ki ilyen adatátviteli összeköttetések telepítésére, a megengedett összteljesítmény –10 dBW eirp. Ez elsősorban telephelyen belüli, másodlagos szolgálatkénti használatot tesz lehetővé.

4.4. WLAN

A számítógépes helyi hálózatokhoz vezeték nélküli hozzáférés biztosítható például szórt spektrumú csomagkommunikáció alkalmazásával is. Kialakítható önálló rádiós LAN hálózat, vagy kombinálható a rádiós hozzáférés a már telepített vezetékes LAN hálózattal. Kereskedelmi forgalomban frekvenciaugratásos és közvetlen szekvenciális kódolású rendszerek is kaphatók.

Ezen a területen az európai szabványosítás megkezdődött, két rendszer kidolgozása is folyamatban van:

- ERC LAN (European Radiocommunication Committee) a 2,4-2,5 GHz-es sávban;
- ETSI HIPERPLAN (High Performance European Radio LAN) az 5 GHz-es és a 17,1–17,3 GHz-es sávban.

4.5. Mobil rendszerek

A szórt spektrumú technika alkalmazása a mobil területen két oldalról is felmerül: a digitális cellás rádiótelefonია illetve a harmadik generációs, globális mobil távközlés területén. Az európai GSM szabványhoz képest néhány év késéssel az USA-ban elfogadták a Qualcomm cég által kidolgozott digitális cellás rendszert, amely CDMA többszörös hozzáférési technikát alkalmaz. Ez az IS-95 szabvány, mely a 800–900 MHz-es vagy az 1,7-1,8 GHz-es tartományban, 1,23 MHz sávszélességű csatornákkal, vivőként 62 forgalmi csatornával működik. Részletesebben az 5. fejezetben ismertetjük a CDMA technika néhány tulajdonságát mobil alkalmazásban.

A globális mobil rendszereken dolgozó szabványosító testületekben évek óta vitáznak arról, hogy TDMA vagy CDMA alapúak legyenek ezek az ezredforduló környékén megvalósuló rendszerek. A vizsgálatok Európában is több kutatási projekt keretében folynak, végeredmény egyelőre nincs.

4.6. Vezetéknélküli előfizetői hálózat

Az utóbbi néhány évben megnövekedett az érdeklődés a vezetékes telefonhálózat utolsó, az előfizetői hozzáférést megvalósító szakaszának rádiós helyettesítése iránt (Radio in the Local Loop, RLL). A piacon rendkívül sokféle, főként a cellás hálózatok rádiós interfészének felhasználásával készült termék jelent meg. A legújabb berendezések között pedig már szerepelnek a szórt spektrumú, főként CDMA megoldások is. Ilyen a DCS Communications Corporation AIRSPAN rendszere is, mely azzal emelkedik ki a sorból, hogy alap ISDN hozzáférést is képes biztosítani. Kísérleti jelleggel többek között Nagy-Britanniában tesztelik a berendezést. Emellett pl. a Qualcomm, a Motorola, valamint a Siemens cég is ajánl SS-RLL megoldásokat.

5. A CDMA MOBIL ALKALMAZÁSBAN

A CDMA rendszerek legfőbb előnye a rendkívül hatékony spektrum-felhasználás és a nagy kapacitás. A CDMA technikával ugyanis — mint azt a 3. fejezetben bemutatunk — a felhasználók ugyanazt a frekvenciasávot foglalják le egyidejűleg, megkülönböztetésük egyedi kódokkal történik. Ebből adódik, hogy a CDMA mobil rendszerekben történő alkalmazásakor a szomszédos cellákban felhasználhatók ugyanazok a frekvenciák, így a frekvenciaújrafelhasználási tényező 1. Interferencia természetesen keletkezik a szomszédos szektorokban és cellákban, de az ebből származó kapacitás-vesztéséget bőven ellensúlyozza az „egy-cellás clusterekből” és a szektorizációból származó növekedés. Az IS-95 CDMA rendszer kapacitása az első generációs analóg cellás TACS rendszer kapacitásának 7–10-szerese.

A CDMA rendszer kapacitásának jellemzője, hogy nincs élesen meghatározott kapacitás-korlát. A felhasználók száma azon az áron növelhető a rendszerben, hogy az összes felhasználó által tapasztalt bithibaarány, a szolgáltatás minősége fokozatosan romlik.

5.1. A kapacitásra ható tényezők

5.1.1. Teljesítményszabályozás

CDMA alkalmazásakor a rendszer kapacitását a hasznos jel és az egyéb előfizetők számától függő mértékű zaj viszonya korlátozza. A rendszer kapacitásának maximalizálásához tehát az interferenciát ellenőrzés alatt kell tartani. Az előfizetői készülék széles tartományban — 84 dB-es lépésben — változtatható, gyors és pontos teljesítményszabályozással rendelkezik. A bázisállomás másodpercenként 800-szor küld korrekciós felszólítást a mobil állomásnak a kisugárzott teljesítmény éppen szükséges legkisebb — megfelelő minőséget biztosító — szinten tartására. Ezzel biztosítható, hogy minden mobil jelét a távolságtól függetlenül kb. azonos szinten veszi a bázisállomás.

Más típusú cellás rendszerekben is alkalmaznak teljesítményszabályozást, ott azonban nem kell ennyire precíznek lennie. A CDMA technika esetén azonban az egyik legérzékenyebb pont a pontos teljesítményszabályozás.

5.1.2. Beszédaktivitás érzékelése

Felmérések szerint egy átlagos telefonbeszélgetés során az egyik résztvevő az idő mindössze 35–40 %-ában beszél, a fennmaradó időben vagy a partnert hallgatja, vagy mindkét oldalon csend van. A rendszer interferencia-korlátozottsága miatt célszerű ezekben az üres szakaszokban kikapcsolni vagy csökkenteni az adóteljesítményt, ezzel is mérsékelve a többi felhasználó által érzékelt pillanatnyi interferenciát. Az IS-95 rendszerben a beszédaktivitás érzékelésével (Voice Activity Detection, VAD) szabályozható a változtatható sebességű beszédkódoló aktuális sebessége.

Más cellás rendszerekben is alkalmaznak szaggatott adásmódot a beszédszünetek kihasználásával, elsősorban az akkumulátor kímélésére. Az interferencia hatások ott azonban eltérőek és kevésbé jelentősek.

5.2. Beszédminőség

Szubjektív vizsgálatok az IS-95 rendszer beszédminőségét igen magasra értékelték. Ez főként a rendszerben alkalmazott hatékony hibajavító kódolásnak és a változtatható sebességű beszédkódolóknak köszönhető. Zajos környezetben — pl. autóban, nyilvános helyen — a kódoló az állandó háttérzajt kiszűri. A beszédminőséget kedvező irányban befolyásolja a teljesítményszabályozás interferencia-csökkentő hatása is. Cellahatáron történő áthaladáskor az ún. soft handover folyamat biztosítja a zavarmentes csatornaváltást. A hívásátkapcsolási zónában egyidejűleg két vagy három bázisállomás is tartja a kapcsolatot a mobil készülékkel. Ezzel elkerülhető a ping-pong hatás, valamint csökken a hívás megszakadásának lehetősége is. A soft handover rádiótelefon rendszerben történő alkalmazása újdonságnak számít.

A CDMA technika további előnye, hogy a rádióhullámok többutas terjedését fel tudja használni a minőség javítására, szemben a hagyományos rendszerekkel, ahol ez a jelenség minőségromlást okoz.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A szórt spektrumú rendszerek előnyös tulajdonságai ellenére felmerül néhány olyan szempont, amely egyelőre óvatosságra int a széleskörű bevezetés tervezésével kapcsolatban.

Ami hazai viszonylatban is aktuális, az a WLAN, az adatátviteli összeköttetések és az RLL területe. A WLAN rendszerek a telephelyen belüli alkalmazás, valamint az európai szabványosítás előrehaladott állapota miatt nem jelentenek problémát. Várhatóan ez lesz az egyik olyan terület, ahol először találkozhatunk majd szabványos, széles körben elfogadott szórt spektrumú készülékekkel.

A Magyarországon alkalmazható RLL megoldásokat elsősorban a KHVM által erre a célra kijelölt 900 MHz-es frekvenciasáv határozza meg, melyben csak analóg berendezések üzemeltethetők. Mivel ezen a területen jelenleg sokféle, Európában elfogadott típusú rendszer hozzáférhető, nem célszerű egyelőre még európai szinten is bizonytalan szabályozási háttérű digitális berendezések behozatala.

A földi mobil rendszerek területén a világ három részére szakadt: eddig Európa, Amerika és Japán egymással

többé-kevésbé párhuzamosan, kis időbeli eltéréssel kifejlesztették a maguk szabványait. Az európai GSM sikere és világszerte tapasztalható gyors térhódítása a jelentős USA-beli CDMA érdekeltségek körében nem valószínű, hogy tetszést aratott. Egyre gyakrabban találkozhatunk az IS-95 és GSM rendszert valamilyen szempontból összehasonlító cikkekkel, ám viszonylag kevésről mondható el, hogy ob-

jektív képet ad mindkét rendszerről; sokszor érezhető bizonyos tulajdonságok egyoldalú kiemelése. Az IS-95 széleskörű gyakorlati tesztelése 1995-96 folyamán fog lezajlani, az eredmények várhatóan sokat segítenek majd a harmadik generációs mobil rendszerek rádiós interfészeinek meghatározásában is.

IRODALOM

- [1] D. T. Magill, F. R. Natali, G. P. Edwards: Spread Spectrum Technology for Commercial Applications. *Proceedings of the IEEE*, Vol. 82, No. 4, April 1994, pp. 572-584.
- [2] T. S. D. Tsui, T. G. Clarkson: Spread Spectrum Communications Techniques. *Electronics & Communication Engineering Journal*, February 1994, pp. 3-12.
- [3] An Overview of the CDMA to Digital Cellular Systems and Personal Cellular Networks. Qualcomm Inc. Material, May 1992.
- [4] F. Baumgartner: CDMA — Beyond the Time Domain. *Communications*, February 1990.

SPREAD SPECTRUM TECHNOLOGY

A. BAUSZ

MATÁV CO., PKI TELECOMMUNICATIONS DEVELOPMENT INSTITUTE
H-1456 BUDAPEST, P.O. BOX 2. HUNGARY

The paper gives an overview of spreading techniques and characteristics of spread spectrum systems. Existing and planned SS solutions are briefly described, and CDMA features in mobile applications are summarized.



Schmittererné Bausz Andrea 1989-ben fejezte be tanulmányait a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Karán. Híradástechnikai szakmérnöki oklevelét 1992-ben, egyetemi doktori fokozatát 1994-ben szerezte. 1991 óta a PKI Távközlésfejlesztési Intézet Stratégiai fejlesztési ágazatának munkatársa. Mobil rendszerekkel és vezeték nélküli előfizetői hálózatokkal foglalkozik.

NÉHÁNY MEGJEGYZÉS AZ IS-95 CDMA SZABVÁNYHOZ

YITZHAK IRVING KALET

HAIFA, IZRAEL

Az elmúlt években a világ jelentős figyelmet fordított a CDMA rendszerek felé. Ennek oka minden bizonnyal az IS-95 szabvány egyesült államokbeli elfogadása volt. Cikkünk az IS-95 szerinti rendszer jellegzetességeivel foglalkozik.

1. BEVEZETÉS

Az elmúlt 5 évben jelentős figyelmet fordított a világ a CDMA felé, amelyet a *kódosztásos többszörös hozzáférés* angol kifejezésből, a Code Division Multiple Access szavakból rövidítettek. A CDMA IS-95 szabványának az egyesült államokbeli cellarendszerű digitális hírközlés számára való megfontolása és elfogadása volt bizonyára az a mozzanat, amely ezt az érdeklődést lényegében kiváltotta. A magasabb frekvenciasávokban ez a rendszer volt annak a hét rendszernek az egyike, amelyet az USA-ban PCS számára szabványnak javasoltak. Van egy másik CDMA javaslat is a PCS-hez, ezt többnyire szélessávú B-CDMA-nak nevezik, mert az IS-95 szabványnál szélesebb sávon működik.

Az IS-95 szabvány elfogadása érdekében az igazi hajtóerő a kaliforniai San Diegóból való QUALCOMM cég volt, amelyet Andrew Viterbi és Irwin Jacobs vezetett. Mindketten a digitális hírközléstechnikának sok éve nemzetközileg elismert kutatói. Amikor a digitális cellarendszerre vonatkozó CDMA javaslatukat az USA-ban beadták, akkor az IS-54 elnevezésű TDMA szabványt a digitális cellarendszerű hírközlés egyetlen szabványaként már elfogadták, ahogyan a GSM szabvány maga az egyetlen páneurópai szabvány lett egész Nyugat-Európa számára. Általánosan elterjedt az a vélemény, hogy éppen e két kutató széleskörű elismertsége és az a ragyogó „tálalás”, ahogyan CDMA javaslatukat előadták, vezetett arra, hogy második cellaszabványként azt az USA-ban is elfogadták.

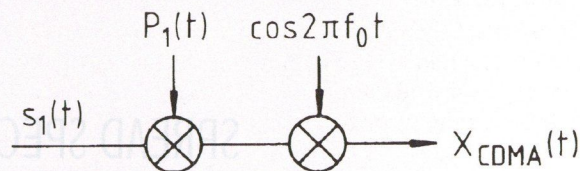
Cikkünk további részében a CDMA általános képét, egyes jellemző attribútumát és nehézségeit, valamint az USA IS-95 CDMA szabványának egyes sajátos részeit fogjuk röviden felvázolni.

2. ÁLTALÁNOS LEÍRÁS

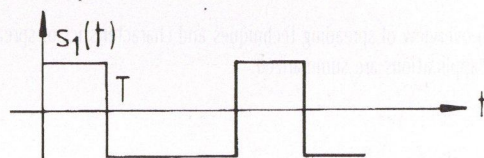
A CDMA lényegében szélessávú, szórt-spektrumú, többszörös hozzáférési technika, amelyben valamely cellarendszer valamennyi cellájának valamennyi használója egyszerre használja ugyanazt a vivőfrekvenciás sávot. Ez az ami ellentétes az analóg cellarendszerekben alkalmazott olyan frekvenciaosztásos, többszörös hozzáférésű FDMA (Frequency Division Multiple Access) rendszerrel, mint amilyen az AMPS rendszer, amelyben a frekvenciasávot ortogonális frekvenciaosztásra osztják, valamint ellentétes az időosztásos, többszörös hozzáférésű TDMA (Time Division Multiple Access) rendszerrel, mint amilyen az IS-54 vagy a GSM rendszer, amelyben az egyes használóknak az egyes időkeretekben meghatározott időrés van kiosztva arra, hogy abban (és csak abban, és csakis ők) közvetítsenek információt.

A CDMA-t előbb egyetlen cellára, majd egész cellarend-

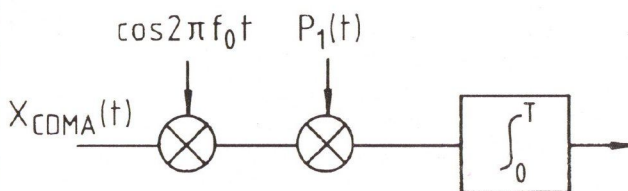
szere vonatkozóan vizsgáljuk. Ha feltételezzük, hogy az alkalmazott modulációtechnikánk bináris fázisbillentyűzés, tehát BPSK (binary phase shift keying), akkor a tipikus CDMA adót és vevőt az 1. ábra mutatja.



árvéletlen bináris
impulzussorozat



(a)



(b)

1. ábra. Tipikus CDMA adó és vevő felépítése.
a) Adó; b) Vevő

Ha mind az adóban, mind a vevőben eltekintünk a $p_1(t)$ szorozótényezőtől, akkor az 1. ábra szerinti felépítés egy olyan, igen egyszerű BPSK átviteli rendszernek felel meg, amelyeknek az adatátviteli sebessége:

$$R_b = 1/T_b \text{ bit/s.}$$

Tekintsük az alapsávi $s_1(t)$ jelet, amelyet az árvéletlen vagy álzaj jellegű $p(t)$ PN-sorozattal (pseudo noise) szoroztunk meg. A PN-sorozatnak ún. chip-sebessége van (chip-rate):

$$R_{ch} = 1/T_{ch} \text{ chip/s.}$$

Ha ezt a sortozatot szinkronizált módon alkalmazzuk az adóban és a vevőben, akkor a detektálás minősége, azaz a rendszer teljesítőképessége lényegében megfelel a BPSK értékének, aminek következtében a demodulált alapsávi

$b(t)$ jel a vételi $p_1(t)$ jellel való szorzás után a következő alakot ölti:

$$b(t) = p_1^2(t) s_1(t) = s_1(t). \quad (1)$$

Az adási sorozat a sávszélességet R_{ch}/R_b arányban megnöveli, ezt nevezzük *feldolgozási nyereségnek*. Amennyiben egy másik használó ugyanakkor, ugyanabban a frekvenciasávban, de másik alapsávi $s_2(t - \tau)$ jelet, egy másik, az előzővel nemszinkronizált $p_2(t - \tau)$ PN-sorozattal megszorozva sugároz ki, akkor az ennek a második jelnek a hatására az első $p_1(t)$ vevő szorzójának a kimenetén fellépő $b_1(t)$ interferencia-jel (effektíve) a következő lesz:

$$b_1(t) = p_1(t) \cdot p_2(t - \tau) \cdot s_2(t - \tau). \quad (2)$$

A $p_1(t)$ és $p_2(t - \tau)$ jelek „majdnem” ortogonálisak az integráló kimenetén. Annak eredményeként, hogy az interferáló jel „majdnem” ortogonális, a vevő bemenetén megnő a fehérzaj szintje éppen egy chip-nyi E_{ch} energiával megegyező értékben, ahol E_{ch} energia nem más, mint a P teljesítmény szorozva a T_{ch} chip-idővel, azaz

$$E_{ch} = P \cdot T_{ch},$$

amiből következik az ekvivalens jel-zaj viszony:

$$(E_b/N_o)_{eq} = \frac{E_b}{N_o + E_{ch}}. \quad (3)$$

Ennek hatása elegendően kicsiny, amennyiben E_{ch} értéke elhanyagolhatóan kicsiny, és így más használók is használhatják ugyanazt a frekvenciasávot. Ha más használók is adnak ugyanabban a sávban, akkor az ekvivalens jel-zaj viszony:

$$(E_b/N_o)_{eq} = \frac{E_b}{N_o + E_{ch1} + E_{ch2} + \dots + E_{ch(M-1)}}. \quad (4)$$

Amennyiben az egyes E_{ch} értékek maguk kicsik, az E_{ch} értékek összege még lehet akkora, hogy elfogadhatatlan szintre hozza az $(E_b/N_o)_{eq}$ értéket. Ez fontos megállapítás abból a szempontból, hogy a CDMA rendszert saját belső *használóközi interferenciája* korlátozza.

Itt láthatjuk a CDMA rendszerre jellemző másik nehézséget is. Ha az egyik használó jelét a többi használó jelenél jóval nagyobb szinten lehet venni, akkor a cellában valamennyi vevőre vonatkozó (4) egyenlet nevezőjében ez a tag nemcsak „fellép”, hanem domináns is lesz, valószínűleg „kiszorítva” a többi használót az adott frekvenciasávból. Ezt nevezzük a CDMA „közel-távol” (near-far) problémájának. A QUALCOMM cég CDMA rendszere elég nagy feldolgozási bonyolultságot áldoz ennek a nehézségnek a feloldására, miután az a céljuk, hogy végső soron minden vett-jel (bármelyik) vevőn *ugyanazzal a teljesítménnyel* jelenjék meg, ami természetesen nyílt és zárt hurkú teljesítményszabályozó algoritmust foglal magában. Tény az, hogy a bázisállomás képes az egyes mozgó (mobil) használók készülékeit arra utasítani, hogy 1,25 ms időközönként, azaz 800-szor másodpercenként egy-egy dB-lel növeljék vagy csökkentsék kimenő teljesítményüket.

Sokan úgy vélik, hogy az IS-95-nek ez a teljesítményszabályozó rendszer a gyenge láncszeme. Ha nem működik megfelelően, akkor az messzemenően csökkenti a rendszer teljesítőképességét. A szerző tudomása szerint (e sorok írása közben), még sohasem végeztek teljes IS-95 CDMA

vizsgálatot úgy, hogy ezt a teljesítményszabályozó algoritmust is belemérték volna (bár kisebb mértékű tesztek már folytak San Diegóban néhány évvel ezelőtt).

Amennyiben a teljesítményszabályozás lehetséges és elérhető, hogy valamennyi vett-jel teljesítménye (bármely vevőn) azonos legyen, akkor a (4) egyenlet a következő alakra egyszerűsíthető:

$$(E_b/N_o)_{eq} = \frac{E_b}{N_o + (M - 1)E_{ch}}. \quad (5)$$

Ha még azt is feltételezzük, hogy az interferencia lényegesen nagyobb $(N_o)_{eq}$ értékénél, akkor

$$(E_b/N_o)_{eq} \approx \frac{E_b}{(M - 1)E_{ch}} = \frac{1}{(M - 1)} \frac{R_{ch}}{R_b}, \quad (6)$$

ahol az R_{ch}/R_b arányt neveztük *feldolgozási nyereségnek*. Minél nagyobb R_{ch} , annál jobban (an teljesít) a rendszer. Az IS-95 esetében ez az arány a következő értéket veszi fel:

$$\frac{R_{ch}}{R_b} = \frac{1,2288 \text{ Mchip/s}}{9,6 \text{ kbit/s}} = 128 \text{ (21dB)}.$$

A *cellakapacitás* értéke M , amely úgy határozható meg, hogy figyelembe vesszük az $(E_b/N_o)_{eq}$ -re vonatkozó követelményeket, történetesen IS-95 esetében elvárjuk, hogy $(E_b/N_o)_{eq}$ értéke 7 dB-nél nagyobb legyen.

2. A CDMA NÉHÁNY FONTOS JELLEMZŐJE

2.1. Cellaközi interferencia

Az (5) teljesítőképességre hatnak a többi cellák is úgy, ahogy azt (a cellán belül) láttuk, és ennek tényezője is $(M - 1)E_{ch}$, amelynek értéke IS-95 esetén kb. 50–100 %. Ez azt jelenti, hogy az összes többi cella valamennyi használója együttesen úgy hat, hogy a cellaközi interferencia 2-3 dB-lel megnő. Ez a tény teszi lehetővé, hogy ugyanazt a frekvenciasávot (sávszélességet) használja valamennyi cella valamennyi használója. Ez a CDMA egyik legfőbb kedvező tulajdonsága.

2.2. Szektorbontás

Amennyiben a mindenfelé sugárzó antenna helyett pl. három irányban külön-külön sugárzót alkalmazunk, akkor az egyes antennák csak egy-egy részt „látva” csak egyharmadot „kapnak” a cellaközi interferenciából, tehát egyetlen bázisállomás kapacitását ezzel is megnövelik. Ez a CDMA másik fő, kedvező tulajdonsága.

2.3. Beszédaktivitási tényező

Közismert tény, hogy a beszélők idejüknek csak közel felét-harmadát töltik ki beszéddel (mert szünetet tartanak szavak, mondatok között stb.), úgy, hogy ha M egymással interferáló használó egyszerre aktív egy cellában, akkor egyidejűleg bármely pillanatban csak kb. egyharmaduk van „jelen”. Ezt úgy vehetjük figyelembe, hogy a $(E_b/N_o)_{eq}$ érték növelésére az (5)-beli $(M - 1)E_{ch}$ tényezőt „3”-mal osztjuk, vagy pedig az (5), illetve (6) képletek alapján kiszámított M érték háromszorosát engedjük meg cellánként. A valóságos javulás azonban a „3” érték alatt marad,

mert a tényleg egyidejűleg beszélők számát a cellában csak valószínűségeloszlással adhatjuk meg, és a pontos számításhoz ezt is figyelembe kell venni.

2.4. Többutas terjedés

Bármely jel, amely több úton terjed, ott különböző késleltetést szenved. Ha az eredeti jel és a más úton haladó jel közötti késleltetés nagyobb a chip-időnél, akkor a „másik” jel „majdnem” ortogonális az eredeti jelre, és így majdhogyan semmi hatással nincs annak minőségére, teljesítőképességére. Másrészt ugyanezen chip-idő korlát mellett a többutaság kihasználható arra is, hogy a vett-jel energiáját fokozzuk. Az IS-95 rendszerében pont ezt csinálja, amikor RAKE-vevőt alkalmaz.

További érdekes és előnyös tulajdonságai is vannak a CDMA-nak, mint például a cellahatár átlépésével járó jelenségek (hands-off) kezelése, vagy a teljesítőképesség fokozatos gyengülésének jelensége.

2.5. IS-95

Az IS-95 sok, fent leírt jellegzetességet hasznosít, emellett a rendszer tényleges megvalósítása felettébb elegáns, beleértve a cellán belül a *használók* (jeleinek) bázis-használó irányú és Walsh-függvényekkel megoldott *ortogonalizálását*, valamint a cellák közötti ortogonalizálást, amelyhez ugyanazt a 2^{15} chip-hosszú PN-sorozatot alkal-

mazza. Az egyes cellákban időben annyira elcsúsztatja a PN-sorozatokat, hogy a cellák között a „majdnem” ortogonalitást már ezzel is elérje.

Négy évvel ezelőtt végzett számítások során (valamennyi fent említett szempont figyelembevételével) a QUAL-COMM cég majdnem hússzoros kapacitásnyereségre számított az analóg AMPS rendszerhez képest. Ezt a számot mára az analóg AMPS rendszer kapacitásának 5–10-szeresére csökkentették attól függően, hogy ki végzi a számítást, és hogy azt üzemi mérésre alapozták-e, vagy sem. Annak ellenére, hogy ez utóbbi érték(sáv) sokkal reálisabb, még ez sem egészen pontos.

2.6. A JÖVŐ

Még sok a kérdőjel az IS-95 körül, vajon mi lesz vele, ha egyszer ténylegesen üzembe helyezik? Mennyire fog a teljesítményszabályozás működni? Nagyméretű rendszerekben vajon valóban olyan sima lesz-e a cellahatárok átlépése? Mi lesz a valóságos kapacitásnyereség?

Jelenleg még nem működik kereskedelmi CDMA rendszer az USA-ban, bár már többet vizsgálnak (Seattle körzetében, Washington államban). Lehet, hogy ezekre a kísérletekre alapozva a nyitott kérdések közül többet is megnyugtatóan meg lehet majd válaszolni és az eredmények esetleg kijelölik magának a CDMA-nak a jövőjét is.

IRODALOM

- [1] L. Schilling, R. L. Pickholtz and L. B. Milstein: "Spread Spectrum Goes Commercial", *IEEE Spectrum*, pp. 40-45, August 1990.
- [2] S. Gilhousen et al: "On the Capacity of a Cellular CDMA System", *IEEE Trans. Vehicular Technology*, VT-40, No. 5, pp. 303-312, May 1991.
- [3] H. McDonald: "The Cellular Concept", *BSTJ*, Vol. 58, No. 1, Part 3, pp. 15-41, Jan. 1979.
- [4] MMouly and M.-B. Pautet: *The GSM System for Mobile Communications*, (Paris, 1992, ISBN 2-9507190-0-7).
- [5] TIA/EIA IS-54, "Cellular System Dual-Mode Mobile Station-Base Station Compatibility Standard", Telecommunications Industry Association, April, 1992.
- [6] Salmasi and K. S. Gilhousen: "On the System Design Aspects of Code Division Multiple Access (CDMA) applied to Digital Cellular and Personal Communications Networks", *Proc. 41st IEEE Veh. Technol. Conf.*, pp. 57-62, 1991.
- [7] Abrishamkar and E. Biglieri: "An Overview of Wireless Communications", *Proc. 1994 IEEE Military Commun. Conf.*, (MILCOM'94), pp. 900-905, October 2-5, 1994.
- [8] D. Cox: "Universal Digital Portable Radio Communications", *Proc. IEEE*, Vol. 75, No. 4, April 1987, pp. 436-477.
- [9] D. Goodman: "Trends in Cellular and Cordless Communication", *IEEE Comm. Mag.*, Vol. 29, June 1991, pp. 31-40.
- [10] J. E. Padgett, C. G. Günther and T. Hattori: "Overview of Wireless Personal Communications", *EEE Comm. Mag.*, Vol. 29, June 1991, pp. 28-41.
- [11] R. Kohno, R. Meidan and L. B. Milstein: "Spread Spectrum Access Methods for Wireless Communications", *IEEE Comm. Mag.*, Vol. 29, June 1991, pp. 58-61.
- [12] D. L. Schilling et al: "Broadband CDMA for Personal Communications Systems", *IEEE Comm. Mag.*, Nov. 1991.
- [13] G. R. Cooper et al: "Cellular Land-Mobile Radio: Why Spread Spectrum?", *IEEE Comm. Mag.*, March 1979, pp. 17-24.

SOME COMMENTS ON THE CDMA – IS-95 STANDARD

Y. I. KALET

HAIFA, ISRAEL

There has been a surge of interest throughout the world in the last five years in Code Division Multiple Access (CDMA). This interest has essentially been generated by the adoption of the CDMA – IS-95 standard for digital cellular communications in the United States. The paper deals with the system characteristics resulting from the IS-95 standard.

Yitzhak Irving Kalet a digitális moduláció-technikában dolgozott majdnem huszonöt éven át. Izraelben tanít az utóbbi húsz évben. Korábban az MIT Lincoln Laboratóriumban foglalkozott műholdas hírközléssel és a Bell Laboratóriumban sodrott érpáras digi-

tális átviteltechnikával. Mind Izraelben, mind az USA-ban ipari tanácsadó. A digitális modulációról több cikke is megjelent. Jelenleg cellarendszerek és személyi távközlőrendszerek (PCS) moduláció- és többszörös hozzáférés-technikáján dolgozik.

DIREKT SZEKVENCIAÁLIS SPEKTRUMSZÓRÁS MEGVALÓSÍTÁSA EGY KONKRÉT BERENDEZÉSBEN

A spektrumszórás elvének egyre szélesebb körű alkalmazása mellett jelen cikkben az egyik „legklasszikusabb” felhasználásra, a zavarás elleni nagy védeettséget nyújtó speciális hírközlésre szánt rádióberendezésre mutatunk egy lehetséges megoldást.

1. BEVEZETÉS

Az ismertetésre kerülő szórt spektrumú rádióberendezés a Budapesti Műszaki Egyetem által kifejlesztett, majd a nyolcvanas évektől a Finommechanikai Vállalatnál gyártott — a megrendelői igényeket kielégítendő — fokozatosan bővülő család tagja, mely alapvetően kW-os nagyságrendbe eső teljesítménnyel rendelkező, változó frekvenciájú adók közelében telepített konténerek közötti összeköttetés biztosítását célozza. A terepviszonyoktól függően 20–40 km távolság áthidalására alkalmas berendezéscsalád többféle alapsávi kiépítésben 2–10 távbeszélő-, 0–12 adatvonal és 1 szolgálati csatorna szimplex vagy duplex átvitelére képes akár csak önálló összeköttetésként, akár egy nagyobb hírhálózat részeként. Alkalmas több vevő közös antennán keresztül történő üzemeltetésére, illetve egy adó jelének több, különböző helyen lévő vevővel történő vételére, s szükség szerint a hatótávolság is növelhető ismétlőállomásként kialakított adó-vevő közbeiktatásával.

A direkt szekvenciális kódmodulációval létrehozott spektrumszórás elvéből eredően, ahol is az átvinni kívánt információn kívül nála egy sokkal nagyobb sebességű álvéletlen jelsorozatot is használnak a modulálásra, a kisugárzott jel teljesítménysűrűsége alacsony, sáv szélessége pedig — a spektrumszóró kód sebességének megfelelően — széles. Ez a spektrumszélesítés a processzási nyereséggel jellemezhető, elvi értéke a spektrumszóró kód hosszából számítva:

$$G_p = 10 \lg N,$$

ahol:

G_p = processzási nyereség [dB],

N = spektrumszóró kód hossza.

Ezt számokkal illusztrálva, s a jelen példánál maradva — ahol $N = 63$ — $G_p = 18$ dB-re adódik. Ebből a szélessávú, alacsony teljesítménysűrűségű jelből a vevőben speciális korrelátorokból felépített demodulátorrendszer biztosítja az eredeti alapsávú jel helyreállítását akkor is, ha a vett jel szintje a zajszintnél vagy valamilyen külső interferenciajel szintjénél alacsonyabb. Ez a jel-zaj viszony javulás (amely maximum a processzási nyereséggel lehet egyenlő) a vevőben az adó által használt spektrumszóró kód pontos, fázishelyes másolatával való szorzásnak köszönhető, mely művelet a kívánt spektrumszórt jelet összesűríti, visszaállítja az eredeti állapotába, az interferenciajelet pedig szétszórja a spektrumszóró kód (vagy annál nagyobb) sáv szélességébe.

A fentieket figyelembe véve a spektrumszórásból eredő főbb előnyök a hagyományos modulációs eljárásokhoz képest:

- védetség a külső interferenciákkal szemben (zavarás elleni védelem),
- atmoszférikus zajszint alatti összeköttetés (felderítés elleni védelem),
- demoduláció csak az adóban alkalmazott spektrumszóró kód pontos (fázishelyes) ismeretében lehetséges (lehallgatás elleni védelem).

A berendezéscsalád főbb műszaki paramétereit az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat

Névleges adóteljesítmény	200 mW
Frekvenciatartomány	1302 – 1458 és 1542 – 1698 MHz
Alkalmazható RF frekv. száma	2×40
Frekvenciaraszter	4 MHz
Vevő bemenőszint tartomány	-50...-110 dBm
Moduláció módja	BPSK
Spektrumszóró kódok:	
– száma	8
– típusa	Kazami
– hossza	63 bit
Elméleti processzási sebesség	18 dB
Alapsávi kapacitás (típustól függően)	64; 128; 256; 448 kbit/s multiplexelt adat- és beszédcsatornák
Adatcsatorna	RS 422 vagy RS 232 C
Beszédcsatorna	600 Ohm szimm./-3,5 dBm
Tápfeszültség	24 DC ±15%
Méret	490×450×270 mm /blokkonként

Bemutatásra a 2 adatcsatorna, 2 hangcsatorna és 1 szolgálati csatorna duplex átvitelét biztosító berendezés tűnik a legalkalmasabbnak, mivel minimális számban, de minden lehetséges áramkört tartalmaz. Mechanikai kialakítását tekintve — ahogy az a fényképen is látható — a két jól elkülöníthető rész, az alapsávi jeleket kezelő MODEM blokk és a nagyfrekvenciás áramköröket tartalmazó RF blokk külön dobozban foglal helyet, s ez a tagolódás a részletes ismertetés vezérfonala is lesz.

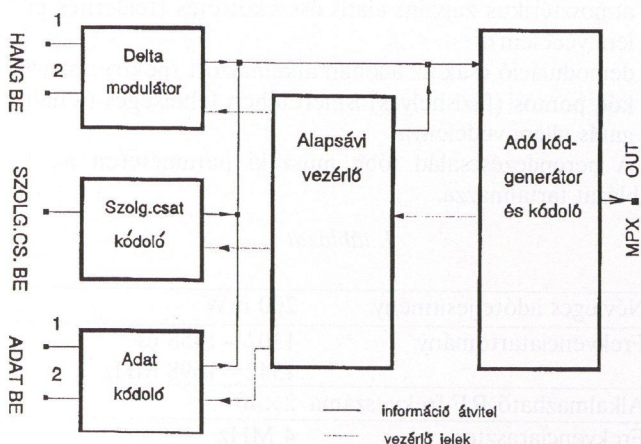
2. MODEM BLOKK

Feladata a keretberendezett, spektrumszóró kóddal összehozott adatjelek biztosítása az RF adó felé, s az RF vevőből érkező KF jel demodulálása után az adatjelek helyreállítása. Működésének megismerését egyszerűsített blokkvázlatok segítik.

2.1. Adórész

Az adóoldal a hangfrekvenciás és adat jeleket feldolgozó áramköröket, a vevőoldallal közös alapsávi vezérlőt, valamint az adókód-generátort és a kódoló áramkört tartalmazza az 1. ábra szerinti elrendezésben. A hangmodulátor áramkör (hasonlóan a szolgálati csatorna áramköre is) az

analóg hangfrekvenciás jelet digitális jelfolyammá alakítja át. A digitalizálás 3 bites algoritmusú adaptív deltamodulációs eljárással történik, 16 kbit/sec jelsebességgel. Az adatkódoló szintillesztés után 125 μ s-ként mintavételezi a bemenetre érkező max. 1200 Baud sebességű adatjelet.



1. ábra. MODEM adóoldal blokksémája

Az így előkészített adathalmaz biteit és a keretszinkron biteket az alapsávi vezérlő a meghatározott időrésekben befűzi az adási keretbe, majd a kódoló, — amely lényegében egy antivalencia kapu — összeszorozza a spektrumszóró kóddal. A spektrumszóró kód közös órajelről működő két visszacsatolt léptetőregiszter kimenetének mod2 összege. Ezen eljárás előnye a csak egy léptetőregiszterből álló kódgenerátorral szemben, hogy helyesen megválasztott két szekvenciakomponens használatával $2^n - 1$ (n a léptetőregiszter tagjainak a száma) féle jól definiált, kedvező korrelációs tulajdonságokkal rendelkező kód nyerhető. A kódkészletből 8 választható ki az előlapon elhelyezett kapcsolóval, mely az egyik regiszter kezdeti feltöltési értékét változtatja. Az így nyert kódok autokorrelációs függvényének maximuma 63, mellékcúscsainak és a családon belüli keresztkorreláció maximuma 9 relatív egység.

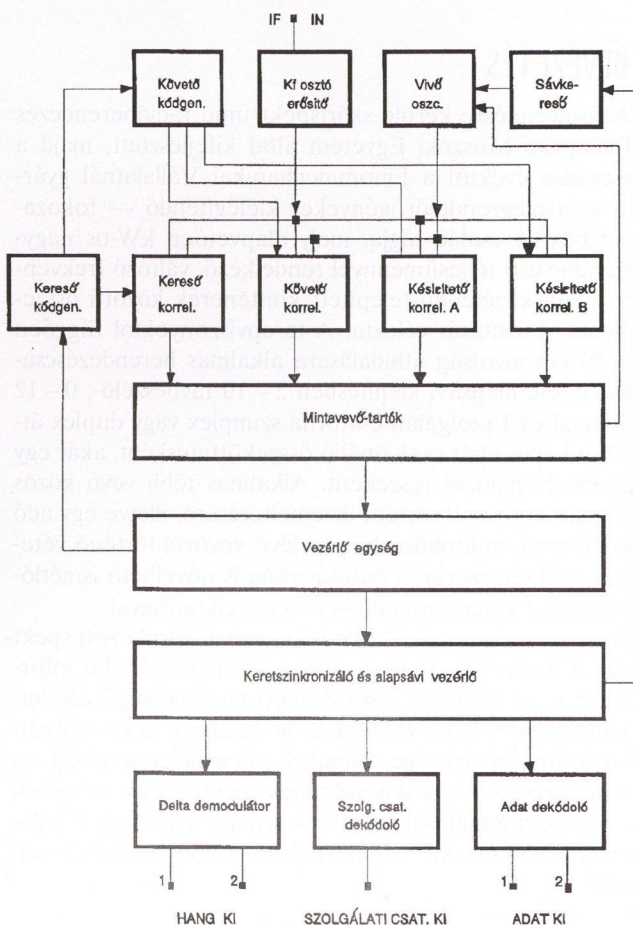
Az adó kód-generátorhoz tartozik még egy 4,032 MHz-es órajel generátor, mely részben az adó oldali mesterfrekvenciát, részben leosztás után az alapsávi vezérlő részére szükséges órajeleket szolgáltatja.

A kódolt adatjel 50 Ohm-os meghajtóval jut az előlap csatlakozóján keresztül az RF rész BPSK modulátorára.

2.2. Vevőrész

A hasznos jel visszanyerésének alapvető feltétele a vivő- és kódszinkronizáció, melyet a 2. ábrán látható blokkvázlat szerinti vevő biztosít. A rádiófrekvenciás egységből érkező 70 MHz középfrekvenciájú, 8 MHz sávszélességű jel a KF osztóerősítő bemenetére kerül, melynek 4 egyenrangú kimenete 4 korrelátort hajt meg, szintdetektora pedig az AGC-kör egyik bemenőjelét szolgáltatja. Az erősítő 20 dB tartalékkal rendelkezik, hogy zajos jel vétele esetén se torzuljon a hasznos jel. A 4 korrelátor áramkörileg hasonló felépítésű, s mindegyikük megkapja és összeszorozza a KF erősítő jelét, a KF vivőoszillátor jelét, valamint valamelyik kódgenerátor jelét. A kereső korrelátor a kereső kódgenerátortól kap 16 kódciklusonként fél órajelnyi idővel eltolt kódsorozatot, s így felajrjolja a teljes autokorrelációs függ-

vényt, melyben megtalálható a helyes kódfázishoz tartozó maximum érték is. Ehhez a maximum értékhez tartozó kódfázist kapja meg a követő kódgenerátor a döntéshozó jel segítségével. Ez a helyes fázisú kódsorozat a követő korrelátorba jut, így ennek kimenete alkalmas az adat detektálására. A követő és kereső kódgenerátorok közös vevő kódórajellel működnek, melynek finom fázisszabályozása a késleltető korrelátorok kimenőjele alapján történik. A késleltető korrelátorok a követő kódgenerátorból kapják a követőkódhoz képest fél órajellel késleltetett (A) illetve siettetett (B) kódsorozatot. A két korrelátor kimenőjel abszolútértékének különbsége adja az „S görbe” alakú fázisszabályozó jelet, mely helyes kódfázisnál zérus értékű.



2. ábra. MODEM vevőoldal blokksémája

A korrelátorokból kijövő szabályzó jelek mintavételezés utáni összegzése és feldolgozása a vezérlő áramkörben történik, ahol a követő korrelátor által detektált adatjelet dekódoló egység is található. A dekódolás után az adatjelek az alapsávi egységekre jutnak. A keretszinkronizáló áramkör kiválasztja az adatfolyamból a keretszinkronszó helyét és ezt referenciaként használva kijelöli a beszéd és adatcsatornák bitjeit.

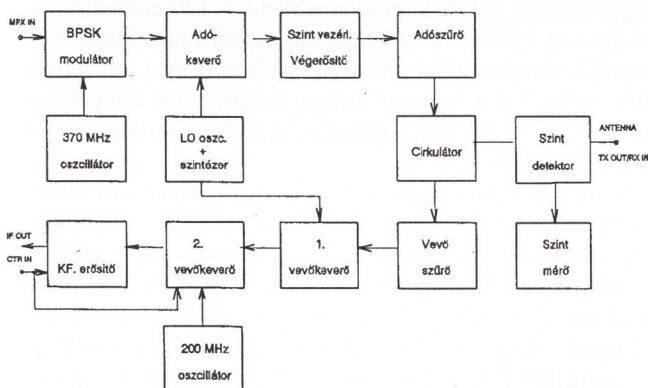
Az adat- és hangdemodulátorok a számukra kijelölt bitekből helyreállítják a hang- és adatjeleket, melyek szintillesztés után kerülnek az előlapi csatlakozókra.

A pontos vivőszinkron megteremtését a sávkeresőből és a hangolható vivőoszillátorokból álló keresőrendszer biztosítja. A sávkereső a frekvenciatartományt 32 sávra osztja fel, s ezek mindegyikében megkíséreljük a helyes szinkron megteremtését. A helyes szinkronizációnak megfelelő sáv

az, amelyben a helyes adatdetektálás (keretszinkron létrejött) mellett minimális az AGC feszültség. A megtalált sávban a vivőfrekvencia finombehúzását egy Costas-hurok végzi, melynek fázisdetektora a követőkorrelátorban található. Az AGC feszültség előállítása a követő korrelátor által detektált hasznos jel segítségével történik. A szokásos megoldás, a KF szinttel arányos vezérlőjel itt nem elegendő, mivel a hasznos KF jelnél nagyobb szintű zavarok esetén csökkenne a hasznos jel szintje is. Ezért a KF szinttel arányos AGC feszültség csak akkor hatásos, ha a KF erősítő eléri a túlvezérlési határt. A két szabályzójelet a vezérlőáramkör összegzi és ez az összegjel jut az előlap CTR kimenetére.

3. RF BLOKK

A teljessávú RF adó-vevő alsó félsáv (L) és felső félsáv (H) üzemben működhet, melyet az adó által elfoglalt sáv határoz meg. Az adó és a vevő a blokkon belül mindig ellentétes félsávban üzemel, az adási és vételi frekvenciák között 240 MHz különbség van. Az RF adó-vevő egyszerűsített (csak az egyik félsávot tartalmazó) bloksémája a 3. ábrán látható.



3. ábra. RF adó-vevő bloksémája

3.1. Adórész

A MODEM blokkból az „MPX IN” bemenetére érkező digitális moduláló jel szűrés után hibrid integrált áramköri kivitelű BPSK modulátorra jut ami a moduláló jelre nézve nagyfokú linearitást biztosít. A modulátor egységnek a 370 MHz-es oszcillátor egység szolgáltatja a kvarc pontosságú vivőjelet, a kimenőjele pedig az oldalsávok elnyomása után az adókeverő és meghajtó egységre jut. Az egység két frekvenciasávnak megfelelően két jelutat tartalmaz, amely egy-egy nagyszintű keverőből, oldalsávszűrőből és erősítőből áll. A lokáloszcillátor mindkét félsáv lokáljel szükségletét ellátja. Hangolása szintézeres 4 MHz-es kvarcoszcillátor referenciával. A két jelút közül az előlapon levő sávválasztó kapcsolóval kijelölt frekvenciasávnak megfelelő működik, a másik nem kap lokáljelet. A kiválasztott jel összegezőn és a kimenőszint beállíthatóságát biztosító PIN diódás csillapítón keresztül jut el a FET tranzistorokból felépülő többfokozatú végerősítőre, melynek erősítése 30 dB. Az erősítőt követő ötödfokú szűrő elnyomja a lokáljel maradékát és jelentősen csökkenti az adóág erősítői által termelt zajt az adósávon kívüli frekvenciákon. Az adás- és vételági jelek szétválasztását végzi a szélessávú koaxiális

cirkulátor, mely közös kapujához szintdetektor is csatlakozik, a rádiófrekvenciás kimenőt teljesítmény mérésre és a reflektált jel nagyságának indikálására.

3.2. Vevőrész

Az antenna által vett jelek a cirkulátoron és a koaxiális kapcsolón keresztül jutnak a kiválasztott frekvenciasávnak megfelelő nyolcadfokú sáváteresztő vevőszűrőre. A magas fokszámból eredő nagy oldalmeredekség biztosítja, hogy a sávhoz közel eső nagy szintű zavarok sem okoznak túlvezérlést a vevőerősítőben. A szűrők kimeneteire csatlakozik a két párhuzamos RF rendszert tartalmazó 1. vevőkeverő egység, amely kb. 15 dB erősítésű, két fokozatú, kis zajú tranzistoros erősítővel kezdődik. Az erősítőt követő tükörszűrő min. 15 dB tükörcsillapítást biztosít a jó zajtényező elérése érdekében. Ezt a jelet és a lokáloszcillátor jelét felhasználva keveri ki az első keverő a 130 MHz-es 1. KF jelet, melyből az átszivárgó lokáljelet, valamint az intermodulációs termékek keletkezése szempontjából kedvezőtlen felharmonikusait aluláteresztő szűrő távolítja el. A második keveréshez szükséges 200 MHz-es lokáljelet egy 100 MHz-es kvarcoszcillátor kétszeresített kimenő jele biztosítja. Ezen 2. lokáljelből és az 1. KF jelből a második vevőkeverő által kikevert termékből a keverő kimenetére csatlakozó sávszűrő választja ki a 70 MHz környezetébe eső oldalsávot. A 2. vevőkeverő egység teljes erősítése 8–18 dB között változik a „CTR IN” bemenetre érkező AGC feszültség értékétől függően. A 70 MHz-es előerősítő kimenetéről a jel a KF szűrőn és a szabályozott KF főerősítőn keresztül jut az előlapon elhelyezett „RX IF OUT” csatlakozóra. A KF főerősítő erősítése +46 dB és -12 dB között változik az AGC feszültség függvényében. Az AGC feszültség mérésén alapul a vételi szint nagyságának figyelembe vétele is, mely digitalizálása és átkódolása után az előlapon dBm-ben kijelzett értéket kapunk.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A fentiekben bemutatott berendezésből több száz darab készült, s működik megbízhatóan szélsőséges klimatikai körülmények között. Kártyás rendszerű mechanikai kialakítása rugalmassá teszi újabban felmerülő igények gyors kielégítésére. A legutóbbi fejlesztés például az adatvonal RS 422 szabványról az egyre jobban elterjedő (csak egy lehetőséget említve- az IBM kompatibilis számítógépek szintje mindegyike tartalmaz) RS 232-es szabvány szerinti jelek fogadására alkalmassá tétel mindössze 1 kártya cseréjét jelentette.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetemet fejezem ki Bárány György úrnak a cikk készítése folyamán nyújtott hasznos tanácsaiért.

IRODALOM

FMV Rt. gyártási dokumentációk, műszaki leírások.

BEVIZ JÓZSEF
FMV FINOMMECHANIKAI RT.

A DSC MÉRFÖLDEKET HALAD ELŐRE

A távközlési hálózatok kezelői hagyományosan a helyi elosztási pont elérésére rádiófrekvenciás hozzáférésű távközlési rendszert használnak — néha még a telefonközpontokhoz közel is —, és csak az utolsó mérföldeket „teszik meg” vezeték, azaz kábel segítségével. Ez utóbbi mérföldek nemcsak igen költségesek, hanem műszaki munkálatokkal is járnak, amelyek megbontják az eredeti állapotokat és a környezetet.

Ma a telefonkezelőknek más lehetőségük is van: a DSC (Digital Switch Corporation) cég által kifejlesztett AIRSPAN-nek nevezett rendszer használata, amely rendszer egyedülálló szórt spektrumú kódosztásos többszörös hozzáférésű (Spread Spectrum Code Division Multiple Access, a továbbiakban rövidítve SS-CDMA) technológia pont — több pont rádiófrekvenciás rendszer kialakítására.

A DSC cég AIRSPAN digitális rádió technológiáját olcsóbb kialakítani és fenntartani, mint a rézvezetékeset vagy optikai kábeleset, ugyanakkor segítségével gyorsan bevezethető a telefonösszeköttetés, vagy az előfizetői ISDN (integrált szolgáltatású digitális hálózat) szolgáltatás mind vidéki, mind városi környezetben.

A rádió-összeköttetés helyi hálózatba integrálásával a telefonkezelőket nem korlátozza a vonal hosszúsága, és gyorsabban, valamint olcsóbban érik el az előfizetőket a meglévő infrastruktúrától függetlenül.

Az SS-CDMA technológia a rádiófrekvenciás spektrumnak a meglévő rádiófrekvenciás szolgáltatásnál hatékonyabb felhasználását teszi lehetővé, ugyanakkor sajátosságából adódóan magában foglal védelmet a térbeli fading, az interferencia, a torzulás és a lehallgatás ellen. Működése és karbantartása a felhasználó és a hálózat-kezelő által jól áttekinthető azzal a tőbblettel, hogy változtatható cella (hálózati egység terület) méretekkel, frekvencia utak többszörös felhasználásával, igény szerinti összeköttetési út kijelöléssel, koncentrálással és tömörítéssel növelhető a hatékonysága és az előfizetői sűrűsége az adott területen. Az SS-CDMA ugyancsak nagyobb rugalmasságot biztosít, és lehetővé teszi azt, hogy a telefonkezelő azonnal válaszképes legyen nem tervezett forgalom növekedése, avagy időleges, illetve vészhelyzetből adódó karbantartások halasztást nem tűrő elvégzésére. A hálózat-kezelői oldalról így csak kereslethez igazodóan kell az infrastruktúrába investálni. Ez esetben azonnali bevételi lehetőség lép fel a szolgáltató oldalán, ami viszont az előfizetőknek kínál gyors kiegészítő szolgáltatásokat versenyképes áron.

A mai üzleti életben egy vállalkozásnak életbevágóan fontos, a hang- és adat-összeköttetési szolgáltatás, hogy kapcsolatot teremtsen partnereivel. Nagyon sok üzleti vállalkozás igen nagy összegeket fordít a biztonságos és katasztrófális helyzeteket megelőző programokra. Az iparban az olyan szolgáltatások területén, mint a közvetlen finanszírozás a távközlésen alapuló banki szolgáltatások, a repülő és szálloda helyfoglalások, az üzleti bevételek a megbízható és állandó távközlési szolgáltatások függvényei. Az AIRSPAN rádió hálózat nem annyira érzékeny vihar, vagy bármilyen szándékos beavatkozás esetén, mint a kábeles összeköttetés, ezenkívül gyorsan és költségkímé-

lő módon alakítható ki mind katasztrófa helyzetben, mind tartalék rendszerként, mind pedig meglévő hagyományos üzleti hálózatok kiváltása esetén. A rendszer digitális rádió-technológiája ugyancsak kényelmet jelent a hang-, az adat- és faxátvitel megvalósításában, minthogy az átvitel digitálisan kódolt formában történik, így megakadályoz bármilyen lehallgatásra vagy behallgatásra irányuló próbálkozást.

Távoli összeköttetések kialakítása meghatározott élettartamot követel. Ugyanakkor lassú növekedést mutató, alacsony sűrűségű, vagy távhálózatok elérésének biztosítása megfizethetetlenül drága, esetenként nem esztétikus megjelenésű és időt rabló lehet, ha rézkábellel vagy optikai kábellel történik kialakításuk. Nagy nehézségek merülnek fel vízes, erdős és sziklás területeken megvalósítandó hálózatok esetében, és a befektetések és a várható bevételek jelentkezése közötti idő is tekintélyes hosszúságú. A DSC rádió hozzáférést biztosító technológiája megbízhatóan üzemel a legvadabb környezeti feltételek esetében is. Gyors és eredményt hozó alternatívát kínál széles szolgáltatási sávban, s minőségileg is azonos a digitális rézvezetékes avagy optikai hozzáférésű hálózatok szolgáltatásaival. A cella mérete 100 méter és 20 kilométer (átmérő) között változhat. Minden egyes cella blokkolásmentes telefon vagy előfizetői ISDN kapcsolatot biztosít 120 előfizetőnek, amely szám 2400 előfizető/cella nagyságúra növelhető koncentrálási és tömörítési technika alkalmazásával. Az AIRSPAN technológia hasonló számú felhasználót engedélyez mikrocelluláris kialakításokban is, biztosítva az elérést nagy sűrűségű területeken is.

Az SS-CDMA-re alapozott rádiófrekvenciás technológia ma már teljes mértékben elérhető, velejárója a rugalmasság, titkosság és megbízhatóság; a továbbítás gyors és költségkímélő megoldása speciális alkalmazások széles spektrumában új bevételi lehetőségeket kínál mind a közüzemi, mind a magán távközlési hálózatokban. Az előzőekben leírtakon kívül új hálózatkezelők használhatók ideiglenes összeköttetési kapcsolatok elérési hálózatának kiépítésére, például építkezéseken, avagy útépitési munkáknál — a munkák alatt — az út mentén az összeköttetés biztosítására.

Az AIRSPAN rendszer magában foglal egy központi terminált és előfizetői terminálokat. A központi terminál elhelyezhető telefonközpontokban, de kihelyezetten is. Egy integrált interfésszel biztosítja a csatlakozást a hálózati kapcsolástechnikai berendezésekhez 2 Mbit/sec sebességgel és kéteres analóg vezetékkel. Az előfizetői terminál kompakt és megbonthatatlan egység szélessávú antennával. Szállítható egyvonalas, vagy többvonalas kivitelben. Tápellátása hálózati, szoláris vagy teleses lehet. Az AIRSPAN különböző frekvenciatartományokban üzemelhet a helyi igényeknek megfelelően, figyelembe véve a CCIR és ITU követelményeket.

Az AIRSPAN-t sikeresen próbálták ki Európában és világméretben igen nagy érdeklődést keltett. Az érdeklődés keltette első szerződések már megvalósultak. A DSC jó hírnévre tett szert élvonalbeli ipari termékeivel és mérföldeket lépett előre, biztosítva arról felhasználóit, hogy egyéni érdekeik megvalósulnak.

DSC COMMUNICATIONS

KITERJESZTETT SPEKTRUMÚ RÁDIÓKAPCSOLATOK A VEZETÉK- NÉLKÜLI ÖSSZEKÖTTETÉSEKBEN

A cikk a vezeték nélküli összeköttetések céljára kifejlesztett mikrohullámú berendezések fejlődését tárgyalja, ideértve az ISM (Industrial, Scientific and Medical) sávban működő kiterjesztett spektrumú rádiókat. Megvilágítjuk a kiterjesztett spektrumú technika alapjait és ismertetjük az ISM sávú kiterjesztett spektrumú távközlési berendezésekre vonatkozó hatósági szabályozás kialakulását. A kiterjesztett spektrumú rádiók tényleges használatára néhány alkalmazási példát mutatunk be.

1. A VEZETÉKNÉLKÜLI TÁVKÖZLÉSI RENDSZEREK FEJLŐDÉSE

Kezdetben a mikrohullámú frekvenciákat kereskedelmi célú távközlési rendszerekben az ún. „Outer Core” (nagy távolságú, nagy kapacitású) berendezésekben alkalmazták a 7 GHz alatti sávokban. Az 1970-es évek új technikája a távközlést a magasabb frekvenciákon is gazdaságossá tette. Mivel ezek a sávok ki vannak téve az eső okozta fadingnek, az alkalmazások az ún. „Inner Core” (kis távolságú, előfizetői vivő) berendezésekre korlátozódtak. Az 1970-es évek végére kialakult az a kép, melyben az „Inner Core” alkalmazások 10 GHz alatti, az „Outer Core” alkalmazások a 10 GHz és az e feletti frekvenciákat használták.

Az 1980-as években a száloptikai távközlési rendszerek váltak az „Inner Core” alkalmazások távközlési közegévé. Az „Outer Core” alkalmazásokban vegyesen használtak száloptikai és nagyfrekvenciás mikrohullámú berendezéseket. Ez utóbbiakban 18 GHz volt a helyi hurok (Access) és 23 GHz a magáncélú (bypass) alkalmazások frekvenciája.

Az 1990-es évek kezdetén a száloptika lett az „Inner Core” alkalmazások legkedveltebb közege és a mikrohullámú rendszereket leszerelték. Először a 3 GHz alatti frekvenciasávok felhasználása változott meg, mégpedig „Access” rendeltetésűre. Ezeket a frekvenciákat mobil és helyi hurok alkalmazásokra rendelték.

Most, az 1990-es évek közepén, a hagyományosan „Inner Core” alkalmazások 3 GHz és 8 GHz közötti frekvenciáinak az „Outer Core” és Access alkalmazások számára történő újrakiosztása folyik. Angliában a kiterjesztett spektrumú rádiók használatát engedélyezték a 3,4–4,2 GHz sávban, melyben a British Telecom mikrohullámú összeköttetései működnek. A CEPT tanulmányozza az 5,15–5,25 GHz frekvenciasáv használatát kis kiterjedésű, engedélyre nem kötelezett rádió LAN számára. Az Egyesült Államokban újra felosztották az 5,925–6,875 GHz frekvenciasávot 1,25 MHz szélességű csatornákra, hogy illeszkedjen az „Outer Core” és Access alkalmazások kisebb sávzélesség igényeihez.

2. A KITERJESZTETT SPEKTRUMÚ TECHNIKA

A kiterjesztett spektrumú technikának általában két formáját használják: a frekvencia ugrásos és a direkt szekvenciális rendszert.

A frekvencia ugrásos rendszerben az adó egy álvéletlen kódnak megfelelően hirtelen megváltoztatja frekvenciáját. A vevőkészülék azonos kód szerint követi a frekvenciaváltozást, hogy állandó frekvenciájú középfrekvenciát állítson elő. A zavaró jelek nem követik a frekvencia változását, ezért csak néha esnek a KF sávjába. A frekvencia ugrásos rendszereket többpontú lokális hálózatokban alkalmazzák, ahol közel-távolság problémákra lehet számítani (azaz, ahol egy közeli adó erős jele zavarja a távoli adó gyenge hasznos jelét). Mivel a közeli adó jele csak pillanatnyi zavart okoz, a zavar okozta adathibák újrabadással korrigálhatók, amikor a zavaró jel már kiugrott a KF sávjából.

A direkt szekvenciális rendszerben az adó teljesítmény sűrűségét oly módon csökkentjük, hogy az adatjelet egy nála nagyobb sebességű, álvéletlen kódolású chip sorozattal megszorozzuk. A kisugárzott spektrum a chip sorozat sebességének az adat sebességhez viszonyított arányában szétterül és a teljesítmény sűrűség ezzel fordított arányban lecsökken. A vevőkészülékben az eredeti jel helyreállítható a bejövő jelnek az adóban használt álvéletlen kódsorozattal való megszorozásával. Csak az adatjel kerül vissza az eredeti keskeny sávzélességbe, a zavaró jelek széles sávban szétterülve maradnak és szűréssel eltávolíthatók. A direkt szekvenciális kiterjesztett spektrumú rendszereket általában pont-pont összeköttetésekben alkalmazzák, ahol az antenna irányítottsága az elsődleges zavarelhárítási ellenintézkedés. Többpontú rendszerekben általában igen nagy spektrum kiterjesztési tényezőket és CDMA protokollokat alkalmaznak a közel-távolság problémák leküzdésére.

3. A KITERJESZTETT SPEKTRUMÚ TECHNIKA HATÓSÁGI SZABÁLYOZÁSÁNAK ALAKULÁSA

Az FCC, az Egyesült Államok Szövetségi Távközlési Bizottsága már 1985-ben felismerte, hogy a kiterjesztett spektrumú technika fontos új lehetőségeket nyújt új távközlési lehetőségek kifejlesztésére. 1985 május 9-én az FCC megengedte a kiterjesztett spektrumú berendezések hatósági engedély nélküli működését a 902–928 MHz, a 2,4–2,4835 GHz és az 5,25–5,85 GHz ISM sávokban (Part 15 of FCC Rules).

Ezek az előírások a kiterjesztett spektrumú berendezések működését a frekvencia ugratásos és a direkt szekvenciális rádiókra korlátozzák a következő feltételek betartása mellett:

- Frekvencia ugratásos rendszerekben legalább 75 ugratási frekvencia legyen, melyeket legalább 25 kHz választ el egymástól.
- Direkt szekvenciális rendszerekben a 6 dB-es sávzélesség legalább 500 kHz legyen.
- Az adó maximális csúcsteljesítménye legfeljebb egy Watt lehet.

1990. június 14-én az FCC kiegészítette a fenti előírásokat, és az EIRP (Effective Isotropic Radiated Power) értékét 6 dBW-ra korlátozta. Okként a „... a zavarásnak a nagy nyereségű irányított antennák használatából ered

megnövekedett kockázata...” szerepelt. Egy ún. „nagyapapa bekezdés” az 1 W maximális adóteljesítmény bármilyen antennával régi szabálya hatályát 1994. júniusáig terjesztette ki.

A „nagyapapa bekezdés” alapján 1990-től 1994 júniusáig sok ezer kiterjesztett spektrumú rádiót értékesítettek sokféle alkalmazásra. Jelentős alkalmazás volt a többször tíz kilométert áthidaló vezeték nélküli összeköttetés. Az ilyen típusú alkalmazásokban működő kiterjesztett spektrumú rádiók felhasználói magukban foglalták az Egyesült Államok csaknem mindegyik celluláris rádió-társaságát, az államok kormányait, a helyi önkormányzatokat, rendőrségeket, gáz és olajtársaságokat, a Flottát és a Légierőt.

A Western Multiplex Corp., maga mögött tudva az iparág erős támogatását, petíciót intézett az FCC-hez, melyben kérelmezte az irányított antennát alkalmazó rendszerek EIRP értékét korlátozó rendeletének módosítását a 2400–2583 MHz és az 5725–5785 MHz sávokban. A petíció indoklása a következőkön alapult:

- A szabadtéri kiterjesztett spektrumú pont-pont összeköttetésű rendszerek iránti piaci igényeket 1990-ben még sem az ipar sem az FCC nem ismerte, tehát nem is vette figyelembe.
- Egyetlen olyan esetet sem jelentettek, amelyben 1 W kimenő teljesítményű, irányított antennával működő, kiterjesztett spektrumú berendezés káros interferenciát okozott volna. (A tényleges működési tapasztalatok cáfolják azt az aggályt, hogy a nagy erősítésű antennák használata növelné a zavarokat.)
- Az irányított antennák használatának korlátozása szükségtelenül korlátozza a piaci alkalmazásokat, hátrányos a társadalmi és a nemzeti érdekekre.

Azt is az FCC tudomására hozták, hogy az ISM sávokban működő távközlési eszközök legnagyobb zavarveszélye, nem a többi távközlési berendezésből, hanem a más ISM berendezések sugárzásából ered.

1994. október 3-án az FCC feloldotta az EIRP korlátozására vonatkozó rendeletét.

1994 novemberében az Európai Távközlési Szabvány Intézet (ETSI) befejezte a 2,4 GHz ISM sávban működő rádióberendezésekre vonatkozó ETS 300 328 specifikációval kapcsolatos munkálatokat.

Az ETS a következő műszaki adatokkal bíró berendezésekkel foglalkozik:

- szélessávú modulációs technikák,
- 250 kbit/s összesített sebességet meghaladó adatátviteli sebességek,
- működés a 2,400–2,4835 GHz sávban,
- effektív kisugárzott teljesítmény legfeljebb -10 dBW (100 mW),
- teljesítmény sűrűség legfeljebb -10 dBW (100 mW)/100 kHz frekvencia ugratásos moduláció esetén,
- teljesítmény sűrűség legfeljebb -20 dBW (10 mW)/1 MHz másfajta moduláció esetén.

Az ETS 300 228 bevezetésében az ETS elismeri: „Gyors ütemben folyik a szélessávú rádiós adatátviteli berendezések bevezetése az ipari és kereskedelmi alkalmazások széles körében, e rendszerek műszaki fejlődése még nem fejeződött be.” Valóban, az ETS specifikáción végzett munka

kezdeté és befejezése között eltelt időben ipari és kereskedelmi alkalmazások egész sora messze túllépte az ETS 300 228 által tárgyalt piaci alkalmazásokat. A -10 dBW EIRP határ a termékek használatát kis távolságra, tipikusan beltéri alkalmazásokra korlátozza. Ez figyelmen kívül hagyja a bizonyítottan létező igényt a nagyobb távolságú szabadtéri alkalmazások iránt, és a szabványt a jelenlegi piaci követelményekhez képest elavulttá teszi.

A bizonyított piaci igényeket kielégítendő, a kiterjesztett spektrumú berendezéseknek működőképeseknek kell lenniük az ITU előírásokat kielégítő ISM berendezésekből eredő sugárzás jelenlétében. Terepen végzett mérések igazolják, hogy a -10 dBW nagyságú ETS követelmény egyáltalán nem felel meg a mai alkalmazásoknak és feleslegesen korlátozza a termékek hasznosíthatóságát.

Ha a -10 dBW túl kevés, mi legyen a szint? Egy Watt kimenő teljesítményű kiterjesztett spektrumú rádiók, sokféle antenna típussal működnek Észak- és Dél-Amerikában, Ázsiában és Európában. Ezzel a kimenő teljesítménnyel a kiterjesztett spektrumú rádiók mind az ISM berendezésekből, mind a kiterjesztett spektrumú eszközökből eredő elfogadhatatlan szintű zavaroktól mentesen működnek.

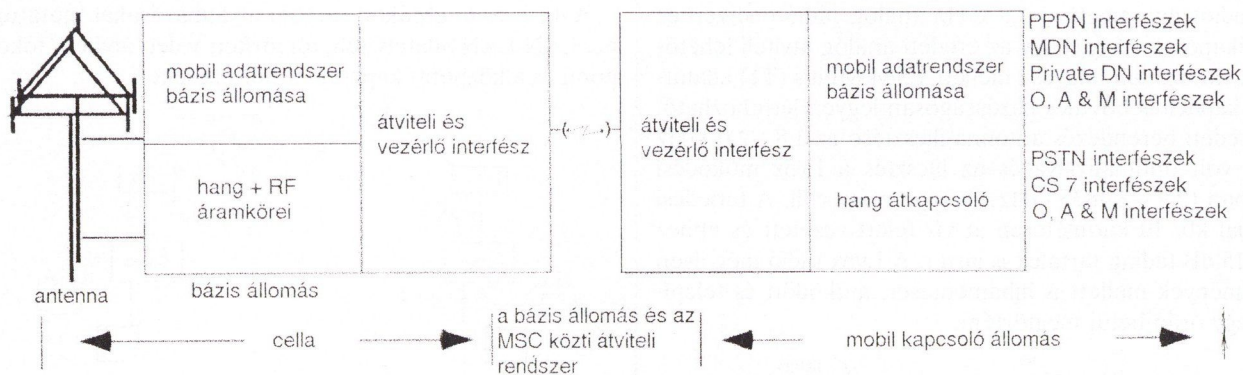
Azokban az országokban, ahol lépést akarnak tartani a gyors műszaki fejlődéssel és piaci igényekkel, a szabályozó hatóságoknak konstruktívnak, kreatívnak és rugalmasnak kell lenniük. Módosítani kell azokat a jogszabályokat, melyeken a műszaki haladás vagy a piaci követelmények túlléptek.

4. KITERJESZTETT SPEKTRUMÚ RÁDIÓK VEZETÉK NÉLKÜLI ÖSSZEKÖTTETÉSEKRE (ALKALMAZÁSI PÉLDÁK)

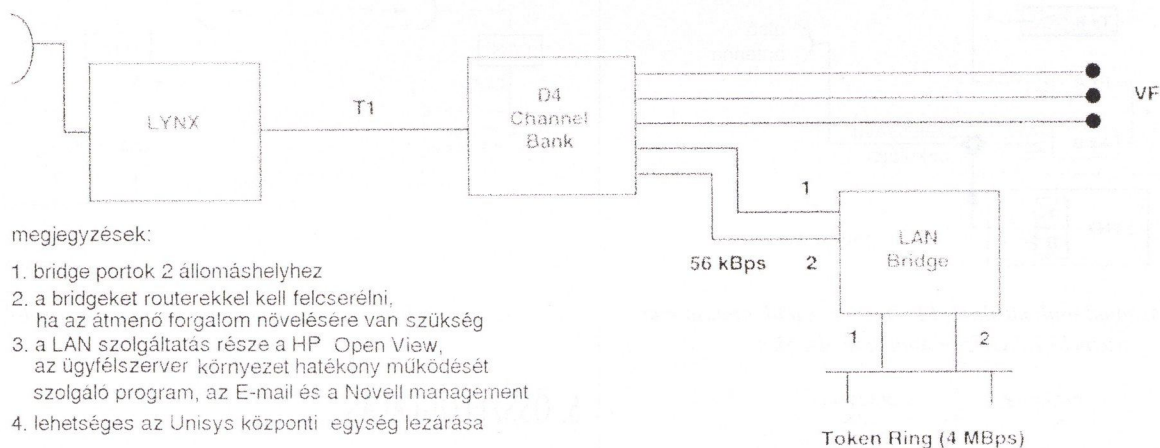
Valamely új technika kormányzati szabályozásának végső sikere vagy bukása azon mérhető, hogy az ipar képes-e olyan termékek előállítására, melyek egyaránt kielégítik mind a piaci, mind az engedélyezési követelményeket. Ez utóbbi bekövetkezett az Egyesült Államokban és mindazon országokban, melyek megengedték az egy Watt kimenő teljesítményű, kiterjesztett spektrumú rádiók engedélyezés nélküli használatát bármilyen antennával.

A 2,4 GHz és az 5,8 GHz ISM sávokban működő kiterjesztett spektrumú rádiókat használnak csaknem minden digitális Access és helyi hurok alkalmazásban. A kiterjesztett spektrumú rádiók legfőbb előnyei a hagyományos mikrohullámú rendszerekkel szemben: a kisebb ár, a gyors telepítés és a totális rugalmasság.

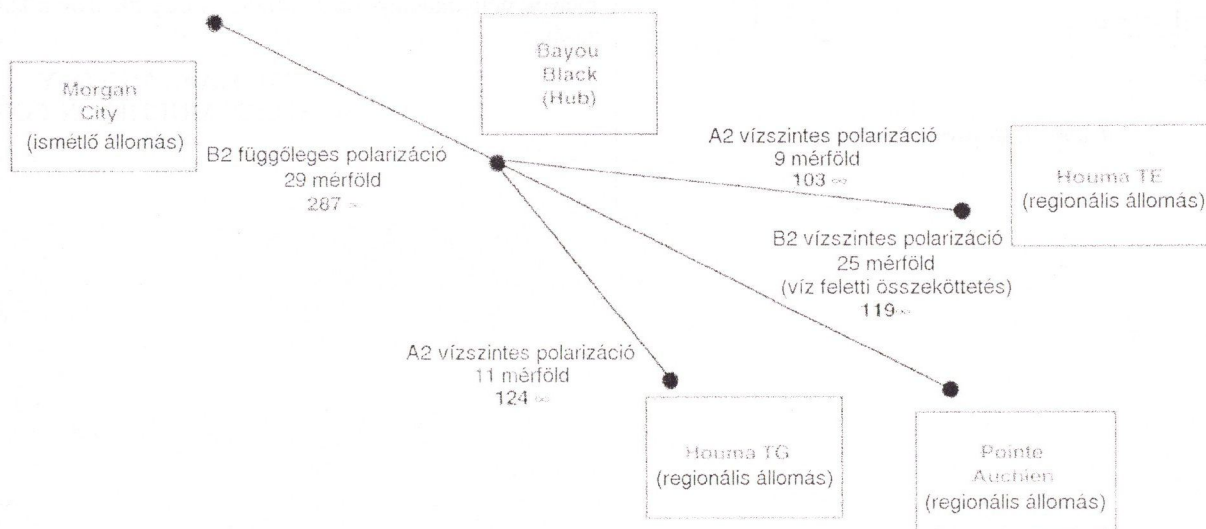
A Western Multiplex Lynx típusú kiterjesztett spektrumú rádióknak egyik legnagyobb alkalmazási területét a celluláris rádiók alkotják. Az 1. ábra egy ilyen típusú alkalmazást mutat be. A Lynx rádió egy egyedülálló celluláris alkalmazásában a rádiót a Mexikói Öbölben, a parttól 30 km távolságban, egy mesterséges olajkút-szigeten telepített celluláris adóval való összeköttetésre telepítették. A Lynx kiterjesztett spektrumú rádióknak ez az alkalmazása lehetővé tette, hogy a celluláris rádió-társaság rádióösszeköttést biztosítson az Öbölben a kereskedelmi hajózásnak és az üdülőhajóknak.



1. ábra. Alkalmazás cellás rendszerben a bázisállomás és az MSC között



2a. ábra. Panhandle Eastern regionális központ, LYNX végződés elrendezése



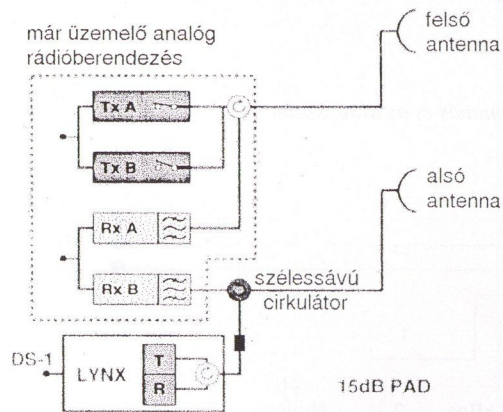
2b. ábra. Panhandle Eastern távközlési rendszer, LYNX hub konfiguráció

A 2a, 2b ábrákon a Lynx kiterjesztett spektrumú rádiók alkalmazását egy olajvezeték társaság magánhálózatában mutatjuk be. Ebben az alkalmazásban a Lynx rádiókat egy 6 GHz-es analóg gerinchálózati rendszer és egy 6 GHz-es

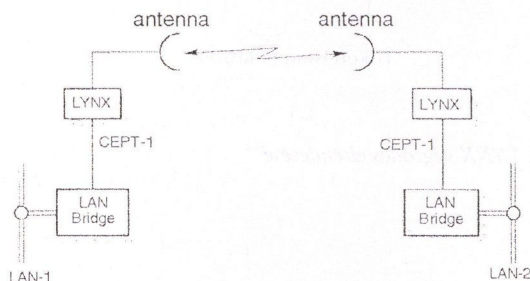
digitális gerinchálózati rendszer összekapcsolására, továbbá többpont digitális elosztó hálózat létrehozására használják.

A 3. ábrán azt mutatjuk be, hogy hogyan kellett egy a 2,4 GHz ISM sávban működő Lynx kiterjesztett spektru-

mű rádiót egy meglévő 1,8 GHz analóg rádiórendszerhez hozzákapcsolni úgy, hogy az eredeti analóg átviteli lehetőségek változatlan hagyása mellett 1,544 Mbit/s (T1) adatátviteli kapacitás bővülés gazdaságosan legyen létrehozható. Az eredeti berendezés antenna-illesztése az 1,8–2,0 GHz sávra volt optimalizálva és az illesztés a Lynx működési sávjában (2,4–2,4835 GHz) nagyon rossz volt. A terjedési útvonal kb. 10 kilométeren át víz felett vezetett és ehhez még 15 dB fading tartalék is járult. A Lynx rádió még ilyen körülmények mellett is hibamentesen működött és telepítése egy órán belül megtörtént.

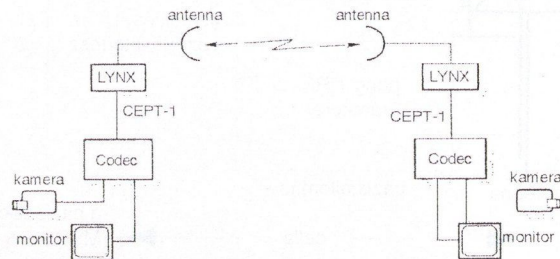


3. ábra. Azonnal működtethető T1 rendszer csatlakoztatása már üzemelő 1,8 GHz-es analóg rendszerhez

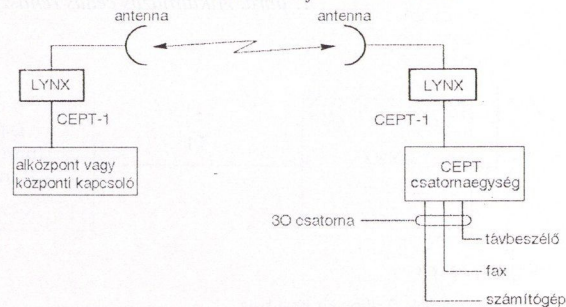


4. ábra. LAN összekötő rendszer

A 4., 5. és 6. ábrákon további alkalmazásokat mutatunk be: LAN-LAN adatátvitelt, tömörített video átvitelt, főközponti és alközponti kapcsoló kihelyezéseket.



5. ábra. Video konferencia rendszer



6. ábra. Kihelyezett alközpont vagy központi kapcsoló

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Azoknak az országoknak, amelyek versenyképesek akarnak maradni a világpiacon, a legkorszerűbb távközlési technológiára van szükségük. Ezért a kormányzatoknak az új technológiákat olyan jogi szabályozással kell ápolniuk, melyek nem akadályozzák, hanem elősegítik azok alkalmazását.

MICHAEL MULCAY
WESTERN MULTIPLEX CORP.
USA

NAGYSEBESSÉGŰ DIGITÁLIS ÁRAMKÖRÖK SZIMULÁCIÓJA

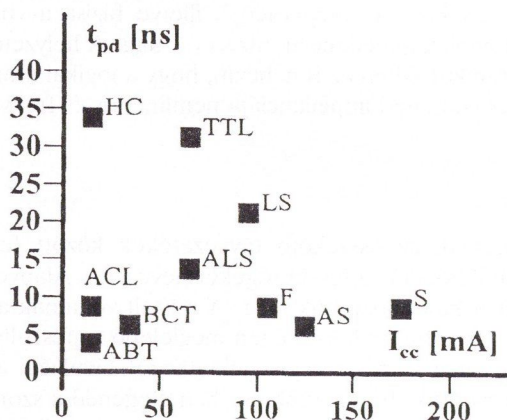
EGED BERTALAN, NOVÁK ISTVÁN és BAJOR PÉTER

BUDAPESTI MŰSZAKI EGYETEM
MIKROHULLÁMÚ HIRADÁSTECHNIKA TANSZÉK
1111 BUDAPEST, GOLDMANN GY. TÉR 3.

Azt hiszem, mindenki számára nyilvánvaló a számítástechnika szédítő léptékű térhódítása. Az egyre nagyobb mennyiségű adat, az egyre bonyolultabb feladat mind gyorsabb és gyorsabb eszközöket igényel. A tervezőknek az éles piaci verseny szorításában egyre hatékonyabb módszereket és eszközöket kell találniuk a felmerülő problémák megoldására. A tervezés–prototípus–mérés ciklus költségeinek és a fejlesztési idő csökkentésére szimulátor programokat használhatunk.

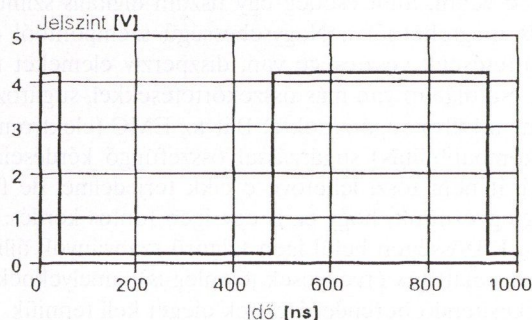
1. DIGITÁLIS ÁRAMKÖRÖK

Alapvető különbség a digitális és az analóg áramkörök között, hogy az előbbiek szimbólumkészlete diszkrét és korlátos, míg az utóbbiak jelkészlete folytonos. A történelmi fejlődés útján a digitális áramkörök legnagyobb részének jelkészlete két értékre korlátozódott: a logikai „magas” és „alacsony” vagy „1” és „0” szintekre. A különböző hardver megvalósítástól függően ezeket a szimbólumokat az áramkörökben különböző feszültség szintek reprezentálják. Kialakultak azok a digitális alapáramkörök, amelyek a magasabb szintű egységek kialakításához szükségesek. Ezek a fejlesztésben vezető szerepet játszó Texas Instrument jelölésrendszerével terjedtek el. Az alapáramköröket megvalósító, különböző szempontok alapján kifejlesztett áramkör családok jelentek meg több gyártócégnél. A két legfontosabb szempont a fejlesztésben a késleltetési idő, valamint a teljesítményfelvétel csökkentése volt. Ezek alapján az áramkör családokat az 1. ábrán látható módon sorolhatjuk be [1].



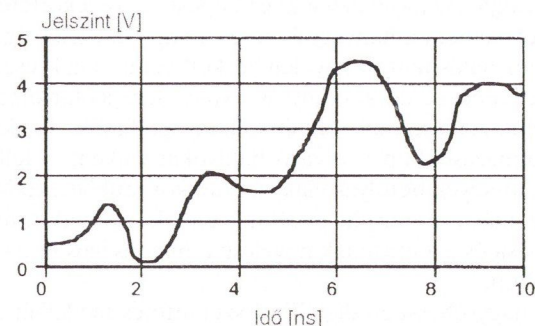
1. ábra.

A kisebbességű digitális áramkörökben a rendszerek egyéb alkotóelemeinek késleltetése (huzalozás, csatlakozás, összeköttetés) elhanyagolható az aktív elemekhez képest. Egy ilyen áramkörben a 2. ábrán látható jelalakot tapasztalhatjuk. A skálázásból látható, hogy a tipikus órajel frekvencia néhány MHz.



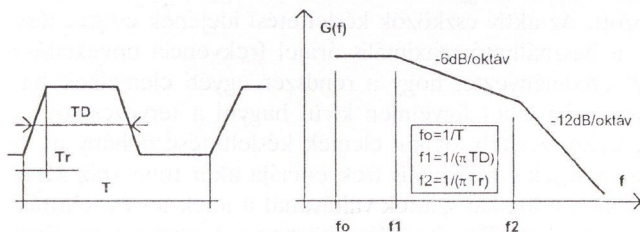
2. ábra.

Az aktív áramköri technológia fejlődésével, a gyorsabb aktív elemek megjelenésével a helyzet gyökeresen megváltozott. Az aktív eszközök késleltetési idejének csökkenése és a használható maximális órajel frekvencia növekedése azt eredményezte, hogy a rendszer egyéb elemeinek hatását nem lehet figyelmen kívül hagyni a tervezés során. A legkorszerűbb logikai elemek késleltetése néhány ns, a használt jelek maximális frekvenciája akár több száz MHz is lehet, a logikai szintek váltásánál a jelek le- és felfutási ideje ns alatti. Egy ilyen áramkörben a 3. ábrán láthatóhoz hasonló jelalakot tapasztalhatunk, amelynek kialakulását — a későbbiekben összefoglalt jelenségek kapcsán — a rendszert felépítő egyéb elemek (nyomtatott layout, csatlakozók, összekötő kábelek) igen jelentősen befolyásolják. Ezeket a befolyásoló hatásokat tekinthetjük zajforrásnak is az áramkörünkben.



3. ábra.

Sajnos, mint látható, ez a jel korántsem hasonlít a 2. ábrán látott szinte ideális jelalakhoz. Általában mondhatjuk, hogy a nagysebességű áramkörök potos, precíz szimulációjához nem használhatók az ideális jelekkel dolgozó digitális szimulátorok, amelyek csak diszkrét állapotokat tudnak megkülönböztetni, mint a magas, alacsony, nagy impedancia, lefutás, felfutás, nem definiált állapot. Ezekben a rendszerekben a logikai jeleket is analóg jelként kell kezelnünk és a pontos időfüggvény meghatározására van szükség. Ennek megfelelően a szimulációhoz is egy analóg alapú szimulátort kell választanunk, amely integráltan tartalmazza az analóg és digitális elemeket, analóg/digitális vegyesmódú szimulációra képes. A másik szempont, hogy azt aktív elemeket körülvevő beágyazó hálózat is analóg elemekből áll, amelyeket figyelembe kell vennünk. A szimuláció során egy összeköttetést megvalósító távvezeték szakaszának korántsem elegendő az impedanciáját és késleltetését figyelembe venni, amit esetleg egy tisztán digitális szimulátorral is megtehetnénk. Nagysebességű szempontból egy összeköttetésnek vesztesége van, diszperzív elemeket tartalmaz, csatolásban van más összeköttetésekkel, sugároz és érzékeny a külső sugárzásokra. Bár az EMC (elektromágneses kompatibilitás) sugárzással összefüggő kérdéseinek tárgyalását nem teszi lehetővé e cikk terjedelme, de fontos megjegyeznünk, hogy ez is egy igen fontos kérdés. Az Európai Közösségen belül igen szigorú szabványok állnak kidolgozás alatt (és érvényesek jelenleg is), amelyeknek az ott értékesítendő berendezéseknek eleget kell tenniük. Kitekintést nyerhetünk a passzív beágyazó hálózattal szemben támasztott követelményekre, ha megvizsgáljuk jeleinket a frekvencia tartományban. A 4. ábra egy digitális jel spektrumát szemlélteti [2].



4. ábra.

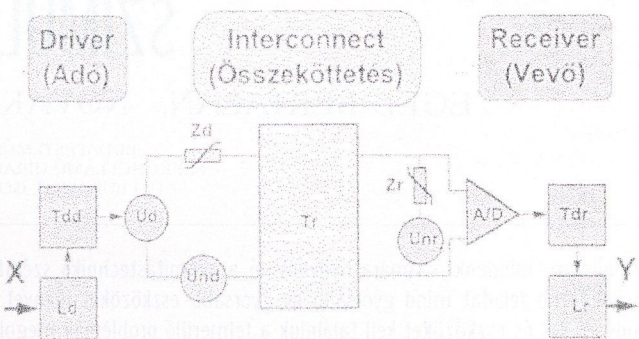
2. A JELTISZTASÁGOT BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK

Mint láthattuk, a nagysebességű áramkörökben a kialakuló jeleket a passzív beágyazó hálózat is nagymértékben befolyásolja. Az aktív elemekhez képest az összeköttetések késleltetése nem elhanyagolható és a nagy sávzsélesség miatt olyan hatásokat is figyelembe kell venni, amik esetleg nagyfrekvenciás, de keskenysávú vagy nem időtartománybeli felhasználásoknál szintén elhanyagolhatók. Ezekben az alkalmazásokban a zavaró hatásokat zajként is felfoghatjuk, amelyek befolyásolják az áramkör működését. Mint minden más esetben, itt is célunk ennek a zajnak a minimalizálása és a zajtartalom növelése a biztonságos működés érdekében.

Egy nagysebességű digitális összeköttetés modelljét mutatja az 5. ábra.

Az 5. ábrán feltüntetett elemek mindegyike lehet forrása a rendszerben keletkező zajoknak. Célszerűen csoportosíthatjuk ezen fellépési helyek szerint a zajforrásokat:

- Adó: reflexió, tápfeszültség, oszcilláció metasztabilitás, többszörös átakapcsolás.
- Összeköttetés: reflexió, áthallás, diszperzió, veszteség.
- Vevő: reflexió, tápfeszültség, oszcilláció, metasztabilitás.



5. ábra. Nagysebességű digitális összeköttetés modellje

- **X, Y** az összeköttetés be-, illetve kimeneti logikai szimbólumai;
- **Ld, Lr** az adó-, illetve vevőoldali logikai funkció;
- **Tdd, Tdr** az adó-, illetve vevőoldali késleltetés a logikai szimbólum megérkezése és a kimeneti feszültség megjelenése között;
- **Ud** az adóoldali kimeneti feszültséget szolgáltató kétállapotú vezérelt generátor, amit a logikai szimbólum kapcsol ki vagy be;
- **A/D** a vevőoldali döntéshozó áramkör, amely a vevő bemeneti feszültség alapján eldönti, hogy az milyen logikai szimbólumnak felel meg;
- **Zd, Zr** az adó-, illetve vevőoldali ki-, illetve bemeneti impedancia;
- **Und, Unr** az adó-, illetve vevőoldalon az adóban, illetve a vevőben keletkező zajokat reprezentáló források;
- **Tr** a logikai szimbólumnak megfelelő feszültség továbbítására szolgáló összekötő vonal.

Vizsgáljuk most részletesebben az összeköttetés okozta zajokat.

Reflexió

Reflexió akkor lép fel, amikor egy távvezetéként figyelembe vett összeköttetés karakterisztikus impedanciája nem egyezik meg a meghajtó, illetve a lezáró impedanciával. A reflektált jel amplitúdója, illetve fázisa a vonalat lezáró komplex impedanciák fázisától függ. A helyzetet digitális áramkörökben az is nehezíti, hogy a logikai áramkörök ki- és bemeneti impedanciája nemlineáris és frekvenciafüggő.

Áthallás

Áthallásnak az összekötő távvezetékek között fellépő csatolásból fakadó zajfeszültségeket nevezzük. Alapvetően két fajtáját különböztetjük meg. A csatolt vonalnak a hajtott vonal meghajtás felőli végén megjelenő zajfeszültséget közelvégi, míg a másik végén jelentkezett távolvégi áthallásnak nevezzük. Egyszerűbb esetben elegendő a szomszédos vonalakat vizsgálni, de sokszor nem hanyagolható el a távolabbi szomszédok hatása sem. Buszoknál, hátlapoknál rendkívül káros lehet.

Diszperzió

Ahogy a digitális rendszerek jeleinek spektrumából is kitűnik, igen széles sávú átvitelt kell megvalósítani. Ebben a tartományban az összekötő távvezetékek paramétereinek frekvenciafüggését is figyelembe kell vennünk, amit esetleg

egy keskenysávú felhasználásnál konstansnak vehetünk. A gyakran használt inhomogén dielektromos kitöltésű mikrosztríp távonal a struktúrából fakadóan diszperzív tulajdonságokkal bír, de a homogén sztripline esetében is az anyag permittivitása frekvenciafüggő.

Veszteség

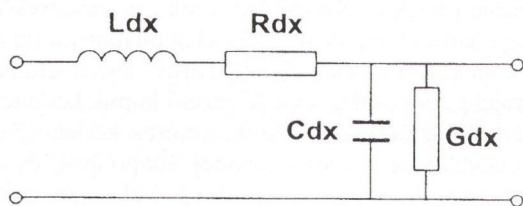
Nagysűrűségű nyomtatási rajzolatoknál a vékony összeköttetések vesztesége jelentősen befolyásolhatja az átvitt jel alakját. Egyik összetevője a rézfólia vezetőképességéből adódó egyenáramú ellenállás. Másik komponense a skin ellenállás, ami frekvenciafüggő és időtartományban az $\text{erf}(t)$ válasszal a jel felfutási idejét igen lelassíthatja. Ezen vezető veszteségek mellett a dielektromos hordozó veszteségei nem számottevők.

3. DIGITÁLIS ÁRAMKÖRÖK ÖSSZEKÖTTETÉSEI

A digitális áramkörökben alkalmazott feszültség szintekből fakadóan a jelek DC komponensét is át kell vinni, ebből fakadóan az átvitelre az alsó határfrekvenciával nem rendelkező TEM (kvázi-TEM) módusú vezetékek alkalmasak. A következőkben tekintsük át az ezen típusú távvezetékek leírásának apparátusát.

A távvezeték differenciálegyenlete

Egy távvezeték a következő paraméterekkel írhatunk le: hosszegységre eső induktivitás, ellenállás, kapacitás és átvezetés. A távvezeték egy kis Δx szakaszának helyettesítő képét mutatja a 6. ábra.



6. ábra. A távvezeték Δx szakaszának helyettesítő képe

Mint ismeretes, a távvezeték tetszőleges helyén a feszültséget és az áramot a következő differenciálegyenletek írják le [3].

$$-\frac{\partial u}{\partial x} = Ri + L \frac{\partial i}{\partial t} \quad (3.1a)$$

$$-\frac{\partial i}{\partial x} = Gu + C \frac{\partial u}{\partial t} \quad (3.1b)$$

Az időben tiszta szinuszosan változó jelekre az állandósult állapotban az egyenleteket a következő alakban is írhatjuk:

$$-\frac{\partial u}{\partial x} = Ri + j\omega Li = (R + j\omega L)i \quad (3.2a)$$

$$-\frac{\partial i}{\partial x} = Gu + j\omega Cu = (G + j\omega C)u \quad (3.2b)$$

Mint ismeretes, ennek a differenciálegyenletnek a megoldása egy a távvezeték mentén haladó csillapított hullám. Ha a távvezetékünk nem végtelen hosszú és a végén nem illesztett lezárással rendelkezik, akkor az ott levő impedanciáknak megfelelő peremfeltételeket is figyelembe

kell vennünk. Ennek megfelelően a távíróegyenletet csak egy pozitív és negatív irányban haladó hullám összegével tudjuk kielégíteni. Mint láttuk, a távvezeték egyenletét frekvenciatartományban is felírhatjuk. A diszperzív elemek figyelembevételnek csak ez a járható útja. Természetesen ebben az esetben az időtartományba visszatérve bonyolultabb összefüggéseket kapunk. Az általános távvezeték leírására a Laplace-transzformációt használhatjuk, amelynek segítségével figyelembe vehetjük a diszperziót és a lezárásból adódó peremfeltételeket is. Persze a digitális áramkörök jellemzésére elsősorban az időfüggvények használatosak, így a komplex frekvenciatartományból vissza kell térnünk az időtartományba. Ez néhány speciális esettől eltekintve csak numerikus úton oldható meg.

4. TRANZIENS JELENSÉGEK VÉGES HOSSZÚSÁGÚ TÁVVEZETÉKEN

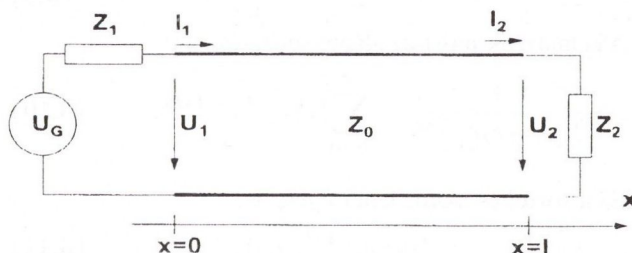
Mint tudjuk, ha egy l hosszúságú távvezeték szakasz végét $Z_2(p)$ impedanciával zárjuk le, és ezen az impedancián $U_2(p)$ feszültség mérhető, a vezetékszakasz bemenetén a feszültség és az áram Laplace-transzformáltja a következő lesz: [4]

$$U_1(p) = U_2(p)[e^{+\gamma l} + r_2 e^{-\gamma l}] \quad (3.3a)$$

$$I_1(p) = \frac{U_2(p)}{(1 + r_2)Z_0} [e^{+\gamma l} - r_2 e^{-\gamma l}] \quad (3.3b)$$

$$r_2 = \frac{Z_2 - Z_0}{Z_2 + Z_0} \quad (3.3c)$$

Ha egy távvezeték szakaszt mind a két végén lezáró impedanciával látunk el, a vezetéken fellépő feszültséget és áramot leíró egyenletek mellé további összefüggések írhatók fel a vezeték elején található feszültség és áramerősség között, valamint a vezeték végén fellépő feszültség és áramerősség között.



7. ábra.

Ha a vezeték elején lévő generátor feszültsége $U_G(p)$, akkor a vezeték kezdőpontjára jutó feszültség ennél kisebb lesz a $Z_1(p)I_1(p)$ feszültségese miatt. A vezeték végén a feszültség és az áramerősség viszonya a lezárás operátoros impedanciájával azonos. Ennek értelmében:

$$U_G = U_1 + Z_1 I_1 \quad (3.4a)$$

$$U_2 = Z_2 I_2 \quad (3.4b)$$

A második feltételünket (3.3) egyenleteink már tartalmazzák.

A távvezeték szakasz tetszőleges helyén a feszültség és az áram a következő lesz:

$$U(x, p) = \frac{U_2(p)}{(1 + r_2)} [e^{+\gamma(l-x)} + r_2 e^{-\gamma(l-x)}] \quad (3.5a)$$

$$I(x, p) = \frac{U_2(p)}{(1 + r_2)Z_0} [e^{\gamma(l-x)} - r_2 e^{-\gamma(l-x)}] \quad (3.5b)$$

Szorítsuk most csak a feszültség értékének meghatározására, mivel áramköri és mérés technikai szempontból is ennek van nagyobb jelentősége.

Fejezzük ki (3.4a) egyenletünkéből U_1 értékét és helyettesítsük be (3.3b) alapján I_1 értékét az így nyert egyenletbe. Az így kapott egyenletünk csak az U_2 értékét tartalmazza ismeretlenként, amit fejezzük ki és a kapott kifejezést helyettesítsük (3.5a) egyenletünkbe.

Átrendezés után a mindkét végén lezárt és $U_G(p)$ feszültséggel gerjesztett távvezeték szakasz tetszőleges helyén a feszültség Laplace-transzformáltja:

$$U(x, p) = \frac{U_G(p)Z_0}{(Z_1 + Z_0)((Z_2 + Z_0)e^{\gamma l} - (Z_1 - Z_0)(Z_2 - Z_0)e^{-\gamma l})} \quad (3.6)$$

vagy átrendezve:

$$U(x, p) = \frac{U_G(p) \frac{Z_0}{Z_1 - Z_0} \frac{e^{\gamma(l-x)} + \frac{Z_2 - Z_0}{Z_2 + Z_0} e^{-\gamma(2l-x)}}{1 - \frac{Z_1 - Z_0}{Z_1 + Z_0} \frac{Z_2 - Z_0}{Z_2 + Z_0} e^{-2\gamma l}} \quad (3.7)$$

Ha felhasználjuk a reflexiók tényezőket:

$$r_1 = \frac{Z_1 - Z_0}{Z_1 + Z_0}, \quad r_2 = \frac{Z_2 - Z_0}{Z_2 + Z_0} \quad (3.8)$$

A feszültség értékét így írhatjuk:

$$U(x, p) = U_G(p) \frac{Z_0}{Z_1 - Z_0} \frac{e^{\gamma(l-x)} + r_2 e^{-\gamma(2l-x)}}{1 - r_1 r_2 e^{-2\gamma l}} \quad (3.9)$$

Alkalmazzuk most az alábbi sorfejtést:

$$\frac{1}{1 - r_1 r_2 e^{-2\gamma l}} = \sum_{k=0}^{\infty} (r_1 r_2)^k e^{-2\gamma k l} \quad (3.10)$$

Ez a sorfejtés akkor lehetséges, ha:

$$|r_1 r_2 e^{-2\gamma l}| < 1. \quad (3.11)$$

Ezt a sorbafejtést visszahelyettesítve a következő kifejezéshez jutunk:

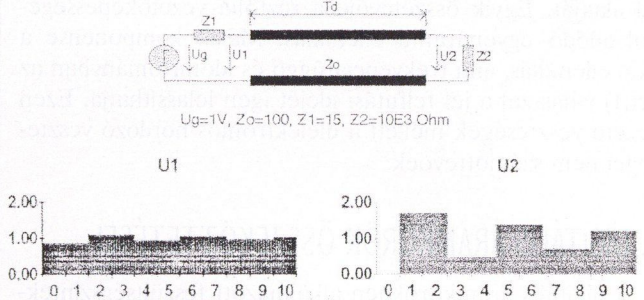
$$U(x, p) =$$

$$U_G(p) \frac{Z_0}{Z_1 + Z_0} (e^{-\gamma x} + r_2 e^{-\gamma(2l-x)}) \begin{bmatrix} 1 \\ r_1 r_2 e^{-2\gamma l} \\ r_1^2 r_2^2 e^{-4\gamma l} \\ \vdots \end{bmatrix} \quad (3.12a)$$

$$I(x, p) =$$

$$I_G(p) \frac{Z_0}{Z_1 + Z_0} (e^{-\gamma x} + r_2 e^{-\gamma(2l-x)}) \begin{bmatrix} 1 \\ r_1 r_2 e^{-2\gamma l} \\ r_1^2 r_2^2 e^{-4\gamma l} \\ \vdots \end{bmatrix} \quad (3.12b)$$

Ezek az egyenletek az összeköttetés tetszőleges helyén megadják a feszültség és az áram értékét a komplex frekvenciatartományban. A használatra lássuk azt a legegyszerűbb esetet, amikor ideális távvezetékünk van tiszta ohmos lezárással és egységugrás gerjesztéssel. Mint tudjuk, az egységugrás Laplace-transzformáltja 1 és az $e^{-\beta l}$ operátor az időtartományban egy l hosszúságú tápvonalszakasznyi késleltetésnek felel meg. Vizsgáljuk a vezeték bemeneti és kimeneti pontján a feszültséget.



8. ábra. Tranziensek ideális távvezetéken

Ezeket a jelalakokat a szokásos menetdiagram (Bergeron-módszer) segítségével is megkaphattuk volna, de az ismertett formulák segítségével általánosabb jelalakokra és távvezetésekre is számíthatjuk őket. A példa egy tipikus digitális esetet mutat, amikor kis impedanciás driver hajt meg egy vonalat, amin nagy impedanciás terhelés van. Mint látható, a reflexiók miatt a jel csak több összeköttetés késleltetésnyi idejű lengés után veszi fel a végleges értéket. Természetesen amíg a rendszer kapukésleltetései és órajelfrekvenciája ennek a többszöröse, ezek a tranziensek még elhanyagolhatók, hiszen a digitális jelek állapotváltása alatt végbemennek. Ekkor csak „kicsit szőrös” lesz a jelünk, de ha az órajel periódusideje és a félvezető kapuk késleltetése összemérhető az áramköri összeköttetések késleltetésével, nem számolhatunk a jelek stacioner állapotával, és részletes tranziens vizsgálatra van szükség. Valóságos esetben persze nem csak terhelés lehet a vonalunkon, hanem több kapubemenet is csatlakozhat hozzá, valamint a vonal impedanciája is változhat, ami több reflexiók helyet eredményez, és a jelalak tovább torzul.

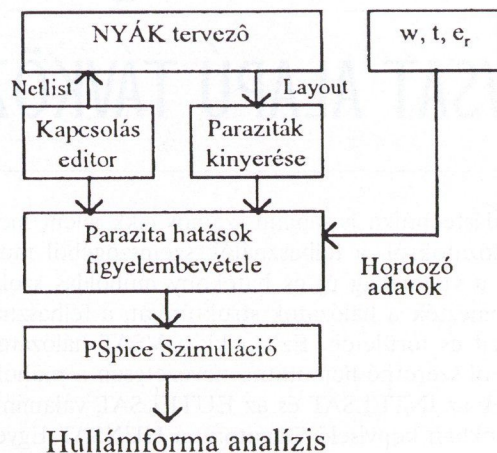
A szimuláció során tehát az összeköttetéseket tápvonalként kell figyelembe vennünk. A Spice-alapú szimulátorok a vonalak elektromos paramétereit, azok hosszegységére eső értékeit használják a jellemzéshez. A szimulációhoz meg kell határoznunk ezeket az értékeket. Erre a célra a térszámító programok (field solver) szolgálnak.

4. POST-LAYOUT SZIMULÁCIÓ

Mint láhattuk, nagysebességű áramkörökben az áramköri összeköttetések távvezeték hatásai jelentős mértékben torzíthatják a jelalakot, ami hibás logikai működéshez vezethet. Ezeket a hibalehetőségeket szimulációval tudjuk felderíteni, amelyhez az összeköttetések elektromos modellparamétereit szükségesek. Ezeket a térmegoldó eszközöket a fizikai realizáció paramétereit alapján tudjuk meghatározni. Ez azt jelenti, hogy előbb meg kell terveznünk az áramkör fizikai realizációját (layout), majd az ebből kinyert adatok alapján tudunk szimulációkat végezni a

jeltisztaság ellenőrzésére. A szimuláció eredményétől függően módosíthatjuk a fizikai elrendezést (impedanciaszint korrekciók, lezárások, vonalhosszak), majd újra ellenőrizhetjük az áramkört. Ha megtaláltuk a megfelelő realizációt, legyárthatjuk az áramkört jeltisztaságból fakadó hibaforrások nélkül. Ezt a folyamatot nevezzük post-layout szimulációnak (9. ábra).

A gyakorlatban egy post-layout szimulációs tervezői munkaállomással a feladatokat a számítógép segítségével végezhetjük el.



9. ábra. Post-layout szimuláció

IRODALOM

- [1] George Washington University: Interconnect Design in High-Speed Digital Systems, Course 1910.
- [2] Digital Design Seminar, Texas Instruments, 1994.
- [3] A. R. Djordjevic, T. K. Sarkar and R. F. Harrington: "Time-

- Domain Response of Multiconductor Transmission Lines", *Proceeding of the IEEE*, Vol. 75, No. 6, June, 1987, pp. 743-764.
- [4] Simonyi K.: Elméleti villamosságtan, Tankönyvkiadó, 1986.

SIMULATION OF HIGH-SPEED CIRCUITS

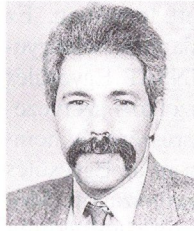
B. EGED, I. NOVÁK and P. BAJOR

TECHNICAL UNIVERSITY OF BUDAPEST
DEPARTMENT OF MICROWAVE TELECOMMUNICATIONS
H-1111 BUDAPEST, GOLDMANN GY. TÉR 3.

The paper deals with the signal integrity problems of interconnects in high-speed digital circuits. Introduces the currently used high-speed components and signal distortions in the systems. A model is described for interconnects and for the different sources of waveform distortion. Reviews the modelling possibility of lossy interconnects for time-domain transient simulation including example. Introduces the post-layout simulation technique for finding signal integrity problems on a PCB before manufacturing.

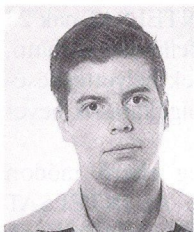


Eged Bertalan 1990-ben szerzett villamosmérnöki oklevelet a Budapesti Műszaki Egyetemen. Tanulmányai után a munkát a BME Mikrohullámú Híradástechnika Tanszékén kezdte meg, ahol jelenleg tanársegédként dolgozik. Mikrohullámú aktív és passzív áramkörök fejlesztésével és oktatásával foglalkozott. Jelenlegi tématerülete a nagysebességű digitális számítógépek és kommunikációs rendszerek jeltisztasági problémáinak vizsgálata, modellezése és szimulációja.



se és szimulációja.

Novák István villamosmérnöki oklevelét 1976-ban szerezte a Budapesti Műszaki Egyetemen, a PhD címet pedig 1988-ban digitális jelfeldolgozás és kommunikáció témában. 1983-84 és 1989-91 között project engineerként dolgozott az Amerikai Egyesült Államokban. Jelenlegi érdeklődési területei: jeltisztasági problémák, áthalás, méréstechnika, nagysebességű kommunikációs és számító rendszerek modellezése és szimulációja.



Bajor Péter 1993-ban szerzett villamosmérnöki oklevelet a Budapesti Műszaki Egyetemen. Jelenleg doktorandusz hallgató a Mikrohullámú Híradástechnika Tanszéken. Szélessávú frekvencia- és időtartománybeli mérések utófeldolgozási technikáival és jeltisztasági problémákkal foglalkozik.

VSAT ALAPÚ TÁVKÖZLÉS MAGYARORSZÁGON

A Híradástechnika hasábjain számos cikk jelent meg a VSAT hálózatokról, a felhasználók szemszögéből mutatva be ezt a viszonylag új és hatékony műholdas szolgáltatást. Elemezték a hálózatok struktúráját, a felhasználás lehetőségeit és területeit. Ez a cikk a VSAT hálózatokat más oldalról szeretné bemutatni, nevezetesen a műholdas szervezetek az INTELSAT és az EUTELSAT, valamint az őket hazánkban képviselő Signatory, a HUNSAT Egyesülés oldaláról, ugyanakkor tájékoztatást szeretnénk adni a magyarországi helyzetről és a várható fejlődési tendenciákról.

Néhány szó az előzményekről.

A Magyar Kormány 1992 elején elhatározta, hogy Magyarország csatlakozik az e térségben legfontosabb két nemzetközi úrtávközlési szervezethez, az INTELSAT-hoz és az EUTELSAT-hoz. A kormánynak ez a döntése lehetővé tette Magyarország számára, hogy teljes jogú részesévé és résztulajdonosává váljék annak a világméretű, illetve európai kiterjedésű műholdas távközlési rendszernek, amely a legkorszerűbb és legrugalmasabb távközlési szolgáltatásokat képes felhasználni számára nyújtani.

Magyarország 1993. október 21-én harminchetedik tagként csatlakozott az EUTELSAT-hoz, 1994. január 26-án pedig a százharmincegyedik lett az INTELSAT tagjainak sorában.

A nemzetközi úrtávközlési szervezetekben a tagországok kormányai az alapítók az ún. felek, akik a résztulajdonosi jogok gyakorlását rábízzák egy általuk kiválasztott társaságra. Ez a társaság válik a nemzetközi úrtávközlési szervezet működési megállapodásának (Operating Agreement) aláírójává. A magyarországi „Aláíró” más néven „Signatory” a kormány felhatalmazása alapján ebből a célból létrehozott HUNSAT Magyar Úrtávközlési Koordinációs Egyesülés. A HUNSAT a két legnagyobb távközlési vállalat, a MATÁV Rt. és az Antenna Hungária Rt. 50-50 %-os részvételével jött létre nyitott formában. Ez azt jelenti, hogy pénzbefektetéssel és az alapítók bekegyezésével bárki csatlakozhat hozzá. A HUNSAT Egyesülés diszkrimináció mentesen közvetíti a nemzetközi szervezetek távközlési szolgáltatásait felhasználói részére. A nemzetközi szervezetek jelenlegi szabályai szerint az Egyesülés ezt kizárólagos jogosultsággal teszi Magyarországon. Mőködnek azonban arra is, hogy bizonyos országok esetén külföldi szolgáltatók részére is foglaljunk kapacitást a műholdakon Magyarországon kívüli összeköttetések számára.

1994 végén az EUTELSAT-nak 8, az INTELSAT-nak 23 műholdja üzemel, és további műholdak fellövése várható, részben az üzemképtelenné váló szatellitok helyettesítésére, részben új pozíciókon új és többszolgáltatások bevezetésére.

A különböző szolgáltatásokat némileg eltérő módon csoportosítja a két nemzetközi szervezet. Az INTELSAT 23 és az EUTELSAT 8 műholdján az alábbi szolgáltatások vehetők igénybe:

- az INTELSAT műholdakon:
nyilvános kapcsolt közcélú szolgáltatások, üzleti szolgáltatások, műsorszórás, belföldi/regionális szolgáltatások, kábeltartalékolási szolgáltatások.
- az EUTELSAT műholdakon:
köz célú távbeszélő szolgáltatás, televízió- és rádió-műsor sugárzás, üzleti szolgáltatások, televízió és rádió programszétosztás (EBU), EUTELTRACS mobil szolgáltatás, kábeltartalékolási szolgáltatások.

Az üzleti szolgáltatások keretein belül hazai vagy nemzetközi cégek saját hálózatot hozhatnak létre beszéd, adat, vagy videokonferencia átvitelére. Az itt használatos földi állomások kis méretűek (VSAT), amelyek igen gazdaságos és rugalmas rendszert eredményeznek. Az INTELSAT műholdakon jelenleg üzemelő VSAT hálózatokból Magyarországon csak néhány VSAT terminál található. Ezek külföldön lévő hub állomásokkal tartják a kapcsolatot, és főleg az Egyesült Államokban és Németországban működő multinacionális vállalatok globális, vagyis az egész Földre kiterjedő VSAT hálózatának részei.

1994. november 1. és 3. között 3 napos regionális VSAT Workshop-ot tartottunk Budapesten az INTELSAT és a HUNSAT közös szervezésében főleg a Közép- és Kelet-Európai országok számára, abból a célból, hogy elősegítsük a VSAT hálózatok kiépítését a térségben az INTELSAT műholdakon keresztül. Jelenleg akadályt jelent Magyarországon az, hogy az INTELSAT VSAT hálózatok zöme a C sávban üzemel (6 GHz uplink, 4 GHz downlink) a teljesítménysűrűség viszonylag kisebb, és így nagyméretű antenna szükséges a jó összeköttetés megvalósításához. Hátrány még az is, hogy a rádióengedélyezés kérdése nem megoldott, éppen a nagyszámú, a C sávban üzemelő földfelszíni mikrohullámú gerinchálózati összeköttetések-ből adódó, várhatóan nagyszintű zavartatási problémák nehezen kezelhető természete miatt.

Az EUTELSAT műholdakon üzemelő magyarországi VSAT hálózatok, mivel azok a Ku sávban üzemelnek (14 GHz uplink, 12 GHz downlink), már egészen más képet festenek. A fejlődés bemutatására álljon itt néhány adat:

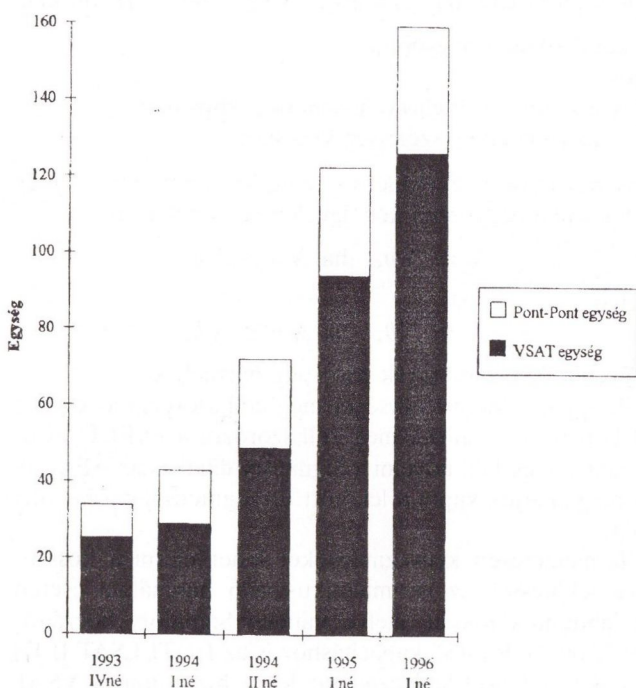
VSAT felhasználóink közé tartozik a Matáv (Sat-Net főmérnökség), a BankNet Kft., a Hungaro DigiTel Kft., az SFMT Montana Kft. és a német tulajdonú Euro Data GmbH. Közülük a legnagyobb kapacitást jelenleg a BankNet Kft. foglalja. A Hungaro DigiTel Kft. 1994 májusában helyezte üzembe új hub állomását, az SFMT Montana Kft. hub állomása pedig 1994 októberében kezdte meg működését. A Matáv 1994 végére tervezi üzembehelyezni VSAT hálózatát. A hub állomások antennáinak átmérője 6,1 m és 9,1 m között található. Egyébként a Hungaro DigiTel Kft. jelenleg meglévő kapacitásait 1995-re a mostani

kétszeresére, 1996-ra pedig négyszeresére szeretné bővíteni, a BankNet Kft. esetében 1996-ra a jelenlegi kapacitások megduplázódására számíthatunk, de elmondható valamennyi VSAT szolgáltatónkról hogy jelentős bővítést terveznek. A kapacitáslekötések felfutását az 1. ábra mutatja.

A VSAT szolgáltatás az EUTELSAT-nál az ún. SMS (Satellite Multiservices System) része, amely ezen kívül magába foglalja a pont-pont és a pont-több pont közötti összeköttetéseket is. Jelenleg, 1994 végén, az EUTELSAT II F4M (7°-K) műhold 40, 41, 44, 45, 46, 48 sz. transzponderein, valamint az EUTELSAT II. F2 (10°-K) műhold 40, 41, 42, 44, 45 és 46 sz. transzponderein 5480 egységni kapacitást foglalnak le a különböző országok. 1994 júliusában 319 teljes idejű hálózat üzemelt (162 nemzetközi, 157 belföldi). A 319 hálózatból 79 volt a VSAT hálózatok száma.

EUTELSAT üzleti úrtávközlés

	1993. IV.n.év	1994. I.n.év	1994. II.n.év	1995. I.n.év	1996. I.n.év
VSAT egység	25,00	28,7	48,4	93,7	125,7
Pont-pont egység	8,95	14,1	23,6	28,6	33,6
SMS egység	33,95	42,8	72,0	122,3	159,3



1. ábra. Magyar SMS kapacitásigény

Tekintsük át röviden, hogy melyek azok a vezérelvek, amelyeket mind az INTELSAT, mind az EUTELSAT követ a tarifarendszer felépítésében.

Az egyik legfontosabb dolog, amit szem előtt kell tartani az, hogy mint ahogy bármely egészen más területen igénybe vett szolgáltatásra, úgy az űrszolgáltatásra is igaz, hogy minél hosszabb időre veszik igénybe a szolgáltatást, annak megfelelően csökken az igénybevétel díja, tehát pl. egy több évre szóló lekötésnél fajlagosan kevesebb az egy évre eső bérleti díj.

A másik fontos kérdés, hogy ha nem egész transzpondert (a köznapi nyelv szerint csatornát) bérel ki a felhasználó, ez esetben logikusan csak a bérleti díj egy bizonyos részét kell kifizetnie.

Ezek után következzen néhány műszakibb jellegű kérdés.

A bérelhető csatornák műszaki paraméterei nem egyformák. Az, hogy melyiket célszerű igénybe venni, az attól függ, hogy milyen szolgáltatást szeretne nyújtani a felhasználó. Értelemszerűen minél nagyobb a felhasznált frekvenciasáv, illetve az igénybevett teljesítmény, annál magasabb a bérleti díj.

Azt sem lehet figyelmen kívül hagyni, hogy a kisugárzott információt mekkora területen lehet venni, azaz hogy a vételi körzet a Föld mekkora területét fedi le. Erre más-más mértékek állnak rendelkezésre az INTELSAT-nál, mint a EUTELSAT-nál. Mivel az INTELSAT világméretű rendszer, létezik olyan lehetőség, hogy az általa közvetített információ — a műhold pozíciójától függően — majdnem az egész világon fogható. Ezt a vételi lehetőséget nevezik „Global beam”-nek. Ha ennek területnek csak mintegy a felén van vételi lehetőség, azt „Hemi beam”-nek nevezik, és vannak ennél kisebb vételi lehetőségek is, az ún. „Zone”, vagy az egy bizonyos területre irányított „Spot beam”-ek. Az EUTELSAT rendszere ennél sokkal egyszerűbb, mivel nem „takarja be” az egész világot, csak Európát, illetve a Közel-Kelet és Észak-Afrika egy részét. Azért itt is van különbség, létezik egy kisebb területet ellátó ún. „super beam” és ennél valamivel nagyobb az ún. „wide beam” a II. generációs műholdak esetén, melyeken a VSAT szolgáltatásokat biztosítják.

A műszaki kérdésekhez tartozik az a fogalom is, hogy milyen a csatornák prioritása. Ez röviden azt jelenti, hogy a csatornákat az úrtávközlési szervezetek felosztják aszerint, hogy a jövőben mi a tervük vele. Nem lehet műholdas távközlést üzemeltetni anélkül, hogy ne számítanánk meghibásodásra. Ezt az eshetőséget sajnos bele kell kalkulálni számításainkba. Fenn kell tehát tartani olyan tartalék csatornákat, amelyeket ilyen esetekben, vagy bármilyen más nem várt esetben (vis major) azonnal igénybe lehet venni. Főlegesen azonban fenntartani ezeket a tartalékokat úgy, hogy üresen álljanak, ezért ezeken is le lehet kötni kapacitást, fenntartva azonban azt a jogot, hogy ha bármilyen üzemzavar előáll, ezeket a kapacitásokat azonnal tartalékként kell felhasználni, azaz azonnal ki kell őket üríteni. Innen kapták a „kiüríthető” elnevezést, amelyet az angol szakmai nyelv „preemptible”-ként említ. Ennek az ellentéte az ún. „nem kiüríthető”, azaz „non preemptible”. A tarifa szerint természetesen a nem kiüríthetőért kell többet fizetni. Ezek mellett egy harmadik kategóriát, a „guaranteed” elnevezésűt is megjelölnek. Ahogy a nevében is szerepel, ez a nem kiüríthetőnél annnyival jelent többet, hogy meghibásodás esetén garantáltan biztosítanak helyette másik csatornát (esetlegesen a preemptible terhére).

Más megközelítés szerint vizsgálhatjuk a csatornákat abból a szempontból is, hogy állandó időre bérelték-e ki, vagy csak időlegesen, illetve a kapcsolat a nap melyik szakában jön létre. Természetesen azoknak a transzpondereknek magasabb a bérleti díja, amelyek állandó időre ki vannak bérelve, ezt nevezi a szakirodalom „full time use”-nak. A részdíós (part time use) adások tarifája ennél alacsonyabb.

nyabb, mivel csak azért az időért kell fizetni, amit a bérlo ténylegesen felhasznál. A család harmadik tagja az eseti használat (occasional use), amely fajlagosan a legdrágább, hiszen teljesen véletlenszerűen kell a műholdas társaságnak kapacitást biztosítania erre a felhasználási formára. Az üzleti szolgáltatásoknál drágább a díja a legnagyobb forgalmú napszakban létrejött átvitelnek (standard use), kevesebbet kell viszont fizetni a csúcsidőn kívüli felhasználásért (off peak).

Lényeges figyelembe venni az úrtávközlési berendezések műszaki paramétereit is. Nem mindegy az, hogy a műholdról érkező jelet mekkora átmérőjű antennával vesszük. Minél nagyobb a vevőantenna, annál olcsóbb az összeköttetés ára. (Nem szabad azonban elfelejteni, hogy a nagyobb antenna jóval többbe is kerül!) Kötöttséget jelent ennél a pontnál az is, hogy egyes szolgáltatásokra elő van írva, hogy milyen típusú földi állomást, azaz mekkora méretű antennát szabad használni. Végezetül ebbe a fogalomkörbe tartozik a műhold életkora. A mostanában fellőtt műholdak életkora a technika fejlődésével lépést tartva egyre hosszabb. Ha már minden energiát elhasználnak a műhold stabil pályántartására ún. „inclined” pályára kerül a szatellit. Ezzel a műhold élettartama néhány évvel megnövekszik, viszont az a következménye, hogy nem képes a földről nézve mozdulatlan helyzetben maradni, mert pályája elhajlik. Ebből a tényből következik az elnevezés is, „inclined orbit”, azaz elhajlott pályájú műhold. Az ilyen fajta műholdak mozgását nehezebb a földi állomásnak követni, és ez esetlegesen a vétel minőségében is okozhat némi zavart. Ezért az elhajlott pályájú műholdakon jóval olcsóbb a kapacitás.

Ez után a rövid általános összefoglaló után vizsgáljuk meg a díjazási kérdéseket lépésről-lépésre a Magyarországon leggyakrabban használt EUTELSAT VSAT szolgáltatásokra vonatkozóan.

Az EUTELSAT kétféle hálózatot különböztet meg: az egyik az „Open Network” (nyílt hálózat), a másik a „Closed Network” (zárt hálózat).

Az Open Network-ben csak szabványos állomások kapcsolódhatnak be:

S1 állomás ~ 5,5 m-es antenna, $G/T > 30$ dB/K,

S2 állomás ~ 3,7 m-es antenna, $G/T > 27$ dB/K,

S3 állomás ~ 2,4 m-es antenna, $G/T > 23$ dB/K.

Az átviteli jellemzők: $FEC = 1/2$ vagy $3/4$; $BER = 10^{-6}$; rendelkezésre állás = 99 %; a moduláció QPSK, melyektől eltérni nem lehet.

Addig amíg az Open Network teljesen kötött távközlési rendszer és 64 kbps mindig 1 egység, addig a Closed Network-ben az átvitel paramétereit a felhasználó nagy szabadságfokkal alakíthatja ki, és ennek megfelelően a lekötött kapacitást esetről esetre újból ki kell számítani az

összeköttetés zaj- és teljesítmény-mérlegének és az átvitel sávszélességének függvényében.

A hasznosított egység kiszámítása az alábbiak szerint történik:

A földi állomás módosító tényezője:

$$ERAF = a + b * 10^{-(G/T/10)}.$$

Ha a vevőállomás kívül esik a 42,5 dBW referenciakonton, akkor az állomás jósági tényezőjét csökkenteni kell a referenciaértéktől való eltéréssel, azaz:

$$\Delta G/T = 42,5 - Y \text{ dB} - \text{lel},$$

ahol Y = a műhold telítési E.I.R.P.-je a vevőállomás irányában.

A C/N_0 módosító tényezője:

$$CRAF = 10^{((c-55,7dBHz)/10)}.$$

A fenti képletekben

$a = 0,51268$; $b = 244,20$ c = az igényelt C/N_0 .

A teljesítményegységet (Np) a kettő szorzata adja:

$$Np = CRAF * ERAF.$$

A sávszélesség egységét (Nb) az alábbiak szerint kapjuk meg:

$$Nb = [R * (15/16) / 64 \text{ kbps}], \text{ vagy } Nb = B / 90 \text{ kHz}$$

(a kettő közül a nagyobb),

ahol

R = a kisugárzott jelfolyam-sebesség kbps-ben,

B = az igényelt sávszélesség kHz-ben.

A hasznosított ekvivalens egység kiszámításánál Np és Nb közül a nagyobbat kell figyelembe venni, azaz:

$$N = Np, \text{ ha } Np > Nb,$$

illetve

$$N = Nb, \text{ ha } Np < Nb.$$

(Egyenlőség esetén értelemszerűen bármelyiket.)

Az így kiszámított egységet meg kell szorozni az egység ECU-ban mért árával, meg kell szorozni a Ft/ECU árfolyammal, meg kell növelni a Signatory díjjal és az ÁFA-val, ha meg akarjuk kapni a lekötött úrszégmensnek a belföldi díját.

Természetesen kedvezményeket lehet elérni a hosszútávú lekötéssel, az aszimmetikus vívó használata esetén az inbound vívóknél, illetve minden Signatory hozzájuthat „Loyalty Bonus” kapacitáshoz is az EUTELSAT II F3 (16°-K), amellyel kedvező árat lehet biztosítani a VSAT felhasználóknak.

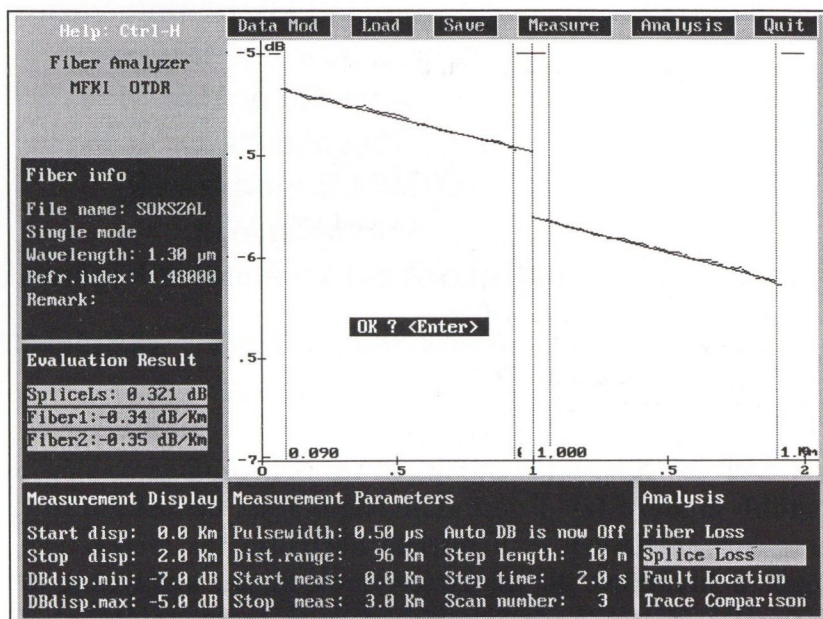
DURÓ IMRE
HUNSAT EGYESÜLÉS



OPTIKAI VISSZASZÓRÁSMÉRŐ OTDR a NOTEBOOK-ban

Notebook számítógépbe épített OTDR-t fejlesztettünk ki az MTA Műszaki Fizikai Kutató Intézetében. Ha van jól bevált notebookjuk, semmi akadálya, hogy kiváló OTDR-jük is legyen. Szinte minden notebook *teljesértékű OTDR* műszerré alakítható, ha a 3,5"-es floppy meghajtó helyére a teljes elektronikát és optikát tartalmazó OTDR mérőegységet helyezzük.

- hordozható
- két hullámhossz
- többcélú
- rövid/hosszú szálak
- széles dinamika tartomány
- szálanalízis
- programozhatóság



OTDR műszerünk elemekkel együtt 3 kg-nál könnyebb. Valóban hordozható, könnyű, *terepműszernek* a beépített újratölthető elemekkel előnyösen alkalmazható.

Kis mérete ellenére *teljes értékű műszer kiváló paraméterekkel*, amely laboratóriumi és dokumentálási célokra egyaránt alkalmas.

Két hullámhosszra tervezett optikai egysége 1,31 és/vagy 1,55 μm-en működik.

OTDR szálanalizátorként egy- és többmódusú fényvezető szálak, csatlakozók és kötések veszteségének mérésére, hibahely és reflexiós veszteség meghatározására használható.

A *rugalmasan programozható hardver* miatt OTDR műszerünk több különböző mérésre is használható *kis és nagy távolságoknál* egyaránt.

Ilyen OTDR-nél a notebook összes számítógép nyújtotta lehetősége is használható, pl. a mért adatok dokumentálására vagy további analizisre, stb. Esetenként a *mérő szoftver* csaknem minden része a *vásárló igényeinek megfelelően* alakítható. Ezenkívül szoftver úton még a *hardver is átprogramozható* pl. *LAN szálak* mérésére.

Műszaki adatok:

- szálak: egy- és többmódusú
- hullámhossz: 1,31 és/vagy 1,55 μm
- dinamika tartomány: >30 dB 1,31 μm-nél
>28 dB 1,55 μm-nél
- hibahely meghatározás: <1 m
- impulzus szélesség: 20ns-tól 10μs-ig
- holt zóna: 10m + impulzus szélesség

Szálanalízis:

- hibahely-meghatározás
- szálveszteség
- csatlakozó veszteség
- kötési veszteség
- reflexiós veszteség

EP *alközpontok használói, üzemeltetői, tulajdonosai!*

Csökkentsék telefonköltségeiket, adjanak tételes számlát bérőiknek!

HASZNÁLJÁK A BHG TARIFIKÁCIÓS RENDSZERÉT!

Ugyanitt megvásárolhatók az árkategóriájukban a legtöbb szolgáltatást nyújtó komplett központok, vagy a legújabban kifejlesztett kiegészítések;

DTMF-fővonalak,

beválasztás,

DTMF-LB rendszerek,

távfelügyelet.

A jólbevált konstrukciót a megrendelőink igényeihez igazítjuk.

Idézet az *ENGINEERING ASSOCIATES, INC.* egy hazánkban készített felméréséből:

Az EP típusú berendezések az elektronikus analóg technológián alapulnak, és a legtöbb modern távközlési alapszolgáltatást biztosítani tudják. Ezek a rendszerek tárolt programvezérlésűek és megfelelő karbantartás esetén igen megbízhatóak. Sajnos azok közül a hivatalok ill. minisztériumok közül, amelyeket megkérdeztünk, nagyon kevés használta ki a EP rendszerekben rejlő szolgáltatásokat, ill. lehetőségeket. Igen kevés felhasználó tudta, hogy ezek a rendszerek kezelő nélkül is képesek a hívásokat átadni.

Az EP rendszerben lehetőség van a fentiekben említett beválasztás alkalmazására, sőt a kapcsolórendszerhez közvetlen digitális interfészek is csatlakoztathatók. Mindazonáltal az elektronikus, analóg, tárolt program-vezérlésű technológia kissé elavult, és mi lelki szemeinkkel látjuk, hogy egy átmeneti vagy köztes időszakban ezeket használják elsődlegesen. Végső fokon azonban szükség lesz ezen rendszerek cseréjére, hogy az olyan fejlettebb távközlési technológiák, mint az ISDN, alkalmazható legyen. Mindazonáltal néhány viszonylag kisebb módosítással ezeket használni lehet majd az új hálózatban."

A beválasztáson - mint az interjú alanyokban legnagyobb megdöbbenést kiváltó új "ISDN szolgáltatáson" - kívül csupa olyan szolgáltatás merül fel igényként, amely ugyancsak nem igényli az ISDN rendszert, analóg TPV eszközökkel is megvalósítható. Ilyenek: hívásátírányítás, konferencia, hívásátadás, ... stb. Azaz csupa olyan szolgáltatás, amely ugyancsak meg lett valósítva az EP központokban is.



BHG Híradástechnikai Rt.

ALKÖZPONTI ÁGAZAT

1509 Budapest, Pf:2 Tel: 181-3300/1898, /2193, /2185, /2223 Fax: 203-0994