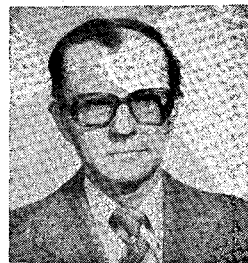


Műhold-retranszlátor csatornkapacitása homogén SCPC rendszerekben

PRIBELSZKY GYÖRGY

Távközlési Kutató Intézet



ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk SCPC—FDMA vivőhullámok továbbítására szolgáló, teljesítmény-korlátos műhold-retranszlátorok csatornkapacitásának meghatározását, továbbá a csatornkapacitás növelésének lehetséges módszereit tekinti át műholdas homogén távbeszélő hálózatokban. Azokat a digitális jelfeldolgozási-jeltovábbítási módszereket tárgyalja, amelyek az „Intercsat” távbeszélőcsatornáképző berendezés kidolgozásánál vannak tervbevéve, a kidolgozott módszerek és a kapott eredmények azonban más jelfeldolgozási-jeltovábbítási módszerek esetén is alkalmazhatók.

1. Bevezetés

Azokat a műholdas távbeszélő hálózatokat, amelyekben egy-egy földi állomás csatornkapacitásának átlagértéke 12 duplex csatorna vagy ennél kevesebb, közepes- vagy kis forgalmú műholdas távbeszélő hálózatoknak nevezzük. Ezeknek a műholdas távbeszélő hálózatoknak további jellemzője, hogy a műhold-retranszlátorhoz sok földi állomás (a jelenlegi gyakorlat alapján 50—60) csatlakozik. Meg kell jegyezni, hogy az ilyen típusú műholdas távbeszélő hálózatokban is lehet olyan földi állomás — rendszerint a hálózat csomóponti állomása — amelynek kapacitása lényegesen nagyobb, mint 12 duplex távbeszélő csatorna (az eddigi gyakorlat alapján 50—60).

Ezekben a műholdas távbeszélő hálózatokban a műhold-retranszlátor rendelkezésre álló sávzélességének és adó-teljesítményének egyidejű maximális kihasználása, továbbá a több földi állomás hozzáférés maximális rugalmasságának biztosítása szempontjából az optimális megoldást az egyedi-beszédcsatornás (SCPC) rendszerek alkalmazása jelenti. SCPC rendszerekben minden egyes távbeszélő csatorna jele külön-külön vivőhullámot modulál (innen az elnevezés is) és a műhold-retranszlátor a földi állomások rádiójeleit a frekvenciaosztás elvén nyalábolja (SCPC—FDMA rendszerek). SCPC rendszereknek a műholdas távbeszélő hálózatokban való alkalmazásával az [1], SCPC vivőhullámokat továbbító műhold-retranszlátorok csatornkapacitás problémáinak tömör összefoglalásával az [5] publikáció foglalkozik.

2. Műhold-retranszlátor csatornkapacitása különböző jelfeldolgozási-jeltovábbítási módszerek esetén

SCPC—FDMA rendszerek létesítésére az analóg és a digitális jelfeldolgozási-jeltovábbítási módszerek egyaránt alkalmasak. A jelenlegi időszakban az SCPC

PRIBELSZKY GYÖRGY

1956-ban kapott kitüntetéses oklevelet a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Karának gyengeáramú tagozatán. 1956-tól dolgozik a Távközlési Kutató Intézetben. Kutatási területe 1968-ig a mikrohullámú rádiórelé rendszerek rendszertechnikája volt: rendszerek tervezése, analízise, jelfeldolgozási és jeltovábbítási problémák. 1968-tól kutatási területe a

műholdas hírközlés rendszer-technikája. Érdeklődési köre elsősorban a műholdas hírközlés céljára alkalmas jelfeldolgozás-jeltovábbítás, valamint a több földi állomás hozzáférés problémáira, továbbá a rendszerek tervezésére irányul. Eredményeit, magyar és idegen nyelven, rendszeresen publikálja, hazai és nemzetközi konferenciákon ismerteti. Számos cikk szerzője. Munkájáért többször részesült kitüntetésben.

rendszerekben széleskörűen alkalmazott jelfeldolgozási-jeltovábbítási módszerek az alábbiak: 1. az optimális peremfázist és szótag-kompadort, valamint csökkentett küszöbértékű demodulátort alkalmazó analóg frekvencia moduláció (FM), 2. a digitális-meredekség-vezérlésű adaptív delta-moduláció, két- vagy négy-állapotú digitális differenciál fázis modulációval, 32 kbit/s, ill. 64 kbit/s jeltovábbítási sebességgel és koherens detekcióval (DCADM—DBPSK vagy DCADM—DQPSK) és 3. a hét-bit-es kódszavakat alkalmazó impulzus kódmoduláció, négy-állapotú digitális fázis modulációval, 64 kbit/s jeltovábbítási sebességgel és koherens detekcióval (PCM—QPSK). A Távközlési Kutató Intézetben kidolgozás alatt álló „Intercsat” távbeszélőcsatornáképző berendezésben a PCM—QPSK és a DCADM—DBPSK rendszer alkalmazása van tervbe véve, ezért itt csak ezeket vizsgáljuk az adott paraméterű műhold-retranszlátorban megvalósítható csatornkapacitás szempontjából.

Valamely SCPC rendszert akkor nevezünk homogénnek, ha: — az ugyanazon műhold-retranszlátorhoz csatlakozó földi állomások jósági tényezője — G/T értéke — azonos, — a jelfeldolgozási-jeltovábbítási módszer minden vivőhullámra nézve azonos és — a vivőhullámok közötti frekvenciatávolság azonos (a vivőhullám-kiosztás egyenletes).

SCPC jeleket továbbító több vivőhullám hozzáférésű műhold-retranszlátoroknak a csatornkapacitás szempontjából legfontosabb paraméterei: — az izotropikusan kisugárzott hatásos fedélzeti adó-teljesítmény ($EIRP_s$), — a fedélzeti vevő-berendezés jósági tényezője (G/T_s), — a műhold-retranszlátor sávzélessége (a 6/4 GHz-es frekvencia tartományban működő műholdas hírközlő rendszerek esetén legfeljebb 36 MHz), — a 6/4 GHz-es fedélzeti toló-oszcillátor frekvenciastabilitása és — a fedélzeti haladóhullámú erősítő AM—AM kompressziója és AM—PM konverziója. Több vivőhullám hozzáférésű üzemből a nemlineáris műhold-retranszlátor munkapontját úgy kell

Beérkezett: 1985. VII. 22. (□)

Sávkorlátos műhold-retranszlátor
vivőhullámtovábbítási kapacitása

B MHz \ Δf kHz	45	80
34	754	424
36	800	450

B: a műhold-retranszlátor sávszélessége
Δf: a vivőhullámok közötti frekvenciatávolság

megválasztani, hogy a vivőhullámok közötti interferencia szintje maximális terhelés esetén is minimális legyen.

Valamely hírközlő rendszer — beleértve a műholdas hírközlő rendszereket is — egyik fontos rendszer paramétere a sávszélesség hatásfok, melynek definíciója: azoknak az információ-bit-eknek a száma, amelyek a felhasznált sávszélesség egy ciklusán belül továbbíthatók. A sávszélesség hatásfok maximális értékét a csatornkapacitásnál éri el, mivel adott sávszélesség esetén az információ-sebesség ebben az esetben maximális. Memóriamentes Gauss-csatornában, ha a sávszélesség B, a maximális sávszélesség hatásfok az alábbi összefüggéssel határozható meg:

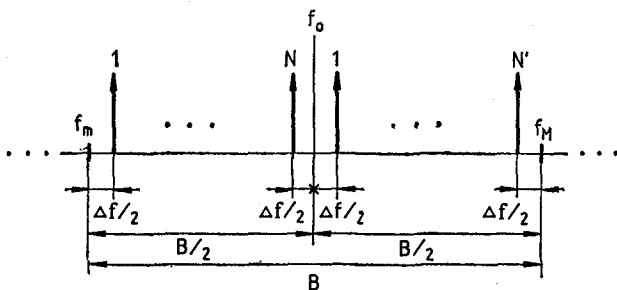
$$C/B = \log_2 \left(1 + \frac{P}{N_0 B} \right) = \log_2 [1 + (E_b/N_0)(C/B)] \quad (1)$$

ahol: C a csatornkapacitás, B a csatorna sávszélessége, P a vett jelteljesítmény, N₀ a zajteljesítménysűrűség, E_b a bit-energia.

Az (1) összefüggésből E_b/N₀ az alábbi módon fejezhető ki:

$$E_b/N_0 = \frac{1}{(C/B)} [2^{C/B} - 1]. \quad (2)$$

Ha C/B kisebb, mint 2, akkor a csatorna *sávkorlátos*, ha pedig C/B nagyobb, mint 2, akkor a csatorna *teljesítmény-korlátos*. A csatornkapacitás mind sávkorlátos, mind teljesítmény-korlátos csatornában elérhető, ha a kódolás-moduláció/demoduláció-dekódolás rendszert alkalmasan választjuk. Meg kell jegyezni, hogy a Shannon-kapacitás-elmélet meghatározza ugyan azt a maximális sebességet, melynek esetén az információ megbízhatóan továbbítható, arra vonatkozóan azonban nem ad utasítást, hogyan kell konstruálni olyan gyakorlati kódolás/dekódolás rendszert, amellyel az elmélet által meghatározott csatornkapacitás megvalósítható.



H-68-1

1. ábra. SCPC—FDMA rendszer frekvenciatervének vázlata homogén hálózatban

2N=N+N': a műhold retranszlátor által továbbítható vivőhullámok száma

f_m: alsó sávhatár frekvencia

f_M: felső sávhatár frekvencia

B=f_M-f_m: a műhold-retranszlátor sávszélessége (34 MHz vagy 36 MHz)

f₀: sávközép frekvencia

f: a szomszédos vivőhullámok közötti frekvencia távolság (45 kHz vagy 80 kHz)

2.1. Sávkorlátos retranszlátor csatornkapacitása

SCPC—FDMA rendszerekben sávkorlátosnak akkor nevezzük a műhold-retranszlátort, ha a vivőhullámtovábbítási kapacitást a műhold-retranszlátor sávszélessége határozza meg, ill. korlátozza.

SCPC—FDMA vivőhullámokat továbbító műhold-retranszlátor frekvenciatervének elvi vázlatát, egyenletes vivőfrekvencia-kiosztás és egyenlő szintű vivőhullámok esetén (homogén SCPC rendszerben) az 1. ábra szemlélteti. Mivel az SCPC—FDMA vivőhullámok továbbítására szolgáló műhold-retranszlátorok sávszélessége adott, a vivőhullámok közötti frekvenciatávolságot és ezzel a sávkorlátos műhold-retranszlátorban továbbítható vivőhullámok számát is, a modulált vivőhullámok spektrumszélessége, vagyis a választott modulációs módszer határozza meg. Az „Inter-csat” távbeszélőcsatornaképző berendezésben a vivőhullámok közötti frekvenciatávolságra 45 kHz és 80 kHz van előírva.

Egyenletes vivőfrekvencia-kiosztás esetén a sávkorlátos műhold-retranszlátorban továbbítható vivőhullámok száma az alábbi összefüggésből határozható meg:

$$2N = \frac{B \text{ MHz}}{\Delta f \text{ kHz}} 10^8 \quad (3)$$

ahol: 2N a továbbítható vivőhullámok száma, N a továbbítható duplex távbeszélőcsatornák száma, B a műhold-retranszlátor sávszélessége, Δf a szomszédos vivőhullámok közötti frekvencia-távolság.

Sávkorlátos műhold-retranszlátor esetén a vivőhullámtovábbítási-kapacitást 34 MHz és 36 MHz retranszlátor sávszélesség, valamint 45 kHz és 80 kHz vivőhullámok közötti frekvencia-távolság esetén az 1. táblázat foglalja össze.

2.2. Teljesítmény-korlátos retranszlátor csatornkapacitása

Az SCPC—FDMA vivőhullámokat továbbító műhold-retranszlátort akkor nevezzük teljesítmény-korlátosnak, ha a vivőhullámtovábbítási-kapacitást a retranszlátor rendelkezésre álló kimeneti teljesítménye határozza meg, ill. korlátozza, és a retranszlátor rendelkezésre álló sávszélessége a kimeneti teljesítmény által megengedettnél nagyobb számú vivőhullám továbbítását tenné lehetővé. A jelenlegi időszakban a távbeszélő összeköttetések létesítésére szolgáló műhold-retranszlátorok legnagyobb része teljesítmény-korlátos. A műhold-retranszlátor csatornkapacitását a ren-

delkezésre álló és a küszöbértékű vivő/zaj-sűrűség teljesítmény viszony közötti különbség határozza meg:

$$10 \log_{10} (2N) = (C/N_0)_{\text{UDI}} - (C/N_0)_K \text{ dB} \quad (4)$$

ahol:

$$(C/N_0)_{\text{UDI}} = [(C/N_0)_U^{-1} + (C/N_0)_D^{-1} + (C/N_0)_I^{-1}]^{-1} \quad (5)$$

$2N$ a továbbítható vivőhullámok száma, C a vivőhullám teljesítménye, N_0 a zajteljesítmény-sűrűség, az U index a felmenő szakaszt (Föld—műhold szakasz), a D index a lemenő szakaszt (műhold—Föld szakasz), az I index a vivőhullámok közötti intermodulációt, a K index a küszöbértéket, az UDI index pedig a felmenő szakasz és a lemenő-szakasz vivő/termikus-zaj viszonyának, valamint a vivő/intermodulációs-zaj viszony eredőjét jelenti. Az (5) összefüggésben az összegzést viszonszámokban és nem dB-ben kell elvégezni.

Retranszlator típusú fedélzeti ismétlőállomások esetén a felmenő- és a lemenő-szakasz termikus-zaja nem korrelálható, ezért a felmenő szakasz termikus-zaja nem hanyagolható el. Ha az intermodulációs-zaj perturbáció jellegű, akkor a termikus-zaj és az intermodulációs-zaj teljesítmény-additív.

A több vivőhullám hozzáférési műhold-retranszlatorok nem üzemeltethetők az egy-vivőhullám hozzáférési telítési tartományban. Ezért több vivőhullám hozzáférési üzemből a nemlineáris műhold-retranszlator munkapontját úgy kell megválasztani (optimalizálni), hogy az maximális terhelés esetén is a lineáris tartományban üzemeljen. Ennek következtében mind a bemeneti- mind a kimeneti-teljesítményben veszteség keletkezik (BO_i és BO_o). Ezt figyelembevéve, az optimális több vivőhullám hozzáférési munkapontokhoz tartozó izotropikusan kisugárzott hatásos teljesítmény:

$$(EIRP)_S = (EIRP)_{ST} - BO_o \text{ dBW} \quad (6)$$

ahol: $(EIRP)_S$ az optimális munkapontokhoz tartozó fedélzeti kimeneti teljesítmény, $(EIRP)_{ST}$ a fedélzeti telítési teljesítmény és BO_o a kimeneti teljesítmény veszteség.

Az optimális több vivőhullám hozzáférési munkapontokhoz tartozó fedélzeti bemeneti teljesítmény pedig:

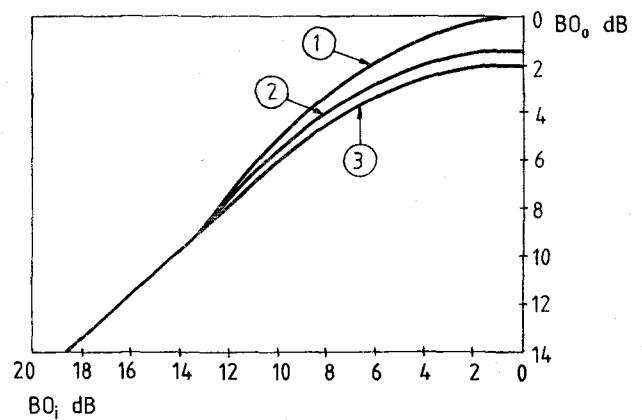
$$10 \log_{10} (P_S) = 10 \log (P_{ST}) - BO_i \text{ dBW} \quad (7)$$

ahol: P_S az optimális munkapontokhoz tartozó fedélzeti bemeneti teljesítmény, P_{ST} a fedélzeti bemeneti telítési teljesítmény és BO_i a bemeneti teljesítmény veszteség.

Több vivőhullám hozzáférési műhold retranszlatorok esetén a tervezés és létesítés egyik alapvető feladata BO_i és BO_o értékeinek optimális megválasztása. Nemlineáris műhold-retranszlator optimális munkapontját a 3. ábra szemlélteti. Helix-típusú fedélzeti haladóhullám erősítő tipikus bemenet/kimenet karakterisztikája a 2. ábrán látható. SCPC—FDMA vivőhullámokat továbbító műhold-retranszlatorok kapacitásának vizsgálatával részletesen a [2] tanulmány foglalkozik.

Csatornakapacitás PCM—QPSK vivőhullámok továbbítása esetén

PCM—QPSK rendszer alkalmazása esetén az „Intersat” távbeszélőcsatornaképző berendezésben a jel/zaj



H-68-2

2. ábra. Fedélzeti haladóhullámú erősítő tipikus bemenet/kimenet karakterisztikája

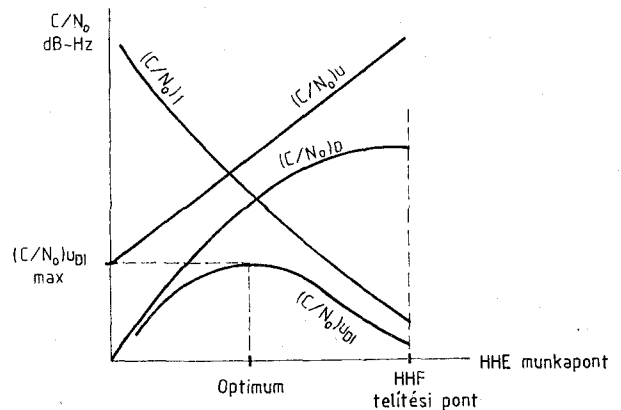
BO_i : bemeneti teljesítmény veszteség

BO_o : kimeneti teljesítmény veszteség

①: egy-vivőhullám hozzáférési karakterisztika

②: két-vivőhullám hozzáférési karakterisztika

③: sok-vivőhullám hozzáférési karakterisztika



H-68-3

3. ábra. Műhold-retranszlator optimális munkapontjának vázlata

HHE: haladóhullámú erősítő

C/N_0 : vivő/zaj teljesítmény viszony

$(C/N_0)_U$: a felmenő-szakasz vivő/zaj viszonya

$(C/N_0)_D$: a lemenő-szakasz vivő/zaj viszonya

$(C/N_0)_I$: vivő/intermodulációs-zaj viszony (harmad- és ötödrendű termékek eredője)

$(C/N_0)_{\text{UDI}}$: a termikus és az intermodulációs zaj eredője (5. összefüggés)

$(C/N_0)_{\text{UDI max}}$ az eredő vivő/zaj viszony maximuma

viszony előírt küszöb-értéke 59,3 dB, a küszöbértékű jel/zaj viszonyhoz tartozó hibavalószínűség pedig 10^{-4} . Az „Intersatputnyik” rendszer műhold-retranszlatoraiban a vivőhullámtovábbítási kapacitást az „Intersat” csatornaképző berendezés PCM—QPSK módszert alkalmazó változata esetén a 2. táblázat foglalja össze.

Csatornakapacitás DCADM—DBPSK vivőhullámok továbbítása esetén

A DCADM—DBPSK rendszer a PCM—QPSK rendszerhez képest, a vivőhullámtovábbítási-kapacitás szempontjából, az alábbi előnyökkel rendelkezik:

Műhold-retranszlátor csatornakapacitása PCM/QPSK és ADM/DBPSK vivőhullámok továbbítása esetén

	Rögzítettcsatornás üzemben								Szabad hozzáféréstű üzemben vivőhullám elnyomással			
	Vivőhullám elnyomás nélkül				Vivőhullám elnyomással				PCM/QPSK		ADM/DBPSK	
	PCM/QPSK		ADM/DBPSK		PCM/QPSK		ADM/DBPSK					
Műhold-antenna (vétél/adás)	G/G	G/H	G/G	G/H	G/G	G/H	G/G	G/H	G/G	G/H	G/G	G/H
(G/T) _{ES} = 29 dB/K	66	134	210	428	168	336	524	800*	588	800*	800*	800*
(G/T) _{ES} = 31 dB/K	108	216	344	690	270	540	800*	800*	800*	800*	800*	800*

(G/T)_{ES}: a földi állomás jósági tényezője

*: a retranszlátor sávkorlátos

B_s = 36 MHz: a retranszlátor sávzélessége

— A vivőhullám elnyomásnál 4 dB aktivítási tényezőt tételeztünk fel.

— Szabad hozzáféréstű üzemben a feltételezett forgalomkoncentrációs tényező: 3,5.

G: Globális nyaláb (17°×17°)

H: Hemi-Szférikus nyaláb (9°×18°)

A műhold által izotropikusan kisugárzott hatásos teljesítmény:

(EIRP)_s = 24 dBW, ha a műhold-antenna G/G(EIRP)_s = 27 dBW, ha a műhold-antenna G/H

1. DCADM—DBPSK rendszerben a jeltovábbítási sebesség 32 kbit/s szemben a PCM—QPSK rendszer esetén szükséges 64 kbit/s jeltovábbítási sebességgel, ami 100%-os (3 dB-es) kapacitás növekedést jelent, 2. DCAM—DBPSK rendszerben 10⁻⁴ hibavalószínűség megvalósításához 56,9 dB küszöbértékű jel/zaj viszony szükséges, ami további 3 dB-es kapacitás növekedést tesz lehetővé a PCM—QPSK rendszerhez képest. Ha figyelembe vesszük, hogy DBPSK rendszerben a megvalósítható jel/zaj viszony 1 dB-lel rosszabb, mint QPSK rendszerben, akkor a kapacitás növelése szempontjából a DCADM—DBPSK rendszer nyeresége a PCM—QPSK rendszerhez képest 5 dB. Az 5 dB-es (3,2-szeres) nyereség rögzített fedélzeti EIRP érték esetén a jeltovábbítási kapacitás növelésére, vagy rögzített jeltovábbítási kapacitás esetén a fedélzeti EIRP érték csökkentésére használható fel. Az „Intersputnyik” rendszer műhold-retranszlátorai-ban az „Interscat” csatornaképző berendezés DCADM—DPSK jelfeldolgozási-jeltovábbítási módszert alkalmazó változatával megvalósítható vivőhullám-továbbítási-kapacitást a 2. táblázat foglalja össze.

A 2. táblázat vivőhullám-továbbítási-kapacitás adataiból az alábbi következtetés vonható le. Rögzítettcsatornás üzemmódban (a vivőhullámok a műhold-retranszlátorhoz csatlakozó földi állomások között előre és rögzített módon vannak kiosztva) és folytonos vivőhullámok alkalmazásával (a vivőhullámok a beszélgetés szüneteiben nincsenek kikapcsolva) sem PCM—QPSK sem DCADM—DBPSK rendszerrel nem érhető el az a csatornakapacitás, amelyet a műhold-retranszlátor 36 MHz-es sávzélessége lehetővé tenné. A műhold-retranszlátor tehát teljesítménykorlátos.

3. A csatornakapacitás növelésének lehetőségei teljesítmény-korlátos műhold-retranszlátorban

Teljesítmény-korlátos műhold-retranszlátorban a csatornakapacitás az alábbi módszerekkel növelhető: — beszédjel-aktivizált vivőhullámok alkalmazásával — szabadhozzáféréstű üzemmóddal és — hibajavító kód-

lás alkalmazásával (digitális jelfeldolgozást alkalmazó rendszerekben). Az SCPC—FDMA rendszerekben ezek a módszerek külön-külön, tetszés szerinti kombinációban vagy együttesen is alkalmazhatók.

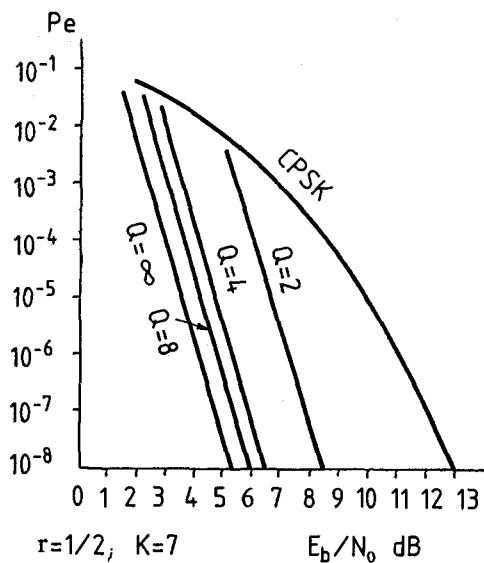
3.1. A beszédjel-aktivizált vivőhullámok hatása

SCPC rendszerekben, az alkalmazott jelfeldolgozási-jeltovábbítási módszertől függetlenül, fedélzeti adóteljesítményt takaríthatunk meg, ha a vivőhullámokat a beszédszünetekben kikapcsoljuk. A vivőhullámok be/ki kapcsolását a távbeszélőcsatornaképző berendezés csatornaegységeiben elhelyezett beszédjel-detektor végzi, melynek működését a beszédjel jelenléte vagy hiánya vezérli.

A beszédjel statisztikai jellemzőire vonatkozó vizsgálatok eredményei alapján a beszédaktivitási tényező értékétől függően 4—6 dB értékű fedélzeti adóteljesítmény megtakarítás érhető el. A 2. táblázat adatainál 4 dB értékű beszédaktivitási tényezőt vettünk figyelembe. Ez azt jelenti, hogy egy 800 vivőhullám hozzáférési kapacitású műhold-retranszlátorban csak 320 vivőhullámnak megfelelő fedélzeti EIRP értékre van szükség. A 2. táblázatból látható, hogy rögzítettcsatornás üzemmódban és beszédjel-aktivizált vivőhullámok alkalmazásával (vivőhullám elnyomással) PCM—QPSK rendszer esetén nem érhető el a 800 vivőhullámnak megfelelő jeltovábbítási kapacitás, ADM—DPSK rendszerrel viszont a műhold retranszlátor sávkorlátossá válik.

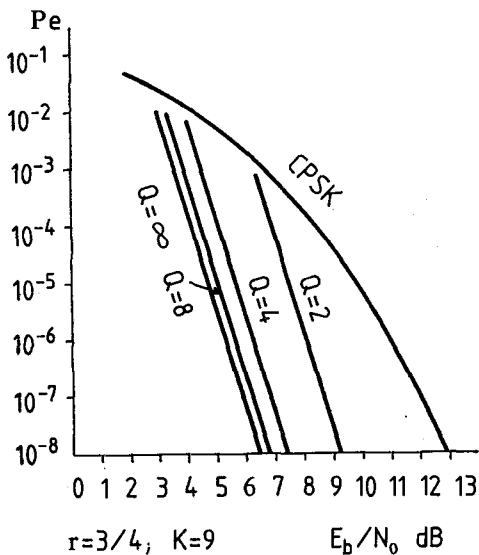
3.2 A szabad-hozzáférés hatása

Szabad-hozzáféréstű (igény szerinti hozzáféréstű) SCPC—FDMA rendszerekben a vivőhullámok nincsenek előre kiosztva a földi állomások között. A földi állomások közötti vivőhullám-kiosztás a műholdas távbeszélő hálózat pillanatnyi forgalmának függvénye. Ha a műholdas távbeszélő hálózat valamely földi állomására igény (hívás) érkezik, akkor — amennyiben



H-68-4/a

4a) ábra. A hibavalószínűség (P_e) változása



H-68-4/b

4b) ábra. E_b/N_0 függvényében. Paraméter Q (a döntési szintek száma), referencia-rendszer: CPSK

a műhold-retranszlátor frekvenciasávjában található szabad frekvencia-pár — az összeköttetés létrejön. A szabad-hozzáférés forgalom-koncentrációs hatást eredményez. A forgalom-koncentrációs-tényező (a rögzített-csatornás- és a szabad-hozzáférésű-rendszerben szükséges távbeszélőcsatornák számának hányadosa), tipikus SCPC—FDMA távbeszélő hálózatokban 3,5 és 4 között változik, és a forgalom-intenzitásnak, valamint a műhold-retranszlátorhoz csatlakozó földi állomások számának a függvénye. Ha pl. a forgalom-intenzitás 0,5 erlang (30 csatorna-perc óránként) és a földi állomások száma 40, akkor a forgalom-kon-

centrációs-tényező értéke 3,7. A 2. táblázat adatainak meghatározásánál figyelembevevett forgalom-koncentrációs tényező értéke 3,5 (~5,5 dB). Amint a 2. táblázat adataiból kitűnik, szabad-hozzáférésű üzemben, vívőhullám elnyomás alkalmazásával és 31 dB/K földi állomás jósági tényezővel a műhold-retranszlátor mind PCM—QPSK, mind ADM—DBPSK rendszer alkalmazásával növelhető.

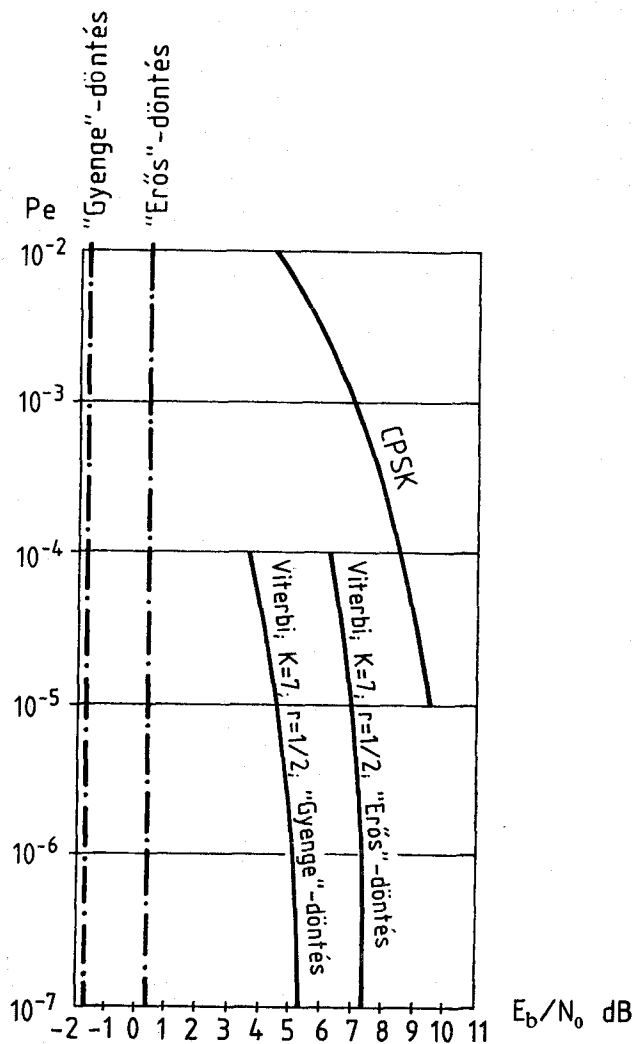
3.3. A hibajavító-kódolás hatása

Mint a 2. táblázatból látható, rögzített-csatornás üzemben PCM—QPSK rendszer alkalmazása esetén vívőhullám elnyomással sem valósítható meg a műhold-retranszlátor sáv szélessége által megengedhető csatornakapacitás (800 vívőhullám). Ebben az esetben a teljesítmény-korlátos műhold-retranszlátor vívőhullám-továbbítási kapacitása hibajavító kódolás alkalmazásával növelhető.

SCPC—FDMA vívőhullámokat továbbító, teljesítménykorlátos műhold-retranszlátorok jeltovábbítási-kapacitás-növelési problémáival, továbbá a kapacitás növelés szempontjából optimális hibajavító kódolási-dekódolási módszer kiválasztásával, valamint a kapott eredmények összefoglalásával és azok alkalmazásával részletesen a [3] és [4] tanulmány foglalkozik.

Ha a digitális SCPC—FDMA műholdas távbeszélő hálózatok teljesítmény-korlátos műhold-retranszlátorainak vívőhullám-továbbítási-kapacitását növelni akarjuk, akkor kétféle módszer közül választhatunk: — növelhetjük a csatorna-szimbólumok időtartamát és ennek következtében a végső döntés integrációs idejét (szimbólum integrációs idő: a szimbólum sebesség reciprok értéke), vagy — a forrás-szimbólumok csoportjait kódolhatjuk és ezzel olyan csatorna-jeleket konstruálunk, amelyeknek távolsága a jeltérben nagyobb. Az első módszer a szimbólum sebesség csökkentését teszi szükségessé, ami nem minden esetben engedhető meg. A másik módszer alkalmazása esetén, abban az esetben, ha a sáv szélesség növelhető, az adat-továbbítási sebesség változatlan marad. A második módszer megvalósítására a hibajavító kódolási eljárások szolgálnak. Mivel a hibajavító kódolás redundáns kódolási módszer, a sáv szélesség növelését teszi szükségessé. Meg kell jegyezni, hogy teljesítménykorlátos műhold-retranszlátor esetén mindig elegendő sáv szélesség-tartalék áll rendelkezésre. Hibajavító kódolás esetén E_s/N_0 kisebb, mint E_b/N_0 (E_s : szimbólum energia, E_b : bit energia, N_0 : zajteljesítmény sűrűség).

Mint ismeretes, E_b/N_0 elméletileg elérhető értékét Shannon-korlátnak nevezik és egyenlő: $\ln 2 = 0,693$, vagyis — 1,6 dB. Az alkalmas kódolás/dekódolás rendszer kiválasztásának célja a —1,6 dB korlát-érték minél jobb megközelítése. Teljesítmény-korlátos műhold-retranszlátor kapacitásának növelése szempontjából az a kódolás/dekódolás rendszer tekinthető optimálisnak, amelyik a legnagyobb kódolási nyereséget biztosítja (kódolási nyereség: az adott hibavalószínűség eléréséhez szükséges E_b/N_0 érték és az ideális CPSK rendszer esetén szükséges E_b/N_0 érték közötti különbség dB-ben). Meg kell jegyezni, hogy a kódolási nyereség döntő mértékben az alkalmazott kódolás/dekódolás rendszer függvénye és csak kis mértékben függ a kódkonstrukciótól.

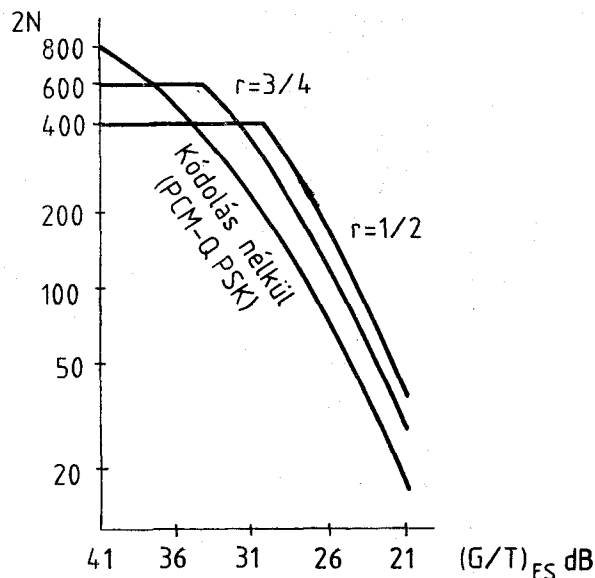


H-68-5

5. ábra. A hibavalószínűség (P_e) változása E_b/N_0 függvényében, Gauss-csatornában. Referencia-rendszer: „ideális” CPSK. Viterbi dekódolás, $K=7$, $r=1/2$, $P_e=10^{-5}$. 1. „Erős”-döntés: $E_b/N_0=6,5$ dB, $G_c=3,1$ dB. 2. „Gyenge”-döntés: $E_b/N_0=4,5$ dB, $G_c=5,1$ dB

E_b/N_0 értékét a vett modulált jel teljesítményének és az adat-sebességnek a függvényében kifejezve az alábbi összefüggést kapjuk: $E_b/N_0 = P/N_0 R$, ahol: P a vett modulált jel teljesítménye és R az adat-sebesség. Mint látható, ha előírt hibavalószínűség esetén E_b/N_0 értékét akarjuk csökkenteni valamilyen kódolásmóduláció/demoduláció-dekódolás rendszerrel, akkor vagy R értékét kell növelni, vagy P/N_0 értékét kell csökkenteni, vagy a két módszer kombinációját kell alkalmazni. Az alapvető probléma tehát E_b/N_0 azon értékének meghatározása, amely mellett egy reális rendszer működhethet, ha a hibavalószínűség elő van írva. Teljesítmény-korlátos csatornában a sávzélesség-hatásfok gyenge, a kapacitás növelése E_b/N_0 csökkentésével érhető el, ha a sávzélesség növelhető.

Mivel műholdas hírközlő rendszerekben a jelterjedési-ideő nagy (különösen geostacionárius műholdak esetén), a hibajavítást tekintve a FEC módszerek alkal-



H-68-6

6. ábra. A műhold-retranszlátor csatorna-kapacitása kódolással és kódolás nélkül a földi állomás jósági tényezőjének függvényében. Vivő-elynyomással és szabad-hozzáféréssel. $B_s=36$ MHz. 1. Ha $(G/T)_{ES} \approx 39$ dB/K, akkor $r=3/4$. 2. Ha $(G/T)_{ES} \approx 31$ dB, akkor $r=1/2$

mazása előnyös (FEC: Forward—Error—Control). SCPC—FDMA rendszerekben a konvolúciós kódolás alkalmazását kell előnyben részesíteni, mivel beszédjel továbbítás esetén az információ-szimbólumok sorozatban és nem blokkokban érkeznek (utóbbi esetben a blokk-kódok alkalmazása előnyösebb), továbbá mivel SCPC rendszerekben a csatorna-szimbólum-sebesség 32 kbit/s vagy 64 kbit/s, nincs szükség speciális nagysebességű konvolúciós kódok alkalmazására.

Eredményként azt a következtetést vonhatjuk le, hogy SCPC—FDMA rendszerek teljesítmény-korlátos műhold-retranszlátorainak kapacitás növelése szempontjából a minimális kényszerhosszú konvolúciós kódok és a gyenge-döntésű Viterbi-dekódolás alkalmazása a leghatásosabb, mivel ez biztosítja a legnagyobb kódolási nyereséget és ennek következtében a legnagyobb kapacitás növelési lehetőséget. Mivel az SCPC—FDMA rendszerekben a jeltovábbítási sebesség 32 kbit/s vagy 64 kbit/s, a Viterbi-dekódolás folytonos vivőhullámok és beszédjel-aktivizált vivőhullámok esetén egyaránt alkalmazható. A kapott eredményeket a 4—6. ábrák foglalják össze.

A hivatkozott ábrák alapján az alábbi következtetések vonhatók le. Ha a küszöbszinthez tartozó hibavalószínűség előírt értéke 10^{-4} , a földi állomások jósági tényezője pedig kisebb, mint 39 dB/K, de nagyobb, mint 32 dB/K, akkor az $r=3/4$ sebességkonverziójú konvolúciós kódolás a megfelelő választás. Abban az esetben pedig, ha a földi állomások jósági tényezője kisebb, mint 32 dB/K, akkor az $r=1/2$ sebesség-konverziójú kódok hatásosak. Az elérhető kódolási nyereség (kapacitás-növelés, ill. E_b/N_0 csökkenés) értéke 4—6 dB.

SCPC—FDMA vivőhullámokat továbbító, teljesítmény-korlátos műhold-retranszlátorok csatornakapacitásának meghatározását, továbbá a csatornakapacitás növelésének lehetséges módszereit tekintettük át és foglaltuk össze röviden, műholdas homogén távbeszélő hálózatokban az erre vonatkozó kutatásaink eredményei alapján.

A kapott eredmények az „Intersat” berendezés kidolgozásánál, továbbá annak az „Intersputnyik” rendszerben való alkalmazásainál hasznosíthatók. A kidolgozott eljárások, az eredményekkel együtt, nem csak PCM—QPSK és DCADM—DBPSK, hanem más jelfeldolgozási-jeltovábbítási módszerek esetén is felhasználhatók. Ezen kívül, a földfelszíni rádióhírközlés különböző területein is alkalmazhatók.

- [1] *Pribelszky György*: Egyedi-beszédcsatornás rendszerek alkalmazása a műholdas távközlő hálózatokban. Híradástechnika, 1983. 4. sz.
- [2] *Pribelszky György*: Műholdas rádiócsatornák kapacitása az „Intersputnyik” NÜR-ben SCPC—FDMA/PCM—PSK és SCPC—FDMA/ADM—DPSK vivőhullámok továbbítása esetén. TKI Intézeti Tanulmány, 1983. november.
- [3] *Pribelszky György*: SCPC—FDMA/PCM—PSK vivőhullámokat továbbító műholdas rádiócsatornák kapacitásának növelése hibajavító kódolás alkalmazásával. TKI Intézeti Tanulmány, 1983. november.
- [4] *Pribelszky György*: Hibajavító kódolási/dekódolási módszerek egyedi-beszédcsatornás (SCPC) rendszerek jeltovábbítási kapacitásának növelésére. TKI Intézeti Tanulmány, 1984. november.
- [5] *Pribelszky György*: Műhold-retranszlátor csatornakapacitása egyedi-beszédcsatornás vivőhullámok továbbításakor. Mikro-hullámú Szeminárium Közleményei, Budapest, 1985. január

SZÍVESEN LÁTJUK ÖNÖKET IS MEGBÍZÓINK SORÁBAN!

kutató-, kutatást fejlesztő
oktató-, betanító és
referenciafilm

VIDEO ÉS 16 mm-es FILM PROGRAMOK KÉSZÍTÉSE

hangosítása
eszköztechnikai szolgáltatások



MTA MMSZ Országos Kutatófilm Központ
Budapest, XI., Szakasits Árpád út 59–61.
Telefon: 450-196, 662-366
Telex: 226936 akamu h