

PCM-ADPCM átkódolók

S. A. BIN THABET
Adeni Műszaki Egyetem



ÖSSZEFOGLALÁS

Láncbakapcsolt szinkron átkódoló rendszereket tárgyaljuk. Az egyszeres és többszörös láncbakapcsolt PCM—ADPCM átkódoló rendszerek hatásaival foglalkozunk. Ennek során különböző rendszereket hasonlítunk össze. A PCM—ADPCM és visszairányú kódkonverziót digitális formában valósítjuk meg. A bevezetésben tárgyaljuk, hogy miért alkalmazunk tandem átkódolót kis bitsebességekhez, közvetlen digitális kódkonverzióval.

I. Bevezetés

A távközlési hálózatokban az áttérés időszakában analóg és digitális eljárásokat vegyesen alkalmaznak. A digitalizálás kezdetén kizárólag PCM-eljárást alkalmaztak, amely (15) távbeszélőcsatornánként 64 kbit/s sebességű. Ez a bitsebesség széles átviteli frekvenciasávot igényel. Ezért a digitális eljárások gyakran ütköznek akadályba a hatásos és gazdaságos analóg rendszerek számos felhasználási területén, elsősorban az URH-modul szolgáltatásban, továbbá például a hosszú vonalak, a mikrohullámú rádiórendszerek és az előfizetői vonalhurok esetében.

Az előfizető összeköttetés egynél több kódolási-dekódolási folyamattal is megvalósítható. A CCITT nem zárja ki a maximum 14 kódolási-dekódolási folyamatot, amely 14 qdu minőségromláshoz vezet. Az 1 qdu-t az A-törvényű, 8 bites PCM-rendszer minőségromlásaként definiáltak, 2 dB tartalékkal. Egyetlen kódolási-dekódolási folyamat minőségének jobbnak kell lennie az elméletileg szükségesnél, még akkor is, ha a 14 folyamat talán túl sok. Ez a helyzet megváltozik természetesen a hálózat teljes mértékű digitalizálásával. A tandem kódolási-dekódolást helyettesíteni fogja a tandem átkódolás (Ttranscoding), amely sokkal kedvezőbb lehet (1). A digitális átkódolás célja, hogy csökkentse a bitsebességet 64 kbit/s-ról 32 vagy 16 kbit/s-ra, és ez sok esetben versenyképesé és vonzóbbá teszi a digitális átvitelt. Az említett sebességek lehetővé teszik 2 vagy 4 távbeszélő összeköttetés átvitelét a klasszikus 64 kbit/s-os hordozócsatornán. A sávkorlátozási eljárások lehetővé teszik pl. digitális előfizetői hurkok kialakítását többszörös szolgáltatással (multiservice) (pl. 4800 bit/s adatátvitel és egy digitális beszédcsatorna elfér egy 64 kbit/s hordozócsatornában), [31], de legfőképpen a gyorsan terjedő mobil szolgálat szempontjából fontos. Bármely csökkentett bitsebességű kódolási technika beilleszthető lesz a részlegesen digitális háló-

Beérkezett: 1988. III. 8. (H)

Híradástechnika, XXXIX. évfolyam, 1988. 9. szám

S. A. BIN THABET

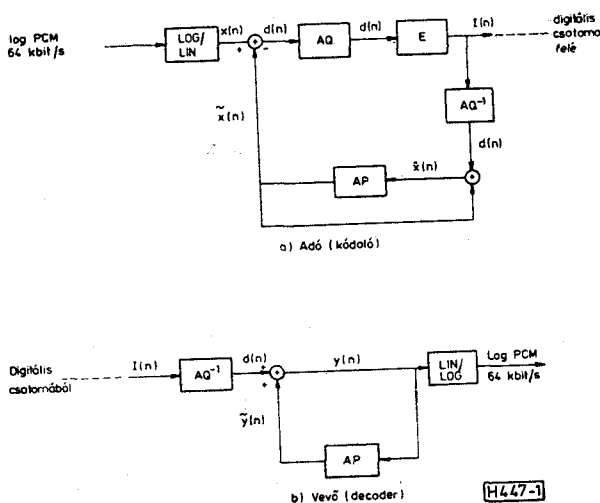
Egyetemi tanulmányait a zágrábi (Jugoszlávia) egyetem távközlési informatikai szakán végezte a villamosmérnöki karon. Diplomáját 1979-nen szerezte meg. Ezt követően 1982-ben az adeni fenntartási üzemben dol-

gozott, mint a jemeni távközlési társaság mérnöke. Majd 1982-ben az adeni műszaki egyetemre került tanársegédként. Innen küldték 1985-ben Magyarországra továbbképzésre. Jelenleg a Magyar Tudományos Akadémia keretében aspiránsként dolgozik.

zatba, amelyet 8 bites A törvényű PCM-rendszerre alapoztak.

Az analóg, hangfrekvenciás átkódolás torzításai összegeződnek minden átkódolási folyamatban. Ezt aszinkron átkódolásnak nevezzük. A szinkron átkódolásnál azonban nem összegeződnek a torzítások, amelyet közvetlen digitális kódkonverzióknak nevezünk, PCM kódkiigazítással [2, 4, 12, 14, 24]. A közvetlen digitális kódkonverzió, szinkron PCM-kódkiigazító algoritmus használata nélkül is megvalósítható.

Az első lépés a PCM—ADPCM (Adaptív Differenciális PCM) átkódolásban az A-törvényű vagy μ -törvényű, 8 bites log PCM átalakítása lineáris, 12 vagy 13 bites PCM-mé. A lineáris PCM-jelet az ADPCM-kódolóra vezetjük, amely olyan algoritmussal rendelkezik, amely csökkenti a bitsebességet. A csökkentett sebesség lehet 40, 32, 24



1. ábra. ADPCM alapstruktúra.

log/lin=log PCM-ből lineáris előállító expander; lin/log=lin PCM-ből log PCM-et előállító kompresszor; AQ=adaptív kvantáló; AQ⁻¹=inverz adaptív kvantáló; E=kódoló (kóder); AP=adaptív prediktor;

vagy 16 kbit/s, A kódolt kódszó digitális csatornán kerül továbbításra az ADPCM dekóderre, amely dekódolja a kódszót lineáris PCM-re, majd ez átalakítható log PCM-mé, ugyanolyan komandálási törvénnyel, mint az input PCM-jelnél, azaz A-törvény vagy μ -törvény. Ha ezekből a rendszerekből többet összekapcsolunk, akkor láncba-kapcsolt átkódoló rendszert kapunk. A DPCM-mel (Differenciális PCM) és az ADPCM-mel (Adaptív Differenciális PCM) kapcsolatban lásd [5–13] irodalmakat.

II. PCM—ADPCM átkódolók

II.1. DPCM-rendszer

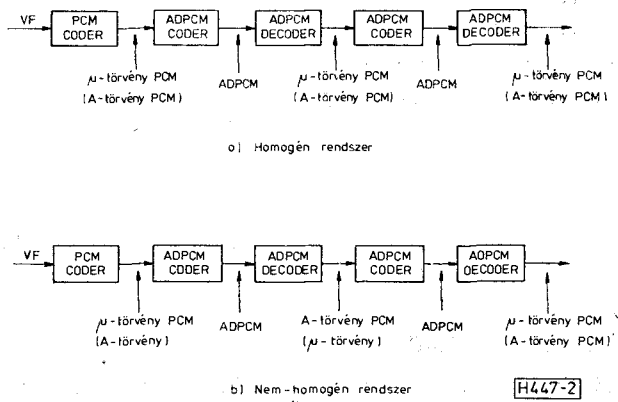
A differenciális PCM (DPCM) képes az átviteli sebességet 64 kbit/s-ról 32 kbit/s-ra csökkenteni. Ez a valódi bemeneti jel és annak becsült értéke közti különbségi jelet kódolja. Az egymást követő értékek közti korrelációt figyelembe véve, ugyanaz a minőség elérhető, mintánként kevesebb bit átvitelével [31].

A kvantálás fix lépésméretű algoritmussal megengedhetetlen kvantálási zajt eredményez. A kvantálási zaj csökkenthető adaptíve lépésméretű algoritmus felhasználásával [7, 8, 9, 11, 20, 21, 22, 27, 28].

A becslést egy prediktor („becslő, jósló”) áramkörrel végezzük, amely a rendszer visszacsatoló hurokba van elhelyezve. A prediktor lehet lineáris mindent áteresztő szűrő, fix prediktor együtthatókkal. Pólus—zérus szűrővel ellátott adaptíve prediktor használatával csökkenthető a különbségi jel hibaátlaga [10, 13, 14, 16, 18, 19, 26]. Ez a rendszert adaptív differenciál impulzus-kódmodulációs (ADPCM) rendszernek nevezzük.

II.2. Hogyan lehet a PCM/ADPCM átkódolókat láncba-kapcsolva üzemeltetni?

A tandem átkódoló rendszer különböző PCM—ADPCM átkódolókat láncba-kapcsolva üzemeltet, megfelelő kódoló algoritmus szerint, PCM-ből ADPCM-be és vissza, amint az a 2. ábrán látható. Az átkódoló rendszerek lehetnek homogének és inhomogének. A homogén rendszer ugyanazon PCM komandálási törvényt alkalmazza minden kapcsolásban, míg az inhomogén rendszer különböző PCM komandálási törvényeket alkalmaz. A homogén rendszer szinkronizálható a szinkron



2. ábra. Tandem PCM—ADPCM átkódoló rendszer (3) alapján 4-law = 4-törvény; homogenous/non-homogeneous system = homogén/nem-homogén rendszer

PCM kódkiigazító algoritmussal, míg az inhomogén rendszernél ez nem valósítható meg [3, 15].

A kutatások azt mutatják, hogy a szinkron PCM kódkiigazító algoritmust alkalmazó rendszerek minősége nem függ a láncba-kapcsolt kódkonverziók számától [2, 3, 4, 14, 25]. A kódkiigazítást nem alkalmazó rendszerek minősége viszont a láncba-kapcsolt kódkonverziók számával arányosan csökken (lásd: 5. és 6. ábra).

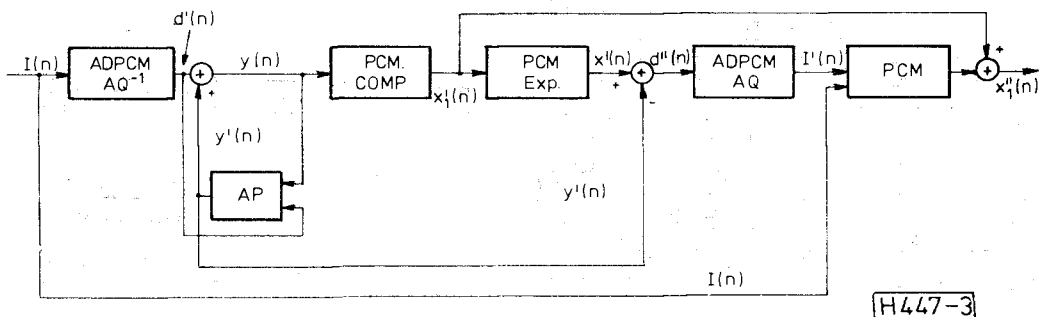
A rendszer minőségét a jel/zaj viszony (SNR), a kvantálási jel/zaj viszony (SQNR) és szubjektív mérések alapján állapítottuk meg.

II.3. Szinkron PCM kódkiigazító algoritmusok

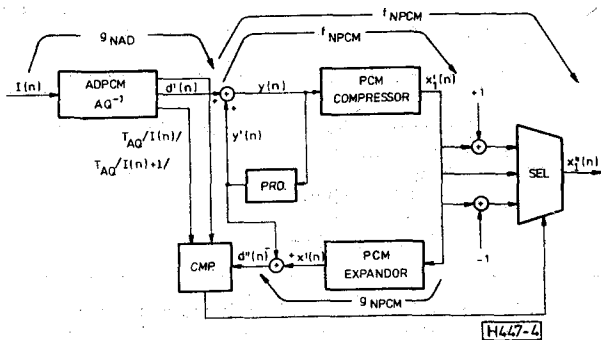
A PCM—ADPCM átkódolóban az ADPCM dekódernél szinkron PCM kódkiigazítást szükséges végezni. Ezzel a módszerrel megszüntethetők azok a torzítások, amelyek a dekódernél összegyűltek. Két algoritmus használatos, az egyik a CCITT G—721 ajánlás szerinti [14], a másik a Nishitani-féle [4]. A kettő között nincs különbség, amelyet bemutatunk a következő szakaszokban.

1. CCITT-algoritmus

Amint az a 3. ábrán látható, az ADPCM-dekódernél vett $I(n)$ kódolt jelet egy inverz adaptív kvantálóval (AQ^{-1}) dekódoljuk. A kimeneten ekkor a $d'(n)$ jelet kapjuk. Ezt adjuk hozzá az $y'(n)$ jelhez, amelyet a prediktor állapít meg az előző rekonstruált értékekből, és így kapjuk a rekonstruált jelet, $y(n)$ -et:



3. ábra. Szinkron PCM kódolás-kiigazító algoritmus



4. ábra. Nishitani-algoritmus a szinkron PCM kódolás-kiigazításhoz [4] alapján

$$y(n) = d'(n) + y'(n) \quad (1)$$

$$y'(n) = \sum_{k=1}^N a_n y(n-k) \quad (2)$$

ahol a_n a prediktor együtthatókészlete.

A rekonstruált $y(n)$ jelet log PCM-jellé alakítjuk kompresszor segítségével, így kapjuk az $x_1'(n)$ jelet. Ezt expandorral lineáris PCM-jellé alakítjuk így nyerjük az $x_1''(n)$ jelet. Kivonva $y'(n)$ jelet $x'(n)$ -ből, kapjuk:

$$x'(n) = y'(n) = d''(n). \quad (3)$$

Ezt a $d''(n)$ különbségi jelet kvantálja egy adaptív kvantáló (AQ) és kódolja egy kódoló, amikor is az $I'(n)$ jelet kapjuk. Az $I(n)$ és $I'(n)$ kódszavak összevetéséből nyerjük a log PCM kimeneti jelet az ADPCM-dekóderen, amelyet $x''(n)$ -nel jelölünk:

$$x_1''(n) = \begin{cases} x_1'(n) + 1, & \text{ha } I'(n) < I(n) \\ x_1'(n), & \text{ha } I'(n) = I(n) \\ x_1'(n) - 1, & \text{ha } I'(n) > I(n) \end{cases} \quad (4)$$

ahol az

$x_1'(n) + 1$ jelenti a pozitívabb log PCM szót, és

$x_1'(n) - 1$ jelenti a negatívabb szót.

2. A Nishitani-algoritmus

A 4. ábrán látható, hogy a dekóder által vett ADPCM-kódszó, $I(n)$ átalakításra kerül, $d'(n)$ jellé, az inverz adaptív kvantálóban (AQ^{-1}). Ezt az új dekódolási funkciót g_{NAD} jellel jelöljük. Ezt az új dekódolási funkciót $x_1'(n)$ jelhez, prediktor és kompresszor segítségével. Ez úgy történik, hogy egy $d'(n)$ jelet adunk a prediktor által beesült jelhez és a konvertált összegjelet kompresszorral adjuk az $x_1'(n)$ jelhez. Ezt az új PCM kódolási eljárást f_{NPCM} jellel jelöljük.

Az ellenkező eljárást végezzük el az $x_1''(n)$ esetében, azaz az $x_1''(n)$ jelet konvertáljuk expandorral, lineáris PCM $x'(n)$ jellé. A prediktor kimenetén megjelenő $y'(n)$ jelet kivonjuk az $x'(n)$ jelből és magkapjuk a $d''(n)$ különbségi jelet. Ezt az új PCM dekódolási módszert g_{NPCM} jellel jelöljük. A $d''(n)$ különbségi jelet komparátorral összehasonlítjuk az inverz adapter kvantáló küszöbökkel, a felső és alsó $T_{AQ}(I(n) + 1)$ és $T_{AQ}(I(n))$ értékekkel. Az alábbi döntések lehetnek:

$$x_1''(n) = \begin{cases} x_1'(n) + 1 & \text{ha } d''(n) < T_{AQ}(I(n)) \\ x_1'(n), & \text{ha } T_{AQ}(I(n)) \leq d''(n) < T_{AQ}(I(n) + 1) \\ x_1'(n) - 1, & \text{ha } d''(n) > T_{AQ}(I(n) + 1) \end{cases} \quad (5)$$

III. A PCM—ADPCM átkódoló rendszerek összehasonlítása

Az összehasonlításra kerülő PCM—ADPCM-átkódoló rendszerek az alábbiak:

1. Mikroprocesszoros PCM—ADPCM-kódkonverter, [23]
2. 60 csatornás PCM—ADPCM-konverter, [25]
3. 32 kbit/s helyközi minőségű ADPCM-kodek, egyetlen chip-en elhelyezkedő jelprocesszorral, [24]
4. Csatornahibával szemben védett 32 kbit/s ADPCM [27]
5. Nagyteljesítményű 32 kbit/s PCM—ADPCM átkódoló, [2]
6. 32 kbit/s szinkron tandem PCM—ADPCM-átkódoló, [3]
7. Tandem átkódoló melynél a torzítások nem összegződnek, [4]
8. CCITT által ajánlott 32 kbit/s sebességű ADPCM a G—721 ajánlás szerint [14].

A fent említett rendszerek többsége 32 kbit/s sebességgel működik, ami megfelel a CCITT ajánlásának. Ezek összehasonlítása az alábbi tényezők alapján történik: (I., II. és III. táblázatban).

- i) a felhasznált kvantáló és prediktor,
- ii) a rendszer jellemzői, objektív és szubjektív mérések alapján,
- iii) a csatornahibák javíthatósága,
- iv) a rendszer által kezelhető jelfajták (beszédjel, alapsávi adatjelek, hangfrekvenciás jelzések).

Az objektív és szubjektív mérések érzékeltetése céljából két diagram látható az 5. és 6. ábrán.

IV. Értékelés

A táblázatokban a rendszerek objektív és szubjektív mérések alapján kerültek összehasonlításra. Az említett és összehasonlított rendszerek sebessége 32 kbit/s.

Azokat a rendszereket, amelyek lánc kapcsolási lehetőséggel rendelkeznek, csak max. 4 átkódoló párra vizsgáltuk. Érdekes lehet még az elérhető legtöbb láncbakapcsolt rendszert megtalálni, ahol még nincs érzékelhető minőségromlás.

A jelen dolgozatban csak a PCM—ADPCM átkódolókat tárgyaltuk, azonban vizsgálódás tárgya lehetne a PCM—ADM-átkódoló is. Az utóbbi években a vektorkvantáló dekódolórendszerek kezdenek elterjedni a hullámforma kódolását végző rendszerekben. A jelen dolgozatban a PCM—ADPCM és PCM—ADM-átkódoló rendszerekben kis bitsebességek esetén érdekes.

V. Következtetések

A rendszerek összehasonlításából és az értékelésből az alábbi következtetéseket lehet levonni:

Összehasonlítás a felhasznált kvantáló és prediktor alapján

Rendszer: Felhasznált kvantáló: Felhasznált prediktor:

1.	Adaptív kvantáló, két lépcsőméretű adaptáviós szorzóval, $M_1=2$, és $M_2=0,5$.	Elsőrendű prediktor, $\alpha_1=7/8$.
2.	Adaptív kvantáló Q lépcsőmérettel: $Q=2^i \cdot q$; $0 \leq i \leq 11$; q =alaplépcsőméret, amelyet az i index jelöl. Dinamika tartomány így 12 bit.	Tizedrendű adaptív prediktor, össz-zérus szűrővel megvalósítva, öt másodrendű szűrő kaszkádkapcsolásával.
3.	Goodman és Wilkonson [28] által javasolt adaptív kvantáló. A lépcsőméret-adaptálás $\Delta_j + 1 = M/n_j/\Delta_j^\beta$. A kvantáló adaptálásához az utolsó egyenletet bővítjük Taylor-sorba, $\Delta_j=1$ mellett, az egyszerű számítás érdekében.	Negyedrendű fix, összpólosú-szűrő, adaptív 10 zérusú szűrővel. Az adaptációs algoritmus függvény közeletése: $b^{*+1} = (1-\delta)b_1 + g \cdot \text{sgn} \times \times (d_i/d_{i-1})$ $\delta=1$, g =pozitív konstans: d_j normalizált hibajel.
4.	Adaptív kapcsolóüzemű kvantáló beszédre, alapsávi adatjelekre és jelzőhangokra. A lépcsőméret nyereség adaptálás: $m_n = (m_{n-1} + k \cdot 4e_n^4)n$, ahol k a kvantáló varianciájától függő konstans; $\beta < 1$; $4e_n^4$ az AQ^{-1} kimeneti jelének abszolút értéke.	Adaptíve zérus prediktor, plusz elsőrendű fixpólusú prediktor. Zérusadatálás: $\alpha_i(n-1) = \frac{A}{\beta} \frac{A}{\beta} \frac{A}{\beta}$ $= \beta[\alpha_i(n) + d_n \cdot d_{n-1}]$ ahol $\beta < 1$; d_n a kvantált különbségi jel. t
5.	Adaptív kvantáló 8, lépcsőmérettel rendelkező szorzóval, Cumminsky és tsai [11] javaslata alapján. $M_2=M_3=M_4=0,9$ $M_5=1, 2$; $M_6=1,6$; $M_7=2$; $M_8=2,4$.	Elsőrendű fix prediktor, $\alpha_1=0,95$.
6., 7.,	Adaptív kvantáló a CCITT G—721 ajánlás szerint. A kvantáló nem-egyforma 16 szintet használ, bemenetén \log_2 függvény valósít meg: $\log_2^4 d(k) \sim y(k)$; $y(k)$ skálatényező adaptálás; kimenetén: $\log_2^4 d_q(k) \sim y(k)$. A skálatényező gyors beszédjelekre és lassú egyéb jelekre. Lásd [14].	Adaptív pólus-zérus prediktor, hatodrendű zérus-szűrővel és másodrendű pólus-szűrővel. Lásd [14].

— Nagyobb kvantálási zaja azoknak a rendszereknek, amelyek egyszerű kvantálást alkalmaznak, lépcsőméretlogikával, fix vagy kettes adaptációs szorzóval;

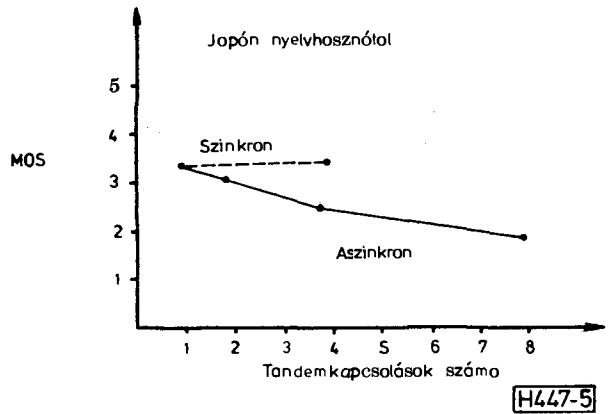
— Kisebb a zaja azoknak a rendszereknek, amelyek a kvantálás során komplex adaptációs algoritmust alkalmaznak, azaz több szorzót, mivel ezek a rendszerek a túlterhelési torzítás kiküszöbölésére nagy dinamikatarományt tudnak kezelni és kis lépcsőmérettel dolgoznak az üres csatorna zajának csökkentése érdekében;

Összehasonlítás a rendszerjellemzők alapján

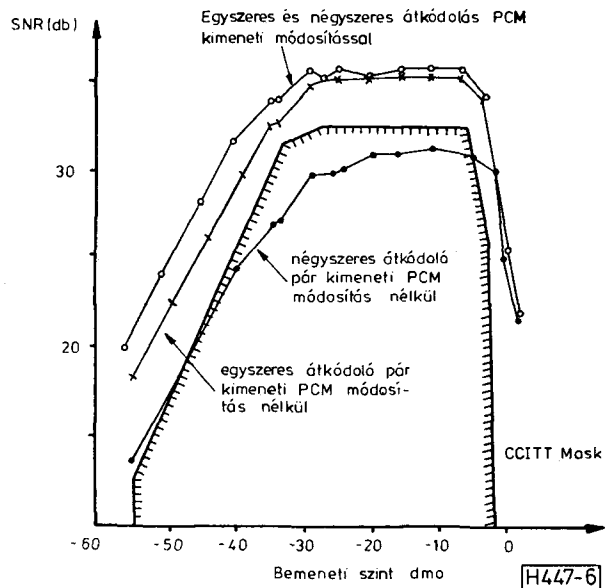
Rend-	Objektív mérések:	Szubjektív mérések:
1.	Jel—zaj viszony; SNR=32 dB 5 bites kódoláshoz, 28 dB 4 bites; 23 dB 3 bites kódoláshoz. A frekvencia növelésével a jel—zaj viszony csökken.	Nem említik
2.	32 kbit/s rendszer jellemzői jobbak, mint az 56 kbit/s rendszeré, beszédjelekre 4 ADPCM láncapcsolásban). Egyéb objektív mérés eredménye: az ADPCM megfelel a CCITT G—721 ajánlásnak.	Szubjektív mérések: MNRU (modulált zaj-referenciaegység) felhasználásával: SNR=33 dB 32 kbit/s ADPCM esetén; 32 dB az 56 kbit/s és 38 dB a 64 kbit/s ADPCM esetén.
3.	SNR=35 dB 1004 Hz-en, negyedrendű prediktorral, és 19 dB 3000 Hz-en. Jel—összes torzítás viszony 1004 Hz-en, 0 dB szinttel, jobb, mint 40 dB. A frekvencia függvényében az amplitúdóvesztés és az input szinttel változó erősítés a CCITT G—721 ajánlás szerint.	Az eredmények szerint a 32 kbit/s ADPCM jobb, mint az 56 kbit/s-os közel azonos a 64 kbit/s-os PCM-mel.
4.	SNR=33 dB.iso egy kódolási művelet esetében, és SNR=23 dB.iso 8 egymást követő kódolási művelet esetén. Adatjelek esetében 5 helyközi trónknél BER=10 ⁻⁶	A 7 bites PCM-mel szemben 75 %-os minőséget mutat. Nagy BER esetén (pl. 1 %) a szubjektív érzékelés még mindig jó.
5.	SQNR (Jel-quantálási zaj viszony)=24 dB a 32 kbit/s esetén; SQNR=23 dB, két láncbakapcsolt SQNR=20 dB, három láncbakapcsolt rendszernél SQNR=18 dB.	Az átvitel megegyezik a 32 kbit/s ADPCM-mel. Többszörös (háromszoros) átkódolásnál a minőségromlás határozottan érzékelhető.
6.	SNR=36 dB és 4 láncbakapcsolt szinkron átkódolásnál és SNR=32 dB két aszinkron átkódolásnál. SNR=30 dB 4 aszinkron átkódoló esetén.	MOS=3,3 egyszeres és 4 láncbakapcsolt szinkron átkódolás esetén; Egyszeres aszinkron átkódolásnál MOS=3,3 kétszeres aszinkron átkódolásnál MOS=2,9 és 8 aszinkron átkódolásnál MOS=1,8.
7.	SNR=36 dB egyszeres és 4 láncbakapcsolt átkódolásnál, PCM kimeneti kiigazítás nélkül. SNR=31 dB 4 láncbakapcsolt átkódolásnál PCM kimeneti kiigazítás nélkül.	Nem említenek.
8.	SNR=némileg kisebb, mint a 64 kbit/s PCM esetében bibamantes csatornánál, de jobb, mint BER 10 ⁻⁴ G—113 alapján a kvantálási torzítási egység (qdu)=2,5. Lásd G—113 ajánlást.	Lásd G—113 ajánlást.

Hibajavíthatóság, kezelhető jelek és a láncbakapcsolás lehetősége

Rend-szer:	Hibajavíthatóság	Kezelhető jelek	Láncbakapcsolási lehetőség
1.	Hibajavítás csak beszédhez használt védett kvantáló alkalmazásával lehetséges.	Beszéd	Nincs
2.	BER=10 ⁻³ esetén; SNR=több, mint 25 dB; SNR=32 dB BER=10 ⁻⁴ esetén és BER=10 ⁻⁶ esetén SNR=37 dB.	Beszéd	Egyszeres és 4 láncbakapcsolt rendszer jellemzői azonosak
3.	A csatornahibák csak kattánó hangként hallhatók.	Beszéd és 4800 bit/s alapsávi adat.	Nincs
4.	BER=10 ⁻² esetén a beszéd szubjektív megítélése nagyon jó. BER < 10 ⁻⁶ mellett 5 helyközi trónk kapcsolható össze 4800 bit/s alapsávi adatnál. A modem BER értéke mindig kisebb, mint az alap-áramköré.	Beszéd, 4800 bit/s. alapsávi adat. Más jelek is (MFC, távmásoló) át- vihetők minőségromlás nélkül	Egyszeres kódolási művelet, 8 egymást követő kódolás (minden esetben AD-D/A konverzióval)
5.	Nem említik.	Beszéd	Egyszeres és háromszoros láncbakapcsolt átkódolás
6.	CCITT G—721 ajánlás szerint	CCITT G—721 ajánlás szerint	Egyszeres és 4 átkódolás (szinkron). Egyszeres, kétszeres, négyszeres és nyolcszoros láncbakapcsolt aszinkron átkódolás.
7., 8.	Jó beszédminőséghez BER < 10 ⁻⁴ Lásd: CCITT G—821. ajánlást [30].	Beszéd, 2400—4800 bit/s alapsávi adat; MFC-jelzés, faksimile.	Egyszeres vagy többszörös szinkron átkódolás.



5. ábra. Szubjektív jellemzők a tandembe kapcsolt fokozatok számának függvényében [2] alapján



6. ábra. Objektív jellemzők az átkódoló rendszer bemenő szintjének függvényében [4] alapján

predikcióhoz. A több zérusú és pólusú szűrőket nehéz megvalósítani, csak digitális jelprocesszorral lehetséges [13, 14, 16, 18, 19];

- A rendszereknek csak kis részénél végezték el a CCITT G—712 ajánlás szerinti valamennyi objektív mérést; az SNR és SQNR.
- A szubjektív minősítés jó, még ha a BER nagy is;
- A beszédjelen kívül más jeleket is kezelni tudó rendszerek esetében a BER felső határa 10⁻⁶.
- A módosított rendszerek átviszik a 4800 bit/s vagy kisebb sebességű adatjeleket. A magasabb bitsebességek — például 9,6 kbit/s — átvitele ezekkel a rendszerekkel nem kielégítő;
- A homogén szinkron láncba kapcsolt átkódolókat alkalmazó rendszerekben nem halmozódik a torzítás;
- Az objektív és szubjektív vizsgálatok azt mutatják, hogy az egyszeres és négyszeres átkódolás minősége azonos. Az aszinkron átkódolás minő-

— A beszédjeleket kvantálni tudó kvantálók nem ugyanazt az adaptációs algoritmust alkalmazzák adatjelekre. A beszédkvantálás gyors adaptációs algoritmust igényel, mivel szükséges gyorsan változtatni a beszédkülönbségi jelekkel, amelyeknek pedig nagy az ingadozása. A beszédjeltől eltérő jelek kvantálása során lassú adaptációs algoritmus szükséges, mivel a különbségi jel alig ingadozik [14, 27];

— A jó predikációs algoritmusokkal rendelkező rendszerek a pólusú adaptációs szűrővel vannak ellátva. Ezek a szűrők lecsökkentik a négyzetes középhibát (MSE). A szűrőnek rendelkeznie kell legalább két pólussal és hat zérussal a jó

sége azonban romlik. A minőség romlik a láncba kapcsolt fokozatok számával arányosan (lásd: 5. és 6. ábra).

IRODALOM

- [1] X. Maitra and T. Aoyme: „Speech Activities Within CCITT: Status and Trends”, ICASSP '82. PROC. May, 1982.
- [2] J. I. Lee and C. K. Un: „Performance Analysis of PCM/ADPCM Transcoding Systems”, IEEE Trans. on Comm. vol. COM—33, No. 12., Dec. 1985.
- [3] M. Taka, R. Marnta and A. Le Gauyder: „Synchronous Tandem Algorithm for 32 kbit/s ADPCM”, IEEE Trans. on Comm., vol. COM—33, No. 12, Dec. 1985.
- [4] T. Nishitani: „Tandem Transcoding without Distortion Accumulation”, IEEE Trans. on Comm. vol. COM—34, No. 3, March 1986.
- [5] R. J. Sluyter: „Digitization of Speech”, Philips Tech. Rev. 41, No. 7/8, 1985.
- [6] J. L. Flanagan et al.: „Speech Coding”, IEEE Trans. on Comm. Vol. COM—27, No. 4, April 1979.
- [7] N. S. Jayant: „Digital Coding at Speech Waveforms PCM, ADPCM and DM Quantizers”, Proc. of the IEEE, vol. 67, No. 5, May 1974.
- [8] N. S. Jayant and N. Noll: „Digital Coding Waveforms: Applications to Speech and Video”, Englewood Cliffs NJ. 1984.
- [9] N. S. Jayant: „Digital Coding Waveforms”, IEEE Press 1976.
- [10] J. D. Gibson: „Adaptive Prediction in Speech Differential Encoding systems”, Proc. of the IEEE, Vol. 68, No. 4. 1980.
- [11] P. Cummins et al.: „Adaptive Quantization in Differential PCM coding of Speech” Bell Syst. Tech. J., Vol. 52, pp. 1105—1118, Sept. 1973.
- [12] W. R. Daumer et al.: „Overview of the ADPCM Coding Algorithms”, Proc. IEEE GLOBECOM, Niv. 1984, pp. 774—777.
- [13] J. D. Morkel and A. H. Gray, Jr.: „Linear Prediction of Speech”, New York: Springer-Verlag, 1976.
- [14] CCITT Recommendation G. 721, 1984, Red Book vol. III.
- [15] CCITT Recommendation G. 711, 1984. Red Book vol. III.
- [16] B. S. Atal and M. R. Schroeder: „Adaptive Prediction coding of Speech Signals”, Bell Syst. Tech. J. vol. 49, pp. 1973—1986. Oct. 1970.
- [17] B. S. Atal and M. R. Schroeder: „Predictive coding of Speech Signals and Subjective Error Criteria”, IEEE Trans. ASSP, vol. ASSP—27, No. 3, June 1979.
- [18] J. D. Gibson: „Adaptive Prediction for Speech Encoding”, IEEE ASSP Magazine, July 1984.
- [19] B. Koo and J. D. Gibson: „Experimental Comparison of All-Pole, All-Zero and Pole-Zero Predictors for ADPCM Speech Coding” IEEE Trans. on Comm., vol. COM—34, No. 3, pp. 285—289, Marc 1986.
- [20] P. Noll: „A Comparative study of Various Quantization Schemes for Speech Encoding”, Bell Syst. Techn. J., Vol. 54, No. 9, Nov. 1975.
- [21] P. Noll: „Adaptive Quantizing in Speech Coding Systems”, The IEEE Proc. 1974 Zürich Seminar on Digital Comm.
- [22] N. S. Jayant: „Adaptive Quantization with One-Word Memory”, Bell Syst. Tech. J., Vol. 52, No. 7, Sept. 1973.
- [23] J. Dubrowski: „A Microprocessor Log PCM/ADPCM Code-Converter”, IEEE Trans. on Comm., vol. COM—26, pp. 660—664, May 1978.
- [24] T. Nishitani et al.: „A 32 kbit/s Toll Quality ADPCM codec Using a Single Chip Signal Processor”, Proc. ICASSP '82, pp. 960—963, May 1982.
- [25] J. M. Raulin et al.: „A 60 Channel PCM—ADPCM Converter”, IEEE Trans. on Comm., vol. COM—30, pp. 567—573, April 1982.
- [26] J. Rabiner et al.: „Digital Processing of Speech Signals”, McGraw-Hill, 1978.
- [27] D. Cointot: „A 32 kbit/s ADPCM Coder Robust to Channel Errors”, Proc. ICASSP '82, May 1982
- [28] D. J. Goodman and R. M. Wilkinson: „A robust Adaptive Quantizer”, IEEE Trans. on Comm., vol. COM—23, pp. 1362—1365, November 1975.
- [29] CCITT Rec. G. 113, Red Book, vol. III. 1984.
- [30] CCITT Rec. G. 821, Red Book, vol. III. 1984.
- [31] F. Bigi: „Lecture on a coding methods other than PCM”, The Workshop Type Seminar on Digital switching and Transmission, Dubrovnik, Yugoslavia, 21—31 October, 1985.