

Japan műholdas távközlő rendszere

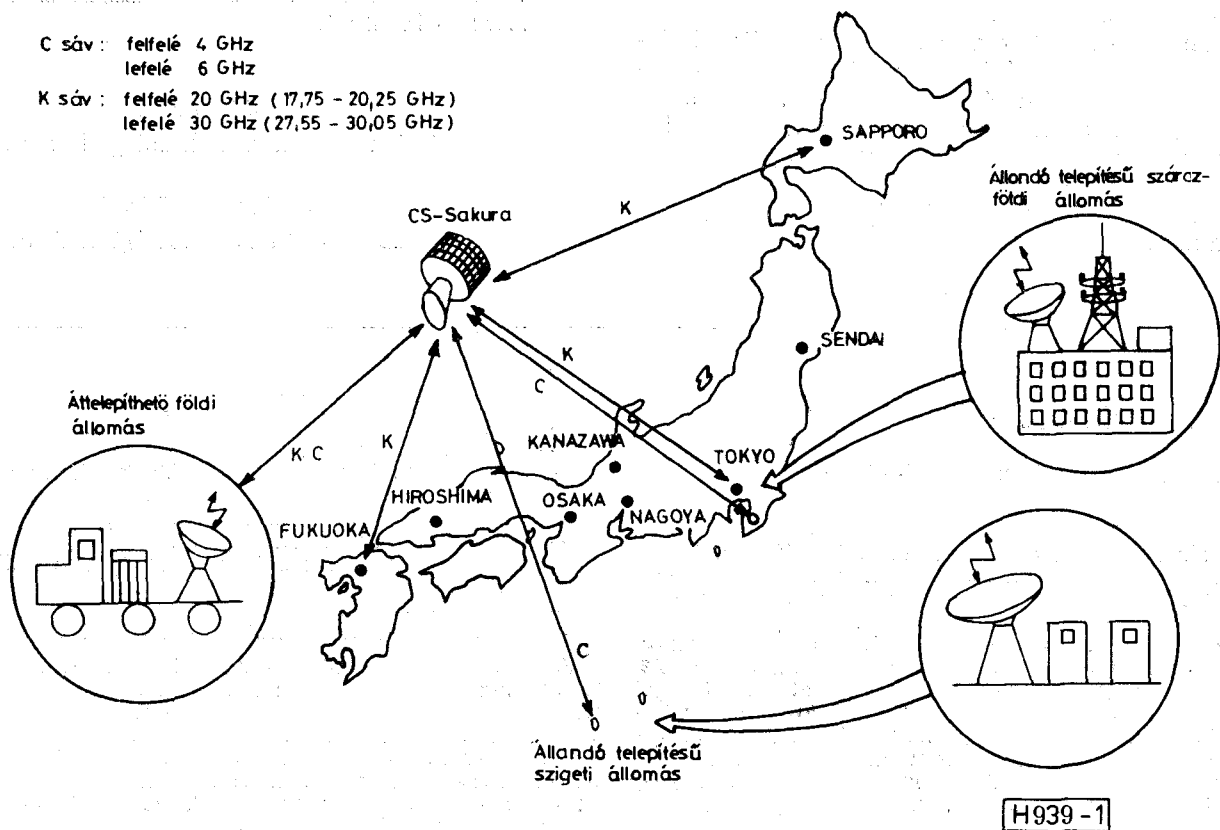
LŐRINC ENDRE

BHG Híradástechnikai Vállalat

A cikk az IEEE Communications Magazine 1980/9. száma és a Review of the Electrical Communication Laboratories 1982/1. „satellite communication” különszáma alapján készült.

A Japán Postaügyi és Távközlési Minisztérium 1972-ben adott megbízást a Nippon Telegraph and Telephone Public Corporation (NTT)-nek egy közepes kapacitású, helyi érdekltségű műholdas távközlő rendszer létrehozására, amely állandó és ideiglenes távközlési összeköttetést létesít Japán négy legnagyobb szigetén (a japán szárazföldön), kapcsolatot teremt a távoli szigetekkel, továbbá segélykerő szolgálatot lát el. Ennek megfelelően az NTT Electrical Communication Laboratories (ECL) 1977-re megkonstruálta a forgásstabilizált távközlési műholdat, az állandó telepítésű szárazföldi és szigeti állomást, valamint az áttelepíthető szárazföldi és szigeti állomást. A 20 GHz-es szárazföldi mikrohullámú rendszerhez illeszkedő műholdas rendszer állandó telepítésű állomásait az NTT a regionális forgalmi központokban helyezte el, amelyek egyben bázisállomásait képezik az áttelepíthető földi állomásoknak is.

A CS-Sakura távközlési műholdat a Japán Világűr Fejlesztési Hivatal 1977. december 15-én 36 000 km magasságú geostacionárius pályára juttatta a keleti hosszúság 135°-ánál. A földi állomások és a távközlési műhold kapcsolatát az 1. ábra szemlélteti, a földi állomások főbb paramétereit az 1. táblázat tartalmazza. 1980-ra az ECL megkonstruálta az 1–2 beszéd-, adat-, fakszimile- és videokonferencia-csatornás előfizetői állomásokat is, amelyek műholdon keresztül a bázisállomás közvetítésével kapcsolódnak a földi távközlő hálózathoz. Az integrált szolgáltatású műholdas digitális hálózat (ISSDN) állandó telepítésű állomásai az órajel szinkronizáláson alapuló igény szerinti időosztásos többszörös hozzáférési (DA-TDMA) eljárással kiváló minőségű és nagysebességű digitális átvitelt biztosítanak, mivel megnövelt effektív izotróp sugárzási teljesítménnyel (EIRP), megnövelt vételi jósági tényezővel (G/T),



Beérkezett: 1984. I. 9. (#).

1. ábra. Az NTT műholdas távközlő rendszere

Rendszer	Állandó telepítési		Áttelepíthető	
	szárazföldi	szigeti	szárazföldi	szigeti
Frekvencia	30/20 GHz	6/4 GHz	30/20 GHz	6/4 GHz
Átviteli eljárás	TDMA—60M	TDMA—100M	FM—FDMA	FM—FDMA
Kapacitás	1920 beszédcsatorna	600 beszédcsatorna és 2 színes tv-csatorna	132 beszédcsatorna	60 beszédcsatorna és 1 színes tv-csatorna
Transzponder vevő	2+2 (tartalék)	1	1	1
Földi állomás	11,5 m-es antennájú állomás 8 regionális központban	11,5 m-es antennájú állomás 3 a szigeteken 1 a szárazföldön	2,7 m-es antennájú állomás	3 m-es antennájú állomás
			11,5 m-es antennájú bázisállomás	

továbbá tengelyszimmetrikus vagy eltolt középpontú (offset) Cassegrain antennával rendelkeznek. Az áttelepíthető földi állomások *frekvenciamodulált frekvenciaosztásos többszörös hozzáférési (FM—FDMA)* eljárással érik el az állandó telepítésű bázisállomásokat.

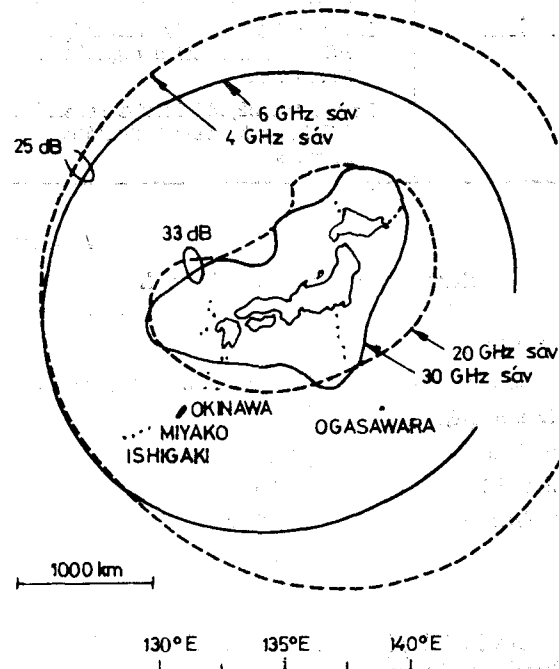
A 340 kg súlyú, 2,18 m átmérőjű és 3,51 m magaságú CS-Sakura műhold hat 30/20 GHz-es transzpondert tartalmaz a K sávban a szárazföldi állomások számára, és két 6/4 GHz-es transzpondert a C sávban a szigeti állomások számára. (A K sáv 12,2–31,0 GHz tartományú, a C sáv pedig 3,7–6,5 GHz tartományú.) Az 1977-118-A nemzetközi számú műhold napelemei 500 W teljesítményt szolgáltatnak. A fedélzeti nyalábsugárzó antenna egyidejűleg kezeli a 30/20 GHz-es és a 6/4 GHz-es sávot, amelyekkel a 2. ábrán látható módon fedi le a japán szárazföldet és szigeteket. Mivel a földi állomások elliptikus sugárzási karakterisztikájának nagytengelye észak–déli irányú, a geostacionárius műhold $\pm 0,03^\circ$ -os észak–déli mozgásának követési igénye kismértékű, és a vételi szintben $\pm 0,5$ dB ingadozást okoz.

Az állandó telepítésű szárazföldi állomások által használt TDMA—60M átviteli eljárás teljes specifikációját a 2. táblázat tartalmazza. A TDMA—60M eljárással 64,136 Mbit/s sebesség mellett 960 beszédcsatorna vihető át transzponderként és minden transzponderhez 4 földi állomás férhet hozzá. A differenciális kódolás nélküli kétfázisú fázisbillentyűzéses (BPSK) modulációhoz koherens detektálás társul, amely hibajavítás céljából félig ortogonális konvolúciós kódolást alkalmaz. A hozzáférési eljárás a magasszintű előre becslési (predikciós) módszer és az alacsony szintű PN sorozat átviteli módszer kombinációja. Az 1,544 Mbit/s sebességű 24 beszédcsatorna földi PCM jelhez közvetlen digitális illesztő felülettel csatlakozik a műholdas átviteli berendezés. A hálózat 43,776 MHz frekvenciájú és 128 kbit/s sebességű órajelének szinkronizálási eljárása az egymással átfedésben levő földi állomások burst jeleinek megőrzésére irányul.

A 3. ábra szerinti módszerrel minden földi állomás órajelét a műhold referencia órajele szinkronizálja, amelyet egy működő és egy tartalék földi referencia

állomás állít elő (esőzés alkalmával mindkét állomás egyidejűleg működik).

Az állandó telepítésű szigeti állomások által használt TDMA—100M átviteli eljárás teljes specifikációját a 3. táblázat tartalmazza. A 106,88 Mbit/s jelsebesség mellett 600 beszédcsatorna és 2 színes tv-csatorna vihető át egyidejűleg, amelyhez 1 szárazföldi és 3 szigeti állomás férhet hozzá. A differenciális kódolás nélküli négyfázisú fázisbillentyűzéses (QPSK) modulációt koherens detektálás követi, amely hibajavítás céljából $7/8$ arányú ortogonális konvolúciós kódolást alkalmaz. Az 1,544 Mbit/s sebességű PCM jelhez közvetlen digitális illesztő felülettel csatlakozik a műholdas átviteli berendezés, a 32,064 Mbit/s sebességű színes tv-jelhez pedig közvetett illesztéssel (puffertárolóval).



H939-2

2. ábra. A CS-Sakura sugárzási karakterisztikája

2. táblázat

A TDMA-60M rendszer specifikációja

Sebesség	64,136 Mbit/s
Kapacitás	960 beszédcsatorna
Hozzáférő állomások	4 állomás transzponderként
Moduláció	BPSK differenciális kódolás nélkül
Demoduláció	Koherens detektálás
Burst szinkronizálás	Hálózati órajel szinkronizálás 128 kbit/s
Hibaellenőrzés	1/2 arányú ortogonális konvolúciós kódolás és küszöbszint detektálás
Hozzáférés	A magasszintű előre becslési módszer és az alacsonyszintű PN sorozat átviteli módszer kombinációja
Földi illesztés	Az 1,544 Mbit/s sebességű PCM-hez közvetlen digitális illesztő felület

3. táblázat

A TDMA-100M rendszer specifikációja

Sebesség	106,88 Mbit/s
Kapacitás	600 beszédcsatorna és 2 színes tv-csatorna
Hozzáférő állomások	4 (1 szárazföldi és 3 szigeti állomás)
Moduláció	OPSK differenciálás kódolás nélkül
Demoduláció	Koherens detektálás
Burst szinkronizálás	Hálózati órajel szinkronizálás (118 kbit/s)
Hibaellenőrzés	7/8 arányú ortogonális konvolúciós kódolás és küszöbszint detektálás
Földi illesztés	Beszéd: 1,544 Mbit/s sebességű PCM-hez közvetlen digitális illesztő felület Színes tv: 32,064 Mbit/s sebességű PCM-hez közvetett digitális illesztés

4. táblázat

Cassegrain antenna jellemzők

Antennaátmérő	11,5 m
Ekvivalens apertúraméret	4,7 m × 2,3 m (elliptikus)
Effektív nyereség	
17,85 GHz	55,0 dB
27,65 GHz	58,6 dB
Felületi érdesség	0,19 mm
Súly	1,3 t

Az állandó telepítésű állomások 11,5 m átmérőjű tengelyszimmetrikus és eltolt középpontú Cassegrain antennáinak jellemzőit a 4. táblázat tartalmazza. A tengelyszimmetrikus Cassegrain antenna a kismértékű műholdkövetési igény miatt egyszerű és

könnyű szerkezetű, reflektorának ekvivalens apertúrája nagy hatásfokú, és 3 sugárnyaláb-hullámvezető táplálja. Az eltolt középpontú Cassegrain antennának kicsi az oldalirányú sugárzása, és a közel vízszintes reflektorállás miatt a szélterhelés kevésbé hat rá. Mindkét típusnál finombeállító követő automatika biztosítja a nagy követési pontosságot és a kismértékű átviteli szintingadozást.

A 30 GHz-es léghűtéses nagyteljesítményű erősítőnek 1 kW a kimenő teljesítménye, és az $f_0 \pm 40$ MHz-es sáv szélességen belül 47 dB az erősítése. Az alkalmazott klisztron cső 6 üreggel rendelkezik, a sugár fókuszálását egy állandómágnés végzi. A gyors és pontos csatornakiválasztás céljából minden üreg rezonanciafrekvenciája önállóan vezérelhető, és automatikus teljesítményvezérlés is végezhető. A 20 GHz-es kiszajú erősítő a 2,5 GHz-es sáv szélességen belül 30 dB erősítéssel rendelkezik, és parametrikus erősítőt, GaAs FET végerősítőt, valamint milliméteres hullámú Si-IMPATT oszcillátort tartalmaz.

Kétfajta hűtőrendszer használatos: a normál működésre használt erősítő He gáz hűtésű és zajhőmérséklete 200 K, míg a tartalék erősítő hőelektromohűtésű és zajhőmérséklete 220 K.

A 4. ábrán látható 30/20 GHz-es áttelepíthető szárazföldi állomás nagyteljesítményű erősítőjének kimenő teljesítménye 100 W, kiszajú erősítőjének zajhőmérséklete 300 K, és a sejt szerkezetű alumíniumból készült nagy hatásfokú tengelyszimmetrikus Cassegrain antennájának átmérője 2,7 m. A két konténerből álló állomás könnyen szállítható tehergépkocsival vagy helikopterrel.

A CS-Sakura műhold 5. ábrán látható transzponderre GaAs FET előerősítőt tartalmaz a hagyományos tunneldiódás előerősítő helyett, ezáltal -74 dBm vételi érzékenység biztosítható. A telítésbe vezérelt haladóhullámú cső kimenő szintje 36 dBm, a váltószűrő a 4, 6, 20 és 30 GHz-es sáv jeleinek szétválasztását végzi. A 2 m magasságú, nagy nyereségű antenna tölcser alakú reflektora hajlékony alumínium magból és szénrostokkal megerősített műanyag bevonatból épül fel szendvicsszerűen. A műholdat geostacionárius pályára juttatás előtt a kísérleti űrkamrában rezgési, hő-, vákuum- és elektromágneses vizsgálatoknak vetették alá.

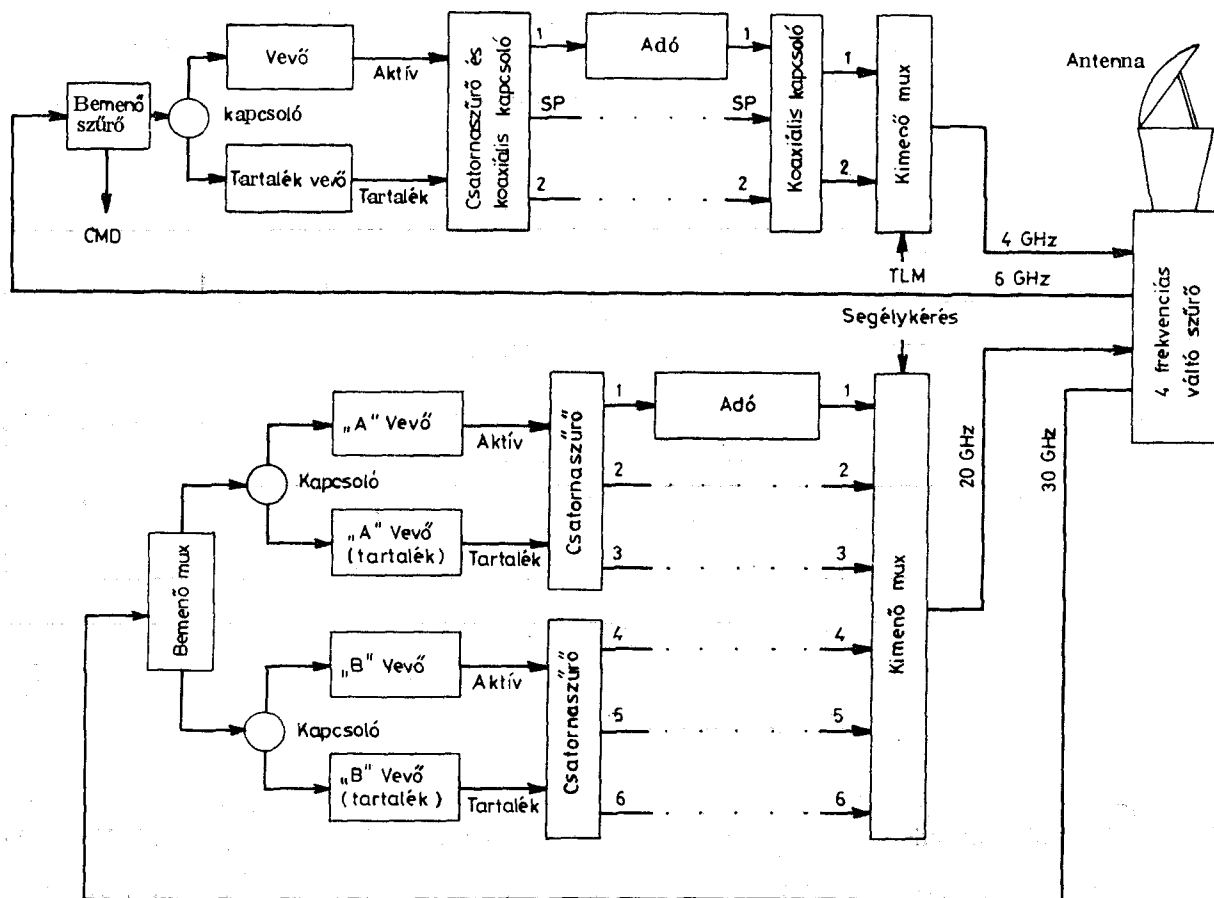
A műhold irányítását végző követő, távmérő és vezérlő rendszer két miniszámítógépre épül. A hagyományos rendszerek nagyszámítógépeket igényelnek, mivel tekintélyes szoftver-bázis szükséges az aerodinamikai számítások elvégzéséhez. Az új algoritmus szinusz függvények összegzésével közelíti a geostacionárius pályaelemeket, ezáltal 1/10 részre csökkenti a hagyományos program méreteit.

A 6. ábrán látható kísérleti műholdas hálózatban a berendezések és a jelterjedés karakterisztikáit mérték, jelátviteli kísérleteket végeztek műholdon keresztül, továbbá kísérleteket végeztek a műholdas és földi távközlő rendszer együttműködésére.

Az USA Eastern Test Range előírásai szerint végzett interferencia kísérletek során elhanyagolható kölcsönhatást észleltek a 20 GHz-es szárazföldi mikrohullámú rendszer és a 30/20 GHz-es műholdas rendszer között. Jelentősebb problémát okozott az esőzés csillapító hatása, azonban a rendszer használ-

A kísérleti hálózat földi állomásainak paraméterei

Állomás	YOKOSUKA		SENDAI	HAOHLJO	Áttelepíthető	
	30/20 GHz	6/4 GHz			30/20 GHz	6/4 GHz
Frekvenciasáv	30/20 GHz	6/4 GHz	30/20 GHz	6/4 GHz	30/20 GHz	6/4 GHz
G/T	30,6 dB/K	31,3 dB/K	30,6 dB/K	32,6 dB/K	27,5 dB/K	20 dB/K
EIRP	88,1 dBW	83,0 dBW	88,1 dBW	80,3 dBW	75,0 dBW	64,2 dBW
Antenna	11,5 m	12,8 m	11,5 m offset	11,5 m	2,7 m	3 m
	Cassegrain	Cassegrain	Cassegrain	Cassegrain	Cassegrain	Cassegrain
Adóteljesítmény	1 KW	600 W	1 KW	600 W	100 W	100 W
Csőtípus	klisztron	haladóhullámú	klisztron	haladóhullámú	klisztron	haladóhullámú
Hűtés	levegő	víz	levegő	levegő	levegő	levegő
Vevő zajhőmérséklete	200 K	45 K	200 K	55 K	300 K	50 K
Erősítőtípus	parametrikus	parametrikus	parametrikus	parametrikus	parametrikus	parametrikus
Hűtés	He gáz	Peltier	He gáz	nincs	Peltier	nincs

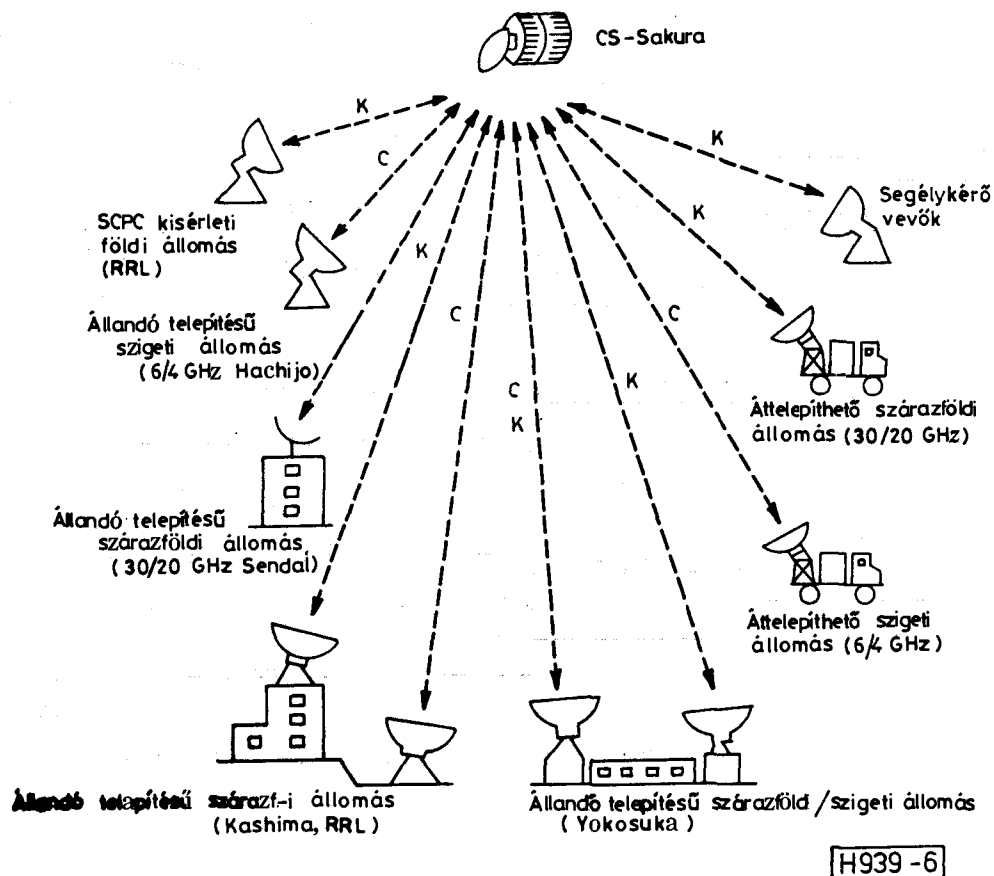


H939-5

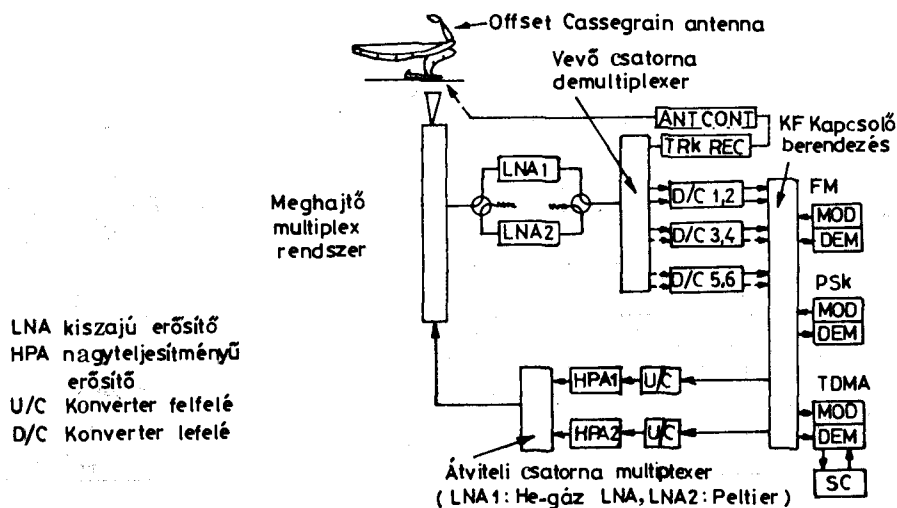
5. ábra. A CS-Sakura transzpondere

típusa 1,536 Mbit/s sebességű duplex többcímű digitális átvitelt nyújt a számítógépek és az 1/3 A4 oldal/s sebességű fakszimilek számára, a harmadik típus 6,3 Mbit/s sebességű duplex egycímű digi-

tális átvitelt szolgáltat a videokonferencia készülékek számára. A 9. ábra a DA-TDMA eljárással működő 30/20 GHz-es integrált szolgáltatású kísérleti hálózat konfigurációját mutatja be.



6. ábra. A kísérleti műholdas hálózat

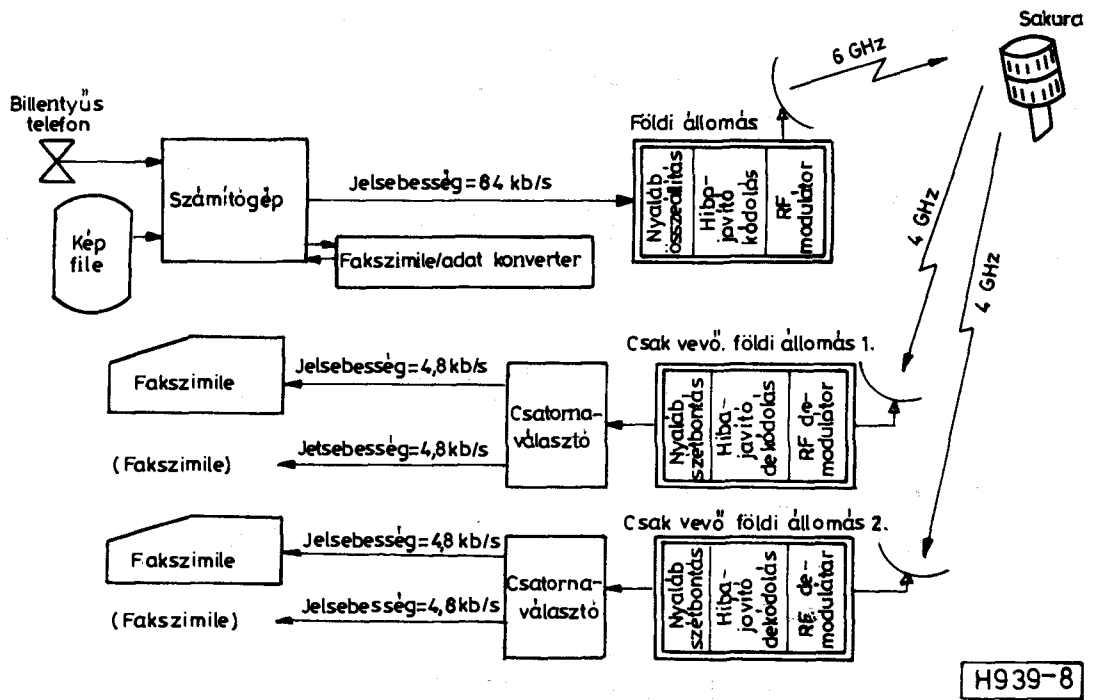


7. ábra. Állandó telepítésű földi állomás konfiguráció

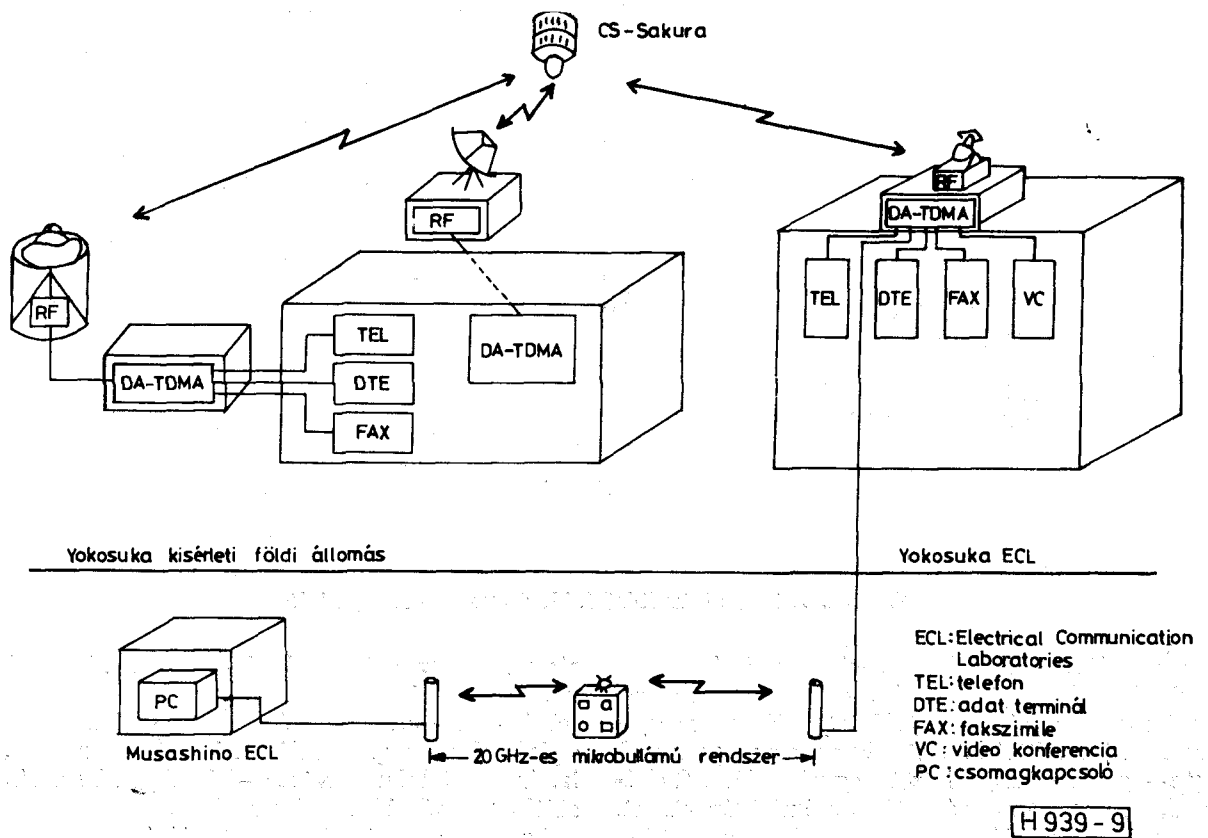
Az adatátviteli kísérletek során tanulmányozták a terjedési idő problémákat és a bithibának a magas-szintű adatkapcsolat-vezérlő (HDLC) eljárásokra gyakorolt hatását. Kísérleteket végeztek az egy számítógép—egy számítógép közötti egycímű HDLC eljárással, az egy számítógép—több számítógép közötti többcímű HDLC eljárással, az egy számítógép—több csak-vevő fakszimile közötti többcímű HDLC eljár-

rással, az egy adó fakszimile—több vevő fakszimile közötti többcímű HDLC eljárással, az egy adatterminál—több adatterminál közötti többcímű HDLC eljárással csomagkapcsolású hálózaton keresztül, valamint képtelefon készülék—képtelefon készülék közötti egycímű videokonferenciával.

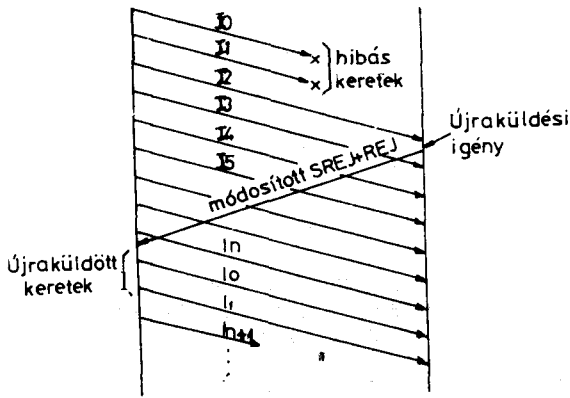
Az ISO szabványú HDLC eljárásban kibővített modulo M-et használnak, amelynek segítségével



8. ábra. Számítógép több fakszimile közötti egyirányú adatátvitel kísérleti konfigurációja



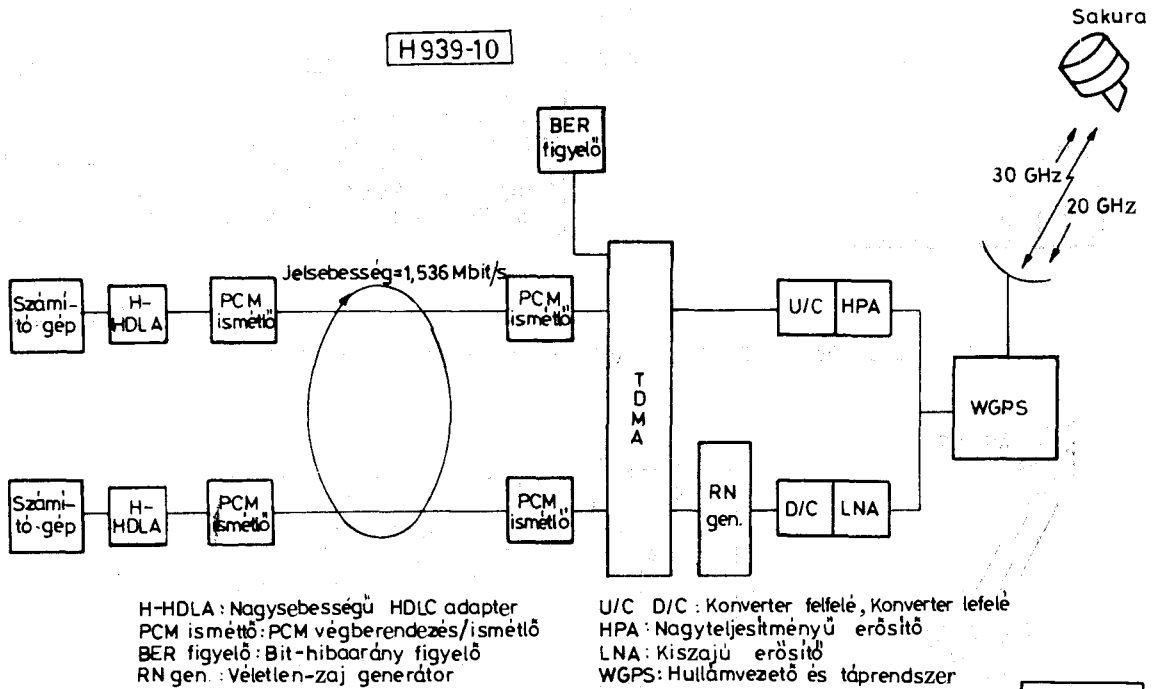
9. ábra. Integrált szolgáltatású kísérleti műholdas hálózat konfiguráció



10. ábra. A módosított SREJ+REJ hibafelismerő eljárás

dosított SREJ+REJ hibafelismerési eljárással 90%-os átviteli hatásfok érhető el. Az egycímű HDLC pont-pont adatátvitel kísérleti konfigurációját mutatja be a 11. ábra.

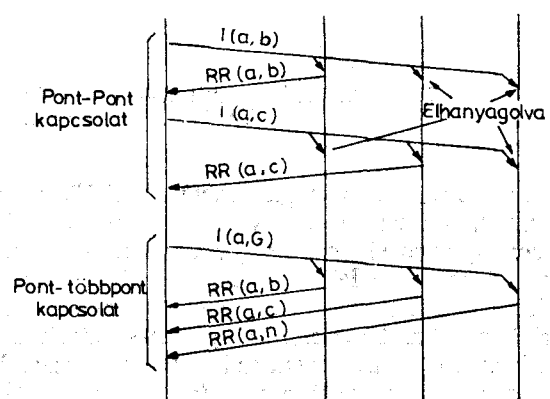
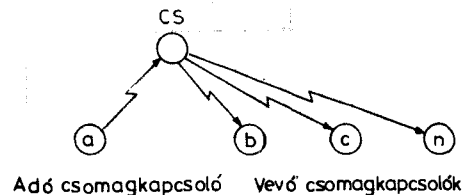
A több című HDLC eljárás egyidejűleg vezérli a pont-pont kapcsolatot és a pont-többpont kapcsolatot. A 12. ábra szerint ha az *a* csomagkapcsoló a *b* csomagkapcsolónak címezi az információkeretet, akkor csak a *b* vevő RR válaszkeretét veszi figyelembe, a *c*..n vevő válaszkeretét figyelmen kívül hagyja.



11. ábra. Számítógép—számítógép közötti nagysebességű adatátvitel kísérleti konfigurációja

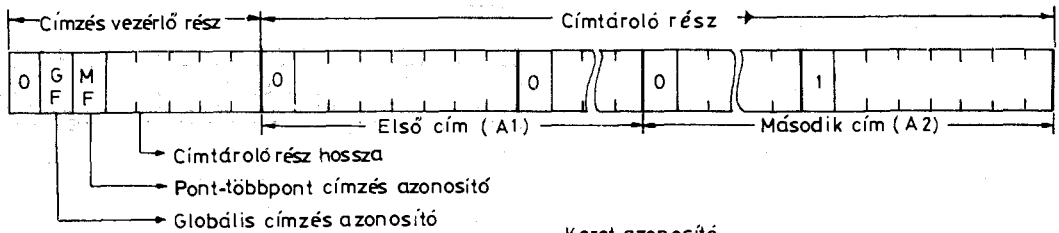
— az átvitel időtartamának csökkentése céljából — *M* számú információkeretet visznek át a vételi pont válaszkerete nélkül. Az információkeretek hossza 0,5...25 kbyte között választható meg, a válasz nélkül küldhető információteretek *M* száma 7, 16, 32, 64 vagy 127 lehet, a bithibaarány pedig $2,3 \cdot 10^{-7}$ vagy $1,2 \cdot 10^{-7}$ értékre választható.

A vételi oldalon módosított SREJ+REJ hibafelismerési eljárás *M* számú keret vétele közben időzítéssel kéri az első két hibásan vett keret átvitelének megismétlését (a SREJ az első hibás keret ismétlését kéri, a REJ a másodikét), így a késleltetési idő után azonnal ismétlődnek a hibás keretek (10. ábra). Az *M* értékének növelésével javul az átviteli hatásfoka, azaz az információkereteknek az összes átvitt kerethez (fejléc + keretrés + információ) viszonyított értéke. Például 5 kbyte-os információ-kerethossz és $M=127$ érték esetén 2 byte-os fejléccel és 270 byte-os keretréssel, továbbá $2,3 \cdot 10^{-7}$ bithibaarányal és mó-



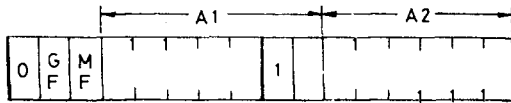
12. ábra. A többcímű HDLC eljárás

Általános címmező formátum

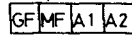


Keret azonosító
 GF & MF { 11: pont-többpont keret
 01: válasz a pont-többpont keretre
 00: pont-pont keret

2 oktettes címmező formátum

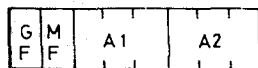


Utasítás/válasz azonosító



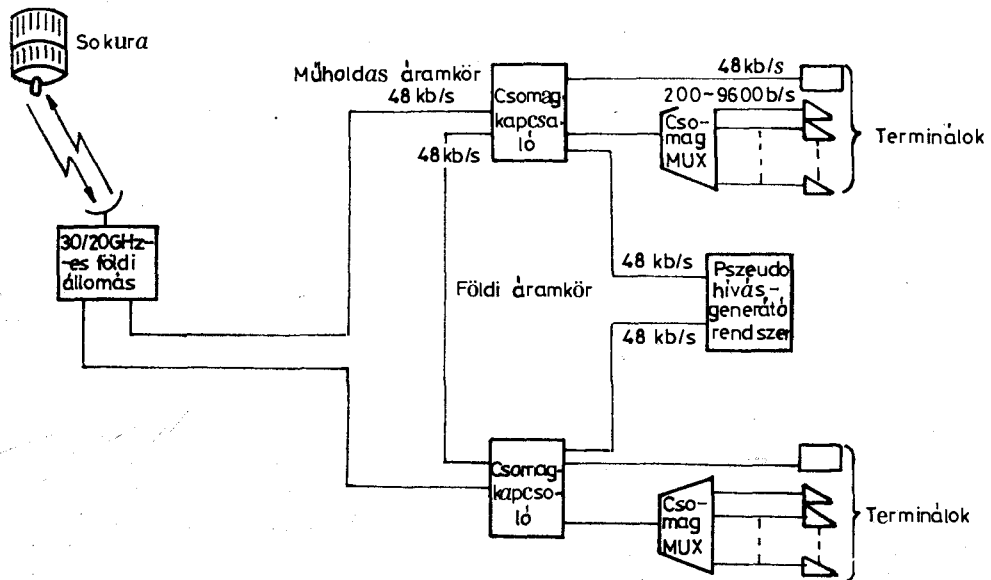
A kapcsoló → B kapcsoló pont-pont keret (utasítás)	0 0 A B
B kapcsoló → A kapcsoló pont-pont keret (válasz)	0 0 A B
A kapcsoló → összes kapcsoló pont-többpont keret (utasítás)	1 1 A G
B kapcsoló → A kapcsoló pont-többpont keret (válasz)	0 1 A B

1 oktettes címmező formátum



H 939-13

13. ábra. A többcímű HDLC eljárás kapcsolat és utasítás/válasz azonosítói



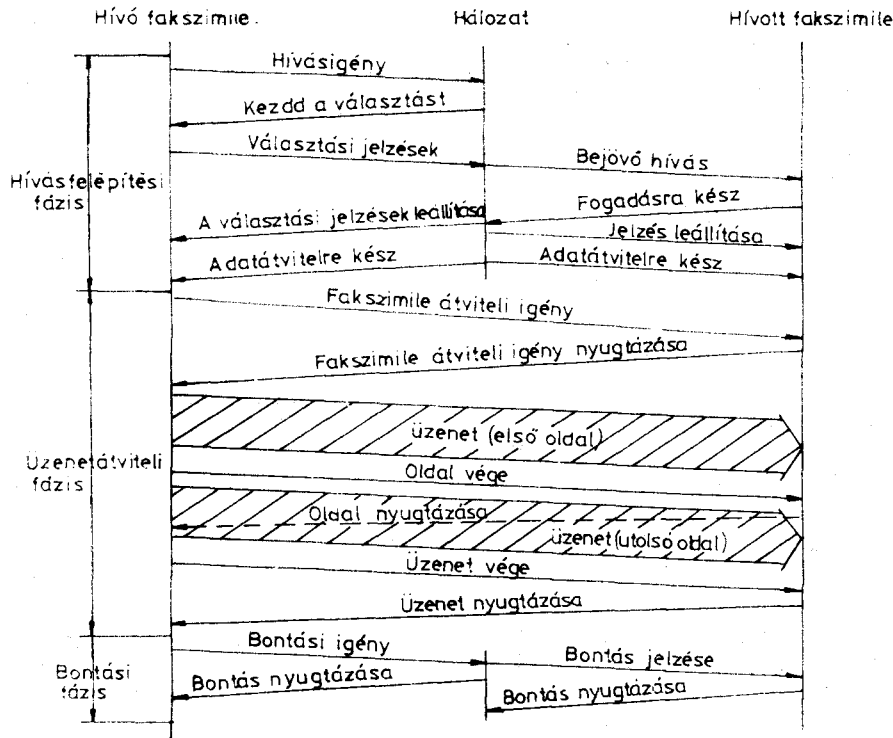
H939-14

14. ábra. Adatterminál-több adatterminál közötti többcímű adatvitel kísérleti konfigurációja csomagkapcsolású hálózaton keresztül

Ha viszont az a csomagkapcsoló G globális címzést alkalmaz, akkor minden vevő válaszkeretét bevárja. A csomagkapcsolók címzési formátumának előállítására két módszer lehetséges: az egyik szerint egy binárisan kódolt számmal jelzik a címet, a másik szerint minden kapcsolónak egy bit-pozíciót feleltetnek meg a címmezőben, és ha ebben a pozícióban „1” szerepel, az adott csomagkapcsolónak szól az üzenet. Az utóbbi módszer hátránya, hogy a csomagkapcsolók számának növekedésével nagyon meg-

hosszabbodhat a címmező, ezért az első módszert alkalmazzák.

Mivel a pont-pont és pont-többpont kapcsolatokon többféle csomag haladhat át, nagyon fontos a *kapcsolatok és utasítások/válaszok* azonosítása, amely a 13. ábrán látható módon valósul meg. A földi távközlő hálózatban fizikailag csak pont-pont kapcsolat létezik, ezért az átvitelvezérlő eljárás folyamán a kapcsolat azonosítása a *logikai* megfelelővel történik. Minden csomagkapcsoló kódjához tartozik egy



H 939-15

15. ábra. Nagysebességű faksimile—faksimile átvitelvezérlési folyamata

memória, amely végrehajtja a címzések és keretek átvitelének vezérlését. Mivel a DDX csomagkapcsosú hálózat modulo 8 keretszám kapacitású, ezért a modulo 128 kapacitású műholdas hálózat puffertárolójának viszonylag hosszú a tartásiideje (a DDX 1000 bites kerete esetén 20 ms), és ezzel mintegy 500 ms-ra nő a földi állomás—műhold—földi állomás közötti terjedési idő. A DDX-ben a műholdas átvitel

nagy késleltetési idejének kompenzálására megnövelték a keretek hosszát az 1 keret/csomag átviteli mód mellett. A DDX központok alternatív módon építik fel a földi mikrohullámú hálózaton vagy a műholdas hálózaton keresztül az adatkapcsolatot (14. ábra). Az átvitelvezérlési folyamatot két nagysebességű faksimile példáján szemlélteti a 15. ábra.