

Dr. MIROSLAV MIKULA
Dr. FRANE JELUŠIĆ
Fakultet prometnih znanosti
Zagreb, Vukelićeva 4

Prometna tehnika
Pregledni rad
UDK: 621.39 : 681.327.8
Primljeno: 17.09.1991.
Prihvaćeno: 18.11.1991.

NOVA GENERACIJA DIGITALNIH PRIJENOSNIH SUSTAVA

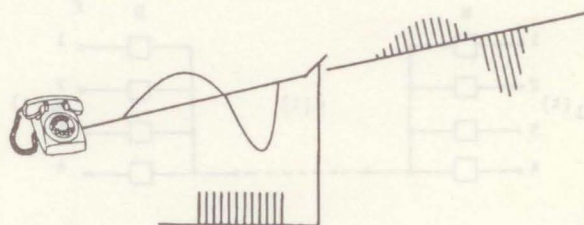
SAŽETAK

U tijeku je digitalizacija telekomunikacijske mreže. Budući da su prijenosni sustavi jedan od fundamentalnih dijelova ove mreže, vrlo je važan njihov kapacitet. Ove godine puštena je u promet nova generacija digitalnih prijenosnih sustava s do sada najvećom brzinom od 2,5 Gbit/s. U radu se razmatraju značajke i mogućnosti novih sustava, te njihovo uklapanje u strategiju digitalizacije telekomunikacijske mreže.

1. UVOD

Prijenosni sustavi su jedan od fundamentalnih dijelova telekomunikacijske mreže i služe za prijenos signala koji nose informaciju. Signali mogu biti analogni izvornoj informaciji (npr. govorni, radiodifuzni program, televizijska slika) ili digitalni, tj. dobiveni kodiranjem izvorne informacije s pomoću određenog broja unaprijed dogovorenih signala (npr. telegrafija i prijenos podataka). Najstariji oblici digitalnog prijenosa informacija su dimni signali kod Indijanaca, te signali bubnjanjem kod crnaca. I prvi električno prenošeni signali bili su digitalni. Morzeova telegrafska abeceda koristila je za kodiranje znakova dvije vrste električnih impulsa - kraće (točke) i dulje (crtice). Sljedeći način kodiranja bila je međunarodna telegrafska abeceda br. 1, koja je za kodiranje znakova koristila opet dvije vrste električnih impulsa - sa strujom ili bez nje, ali u skupinama po pet impulsa za svaki znak (ukupan broj znakova $2^5 = 32$). Ova je abeceda korištena na elektromehaničkim dalekopisačima. Zatim se pojavila međunarodna telegrafska abeceda br. 2 koja je za kodiranje koristila također dvije vrste impulsa (0 i 1), koji su kao binarni brojevi (binary digit) dobili naziv bit, ali u skupinama po sedam bita za svaki znak (ukupan broj znakova $2^7 = 128$). Ova abeceda koristi se i danas na suvremenim elektroničkim dalekopisačima, te na teleteks terminalima. Inače, danas je vrlo popularan američki

kod ASCII (American Standard Code for Information Interchange), koji opet koristi binarne impulse, ali u skupinama po osam bita za svaki znak (ukupan broj znakova $2^8 = 256$). Ovakav način kodiranja primjenjuje se u prijenosu podataka.

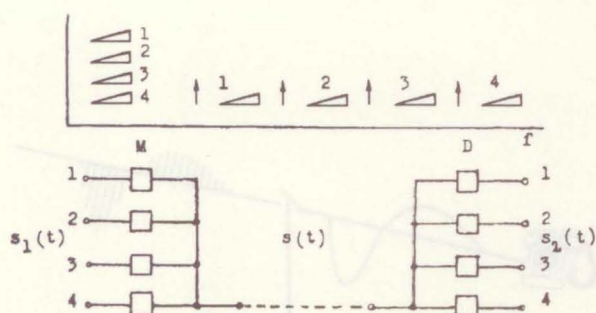


Slika 1. Princip digitaliziranja analogne govorne informacije

S obzirom na to da su prednosti jedinstvenog načina prijenosa različitih vrsta informacija očevitne, odavno se pokušavalo (unatrag dva desetljeća vrlo intenzivno) pronaći postupke s pomoću kojih bi se govorne informacije digitalizirale tj. pretvorile u digitalne signale. Prvu tzv. pulсно-kodnu modulaciju (PCM) govorne informacije izvršili su 1938. godine A.H. Reeves i R.D. Kell, ali je to praktično bilo realizirano tek u šezdesetim godinama pojavom prvih PCM uređaja. Postupak digitaliziranja analogne govorne informacije odvija se u tri faze (sl. 1), i to:

- uzorkovanje (očitanje trenutnih vrijednosti analognog signala u jednakim vremenskim razmacima, frekvencijom koja je barem dvaput veća od maksimalne frekvencije signala - za govor $2 \times 4 \text{ kHz} = 8 \text{ kHz}$),
- kvantizacija (zaokruživanje očitanih trenutnih vrijednosti analognog signala na najbližu unaprijed usvojenu razinu amplitude - za govor dovoljno 32) i
- kodiranje (dodjela svakoj usvojenoj razini amplitude određene kombinacije bita).

Prvi prijenosni mediji (simetrični kovinski vodovi) korišteni su isključivo jednostruko (za po jednu vezu), prvo za telegrafiju (od 1837. godine), a zatim za telefoniju (od 1876. godine). Ipak, već od prvih koraka telekomunikacija težilo se povećanju iskorištenja prijenosnih medija, čime bi se znatno smanjili troškovi gradnje telekomunikacijske mreže. Multipleksiranje kanala može biti izvedeno u frekvencijskoj ili u vremenskoj domeni. Prvo su razvijeni frekvencijski multipleksni sustavi (Frequency Division Multiplex - FDM), kod kojih su pojedini kanali prenošeni u viša frekvencijska područja postupkom modulacije s nositeljima različite frekvencije (sl. 2). Modulacija je obavljena promjenom amplitude, frekvencije ili faze nositelja.



Slika 2. Frekvencijski multipleks (FDM)

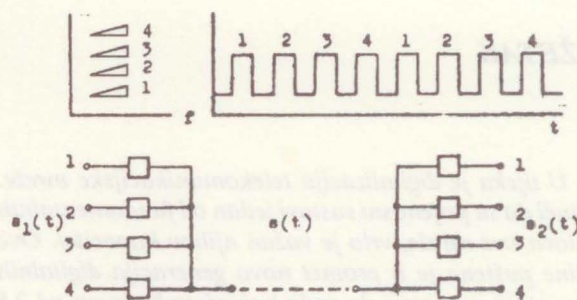
U tablici 1. daje se pregled analognih (FDM) prijenosnih sustava, koji se danas koriste u praksi po kovinskim vodovima (simetričnim i nesimetričnim).

Tablica 1.

Broj tf. kanala	Frekventno područje (MHz)	Fizički medij prijenosa	Razmak pojačala (km)
12	0,006-0,108	sim.kab.0,9 mm	do 24
300	0,060-1,300	nes.kab.1,2/4,4 mm 2,6/9,5 mm	8 18/18,6
960	0,060-4,188	nes.kab.1,2/4,4 mm 2,6/9,5 mm	4 9/9,3
2700	0,312-12,388	nes.kab.1,2/4,4 mm 2,6/9,5 mm	2 4,5/4,65
3600	0,312-17,668	nes.kab.1,2/4,4 mm 2,6/9,5 mm	2 4,5/4,65
10800	4,332-59,684	nes.kab.2,6/9,5 mm	1,5/1,55

Druga vrsta multipleksiranja bila je vremenska (Time Division Multiplex - TDM), u kojoj je pojedinim kanalima dodjeljivan različit dio vremena (sl. 3). Razvoj ovih sustava krenuo je u dva pravca. Prvo je u SAD (Bell Laboratories) u šezdesetim godinama

razvijen uređaj, koji radi brzinom od 1,5 Mbit/s i prenosi 24 telefonska kanala. Nešto kasnije je u Europi razvijen uređaj (što su ga standardizirali CEPT i CCITT 1968. godine), koji radi brzinom od 2 Mbit/s i prenosi 30 telefonskih kanala (+ 2 kanala - za sinhronizaciju i signalizaciju). Kasnije su razvijeni sustavi većih kapaciteta i oni će biti opisani u sljedećem poglavlju.



Slika 3. Vremenski multipleks (TDM)

Usporedbom značajki i mogućnosti analognog i digitalnog prijenosa, može se utvrditi sljedeće:

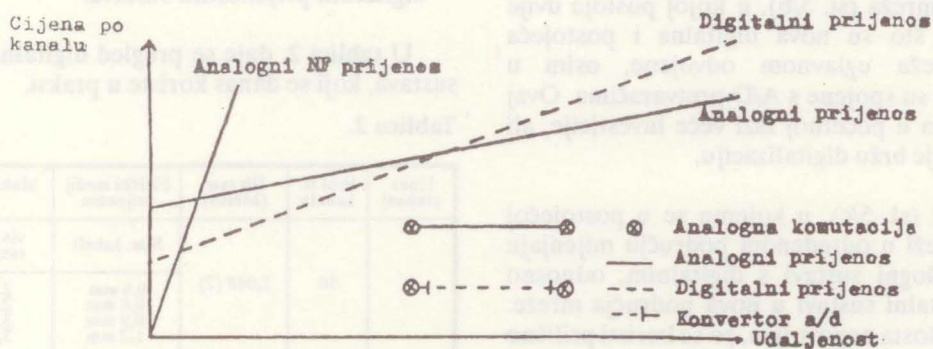
- kvaliteta digitalnog prijenosa je veća i neovisna o udaljenosti (niska vrijednost ekvivalenta prijenosa, minimalna izobličenja, te povećan odnos signal/šum),
- pouzdanost digitalnog prijenosa je veća,
- digitalni prijenos je praktično neosjetljiv na smetnje (uzduž trase se obavlja ne samo pojačanje, nego i regeneracija signala, čime se on i pojačava i oslobađa smetnji i izobličenja),
- digitalna informacija je u digitalnom prijenosu bolje zaštićena (tajnost prijenosa),
- digitalni prijenos je posebno prikladan za netelefonske signale, koji su već po prirodi digitalni (npr. prijenos podataka), kao i za širokopolasne signale (npr. videotelefonski),
- digitalni prijenos je prikladan i za obradu informacije (slaganje podataka u pakete odnosno njihova međupohrana),
- kanali digitalnih sustava imaju znatno veći prijenosni kapacitet od kanala analognih sustava,
- digitalna oprema zahtijeva znatno manji prostor za smještaj (mikroelektronika),

- i) digitalni prijenosni sustavi imaju bolje iskorištenje prijenosnih medija (simetrični kabeli),
- j) u digitalnim sustavima su svi kanali jednakovrijedni (u analognim sustavima su kanali na granici prenašanog pojasa oštećeni),
- k) cijena gradnje prijenosnog puta s digitalnim sustavom relativno je niska i ima tendenciju daljnjeg pada zbog tehnološkog razvoja komponenata, te njihove proizvodnje u velikim serijama,
- l) primjena digitalnih prijenosnih sustava je ekonomična, to više što je manje analogno-digitalnih pretvorbi, a najekonomičnija je u kompletno digitalnoj i integriranoj mreži (sl. 4). Vać danas je cijena ovih sustava niža od cijene analognih sustava do određene udaljenosti,

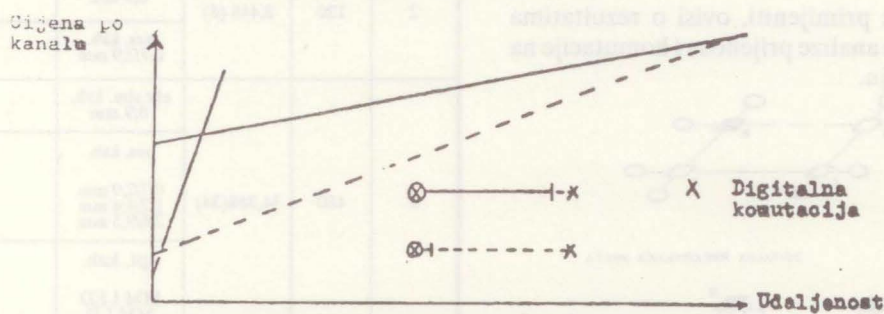
m) velika prednost digitalnih sustava je mogućnost realizacije integrirane digitalne mreže IDN (digitalizirani i integrirani prijenosni i komutacijski sustavi), kao i takve mreže s integriranim službama ISDN (transparentna za različite signale, koji se mogu multipleksirati bez bojazni da će doći do međusobnog ometanja).

Problemi digitalnih mreža su sprezanje i rasprezanje vremenskih kanala odnosno kanalskih skupina. To se rješava primjenom različitih načina sinhronizacije i signalizacije.

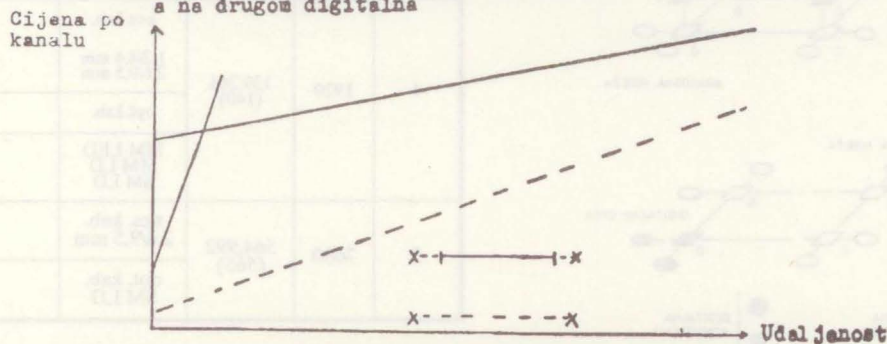
Poseban problem je kompatibilnost digitalnih i analognih prijenosnih sustava, koji rade po simetričnim kabelima, pri čemu digitalni sustavi utječu na analogne. To se rješava smanjenjem amplitude digitalnog signala, smanjenjem duljine pojačivačke



a) Na oba kraja komutacija je analogna



b) Na jednom kraju komutacija je analogna, a na drugom digitalna



c) Na oba kraja komutacija je digitalna

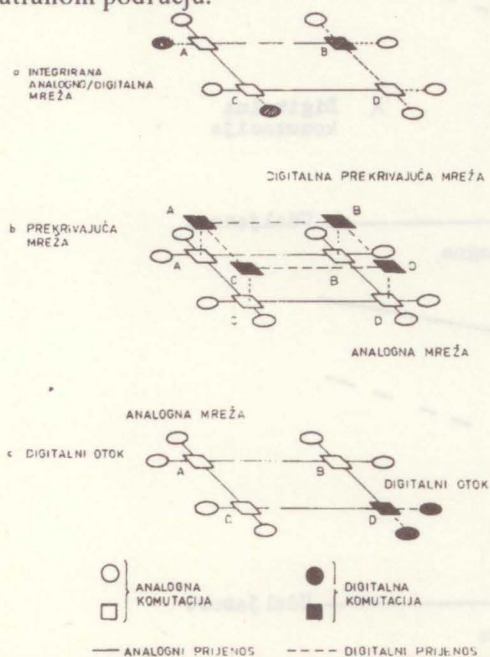
Slika 4. Ekonomska usporedba analognih i digitalnih prijenosnih sustava

dionice, te uključivanjem VF filtera na izlazu regeneratora.

Postojeća telekomunikacijska mreža je pretežno analogna i uglavnom zadovoljava i kvalitetom i kvantitetom, pa bi bilo vrlo nerazumno i neekonomično demontirati je prije isteka vijeka trajanja. Zato se digitalna tehnika, unatoč nedvojbenim prednostima, uvodi postupno tako da će dulje još egzistirati kombinirana analogno-digitalna mreža. Postoje tri glavna načina strategije digitalizacije telekomunikacijske mreže, i to:

- integrirana A/D mreža (sl. 5/a), u kojoj se zadržava postojeća analogna mreža s tim što se u pojedina područja ove mreže uvode digitalni sustavi. Ovaj način ne zahtijeva u početnoj fazi veće investicije, ali usporava dinamiku digitalizacije,
- prekrivajuća mreža (sl. 5/b), u kojoj postoje dvije mreže s tim što su nova digitalna i postojeća analogna mreža uglavnom odvojene, osim u mjestima gdje su spojene s A/D pretvaračima. Ovaj način zahtijeva u početnoj fazi veće investicije, ali zato omogućuje bržu digitalizaciju,
- digitalni otok (sl. 5/c), u kojemu se u postojećoj analognoj mreži u određenom području mijenjaju postojeći analogni sustavi s digitalnim, odnosno uvode se digitalni sustavi u nova područja mreže. Ovaj način je dosta nepovoljan, pa se koristi prilično rijetko.

Koji način će se primijeniti, ovisi o rezultatima tehničko-ekonomске analize prijenosa i komutacije na razmatranom području.



Slika 5. Strategije digitalizacije telekomunikacijske mreže

2. PREGLED DIGITALNIH PRIJENOSNIH SUSTAVA, KOJI SE DANAS KORISTE U PRAKSI

Hijerarhijsku strukturu digitalnih prijenosnih sustava definirao je CCITT, a kao multiplikacijski čimbenik između pojedinih razina hijerarhijske ljestvice upotrijebio je broj 4. Za ovaj izbor ima više razloga, među kojima su najvažniji:

- vodi vrlo harmoničnoj strukturi sustava,
- omogućuje jednostavno formiranje dvostrukog ili polovičnog broja kanala i
- taj čimbenik je binarni broj (2^2), što ga čini vrlo pogodnim za PCM sustave, koji djeluju na binarnoj osnovi. Do sada je definirano pet razina hijerarhijske digitalnih prijenosnih sustava.

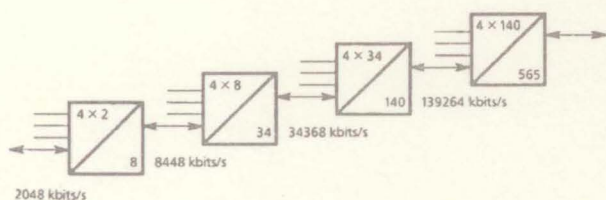
U tablici 2. daje se pregled digitalnih prijenosnih sustava, koji se danas koriste u praksi.

Tablica 2.

Hijer. stupanj	Broj tf. kanala	Bit rate (Mbit/s)	Fizički medij prijenosa		Maks. razmak pojačala (km)	
			Sim. kabeli	vis. izl. razina	nis. izl. razina	
1	30	2,048 (2)	0,6 mm	2,2	1,5	
			0,8 mm	2,9	2,0	
			0,9 mm	3,1	2,16	
			1,2 mm	3,7	2,6	
2	120	8,448 (8)	ekr.sim. kab. 0,9 mm	4		
			nes. kab. 0,7/2,9 mm	4		
			ekr.sim. kab. 0,9 mm	2		
			nes. kab.	2	4	
3	480	34,368(34)	0,7/2,9 mm	2		
			1,2/4,4 mm	4		
			2,6/9,5 mm	9,9,3		
			opt. kab.	11-16	22-33	
4	1920	139,264 (140)	MM LED	8-13		
			MM LD	19-28		
			SM LD	41-70		
			nes. kab.	1,2/4,4 mm	4,5/4,65	
5	7680	564,992 (565)	opt. kab.	1,5/1,55		
			nes. kab. 2,6/9,5 mm	31-53		

3. NOVI DIGITALNI PRIJENOSNI SUSTAV

Budući da kapacitet telekomunikacijske mreže stalno raste, to zahtijeva stalno povećanje broja prijenosnih putova na pojedinim relacijama. Kada je 1984. godine njemački Telekom u svom pilotskom projektu Berlin IV isprobao digitalni prijenosni sustav 5. stupnja hijerarhijske ljestvice s brzinom od 565 Mbit/s, mislilo se da je njegov kapacitet od 7680 telefonskih kanala sasvim dostatan i za vrlo opterećene spojne relacije. Međutim, tehnika optičkog prijenosa se u međuvremenu znatno poboljšala (optička vlakna s prigušenjem ispod 1 dB/km, te integrirani sklopovi na bazi silicija i galijeva arsenida), tako da je postao tehnički ostvariv i 6. stupanj hijerarhijske ljestvice digitalnih sustava u području Gbit/s. Usporedno s napretkom tehnike prijenosa 1988. godine CCITT je izradio i novi standard SDH (sinhrona digitalna hijerarhija) za optički prijenos digitalnog signala. Obje ove činjenice ponukale su njemački Telekom da svojim pilotskim projektom Berlin V isproba novi digitalni prijenosni sustav s do sada najvećom brzinom od 2,5 Gbit/s. Prema CCITT-u prijenos s vremenski multipleksiranim digitalnim signalom bezine 2,5 Gbit/s definiran je preporukama G.707, G.708 i G.709. Predviđen je samo optički prijenos i to valne duljine od 1,5 μm . U Berlinu je iskorišten postojeći optički kabel položen u pilotskom projektu Berlin IV, preko kojega se mogla realizirati trasa duljine 36 km. Optička vlakna ovoga kabela su monomodna i imaju u području valnih duljina oko 1,5 μm prigušenje od samo 0,25 dB/km. Uredaji su građeni prema ETSI preporuci T/TM 02-13, s jednostavnim pristupom do električnih i optičkih priključaka, uza zajamčenu sigurnost lasera. Laserske diode imaju širinu pojasa modulacije >5 GHz, a lavinske fotodiode imaju produkt pojačanja i širine pojasa > 25 GHz. Izmjereni omjer grešaka je < 10^{-10} na 90 km trase optičkih vlakana.



Slika 6. Hijerarhija postojećih digitalnih prijenosnih sustava

4. ZAKLJUČAK

Proces digitalizacije telekomunikacijske mreže je u tijeku i odvijat će se brže ili sporije ovisno o strukturi postojeće mreže, razvoju prijenosnih i komutacijskih sustava, zahtjevima korisnika i mogućnosti investiranja. Sasvim je sigurno da za razvoj jedinstvene digitalne obrade telefonske informacije nisu povoljni niti digitalni prijenosni sustavi između analognih centrala, niti digitalne centrale u okruženju analognih prijenosnih sustava. Stoga je najčešći oblik strategije digitalizacije mreže - gradnja digitalne mreže koja prekriva postojeću analognu, s kojom je povezana u malom broju točaka, da bi se prištedjeli troškovi međuspojeva. Prema tomu, očividno je da će telefonska mreža još dugo ostati i s analognom i s digitalnom tehnikom, jednom pokraj druge. Pitanje - da li telefonska mreža treba biti analogna ili digitalna - danas se telefonskih pretplatnika malo tiče, jer je njima važno samo to da mogu jeftino i udobno telefonirati. Ipak, nove mogućnosti koje digitalna tehnika nudi, kao i nove službe koje se njome mogu realizirati, postajat će i za pretplatnike sve atraktivnijim. Pritom će važnu ulogu imati i kapacitet digitalnih prijenosnih sustava, pa je pojava nove generacije ovih sustava veliki korak u tom pravcu.

SUMMARY

NEW GENERATION OF DIGITAL TRANSMISSION SYSTEMS

Digitalization of telecommunications systems is currently in progress. In the light of the fact that the transmission systems make one of the fundamental parts of the system, their capacities are important. This year a new generation of digital transmission systems with up to this point of time the highest rate of 2,5 Gbit/sec has been introduced. The paper discusses the features and possibilities of new systems and their integration into the strategy of telecommunications system digitalization.

LITERATURA

- [1] F. KUHNE, H. MULLER: Digitalsignal - Multiplexgärte für Bitraten von 64 kbit/s bis 565 Mbit/s. Telcom Report 3/80.
- [2] E. BRAÜN, B. STÜMMER: Grundausrüstung der Digitalübertragungssysteme für Lichtwellenleiter. Telcom Report 9/86.
- [3] H. BEETZ, K. GASSER: Multiplexen in High-Tech-Dimension. Telcom Report 11/88.
- [4] W. PROEBSTER: Tor für hochbitratige LWL - Übertragung geöffnet. Telcom Report 14/91.