



Univerza v Ljubljani



Fakulteta za elektrotehniko

Anton Kos

PRENOS GOVORA PREKO PODATKOVNIH OMREŽIJ

Magistrsko delo

Mentor: prof. dr. Sašo Tomažič

Ljubljana, marec 1998

POVZETEK

V zadnjih nekaj letih je bilo veliko govora o možnostih prenosa govora preko podatkovnih omrežij in poskusov njegove realizacije. V tem delu smo poskušali podati zmožnosti posameznih podatkovnih omrežij za prenos govora in s simulacijami ovrednotiti najbolj razširjeno krajevno računalniško omrežje Ethernet.

Podatkovna omrežja so le del večje družine *komunikacijskih omrežij*, kamor spadajo še: telefonska, mobilna, kabelska in druga omrežja. Čemu so vsaka izmed njih namenjena, katere so njihove glavne lastnosti in ali so zmožna prenosa govora, je na kratko opisano v drugem poglavju.

Za pravilno ovrednotenje zmožnosti posameznega omrežja za prenos govora je potrebno poznati tako lastnosti omrežja kot lastnosti govora. Glavne značilnosti, lastnosti in postopki obdelave slednjega so opisani v tretjem poglavju. Podane so fizikalne lastnosti govora, njegovo zaznavanje, opisani bodo glavni kompresijski postopki in merila ocenjevanja kakovosti komprimiranega govora. Na koncu so podane še zahteve govora do omrežij, preko katerih ga želimo prenašati.

Poznamo celo vrsto podatkovnih omrežij, ki delujejo na različnih osnovah in imajo zelo različne lastnosti. V četrtem poglavju smo opisali njihovo delitev, protokolne sklade in osnovne lastnosti. Definirali smo tudi nekatere osnovne pojme podatkovnih omrežij, ki smo jih kasneje uporabili pri opisu posameznih tehnologij podatkovnih omrežij.

Ena od možnih delitev podatkovnih omrežij je delitev na omrežja z izohronim in omrežja s paketnim prenosom podatkov. V petem poglavju so opisana izohrona omrežja in njihove glavne lastnosti. Podana je njihova zmožnost za prenos govora, najpomembnejši predstavniki te družine pa so opisani nekoliko podrobneje. Veliko obširnejša je družina podatkovnih omrežij s paketnim prenosom. Najpomembnejša in najbolj razširjena izmed njih so opisana v šestem poglavju, podali in opisali pa smo tudi njihovo primernost ali neprimernost za prenos govora.

Teoretična razglabljanja in ugotovitve prejšnjih poglavij so v sedmem podkrepljene s simulacijami prenosa govora preko krajevnega računalniškega omrežja Ethernet. Definirani so osnovni kriteriji in podane mejne vrednosti omrežnih parametrov, pri katerih je kakovost prenesenega govora še zadovoljiva.

Končne ugotovitve študija lastnosti podatkovnih omrežij in simulacij so, da je prenos govora preko nekaterih podatkovnih omrežij mogoč. Preko katerih in s kakšno kakovostjo pa smo po najboljših močeh poskušali opisati v tem delu.

VSEBINA

1 UVOD	1
2 OMREŽJA ZA PRENOS GOVORA	3
2.1 <i>Analogno telefonsko omrežje</i>	3
2.2 <i>Kombinirano analogno-digitalno telefonsko omrežje</i>	4
2.3 <i>Digitalno telefonsko omrežje</i>	5
2.4 <i>Mobilna omrežja</i>	6
2.5 <i>Podatkovna omrežja</i>	7
2.6 <i>Kabelska omrežja</i>	8
3 LASTNOSTI IN OBDELAVA GOVORA	9
3.1 <i>Glavne značilnosti govornega signala</i>	9
3.1.1 Frekvenčni obseg	9
3.1.2 Dinamika	9
3.1.3 Aktivnost	9
3.2 <i>Zaznavanje govora</i>	9
3.2.1 Potrebna frekvenčna vsebina za razumevanje	10
3.2.2 Vpliv zakasnitev	10
3.2.3 Vpliv odboja	10
3.3 <i>Digitalizacija govornega signala</i>	10
3.3.1 Primer digitalizacije govornega signala v telefonskem omrežju	11
3.4 <i>Postopki kodiranja in kompresije signalov</i>	12
3.4.1 Izvorno kodiranje signalov	12
3.4.2 Temeljna načela redukcije pretoka informacij	12
3.5 <i>Standardi za kodiranje govora</i>	13
3.5.1 Bitna hitrost	14
3.5.2 Zakasnitev	14
3.5.3 Kompleksnost	14
3.5.4 Kakovost	15
3.6 <i>Zaznavanje in kakovost kodiranega govora</i>	15
3.6.1 Subjektivne ocene kakovosti	15
3.6.2 Objektivne ocene kakovosti	18
3.7 <i>Zahteve govornih aplikacij do omrežij</i>	18
3.7.1 Analogni prenos govora	18
3.7.2 Digitalni prenos govora	18
4 OSNOVE PODATKOVNIH OMREŽIJ	21
4.1 <i>Podatkovna in komunikacijska omrežja</i>	21
4.2 <i>Podatkovna in računalniška omrežja</i>	21
4.3 <i>Standardi in standardizacija</i>	22

4.3.1	Mednarodne organizacije za standardizacijo	23
4.4	Protokolni skladi	23
4.4.1	OSI referenčni model	23
4.4.2	TCP/IP referenčni model	27
4.4.3	Primerjava OSI in TCP/IP referenčnih modelov	29
4.5	Delitev podatkovnih omrežij	29
4.5.1	Lastništvo omrežja	29
4.5.2	Razsežnost omrežja	29
4.5.3	Načini preklapljanja podatkov	30
4.5.4	Prenosni medij	30
4.5.5	Načini odpošiljanja podatkov	30
4.6	Osnovne lastnosti in pojmi podatkovnih omrežij	30
4.6.1	Smernost povezave	30
4.6.2	Odpošiljanje podatkov	31
4.6.3	Multipleksiranje	31
4.6.4	Navidezne povezave (VC) in datagrami	33
4.6.5	Povezavne in nepovezavne storitve in sistemi	34
4.6.6	Načini preklapljanja	35
4.6.7	Usmerjanje	36
4.6.8	Nadzor pretoka podatkov in zasičenja omrežja	37
4.6.9	Kakovost storitve (QoS)	38
5	PODATKOVNA OMREŽJA Z IZOHRONIM PRENOSOM	39
5.1	Glavne lastnosti izohronih omrežij	39
5.2	Izohrona omrežja in govor	40
5.3	Digitalno omrežje z integriranimi storitvami (ISDN)	40
5.3.1	Uporabniški vmesnik in arhitektura	40
5.3.2	ISDN kanali	41
5.3.3	Dostopni vmesnik	42
5.4	FDDI II	42
5.4.1	Sinhroni okvir	42
5.4.2	Načini delovanja	42
5.5	Sinhrona digitalna hierarhija (SDH)	43
5.6	Dvojno vodilo s porazdeljeno čakalno vrsto (DQDB)	44
5.6.1	Arhitektura in topologija	45
5.6.2	Metoda dostopa do vodila	45
5.6.3	Nadzor dostopa do vodila	46
5.7	Izohroni Ethernet	46
5.7.1	Fizični kanal ISLAN16-T	47
5.7.2	Logični kanali	48
5.7.3	Načini delovanja ISLAN16-T	48
5.7.4	Delovna postaja z integriranimi storitvami (ISTE)	49
5.7.5	Dostopna enota (AU)	50
5.7.6	Povezovanje dostopnih enot	50
5.7.7	Nadaljnji razvoj izohronega Etherneta	51
5.8	Primernost opisanih izohronih omrežij za prenos govora	52

6	PODATKOVNA OMREŽJA S PAKETNIM PRENOSOM	53
6.1	Glavne lastnosti paketnih omrežij	53
6.2	Paketna omrežja in govor	54
6.3	X.25	54
6.3.1	Glavne lastnosti X.25 vmesnika	55
6.3.2	X.25 paketi	55
6.4	Krajevna računalniška omrežja (LAN)	56
6.4.1	Prenosni medij	56
6.4.2	Topologija	57
6.4.3	Metoda dostopa do prenosnega medija	57
6.4.4	Najbolj razširjene tehnologije krajevnih omrežij	58
6.5	IEEE/ISO/ANSI krajevna računalniška omrežja	58
6.5.1	IEEE protokolni sklad	59
6.5.2	Naslavljanje in podatkovne enote	60
6.6	IEEE 802.3 Ethernet	60
6.6.1	Topologija	61
6.6.2	Fizična plast	61
6.6.3	CSMA/CD metoda dostopa do prenosnega medija	61
6.6.4	MAC podatkovni okvir	63
6.7	IEEE 802.5 Token Ring	63
6.7.1	Topologija	64
6.7.2	Fizična plast	64
6.7.3	Dostop do prenosnega medija	64
6.7.4	MAC podatkovni okvir	65
6.8	Fiber Distributed Data Interface (FDDI)	66
6.8.1	Topologija	66
6.8.2	Fizična plast	66
6.8.3	Dostop do prenosnega medija	67
6.8.4	MAC podatkovni okvir	67
6.9	Frame Relay	68
6.9.1	Arhitektura	69
6.9.2	Protokolni sklad	70
6.9.3	Frame Relay podatkovni okvir	70
6.9.4	Nadzor zasičenja omrežja	71
6.9.5	Storitve in navidezne povezave	71
6.9.6	Prenos govora	72
6.9.7	Ugotovitve	74
6.10	ATM - Asinhroni prenosni način	74
6.10.1	Protokolne plasti	75
6.10.2	Povezave in storitve	76
6.10.3	Zgradba ATM celice	77
6.10.4	ATM prilagodilna plast (AAL)	78
6.10.5	Prenos govora	81
6.11	Primernost paketnih omrežij za prenos govora	82

7 SIMULACIJA PRENOSA GOVORA PREKO KRAJEVNIH RAČUNALNIŠKIH OMREŽIJ	85
7.1 Cilji simulacije	85
7.2 Simulacijski sistem	85
7.2.1 Krajevno računalniško omrežje	86
7.2.2 Standard za prenos govora	86
7.2.3 Kodirnik govornega signala	87
7.2.4 Protokolni sklad	88
7.2.5 Programska oprema	89
7.3 Simulacijski kriteriji	89
7.3.1 Zakasnitev	89
7.3.2 Izguba okvirov govora	91
7.3.3 Izbira osnovnega kriterija	91
7.4 Simulacijski parametri	93
7.5 Rezultati simulacij	94
7.5.1 Osnovni simulacijski parametri	94
7.5.2 Prenos velike količine podatkov	97
7.5.3 Prenos 10 in 30 ms odsekov govora v enem podatkovnem paketu	98
7.5.4 Prenos govora preko TCP protokola	101
7.5.5 Prenos nekodiranega govora	101
7.6 Ugotovitve	103
8 ZAKLJUČEK	105
9 LITERATURA	107
9.1 Knjige	107
9.2 Članki	107
9.3 Standardi	108

1 UVOD

Razvoj govornih komunikacij ima dolgo zgodovino z začetkom ob koncu prejšnjega stoletja. Burni začetni razvoj se je kmalu umiril in se počasi nadaljeval do prelomnice ob uvedbi digitalnega prenosa govora. V tistem času so se začeli bolj množično pojavljati tudi računalniki in s tem potreba po prenosu podatkov med njimi. Nastala so prva podatkovna omrežja. Telefonska in podatkovna omrežja so dolgo soobstojevala in se uporabljala le v namen, za katerega so bila načrtovana; prenos govora ali prenos podatkov.

Z množičnejšo uporabo računalnikov na domu in na delovnem mestu se je pojavila tudi večja potreba po prenosu podatkov med njimi. Ker podatkovna omrežja niso bila še dovolj razširjena, so za to nalogo uporabili kar telefonsko omrežje, preko katerega podatke prenašamo s pomočjo modemov. Podatkovna omrežja pa so se nezadržno širila in so danes dosegla že skoraj vsakega uporabnika računalnikov na domu ali na delovnem mestu.

Tipičen uporabnik na domu je povezan le v telefonsko omrežje, ki ga izmenično uporablja za govorne in podatkovne komunikacije, tipičen uporabnik na delovnem mestu pa je povezan v obe omrežji; v telefonsko za govorne komunikacije in v podatkovno za prenos podatkov. Za uporabnika na delovnem mestu to pomeni dvojno napeljavo in dvojne stroške vzdrževanja za obe omrežji. Zakaj torej ne bi imeli enega samega omrežja, ki bi bilo sposobno prenosa govora in podatkov hkrati? To si je sicer lažje zamisliti kot izvesti, kljub temu pa ni ostalo le pri idejah. Danes obstaja kar nekaj tehnologij, ki so tega zmožne in še ne tako dolgo nazaj se je zdelo, da bodo hitri in nesporni zmagovalci v boju med različnimi omrežnimi tehnologijami. Smele napovedi pa so se izkazale za preveč optimistične, saj je zamenjava omrežja draga in s seboj ne prinese le materialnih stroškov, ampak tudi stroške za izobraževanje njenih uporabnikov, vzdrževalcev in upravljavcev.

Zaradi počasnega uvajanja novih, primernejših omrežnih tehnologij in dobrega poznavanja obstoječih je prodrla ideja o prenosu govora preko podatkovnih omrežij (krajevna računalniška omrežja, Internet, Frame Relay), ki za to niso bila načrtovana, a so zaradi svoje razširjenosti zelo mikavna.

V tem delu z naslovom *Prenos govora preko podatkovnih omrežij* smo opisali najpomembnejša in najbolj razširjena podatkovna omrežja ter zanje skušali ugotoviti, ali so primerna za prenos govora v realnem času in če so, v kakšni meri in pod kakšnimi pogoji. Najbolj smo se posvetili krajevnim računalniškim omrežjem, ki navadno predstavljajo zadnji del prenosne poti in uporabnike povezujejo v podatkovna omrežja večjih obsegov. Še posebno pozornost smo namenili Ethernetu, ki je daleč najbolj razširjena tehnologija krajevnih računalniških omrežij. Zanj smo izvedli simulacije in poskušali ugotoviti, ali je to omrežje primerno za prenos govora v realnem času in pod kakšnimi pogoji.

2 OMREŽJA ZA PRENOS GOVORA

Razvoj govornih komunikacij se je začel ob koncu prejšnjega stoletja z izumom telefona. Ljudje so hitro spoznali prednosti sporazumevanja na daljavo, kar je botrovalo hitremu razvoju telefonije.

Na začetku so telefone prodajali v parih in uporabniki so morali sami potegniti žice med aparatoma. Če si se hotel pogovarjati z več ljudmi na različnih lokacijah, si moral do vsake potegniti ločeno žično povezavo. Ob hitrem naraščanju telefonov pa so mesta postala en sam velik splet žic, ki so se brez pravega reda prepletale med hišami.

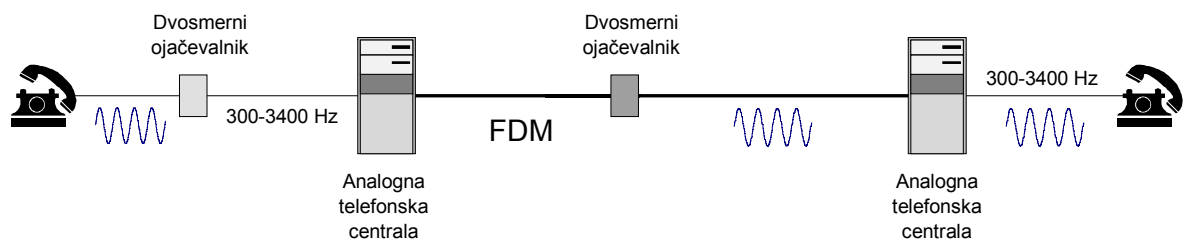
Kot rešitev tega problema so se zelo kmalu pojavili preklonni centri, iz katerih so tekle povezave do vsakega uporabnika. Pri vzpostavljanju zveze je posredoval telefonist, ki je ročno povezal klicanega in kličočega. Pri tem pa se je pojavil nov problem, ko se uporabniki, povezani na različne preklonne centre, niso mogli poklicati. Logična posledica tega dejstva je bilo povezovanje med preklonnimi centri, najprej v krajevnem okviru in kasneje tudi medkrajevno. S tem se je počasi izoblikovala hierarhična struktura povezav, ki v veliki meri velja še danes.

Sčasoma se je izoblikoval javni telefonski sistem kakršnega poznamo danes. Od preprostih ročnih central, ki so bile med seboj povezane na več ravneh, je šel razvoj v smeri avtomatizacije preklapljanja, povezovanja central in širjenja omrežja. Telefonsko omrežje je bilo sprva popolnoma analogno in zmožno zgolj prenosa govornega signala, za kar je bilo že od vsega začetka tudi načrtovano. Z razvojem digitalne tehnologije pa so se hitro pokazale prednosti digitalnega prenosa signalov. V telefonsko omrežje so ga začeli uvajati najprej na višjih hierarhičnih nivojih (med centralami) in kasneje vse bližje in bližje uporabniku, tako da telefonsko omrežje postaja popolnoma digitalno.

Poleg fiksnega telefonskega omrežja so se pojavila tudi mobilna omrežja za prenos govora, govorne storitve na podatkovnih omrežjih, kabelski operaterji razmišljajo o možnostih prenosa govornih storitev preko kabelskega omrežja. V naslednjih odstavkih so zato na kratko predstavljena obstoječa omrežja po katerih že ali še bodo potekale govorne komunikacije.

2.1 Analogno telefonsko omrežje

Analogna telefonska omrežja so popolnoma prilagojena prenosu govora in signal je na celotni poti med dvema uporabnika analogen. Zaradi lastnosti človeškega govora je lahko vsak govorni kanal v analognem omrežju omejen na frekvence med 300 in 3400 Hz (glej poglavje 3.1).

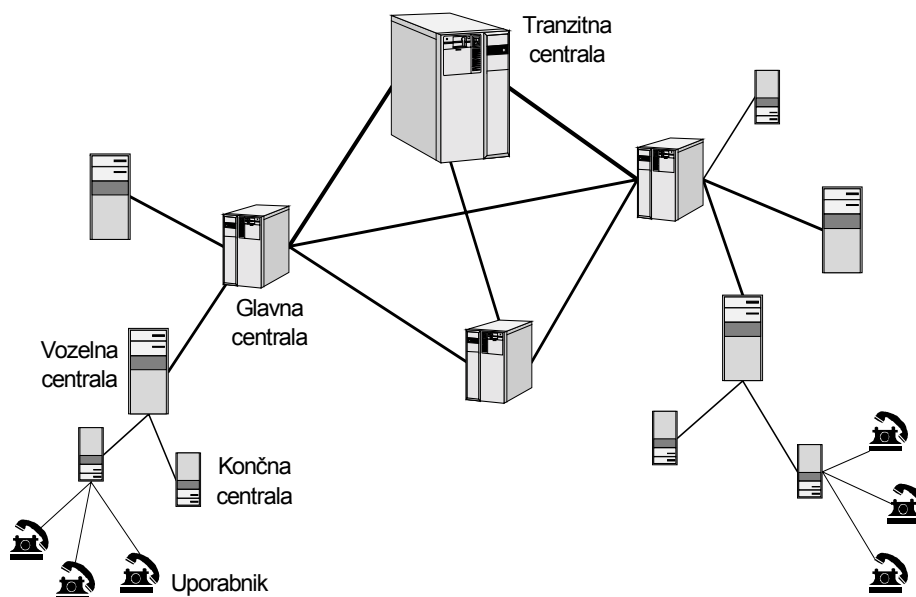


Sl. 2.1: Govorni kanal v analognem telefonskem omrežju

Na Sl. 2.1 je prikazan govorni kanal med uporabnikoma analognega telefonskega omrežja. Govorni signal se med uporabnikoma in telefonskima centralama, na kateri sta priključena, prenaša v osnovnem pasu (300-3400 Hz) in se po potrebi tudi ojačuje. Med centralami se govorni signal prenaša preko frekvenčnega multipleksa (FDM-Frequency Division Multiplex) pri čemer je vsakemu izmed njih dodeljen kanal s pasovno širino 4 kHz. Multipleksiran signal se na poti med

centralami ojačuje na vsakih nekaj kilometrov. V končni centrali se govorni signal demultipleksira, prestavi nazaj v osnovni pas in posreduje uporabniku.

Pravkar opisani primer komunikacije je seveda zelo poenostavljen. Govorni signal med dvema uporabnikoma ima ponavadi mnogo bolj zapleteno pot, kar je razvidno iz Sl. 2.2, ki ponazarja zgradbo analognega telefonskega omrežja. Centrale so urejene hierarhično, uporabniki pa so priključeni na končne centrale, ki njihove govorne signale frekvenčno multipleksirajo in posredujejo vozelni centrali. Ta jih potem posreduje glavni in slednja tranzitni centrali. Signal od tu potuje po hierarhiji navzdol do neke druge končne centrale, ki signal demultipleksira in pošlje uporabniku. Hierarhija povezav ni popolnoma toga, ampak so možne tudi prečne povezave med nižjimi hierarhičnimi nivoji, na primer med glavnimi centralami.



Sl. 2.2: Analogno telefonsko omrežje

Ker signal na celotni poti ostane analogen, morajo biti tudi vsa vezja na poti analogna. To pomeni, da so vsi ojačevalniki, multipleksorji, pasovna sita in drugo analogni in v koristni signal vnašajo mnogo aditivnega šuma. Prav slednja slaba lastnost analognih telefonskih omrežij je v veliki meri vzpodbudila uvajanje digitalnih komponent.

2.2 Kombinirano analogno-digitalno telefonsko omrežje

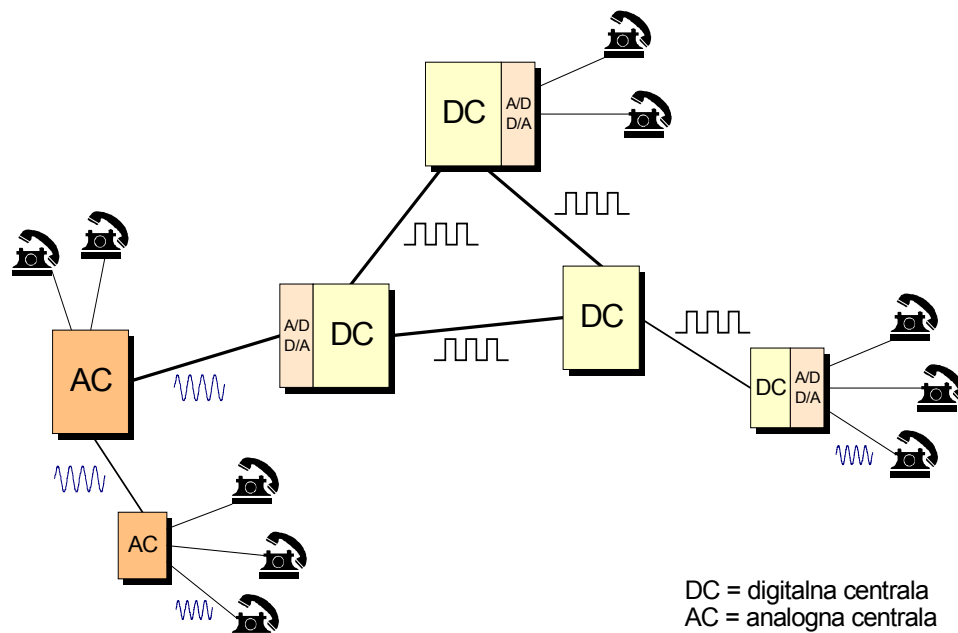
Ker ima digitalni prenos signalov mnogo prednosti pred analognim, so začeli v analogno telefonsko omrežje uvajati digitalne telefonske centrale. Pri tem so sledili dvema različnima smernicama: prva je bilo uvajanje digitalnih central po hierarhiji omrežja od zgoraj navzdol, druga pa digitalizacija celotnih delov omrežja (na primer na območju ene glavne centrale).

Primer kombiniranega analogno-digitalnega telefonskega omrežja je prikazan na Sl. 2.3 pri čemer so uporabniki lahko priključeni tako na analogno kot na digitalno telefonsko centralo. Zadnji del povezave med centralo in uporabnikom je praviloma še vedno analogen, kar pomeni, da je govorni signal na tem delu analogen in se digitalizira na prvi digitalni centrali na svoji poti.

Primer govornega kanala v kombiniranem omrežju je prikazan na Sl. 2.4. Prenos govornega signala se na poti od uporabnika priključenega na analogno telefonsko centralo, do prve digitalne centrale, ne razlikuje od tistega v popolnoma analognem omrežju (analogni prenos, 3100 Hz pasovne širine, frekvenčni multipleks govornih kanalov).

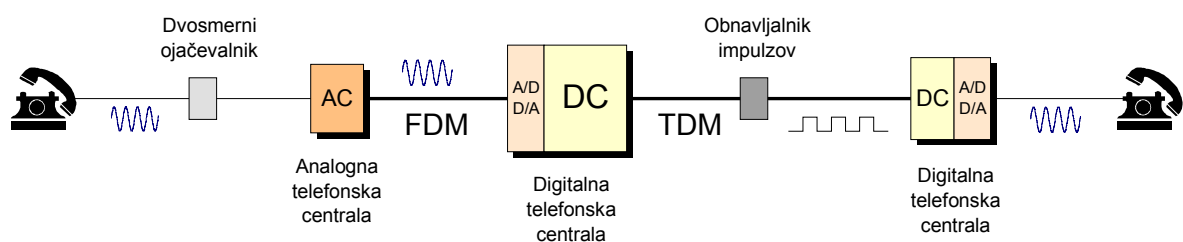
Na digitalni centrali se analogni signal izloči iz frekvenčnega multipleksa, pretvori v digitalnega in v časovnem multipleksu (TDM-Time Division Multiplex) pošlje naslednji digitalni centrali.

Zadnja digitalna centrala na poti iz časovnega multipleksa izloči pravi govorni signal, ga pretvori nazaj v analognega in posreduje uporabniku.



Sl. 2.3: Kombinirano analogno-digitalno telefonsko omrežje

Uvedba digitalnih central v analognu telefonsko omrežje je za uporabnika neopazna (transparentna), vendar v večini primerov močno izboljša kvaliteto prenosa govornega signala. Zaradi lastnosti digitalnega prenosa signal na digitaliziranem delu poti namreč ne izgublja na kakovosti. To pa ne velja za analogni del poti, kjer se signalu prišteva šum, ki ga ne moremo popolnoma izločiti in niža njegovo kakovost.

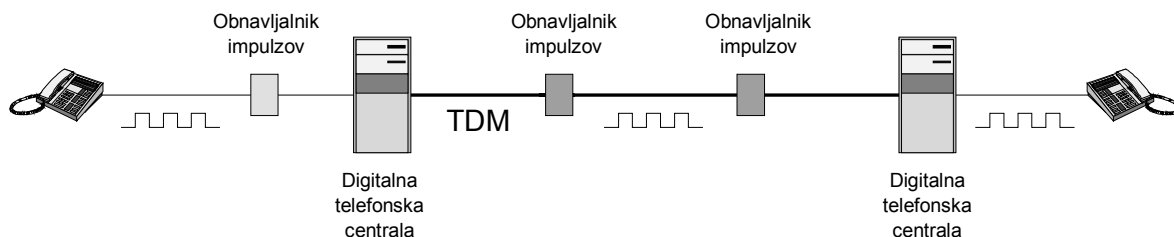


Sl. 2.4: Govorni kanal v kombiniranem telefonskem omrežju

2.3 Digitalno telefonsko omrežje

Pri digitalnem telefonskem omrežju nimamo več analognega prenosa in govorni signal ostaja digitalen na celotni poti; govor se namreč digitalizira že pri uporabniku samem (v telefonskem aparatu, računalniku, itd). Primer takega omrežja je ISDN (Integrated Services Digital Network), ki se vedno bolj uveljavlja, vendar pri govornih komunikacijah še nekaj časa ne bo izpodrinil kombiniranega analogno-digitalnega telefonskega omrežja, ki je danes najbolj razširjeno.

Na Sl. 2.5 je prikazan govorni kanal v digitalnem telefonskem omrežju v katerem morajo biti vse centrale digitalne in signal na celotni poti ostaja digitalen. Namesto ojačevalnikov signala imamo na segmentih povezav, daljših od nekaj kilometrov, obnavljalnike impulzov (regeneratorje digitalnega signala), ki verno obnavljajo digitalni signal. Govorni kanali so med centralami časovno multipleksirani.



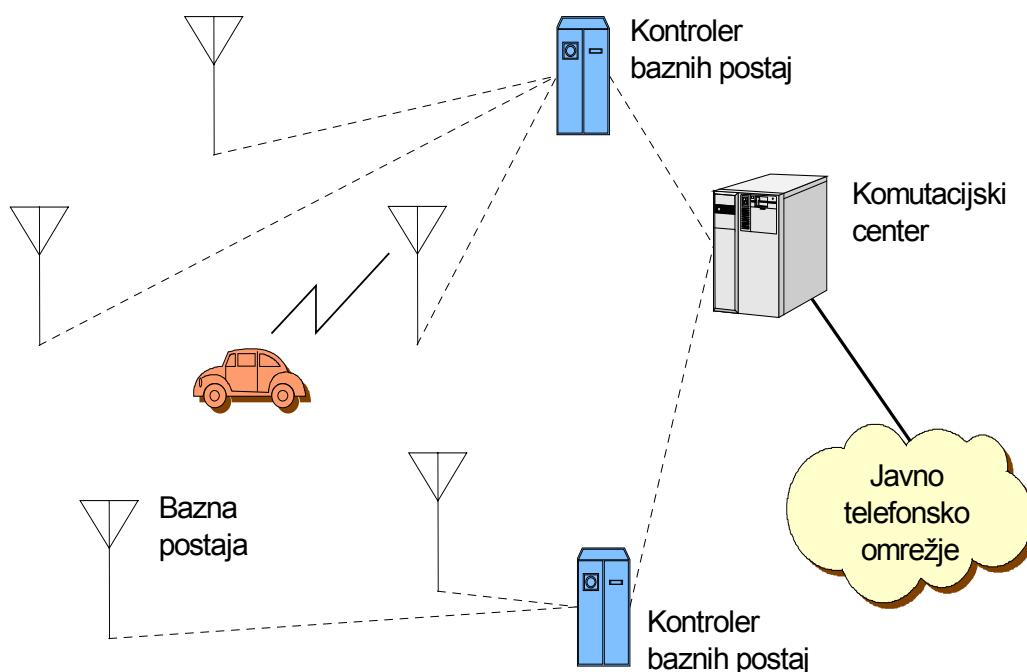
Sl. 2.5: Govorni kanal v digitalnem telefonskem omrežju

Digitalno telefonsko omrežje zagotavlja visoko kakovost govornih komunikacij in omogoča tudi mnoge druge storitve, kot je prenos podatkov, o katerih pa ne bomo podrobneje govorili.

2.4 Mobilna omrežja

Naštetim telefonskim omrežjem so v določenem smislu še najbolj podobna mobilna omrežja. Tudi ta so bila prvenstveno načrtovana za prenos govora in so si druge storitve utrle svojo pot nanje šele v zadnjih letih.

Tudi mobilna omrežja lahko glede na način prenosa govornega signala ločimo na analogna in digitalna. Obstaja kar nekaj sistemov mobilnih omrežij, ki so med seboj večinoma nezdružljiva. Obravnava teh omrežij pa ni tema tega dela in bodo zato predstavljena le zelo na kratko zaradi zmožnosti prenašanja govornih signalov.



Sl. 2.6: Mobilno omrežje

Na Sl. 2.6 je prikazana načelna arhitektura mobilnih omrežij, ki so sestavljena iz baznih postaj, kontrolerjev baznih postaj in preklopnih centrov. Bazne postaje sprejemajo uporabnikov signal in ga posredujejo kontrolerju, ki ga pošlje preklopnemu centru. Ta ga lahko preko javnega telefonskega omrežja ali samega mobilnega omrežja posreduje uporabniku na drugi strani zveze.

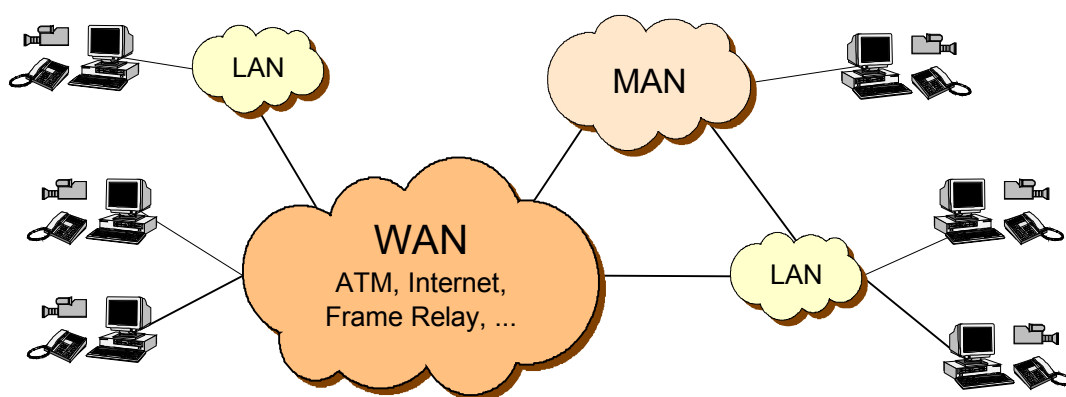
V načine prenosa govornega signala se ne bomo podrobneje spuščali, saj obstaja kar nekaj različnih sistemov mobilnih omrežij, delovanje le teh pa je v resnici mnogo bolj zapleteno od delovanja ravnokar opisane načelne arhitekture mobilnega omrežja.

2.5 Podatkovna omrežja

Od vseh omenjenih omrežij so v zadnjem času prav podatkovna doživela najburnejši razvoj. Iz preprostih medračunalniških povezav s hitrostmi prenosa nekaj kbit/s so se razvila v svetovna omrežja s hitrostmi prenosa do nekaj sto Mbit/s in obljubami o skorajšnjih hitrostih več Gbit/s.

Ponudba mrežnih tehnologij je izredno pestra. Razvrstimo jih lahko po več kriterijih: po razsežnosti, načinu prenosa, lastništvu, itd. Znotraj posameznih skupin ponavadi obstaja več standardov, ki vse skupaj še bolj zapletejo. Kljub tej pestrosti in poplavi raznih standardov pa lahko podatkovna omrežja med seboj dokaj dobro povezujemo. Na Sl. 2.7 je prikazana načelna struktura podatkovnega omrežja razvrščenega po razsežnosti kjer imamo: krajevna omrežja (LAN-Local Area Network), mestna omrežja (MAN-Metropolitan Area Network) in omrežja velikega dosega (WAN-Wide Area Network). Ta (pod)omrežja med seboj povezujemo in nanje priključujemo enote za prenos podatkov.

Kot pove že samo ime, so podatkovna omrežja načrtovana in namenjena predvsem za podatkovne komunikacije. Kaj pa govor? Do nedavnega ni bilo kaj dosti razmišljanj o tej možnosti zaradi več razlogov: stroga ločitev na podatkovna in telefonska omrežja, slaba razvitost in premajhna razvejanost podatkovnih omrežij za množično uporabo, neprimernost podatkovnih omrežij za prenos govora in drugo.

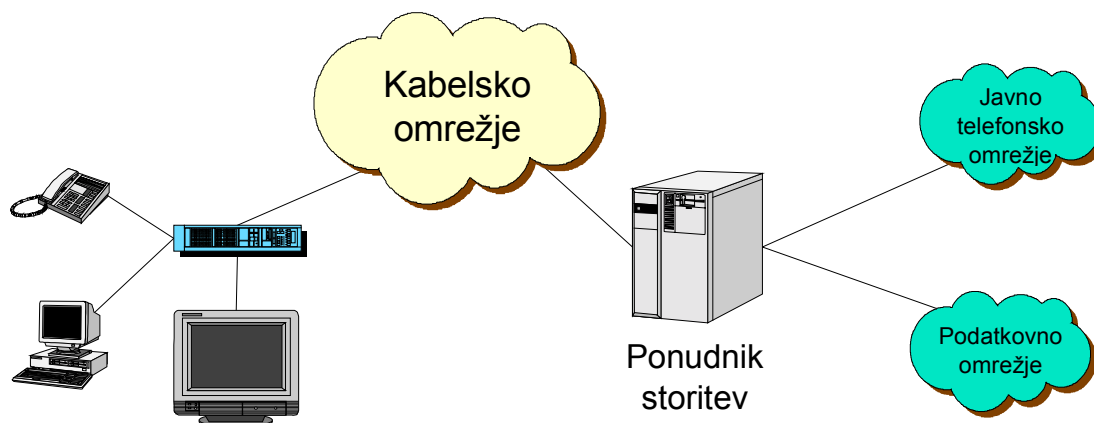


Sl. 2.7: Podatkovno omrežje

S porajanjem novih tehnologij in zahtev uporabnikov pa postajajo storitve, ki zahtevajo prenos v realnem času (tak je tudi govor), vsakdanjost. Proizvajalci opreme, organizacije za standardizacijo in ponudniki storitev hitijo z iskanjem najboljše, najcenejše ali najhitreje rešitve. Prvi rezultati so že tu: omrežja, ki omogočajo prenos podatkov v realnem času (ATM), internetni telefon, govor preko tehnologije Frame Relay, itd. Vizija stapljanja telefonskega in podatkovnih omrežij je vse bližje uresničitvi, kako daleč smo prišli na področju govora pa bo predstavljeno v naslednjih poglavjih.

2.6 Kabelska omrežja

Na kabelska omrežja še do pred nekaj leti nihče ni resno računal, čemur pa danes ni več tako. Zaradi svoje velike prenosne kapacitete in razširjenosti se kar sama ponujajo za nosilca širokopasovnih komunikacij, ki zahtevajo prenos v realnem času, kot so: video na zahtevo, televizija visoke ločljivosti in drugo. Govor sicer sam po sebi ni širokopasovna storitev, je pa v večini primerov njihov sestavni del in seveda zahteva prenos v realnem času. Ker pa sam ne zahteva velikih prenosnih hitrosti ga zlahka in skoraj zastoj priključimo širokopasovnim storitvam.



Sl. 2.8: Povezovanje kabelskega omrežja

Na Sl. 2.8 so prikazane možnosti povezovanja kabelskih s telefonskimi in podatkovnimi omrežji. Ponudnik storitev povezan v vsa našeta omrežja lahko storitve telefonskih in podatkovnih posreduje uporabnikom na kabelskem omrežju. Ti tako potrebujejo le en fizični priključek, preko katerega lahko uporabljajo govorne storitve telefonskega omrežja, prenašajo podatke preko podatkovnih omrežij in seveda spremljajo televizijski program kabelskega omrežja.

Standardi s področja integriranih storitev na kabelskih omrežjih so na žalost še v povojih in razširjenih komercialno uspešnih rešitev še ni. Vsekakor pa bi bile govorne komunikacije preko kabelskega omrežja za končnega uporabnika nadvse zanimiva in dobrodošla rešitev, vsaj do prodora kakšne primernejše tehnologije.

3 LASTNOSTI IN OBDELAVA GOVORA

Na področju obdelave govora, njegove analize in sinteze ter razpoznavanja je bilo narejenih že ogromno raziskav in napisanih mnogo knjig in člankov. Namen tega poglavja je predstaviti glavne značilnosti in lastnosti človeškega govora, njegovo tvorbo in zaznavanje, kompresijske postopke, njegove zahteve do prenosnega omrežja in drugo.

3.1 Glavne značilnosti govornega signala

Govor se tvori v vokalnem traktu, ki ga sestavljajo: pljuča, glasilke, žrelo, ustna in nosna votlina, jezik, mehko nebo ter ustna in nosna odprtina. Zračni tok iz pljuč povzroči tresenje glasilk, ki ustvarijo akustično nihanje. Le to se v preostalih delih vokalnega trakta oblikuje in ojačuje ter izhaja skozi ustno in nosno odprtino kot govor.

3.1.1 Frekvenčni obseg

V skrajnih mejah obsega človeški govor frekvence med 80 Hz in 12 kHz, tipično pa le med 100 do 200 Hz na spodnji meji in 7 do 8 kHz na zgornji meji. Moški imajo v povprečju nižje glasove s spodnjo frekvenčno mejo 80 do 120 Hz, ženske pa višje s spodnjo mejo med 120 in 250 Hz.

Seveda pa v govoru niso zastopane vse frekvence enakomerno. Glavnina govorne moči leži v frekvenčnem območju med 200 in 500 Hz in z višanjem frekvence gostota te moči hitro upada. Nad frekvenco okoli 4 kHz je je le še malo in ne prispeva bistveno k razumljivosti govora.

Ta dejstva s pridom izkoriščamo pri telefonskih omrežjih, kjer prenašamo le frekvenčni pas med 300 in 3400 Hz. Ravno tako pomembna pa so pri postopkih kompresije govornega signala, ko iz njega izločamo manj pomembne informacije in frekvence.

3.1.2 Dinamika

Pod dinamiko govornega signala razumemo spreminjanje govorne moči s časom; definiramo jo kot razmerje med spodnjo in zgornjo mejo nivojev govornega signala. Pri ljudeh je na celotnem frekvenčnem območju govora to razmerje okoli 60 dB. Če govorni signal omejimo na ožji frekvenčni pas, recimo med 300 in 3400 Hz, dinamika pade na vrednost okoli 40 dB; pri še večji skrajitvi frekvenčnega pasu pa na še manjšo vrednost.

3.1.3 Aktivnost

V govornem signalu obstajajo odseki, kjer govorna moč pade skoraj na nič. To so obdobja tišine, v katerih govorec ne proizvaja govorne moči. Za pogovor med dvema osebama obdobja tišine enega govornika predstavljajo okoli 60 do 65% trajanja pogovora.

To lastnost govora s pridom izrabljamo pri prenosu govornega signala, ko v obdobjih tišine ne prenašamo ničesar ali le občasno pošljemo vzorec šuma ozadja. S tem lahko podaljšamo trajanje baterije in zmanjšamo povprečni pretok podatkov skozi prenosno omrežje.

3.2 Zaznavanje govora

Človeško uho lahko zazna akustična nihanja v frekvenčnem območju med 20 Hz in 20 kHz, kar je več kot zadosti za sprejemanje govornega signala, ki zaseda precej ožji frekvenčni pas, kot je opisano v 3.1.1.

3.2.1 Potrebna frekvenčna vsebina za razumevanje

Čeprav je uho sposobno sprejemati celoten frekvenčni obseg govornega signala se pojavi vprašanje, če je to sploh potrebno. Odgovor nanj je že dolgo poznan in se s pridom izkorišča v telefonskih omrežjih, ki prenašajo govorni signal omejen na frekvence med 300 in 3400 Hz. Z izločitvijo najnižjih in najvišjih frekvenc govora zanemarljivo zmanjšamo njegovo razumljivost, bolj pa se zmanjša občutek naravnosti in težja je prepoznavna sogovorca¹. Kaj iz govora lahko izločimo in kaj ne, je podrobneje opisano pri postopkih kompresije govornega signala (glej poglavje 3.4).

3.2.2 Vpliv zakasnitev

Pri enosmerni komunikaciji, ko ena oseba govori druga pa samo posluša, je zakasnitev govornega signala skoraj nepomembna. Težave nastopijo, ko komunikacija postane dvosmerna. Pri določeni vrednosti zakasnitev postane moteča v smislu nesporazumov med govorcema, ko, na primer, začneta govoriti oba hkrati ali pa čakata eden drugega za nadaljevanje prekinjenega pogovora.

Pri veliki večini telefonskih zvez preko telefonskega omrežja je zakasnitev zanemarljiva (nekaj 10 ms) in so take težave bolj teoretične narave; opazna pa je pri satelitskih zvezah, kjer signal v eno smer kasni že okoli 250 ms. To pa ni več zanemarljivo in je za nevajenega govorca moteče.

3.2.3 Vpliv odboja

Večje težave kot zakasnitev prinaša odboj govornega signala na prenosni poti, še posebej, če nastopa v kombinaciji z njo. Vzrokov za odboj je več, najpomembnejša sta odboj pri prehodu iz dveh na štiri žice pri viličnem ojačevalniku in odboj v prostoru. Prvi nastaja zaradi neprilagojenih linijskih impedanc, ko se del signala odbije še preden pride do telefonskega aparata. Drugi pa nastaja v prostoru, ko signal iz zvočnika najde pot do mikrofona² in se tako vrne k izvoru. Za govorca odboj sam po sebi ni nezaželen³, ko pa nastopa z večjo zakasnitvijo, postane skrajno neprijeten in moteč.

Odboj je še posebej kritičen pri digitalnem prenosu, zato se proti njemu borimo z zmanjševalniki (Echo Suppressor) in izničevalniki odboja (Echo Canceller). Velikosti zakasnitev, pri katerih nas začne odbiti signal motiti, so subjektivne narave in določene s subjektivnimi meritvami. V strokovni literaturi najdemo različne vrednosti pri katerih naj bi na prenosni poti uporabili zmanjševalnike ali izločevalnike odboja.

Mednarodna priporočila navajajo vrednosti po katerih naj bi pri zakasnitvi nad 25 ms uporabili postopke nadzora odbojev na prenosni poti (zmanjševalnike in izločevalnike odboja). Zakasnitve nad 400 ms pa naj pri prenosu ne bi nastopale saj je takrat komunikacija zaradi vzrokov, navedenih v poglavju 3.2.2, močno otežkočena že zaradi zakasnitve same.

3.3 Digitalizacija govornega signala

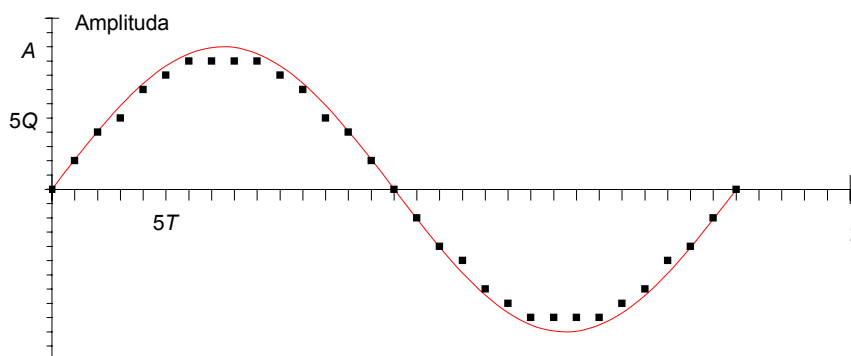
Če želimo nek analogen (časovno in amplitudno zvezni) signal prenašati v digitalni obliki, ga moramo najprej digitalizirati. To pomeni, da ga diskretiziramo po času in amplitudi ter zapišemo v digitalni obliki. Prvi postopek imenujemo vzorčenje, drugega pa kvantizacija. Primer digitalizacije analognega signala prikazuje Sl. 3.1. Polna črta predstavlja osnovni analogni signal, točke pa isti signal vzorčen in kvantiziran. Pri govornem signalu moramo na koncu izvesti še pretvorbo iz

¹ To še posebej velja za ženske, pri katerih na splošno v govornem signalu nastopajo višje frekvence in jih izločitev le teh bolj prizadene.

² Najpogosteje pri sistemih brez slušalke, ko zvočnik in mikrofona stojita prosto v prostoru.

³ V bistvu je pri pogovoru s slušalko povratna informacija celo zaželena in se govorcu njegov signal posreduje neposredno v njegovo slušalko saj tudi pri prostem pogovoru slišimo sebe.

digitalnega v analogni signal, ki ga lahko potem preko zvočnika tudi slišimo. Postopki in kriteriji analogno digitalne in digitalno analogne pretvorbe bodo zelo na kratko predstavljeni v naslednjih odstavkih.



Sl. 3.1: Primer digitalizacije analognega signala

Pri vzorčenju analognega signala moramo paziti na Shannonov teorem o vzorčenju, ki pravi, da mora biti vzorčna frekvenca f_{vz} vsaj dvakrat višja od najvišje frekvence vsebovane v signalu. V tem primeru bomo pri prehodu iz diskretnega nazaj v zvezni prostor verno reproducirali osnovni analogni signal, v nasprotnem primeru pa ne. Vzorčna frekvenca je povezana z intervalom vzorčenja T preko enačbe (1).

$$f_{vz} = \frac{1}{T} \quad (1)$$

Shannonov kriterij največkrat dosežemo tako, da pri stalni vzorčni frekvenci ustrezno priredimo vhodni signal tako, da ga frekvenčno omejimo vsaj na polovično frekvenco vzorčenja.

Z vzorčenjem smo dobili vzorce signala zveznih amplitud, ki jih kvantiziramo tako, da vsakemu izmed njih priredimo enega izmed diskretnih kvantizacijskih nivojev, ki so med seboj ločeni za kvantizacijski korak Q . Ta korak je odvisen od števila kvantizacijskih nivojev N in maksimalne amplitude signala A ter se pri linearni kvantizaciji izračuna po enačbi (2).

$$Q = \frac{2A}{N} \quad (2)$$

Število nivojev N je neposredno odvisno od števila bitov n , s katerimi zapišemo vsak vzorec; povezana sta preko enačbe $N=2^n$. Vrednost n pa je odvisno od aplikacije, za katero se signal digitalizira.

Po izvedeni kvantizaciji seveda izgubimo določeno mero informacije o osnovnem signalu, tako da ga ne moremo več popolnoma verno rekonstruirati. Z dovolj velikim številom kvantizacijskih nivojev pa lahko to odstopanje naredimo poljubno majhno.

3.3.1 Primer digitalizacije govornega signala v telefonskem omrežju

Primer digitalizacije govornega signala je prikazan na digitalnem telefonskem omrežju. Govorni signal se vzorči na vsakih $T=125 \mu s$, kar nam da frekvenco vzorčenja $f_{vz}=8000$ Hz. Po Shannonovem kriteriju to zadostuje za verno reprodukcijo signalov, ki vsebujejo frekvence do 4000 Hz. Frekvenčno omejenost govornega signala dosežemo z nizkim sitom, ki odreže vse frekvence nad to mejo.

Dobljene vzorce kvantiziramo z 12 biti in logaritemsko zapišemo z 8 kar nam da bitni pretok govornega signala 64 kbit/s (8000 vzorcev/s x 8 bitov/vzorec), ki ga prenašamo preko impulzno kodne modulacije (PCM-Pulse Code Modulation).

Opisani primer je le eden izmed mnogih postopkov kodiranja govornega signala. Poleg njega jih obstaja še cela vrsta z drugačnimi parametri in drugačnimi pristopi. Na kratko jih bomo spoznali v nadaljevanju.

3.4 Postopki kodiranja in kompresije signalov

Za prenos govora v digitalni obliki moramo govor najprej z enim od kodirnih postopkov pretvoriti v primerno obliko. Osnovni pojmi digitalizacije signala so bili predstavljeni v 3.3, na tem mestu pa bodo podana temeljna načela in pojmi izvirnega kodiranja signala.

3.4.1 Izvorno kodiranje signalov

Izvorno kodiranje je kodiranje izvirne informacije, ki je lahko govor, slika, zvok ali kaj drugega. Vsebovati mora proces formatiranja (digitalizacija), s katerim signalu določimo parametre kot sta vzorčna frekvenca in število bitov na vzorec. Pri tem moramo paziti na ohranjanje informacijske vsebine, ki jo želimo imeti kasneje. Tabela 1 vsebuje nekaj primerov formatiranja signalov z ohranjanjem želene vsebine.

Pri kodiranju izvora težimo tudi k čimvečji redukciji pretoka informacij z izločanjem čimveč redundance in irelevance iz signala.

Aplikacija	Informacijska vsebina (f_{zg})	Vzorčna frekvenca (f_{vz})	Število bitov (n)
Govor (telefon)	3400 Hz	8 kHz	12
AM audio	7000 Hz	16 kHz	14
FM audio	15 kHz	32 kHz	14
CD audio	20 kHz	44.1-48 kHz	16-20

Tabela 1: Formatiranje signalov z ohranjanjem želene informacijske vsebine

3.4.1.1 Redundanca

Redundanca je odvečna (ponovljena) informacija, ki nastopa v izvirnem signalu. Njeno izločevanje je reverzibilno, kar pomeni, da jo lahko pri dekodiranju vrnemo v izhodni signal. Nastopa, na primer, zaradi korelacije ali neoptimalnega kodiranja.

3.4.1.2 Irelevanca

Irelevanca je nepomembni del signala, ki pa ga izločimo ireverzibilno. To pomeni, da ga pri dekodiranju ni mogoče vrniti. Irelevanco določa uporabnik za razliko od redundance, ki je lastnost signala. Za uporabnika je lahko irelevanten frekvenčni pas, ki ni nujno potreben za razumevanje govora, izvenslišno področje pri glasbi in drugo.

3.4.2 Temeljna načela redukcije pretoka informacij

Pri zmanjševanju pretoka informacij na prenosni poti poznamo tri osnovna načela kodiranja:

- Kodiranje signalnih oblik
- Analiza in sinteza
- Mešano načelo

3.4.2.1 Kodiranje signalnih oblik

Pri kodiranju signalnih oblik (waveform coding) nas izvor informacije ne zanima in signal kodiramo neposredno z upoštevanjem njegovih časovno-frekvenčnih karakteristik. Signalu odstranimo redundanco in ostanek pošljemo na sprejemno stran.

Signala se lahko lotimo v časovnem prostoru s kvantiziranjem in kodiranjem vsakega vzorca posebej, tako kot si sledijo. Tipični predstavniki te vrste kodirnikov govora so PCM, DPCM (Differential PCM), APCM (Adaptive PCM), ADPCM (Adaptive DPCM) in drugi.

Drugi način pa je, da signal razdelimo na frekvenčne podpasove in potem kodiramo vsakega posebej (ponavadi z različnimi parametri). Pri tem lahko kodiramo ustrezni časovni signal vsakega frekvenčnega podpasu v časovnem prostoru ali pa kodiramo vzorce spektra vsakega frekvenčnega podpasu. V to skupino kodirnikov spadajo banke filtrov (Filter Bank), podpasovno kodiranje (Subband Coding), adaptivno transformno kodiranje (Adaptive Transform Coding) in drugi.

3.4.2.2 Analiza in sinteza

Pri analizi in sintezi (vocoder) moramo poznati izvor informacije in model njenega nastanka. Pri govoru je to model organov govora ali vokalnega trakta. Izvorni signal s tem lahko analiziramo in predstavimo z nizom parametrov modela. S tem dosežemo mnogo manjše informacijske pretoke kot pri kodiranju signalnih oblik, zato pa je postopek kodiranja mnogo bolj zapleten in časovno potraten.

Na izvoru analiziran in z nizom parametrov modela predstavljen signal zakodiramo in pošljemo sprejemniku. Ta sprejme parametre in jih na enakem modelu uporabi za sintezo izhodnega signala, ki je boljši ali slabši približek izvirnega. V večini primerov velja, da je analiza mnogo bolj zapletena od sinteze, saj moramo pri njej uporabiti zapletene in časovno potratne matematične postopke, pri sintezi pa uporabimo že izračunane parametre.

Tipični predstavniki tega načela so Kepstralni vokoder (Cepstral Vocoder), Formantni vokoder (Formant Vocoder) in drugi.

3.4.2.3 Mešano načelo

Pri mešanem načelu želimo čimveč informacije sintetizirati preko parametrov modela, vendar pa poleg njih prenašamo tudi nekatere potrebne osnovne podatke. Po pretoku informacij so nekje med vokoderji in kodirniki signalnih oblik, saj so nek kompromis med njimi. Predstavniki te družine kodirnikov so: CELP, RELP, MLPC in drugi.

3.5 Standardi za kodiranje govora

Danes obstaja mnogo standardnih in nestandardnih postopkov za kompresijo govora, ki temeljijo na vseh treh načelih iz poglavja 3.4.2 in bodo zato tu omenjeni le najnovejši in najbolj pogosto uporabljeni standardizirani kodirniki.

V zadnjih letih je na tem področju najbolj dejavna ITU (International Telecommunication Union), ki je izdala kar nekaj priporočil za kompresijo govora na različnih področjih komunikacij in za različne aplikacije. Poleg teh pa so pomembni tudi standardi s področja mobilnih komunikacij in standardi ameriškega ministrstva za obrambo.

Kodirnike govornega signala lahko opišemo s štirimi parametri, od katerih so prvi trije objektivni, četrti pa subjektivni:

- Bitna hitrost
- Zakasnitev
- Kompleksnost
- Kakovost

3.5.1 Bitna hitrost

Večina kodirnikov ima nespremenljivo bitno hitrost⁴, nekaj pa je tudi takšnih, ki dovoljujejo spreminjanje bitne hitrosti glede na trenutno stanje in potrebe. Ponavadi je to le nekaj točno določenih hitrosti, med katerimi kodirniki preklaplajo po potrebi.

Za nekatere aplikacije je prav bitna hitrost najpomembnejši parameter in zato imajo kodirniki, ki jih le te uporabljajo, zelo nizke hitrosti, tja do 2.4 kbit/s. Seveda pri takih hitrostih zelo trpijo ostali parametri, predvsem kakovost govora, uporabni so predvsem pri komunikacijah, kjer je zanesljivost pomembnejša od kakovosti (vojska) ali pa hitrejših prenosnih poti ni na voljo. Z višanjem bitne hitrosti pa se kakovost hitro popravi.

Tabela 2 prikazuje parametre nekaterih standardiziranih kodirnikov govora. Bitne hitrosti so najvišje pri kodirnikih signalnih oblik, najnižje pri vokoderjih, kodirniki temelječi na mešanem načelu pa so nekje vmes.

3.5.2 Zakasnitev

Zakasnitev je odvisna od več dejavnikov. Prvi je vsekakor dolžina časovnega okvira, ki ga zahteva kodirnikov algoritem. Tu imajo veliko prednost kodirniki signalnih oblik, ki vsak vzorec signala zakodirajo sproti, medtem ko ostali izvajajo kodiranje nad daljšim časovnim okvirom govornega signala.

Drugi dejavnik je predvpogled, ki je potreben pri nekaterih algoritmihi. Tabela 2 navaja prva dva dejavnika, medtem ko je tretji, algoritemski zakasnitev, odvisen od kompleksnosti in izvedbe kodirnika ter nastane zaradi izračuna potrebnih parametrov za kompresijo.

3.5.3 Kompleksnost

Kompleksnost je tesno povezana z bitno hitrostjo; velja, da manjša ko je bitna hitrost, večja je kompleksnost kodirnika. Velja pa tudi, da večja ko je kompleksnost kodirnika, večja bo zakasnitev. Kompleksnost je odvisna predvsem od kodirnega algoritma in izvedbe samega kodirnika.

Standard	Oznaka	Bitna hitrost	Dolžina okvira	Pred-vpogled	MOS	Sprejet
ITU Priporočila						
G.711	PCM	64 kb/s	125 μ s	0	4.3	1972
G.726	ADPCM	16, 24, 32, 40 kb/s	125 μ s	0	4.1	1990
G.722	Širokopasovni kodirnik	48, 56, 64 kb/s	125 μ s	1.5 ms	3.8-4.2	1988
G.728	LD-CELP	16 kb/s	625 μ s	0	4.0	1994
G.729	CS-ACELP	8 kb/s	10 ms	5 ms	4.0	1995
G.723.1	MPC-MLQ	5.3 & 6.4 kb/s	30 ms	7.5 ms	3.5	1995
Mobilne komunikacije						
GSM	RPE-LPT	13 kb/s	20 ms	0	3.6	1987
IS-54	VSELP	7.95 kb/s	20 ms	5 ms	3.6	1990
IS-96	QCELP	8.5, 4, 2, 0.8 kb/s	20 ms	5 ms	3.5	1993
PDC	PSI-CELP	3.45 kb/s	40 ms	10 ms	?	1993
Ameriški vojaški standardi						
FS-1015	LPC-10E	2.4 kb/s	22.5 ms	90 ms	2.5	1984
FS-1016	CELP	4.8 kb/s	30 ms	7.5 ms	3.0	1991
MELP	MELP	2.4 kb/s	22.5 ms	23 ms	3.1	1997

Tabela 2: Parametri nekaterih standardiziranih kodirnikov govora

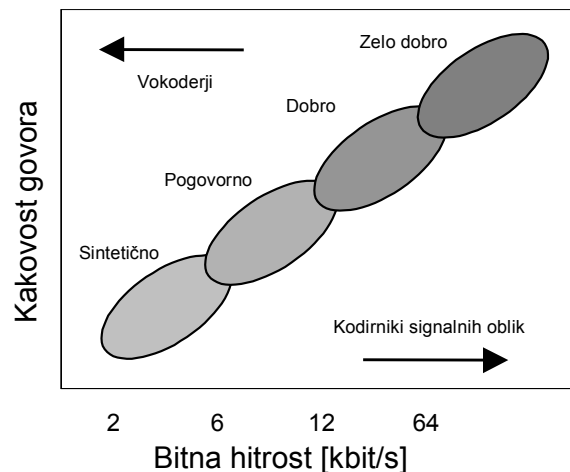
⁴ Če tak kodirnik kombiniramo z detektorjem govora, dobimo dvostanjski sistem s spremenljivo bitno hitrostjo, ki se spreminja med dvema vrednostima, od katerih je nižja ponavadi kar nič.

3.5.4 Kakovost

Zadnji, in za nekatere najpomembnejši parameter je kakovost kodiranega govora, ki je povsem subjektivna mera, saj o njej odloča nekaj testnih poslušalcev, ki jim predvajajo kodiran govor. Zopet veljajo podobne povezave z drugimi parametri. Na primer, pri večji bitni hitrosti lahko pričakujemo boljšo kakovost in obratno. Tabela 2 navaja nekaj vrednosti za MOS (Mean Opinion Score) za nekatere od kodirnikov (več o tem parametru v 3.6). Vidimo, da so vsi parametri kodirnikov govornega signala tesno povezani med seboj in se moramo za izbiro enega izmed njih odločati na osnovi aplikacij v katerih jih bomo uporabili.

3.6 Zaznavanje in kakovost kodiranega govora

Govor je zelo specifičen signal, ki ga vsak človek zaznava po svoje, torej subjektivno. Prav zato je težko določiti ali izmeriti kakovost kodiranega govora. Večina postopkov temelji na povprečni subjektivni oceni večjega števila poslušalcev, za določene kodirne postopke pa lahko naredimo celo nekaj objektivnih meritev. Zelo na grobo bi lahko predstavili kakovost kodiranega govora napram njegovi bitni hitrosti s pomočjo grafa na Sl. 3.2.



Sl. 3.2: Kakovost govora v odvisnosti od bitne hitrosti

3.6.1 Subjektivne ocene kakovosti

Pri subjektivnem ocenjevanju sta glavni postavki naravnost in razumljivost kodiranega govora. Obe se ocenjujeta s pomočjo skupine poslušalcev, ki h predvajanim delom kodiranega govora podajo svoje ocene ali jih ponavljajo, da se s tem ugotovi stopnja razumljivosti.

Opisna ocena	Poslabšanje kakovosti	Vrednost
Odlično	Neopazno	5
Dobro	Opazno, a nemoteče	4
Primerno	Rahlo moteče	3
Slabo	Moteče	2
Nesprejemljivo	Zelo moteče	1

Tabela 3: MOS ocenjevalna lestvica

Pri različnih kodirnih postopkih je lahko v ospredju različna postavka. Pri postopkih z zelo nizko bitno hitrostjo bo glavni poudarek na razumljivosti govora, naravnost pa bo bolj postranskega

pomena. Ravno obratno je pri postopkih z višjo bitno hitrostjo, kjer je razumljivost samoumevna in bo poudarek na čimvečji naravnosti. Poglejmo, kako pridemo do obeh ocen.

3.6.1.1 Ocena naravnosti

Najpogostejši metodi za ocenjevanje naravnosti sta povprečna ocena kakovosti in primerjalna ocena parov kodiranih govornih vzorcev. MOS je kratica za povprečno oceno kakovosti in temelji na opisni ocenjevalni lestvici, ki se prevede v ocene od 1 do 5, prikazuje jo Tabela 3. Poslušalcem predvajajo vzorce kodiranega govora in odločiti se morajo za oceno vsakega izmed njih posebej. Iz povprečja ocen potem izračunajo vrednost MOS.

Druga metoda je primerjalna in pri njej poslušalcem predvajajo pare vzorcev. Odločiti se morajo kateri izmed njih je boljši in za koliko. Ena od primerjalnih metod je CMOS (Comparison Mean Opinion Score), po kateri poslušalci ocenjujejo kakovost drugega vzorca napram prvemu. Tabela 4 prikazuje opisno in vrednostno lestvico te metode.

Prednost prve metode je, da pri njej dobimo neposredne ocene posameznih vzorcev. Na podlagi ocene CMOS pa lahko bolje razvrstimo vzorce, ki so dobili približno enake ocene MOS.

Opisna ocena	Vrednost
Veliko boljši	3
Boljši	2
Malo boljši	1
Približno enak	0
Malo slabši	-1
Slabši	-2
Veliko slabši	-3

Tabela 4: CMOS ocenjevalna lestvica.

3.6.1.2 Razumljivost

Razumljivost vzorcev kodiranega govora lahko merimo na logatomih⁵, besedah ali kar celih stavkih. Poslušalcem se predvaja ustrezne vzorce, ki jih oni ponavljajo in na podlagi pravilno razumljenih logatomov, besed ali stavkov se izračuna ocena razumljivosti vzorcev. Najpogosteje se razumljivost meri na logatomih in besedah. Pri obeh obstajajo posebne glasovno uravnotežene tabele, ki se uporabijo pri meritvah.

3.6.1.3 Vpliv prisotnosti šuma na oddajni strani

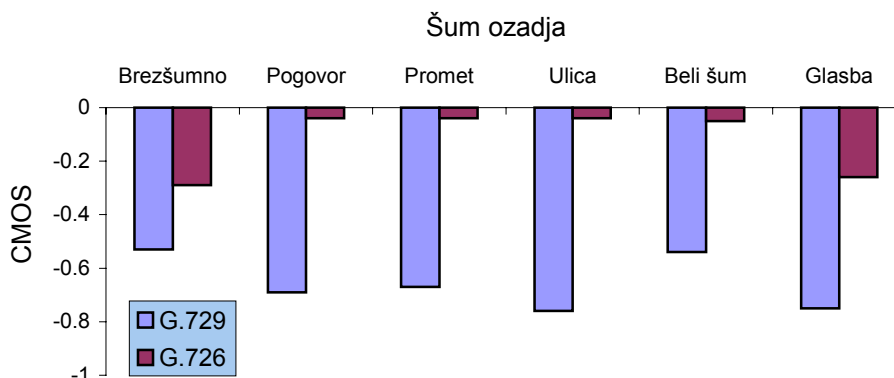
Doslej smo ocenjevali kakovost kodiranih postopkov v brezšumnih razmerah. V prisotnosti šuma na oddajni strani pa so lahko te ocene povsem drugačne. Šum je v običajnih okoliščinah pogovora vedno prisoten in niža kakovost kodiranega govora, včasih celo do te mere, da je njegova kakovost že nesprejemljiva.

Različni kodirni postopki se uporabljajo v različnih okoljih, razmerah in za različne namene, zato je lahko tudi šum ozadja povsem različne narave. V zaprtih prostorih največkrat nastopajo šumi kot so beli šum, glasba ali pogovor v ozadju. Na prostem (predvsem mobilne komunikacije) pa lahko poleg že omenjenih nastopajo tudi šum ulice, šum mimovozečega prometa in drugi šumi okolice.

Težko ali skoraj nemogoče je za vse kodirne postopke enolično določiti stopnjo poslabšanja kakovosti kodiranega govornega signala v prisotnosti šuma ozadja (na oddajni strani). Padec kakovosti se meri subjektivno (kot že sama kakovost) za vsakega od postopkov posebej. Za dva od

⁵ Logatom je kratek zlog sestavljen iz treh glasov, od katerih sta zunanja dva soglasniška, notranji pa samoglasniški.

mnogih kodirnih postopkov je rezultat meritev prikazan na Sl. 3.3. Meritve so bile izvedene po primerjalni metodi (CMOS) glede na nekodiran govor [30].



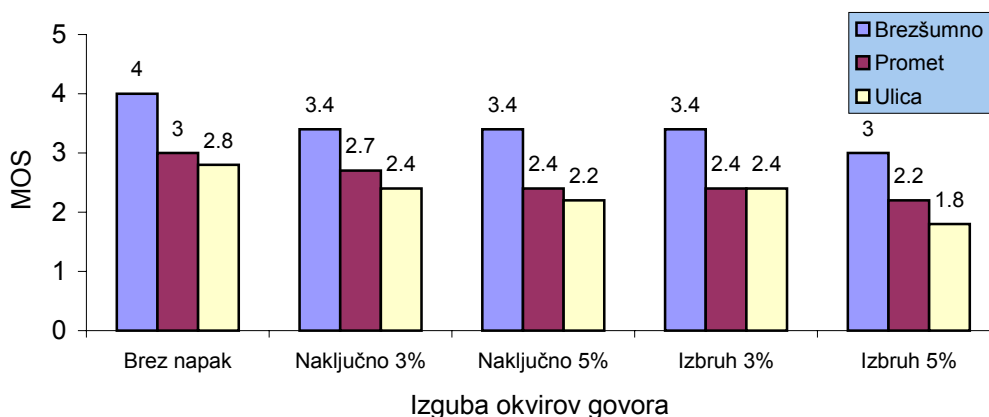
Sl. 3.3: Padec kakovost kodiranega govora v prisotnosti šuma ozadja

3.6.1.4 Vpliv izgube okvirov govora na prenosni poti

Idealnim razmeram smo dodali šum in izkazalo se je, da kakovost kodiranega govora pade. Zanimarjali pa smo napake na prenosni poti, ki prav tako lahko bistveno vplivajo na njegovo kakovost.

Prenosne poti niso idealne in na njih bolj ali manj pogosto prihaja do napak, katerih stopnja je odvisna od prenosnega medija in tehnologije. V tem pogledu sta še v najslabšem položaju radijski in mobilni kanal z dokaj visoko stopnjo napak pri prenosu. Dokaj nizko stopnjo napak ima digitalno telefonsko omrežje in s tem neznaten vpliv le teh na kakovost govora. Problem se spet pojavi pri podatkovnih omrežjih, pri katerih lahko pride (in tudi pride) do preobremenitve povezav in vozlišč, ki v takem primeru zavrnejo del odvečnih podatkov (paketov), ki predstavljajo okvire govora.

Napake, ki nastajajo na prenosni poti lahko povzročijo izgubo enega ali več bitov, včasih pa kar celega okvira govora. Za različne kodirne postopke so te izgube lahko bolj ali manj usodne. Pri PCM pomeni izguba enega bita izgubo enega okvira in s tem 125 μ s govora, kar ne vpliva na samo kakovost. Pri kodirnih postopkih za mobilne komunikacije izguba enega bita ponavadi ne predstavlja problema (najpomembnejši biti so zaščitno kodirani), izguba enega okvira pa predstavlja izgubo 20 do 40 ms govora, kar pa že opazno vpliva na njegovo kakovost.



Sl. 3.4: Kakovost kodiranega govora v prisotnosti izgube okvirov pri G.729

Tudi pri izgubi na prenosni poti ni enoličnega kriterija za določanje spremembe kakovosti ob različnih načinih ali stopnjah izgube informacije pri različnih kodirnih postopkih. Na Sl. 3.4 je podan primer za kodirnik G.729. Meritve so bile izvedene ob različnih šumnih pogojih in ob različnih stopnjah in načinih izgube govorne informacije. Vidimo, da je ob istem odstotku izgube okvirov kakovost govora boljša, če se ti izgubljajo naključno in ne v izbruhih (povezanih nizih). Kakovost pa je pri istih stopnjah izgube močno odvisna tudi od vrste šuma ozadja in je najnižja pri šumu ulice.

3.6.2 Objektivne ocene kakovosti

Objektivne ocene kakovosti se lahko podajo le za kodirne postopke, ki temeljijo na kodiranju signalnih oblik.

Objektivna mera kakovosti je lahko velikost popačenja med kodiranim in nekodiranim vzorcem, razmerje signal/šum na govornih odsekih, razdalja med kepstralnimi ovojnici med vzorci, koherenčna krivulja. Prvi dve meri sta iz časovnega, drugi dve pa iz frekvenčnega prostora.

Objektivne ocene so podrejene subjektivnim, saj z njimi ne moremo ugotoviti ali bo kodiran vzorec zvenel naravno in če bo sploh razumljiv.

3.7 Zahteve govornih aplikacij do omrežij

Če strnemo ugotovitve o lastnostih človeškega govora, njegovega zaznavanja, obdelave in postopkih kodiranja, pridemo do nekih grobih ocen o tem, katere lastnosti mora neko omrežje ponuditi za prenos govora.

Na vprašanje: "Ali je neko omrežje sposobno prenašati govor?", ni neposrednega in enoličnega odgovora. V igri je preveč parametrov govora, kodirnih postopkov, standardov, prenosnih omrežij, subjektivnega dožemanja uporabnikov, itd. Zato je potrebno odgovor poiskati za vsak primer posebej in pri tem upoštevati izhodiščne zahteve, obstoječe stanje, razpoložljive tehnologije in več drugih parametrov.

Kljub težavnosti odgovora bodo v naslednjih odstavkih podane najbolj grobe zahteve, ki jih morajo izpolnjevati prenosna omrežja, če hočemo preko njih prenašati govor.

3.7.1 Analogni prenos govora

Analogni prenos govora se počasi umika digitalnemu, vendar je v tem trenutku še vedno prevladujoč način prenosa govornega signala do končnega uporabnika na zadnjih nekaj metrih zveze. Prav zaradi tega bodo morale vse rešitve, ki bodo hotele zajeti širši krog uporabnikov, upoštevati parametre analognega prenosa govora. Ti so bili v glavnem naštetí že v poglavju 2.1, ki govori o analognih omrežjih za prenos govora, vendar jih bomo na kratko ponovili tudi v okviru tega poglavja.

Govor se v analognih omrežjih prenaša kot analogni signal s pasovno širino 3100 Hz, zakasnitve so v večini primerov zanemarljive in potreba po zmanjševalnikih ali izločevalnikih odboja se pojavi šele pri zvezah na zelo velike razdalje (medcelinski pogovor) ali zvezah preko geostacionarnih satelitov. Kakovost analognega govornega signala v največji meri moti šum, ki se mu prišteva na prenosni poti. Omrežje za analogni prenos govora mora torej izpolnjevati sledeče glavne zahteve:

- Sposobno mora biti prenašati signale pasovne širine 3100 Hz
- Zagotoviti mora dovolj visoko razmerje signal/šum
- Na večjih razdaljah mora zagotavljati zmanjševanje ali izločanje odboja

3.7.2 Digitalni prenos govora

Tu se razmere napram analognemu prenosu kar precej zapletejo in trditev, da digitalni prenos kakovostno prekaša analognega ne velja vedno. Velja samo v primeru, da so s strani digitalnega

prenosnega omrežja izpolnjene vse zahteve govornih aplikacij, kar pa še zdaleč ni tako samoumevno kot se mogoče zdi na prvi pogled.

Če prenos govora ni na celotni poti digitalen, potem se podedujejo vse zahteve iz analognega sveta, hkrati pa se pojavi še več novih, ki veljajo za digitalni del poti. Tu so pomembne predvsem naslednje zahteve, od katerih se nekatere med seboj deloma prekrivajo ali prepletajo:

- Zadostna razpoložljiva bitna hitrost
- Dovolj nizka zakasnitev
- Čimmanjša spremenljivost zakasnitve
- Izločevanje odboja po potrebi
- Rezervacija pasovne širine
- Nizek nivo napak na prenosni poti
- Prenos v realnem času

Nekatere od zgornjih zahtev se da definirati z absolutnimi vrednostmi, medtem ko je večina od njih močno odvisna od kodirnih postopkov in lastnosti prenosnega omrežja.

Pri omrežjih, ki so bila v prvi vrsti načrtovana za prenos govora (javno digitalno telefonsko omrežje), načeloma ni nikakršnih problemov z izpolnjevanjem naštetih zahtev. Mnogo bolj kritično pa je stanje v podatkovnih omrežjih, ki so bila v osnovi načrtovana za prenos podatkov, sedaj pa preko njih želimo prenašati tudi govor. Pri njih se največkrat pojavi problem prenosa v realnem času, prevelikih zakasnitev in velikih izgub podatkov na prenosni poti. V naslednjih odstavkih bodo na kratko opisane zgoraj našteje zahteve.

3.7.2.1 Bitna hitrost

Ta je odvisna od zahtevane kakovosti govora in zanj uporabljenega kodirnika. Veljajo vse ugotovitve prejšnjih poglavij v zvezi z njima. Vsa sodobna omrežja imajo načeloma dovolj velike kapacitete za prenos govora, a je njegova uspešna dostava do sprejemnika velikokrat vprašljiva zaradi specifičnosti dodeljevanja teh kapacitet, predvsem v podatkovnih omrežjih s paketnim prenosom. Za vrednosti zahtevanih bitnih hitrosti glej 3.5.1.

3.7.2.2 Zakasnitev in odboj

Zanjo veljajo vse ugotovitve iz 3.2.2 in 3.2.3. Omrežje mora zagotoviti zahtevane vrednosti zakasnitev, drugače močno pade kvaliteta govora in zmožnost komunikacije. Tu je potrebno omeniti, da imajo z zagotavljanjem primernih zakasnitev zopet težave predvsem podatkovna omrežja.

Kadar zakasnitev preseže dogovorjene vrednosti, moramo zaradi razlogov opisanih v poglavju 3.2.3 uporabiti zmanjševalnike in izločevalnike odboja.

3.7.2.3 Spremenljivost zakasnitve

Ta kriterij se je pojavil s prvimi poskusi prenosa aplikacij v realnem času preko podatkovnih omrežij z enim od paketnih načinov prenosa. Pri teh paketi načeloma na cilj ne prihajajo s stalno zakasnitvijo ampak se ta s časom spreminja. Pri govoru mora biti tok podatkov stalen s stalno zakasnitvijo in zato moramo spremenljivost zakasnitve pri sprejemu uravnavati z dodatno zakasnitvijo v sprejemniku. Seveda pa vsota osnovne in dodatne zakasnitve ne sme presegati dogovorjenih vrednosti.

3.7.2.4 Rezervacija pasovne širine

Ker je govor aplikacija s stalnim pretokom informacij, ki ne dopušča velikih zakasnitev in zmanjševanja pasovne širine, ji moramo slednjo zagotoviti na celotni prenosni poti. Pri mnogih podatkovnih omrežjih je rezervacija pasovne širine za celoten čas trajanja pogovora in na celotni dolžini zveze težavna ali celo nemogoča. To zelo oteži ali celo onemogoči uporabo teh omrežij za prenos govora in drugih aplikacij s podobnimi zahtevami, kot so video in druge aplikacije v realnem času.

3.7.2.5 Napake na prenosni poti

Zaradi napak na prenosni poti prihaja do izgube določenega števila bitov ali kar celih okvirov (paketov), kar je za različne kodirne postopke različno usodno. Govor vsekakor dovoljuje določen izpad informacij ne da bi pri tem preveč trpela njegova kakovost in razumljivost. Prag te izgube pa je zopet zelo subjektivne narave in odvisen tudi od profila uporabnika. Za pogovor med prijatelji je ta prag vsekakor višji kot za poslovne pogovore.

Pri tem kriteriju se prenos govora popolnoma razlikuje od prenosa podatkov, ki večinoma ne dovoljuje nikakršne izgube informacij, a dopušča veliko večje zakasnitve. Izgubljeni paketi se pri prenosu podatkov pošljejo še enkrat, pri govoru pa je tako pošiljanje brezpredmetno, saj bi tak paket imel preveliko zakasnitev in bi svoje mesto v govornem signalu že zdavnaj zamudil.

3.7.2.6 Prenos v realnem času

Ta kriterij se močno prepleta s kriteriji za bitno hitrost, rezervirano pasovno širino in zakasnitev. V bistvu je kombinacija vseh treh in jih nekako združuje v celoto ker morajo biti za njegovo izpolnitev izpolnjeni vsi trije hkrati.

3.7.2.7 Govor in podatkovna omrežja

V naslednjih poglavjih bodo opisana podatkovna omrežja, načini prenosa podatkov v njih, njihove arhitekture in topologije, itd. Mnoge od njih bomo podrobneje preučili in ugotovili ali so sposobna prenašati govor v skladu z naštetimi kriteriji. Nekatera od njih bomo proučili in opisali podrobneje, druga le bežno ali pa bodo zgolj omenjena.

4 OSNOVE PODATKOVNIH OMREŽIJ

Preden začnemo podrobneje obravnavati podatkovna omrežja je potrebno razčistiti pomen termina "*podatkovno omrežje*". Načeloma je to lahko vsako omrežje, ki prenaša podatke in načeloma so to prav vsa omrežja. Celo telefonsko omrežje je neke vrste podatkovno omrežje, saj tudi preko njega poteka izmenjava podatkov, ki jim pravimo govor. Vendar pa na področju telekomunikacij termin nima tako širokega pomena in označuje le del obstoječih komunikacijskih omrežij.

4.1 Podatkovna in komunikacijska omrežja

Komunikacijska omrežja lahko delimo na: telefonska, mobilna, kabelska, podatkovna in druga, pri čemer so podatkovna omrežja prvenstveno namenjena prenosu podatkov v digitalni obliki. V začetku so bili ti podatki več ali manj le sporočila in ukazi med centralnim računalnikom in terminalom, poizvedbe po bazah podatkov in njihovi rezultati, kratka sporočila in drugo. Z večanjem potreb pa so naraščale tudi zmožnosti podatkovnih omrežij, ki so nudila vedno več in so se hitro širila. Pojavile so se nove storitve kot so: elektronska pošta, prenos datotek in drugo⁶. V zadnjem času pa se kot storitvi podatkovnih omrežij pojavljata tudi prenos govora in gibljive slike, za kar pa ta niso bila načrtovana in imajo velike težave pri zagotavljanju primerne kakovosti storitve.

Podatkovna omrežja so torej začela konkurirati telefonskim in kabelskim omrežjem z nudenjem njunih "domačih" storitev, ki jih slednja ponujajo že dolgo in so bila prav za njih načrtovana. Resnici na ljubo pa je treba povedati, da je konkurenca obojestranska, saj lahko s pomočjo ustreznih modemov preko telefonskega in kabelskega omrežja prenašamo tudi podatke.

Iz zgornjih razglabljanj je prav lahko izluščiti idejo o združevanju omrežij, njihovih lastnosti in storitev v eno samo, ki bo nudilo vse, za kar sedaj potrebujemo več ločenih omrežij. Tej viziji rečemo *Digitalno omrežje z integriranimi storitvami* ali krajše ISDN. V svoji ozkopasovni različici obstaja in deluje že nekaj let, njena mlajša in mnogo sposobnejša širokopasovna različica B-ISDN pa je trenutno še na stopnji razvoja in standardizacije.

Termin *Podatkovno omrežje* se z evolucijo le teh spreminja in ga zato težko enolično definiramo. Včeraj je označeval omrežja, ki so prenašala izključno podatke v digitalni obliki, o prenosu govora ni nihče niti razmišljal. Danes so ta podatkovna omrežja do določene mere sposobna prenašati govor in gibljive slike, jutri pa bodo verjetno obstajala le še omrežja z integriranimi storitvami.

V tem delu bo termin *Podatkovno omrežje* uporabljan za omrežja, ki so bila že v osnovi načrtovana predvsem za prenos podatkov v digitalni obliki, sem sodijo: Internet, Frame Relay, X.25, Ethernet, Token Ring in druga. Mednje pa bomo vrinili tudi omrežja z integriranimi storitvami kot sta ISDN in B-ISDN preko ATM.

4.2 Podatkovna in računalniška omrežja

Pojma podatkovno in računalniško omrežje se večkrat uporabljata napačno ali v napačnih zvezah, večkrat se ju tudi enači, kar pa seveda ni v skladu z definicijami in dejstvi.

⁶ Danes je največje in najhitreje rastoče podatkovno omrežje Internet, ki si je iz akademskih krogov utrlo pot med širše množice, čemur gre tudi pripisati njegov tako velik uspeh.

Če na grobo opredelimo oba, potem lahko rečemo, da je računalniško omrežje zbirka neodvisnih in med seboj povezanih računalnikov. Neodvisnost pomeni, da med njimi ni odnosov gospodar/suženj, ko lahko osrednji računalnik nadzoruje sebi podrejene enote in računalnike. Tak primer je sistem z osrednjim računalnikom, na katerega so povezani oddaljeni terminali, tiskalniki in druge enote. Tak sistem ne tvori računalniškega omrežja. Povezanost med računalniki pa pomeni, da si ti lahko med seboj izmenjujejo informacije.

Za podatkovno omrežje lahko rečemo, da mora biti sposobno prenosa digitalnih podatkov in zato je načeloma lahko tudi sistem z osrednjim računalnikom in oddaljenimi terminali podatkovno omrežje, saj si med seboj izmenjujejo digitalne podatke. V določenem smislu je pojem podatkovnih omrežij nadpomenka računalniških, ker vsa računalniška omrežja prenašajo digitalne podatke.

V literaturi obstaja tudi mnogo zmede glede relacije med pojmi računalniških omrežij in porazdeljenih sistemov. Oboji so sestavljeni iz neodvisnih računalnikov, ki so povezani med seboj. Glavna razlika pa je, da so v porazdeljenih sistemih te povezave za uporabnika neopazne in ko ta izvede nek ukaz ali požene program, se le ta izvrši, a uporabnik načeloma ne ve na katerem računalniku in ga to niti ne zanima. Izbira je prepuščena operacijskemu sistemu, ki mora poskrbeti tudi za ostale stvari potrebne za pravilno izvršitev (prenos zagonskih datotek, zapis rezultatov in drugo).

V računalniškem omrežju pa se mora uporabnik izrecno prijaviti na želen računalnik, ročno prenesti vse potrebne datoteke in izvesti ukaze ali programe na njem. Porazdeljeni sistem nam pravzaprav določa le programska oprema (operacijski sistem), ki je naložena na računalniškem omrežju in nam zagotavlja neopaznost povezav in avtomatizem izvajanja. Pojma se torej močno prekrivata in v bistvu je razlika le v tem kdo opravlja potrebne operacije na omrežju; uporabnik ali operacijski sistem.

4.3 Standardi in standardizacija

Če hočemo, da enote podatkovnega omrežja med seboj sodelujejo in si izmenjujejo podatke, se morajo držati enakih pravil in dogovorov, ki se nanašajo na obliko sporočil, podatkovnih enot, načine izmenjave podatkov in ostalih stvari pomembnih za uspešno medsebojno komunikacijo. Zbirki teh pravil in dogovorov rečemo komunikacijski protokol.

Protokoli, ki se uporabljajo v različnih omrežjih so seveda lahko različni, vendar morajo biti znotraj enega omrežja na vseh enotah isti, če hočemo imeti možnost komunikacije vsakega z vsakim⁷. Identičnost protokolov zagotovimo s standardizacijo le teh in pri nastanku standardov poznamo dve poti.

Pri prvi standardi nastajajo neodvisno od mednarodnih organizacij za standardizacijo in temeljijo na uspešnem izdelku kakega močnega in vplivnega proizvajalca. Tem pravimo "*de facto standard*" in za primer lahko navedemo IBM PC računalnike ali UNIX operacijski sistem, ki sta zaradi svoje uspešnosti in razširjenosti postala *de facto* standarda.

Druga pot pa nam da "*de jure standard*", ki je izdan s strani priznanih mednarodnih organizacij ali agencij za standardizacijo. Znotraj te poti obstajata dve različici nastanka takega standarda. Po eni že obstaja osnovna rešitev, ki postane podlaga za standard, ki ga izda ena od teh organizacij. Primer je standardiziran komunikacijski protokol za krajevna omrežja IEEE 802.3, ki je bil razvit s sodelovanjem treh proizvajalcev: Xerox, Intel in DEC. Že delujoči protokol je pod okrilje vzel IEEE in ga z manjšimi popravki in dopolnitvami izdal kot standard pod omenjeno oznako. Po drugi različici pa standard že od vsega začetka nastaja pod okriljem ene od organizacij. Nobena od različic pa ne zagotavlja, da se bo standard uveljavil in postal splošno razširjen in vgrajen v delujoče sisteme.

⁷ V nekem omrežju lahko obstaja tudi več protokolov hkrati, vendar morajo enote, ki želijo med seboj komunicirati, uporabljati iste komunikacijske protokole, pri tem pa lahko vsaka uporablja več različnih protokolov za komunikacijo z enotami, ki uporabljajo ustrezne protokole.

4.3.1 Mednarodne organizacije za standardizacijo

Na svetu obstaja kar nekaj uradov, agencij in organizacij za standardizacijo. Načeloma ima celo vsaka država svoj urad, ki skrbi za standarde na njenem območju. Tukaj naj omenimo le nekaj najpomembnejših mednarodnih organizacij, ki se ukvarjajo s standardizacijo na področju komunikacijskih omrežij, to so:

- ITU
- IEEE
- ISO
- ANSI
- ETSI
- IETF

Za področje podatkovnih omrežij pa so še posebej pomembne IEEE, ITU, ISO in IETF. Prva je vodilna na področju krajevnih računalniških omrežij in izdaja standarde kot so: IEEE 802.3 Ethernet, IEEE 802.5 Token Ring, IEEE 802.9 Izohroni Ethernet in druge. ITU ima vodilno vlogo pri standardizaciji B-ISDN-a in v okviru tega tudi ATM, ISO je izdal referenčni model protokolarnega sklada OSI medtem, ko je IETF odgovoren za standardizacijo Interneta.

Organizacije za standardizacijo so zelo pomemben člen v razvoju komunikacijskih omrežij, saj s svojimi standardi omogočajo povezljivost naprav različnih proizvajalcev in s tem spodbujajo konkurenco. Včasih pa lahko s počasnim procesom sprejemanja določenih standardov tudi zavirajo razvoj in silijo proizvajalce v delne in vmesne rešitve, ki jih zahteva neučakano tržišče.

Zainteresirani proizvajalci in inštituti zato včasih ustanovijo forume, v katerih zastopajo svoje interese. Tak primer je ATM forum, ki so ga ustanovili proizvajalci opreme, ki niso bili zastopani v ITU, vendar so vseeno hoteli sodelovati pri procesu standardizacije ATM-a. Forumi skrbijo, da se sprejete specifikacije čimprej prenesejo v delujoče sisteme in nekatere specifikacije tudi predlagajo v sprejem za standard.

Pravkar opisani način sprejemanja standardov in njegovih dopolnil je v današnjem času hitrega razvoja in vse krajših ciklov pojava novih tehnologij mogoče še najbolj sprejemljiv, saj omogoča sodelovanje proizvajalcev in organizacij za standardizacijo. Tako se skoraj ne more zgoditi, da bi bil sprejet *de jure standard*, ki ga nihče ne bo vgradil v svoje izdelke ali pa da bi nek proizvajalec svoj izdelek vsilil drugim kot *de facto standard*, kar se je že velikokrat zgodilo.

Standardizacija je vsekakor izrednega pomena, saj lahko le na ta način dosežemo globalno povezljivost in izmenjavo informacij.

4.4 Protokolni skladi

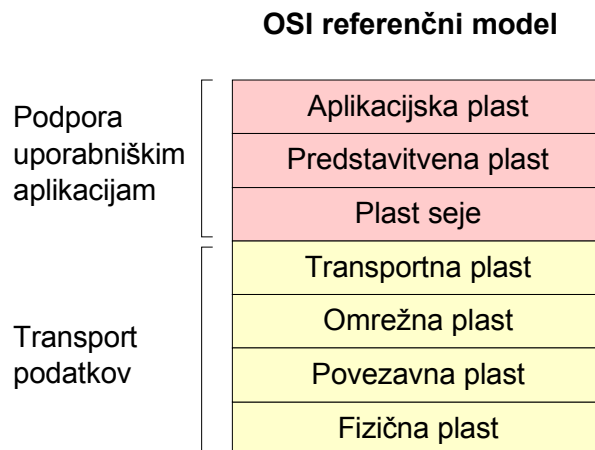
Komunikacijski protokoli podatkovnih omrežij pa še zdaleč niso tako preprosti kot se mogoče zdi na prvi pogled. Zaradi svoje zapletenosti so večplastni, pri čemer vsaka od plasti opravlja točno določeno nalogo ter je s podrejenimi in nadrejenimi plastmi povezana preko točno določenih vmesnikov in pristopnih točk. V nadaljevanju bosta opisana dva referenčna modela: OSI in TCP/IP. Prvi je pomemben, ker na njem temelji ali se po njem zgleduje večina omrežnih protokolov, drugi pa zaradi pomembnosti in razširjenosti Interneta, na katerem se uporablja.

4.4.1 OSI referenčni model

Ta referenčni model predstavlja *de jure standard*, ki ga je v začetku osemdesetih let izdal ISO. Sestavlja ga sedem plasti in predpisuje zgolj vmesnike med posameznimi plastmi in funkcije, ki jih morajo te opravljati. Do plasti so prišli na podlagi naslednjih meril:

- Nova plast naj se določi povsod, kjer obstaja potreba po drugačni stopnji abstrakcije.
- Vsaka plast naj opravlja točno določeno funkcijo.
- Plast naj se določi tudi glede na že obstoječe mednarodne standarde.

- Meje med plastmi naj bodo določene tako, da bo pretok informacij med njimi minimalen.
- Število plasti naj ne bo preveliko, da model ne bo nepregleden in ne premajhno, da se funkcije posameznih plasti ne bodo po nepotrebnem združevale.
- Spremembe v eni plasti naj ne bi zahtevale sprememb v ostalih plasteh.



Sl. 4.1: Protokolne plasti v OSI referenčnem modelu

Nastal je sedemplastni model z naslednjimi plastmi:

- Aplikacijska plast
- Predstavitvena plast
- Plast seje
- Transportna plast
- Omrežna plast
- Povezavna plast
- Fizična plast

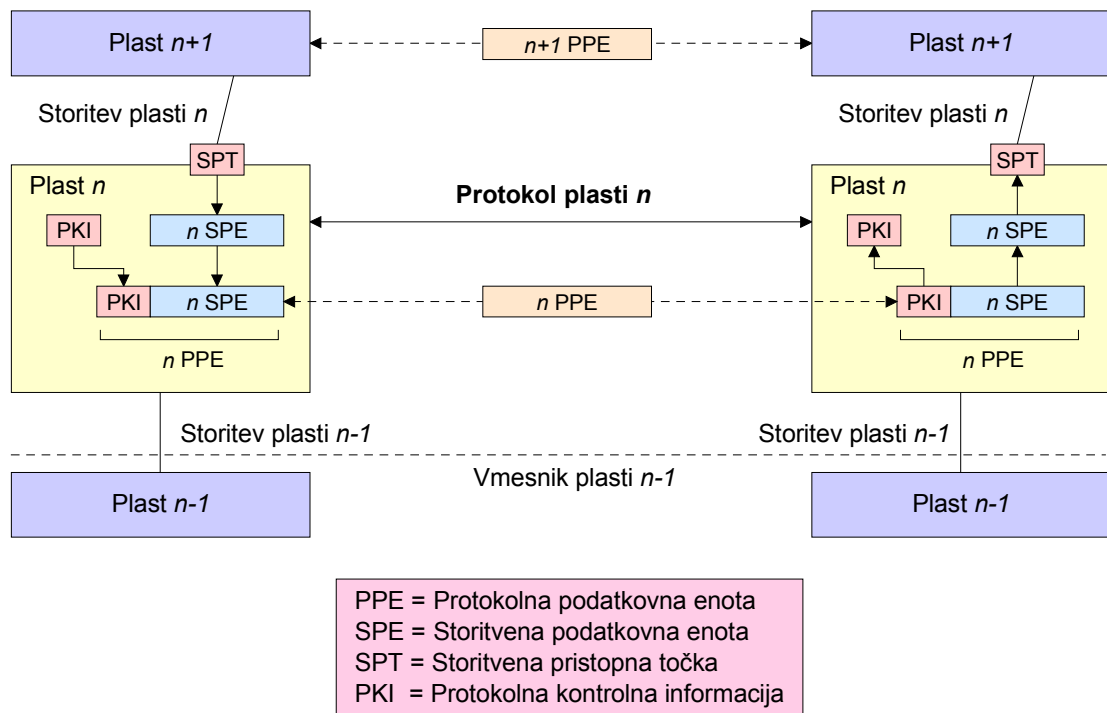
Zgornje tri plasti zagotavljajo podporo uporabniškim aplikacijam, spodnje štiri pa transport podatkov, kar vidimo na Sl. 4.1. Treba pa je omeniti, da OSI referenčni model ni mrežna protokolna arhitektura, ker nima točno določenih protokolov in servisov, ki naj bi se uporabljali v vsaki izmed plasti. ISO je sicer izdal standarde za vsako plast posebej, vendar ti niso del referenčnega modela in so izdani v ločenih publikacijah.

4.4.1.1 Abstraktni model delovanja plasti

Delovanje posameznih protokolnih plasti lahko predstavimo z abstraktnim modelom na sliki Sl. 4.2. Prikazuje plasti $n-1$, n , $n+1$, njihovo zgradbo, delovanje ter navpične in vodoravne povezave med njimi. Plast n uporablja storitve plasti $n-1$ in svoje storitve nudi plasti $n+1$. Nudenje zadnje poteka preko storitvene pristopne točke (SPT) in vmesnika plasti n .

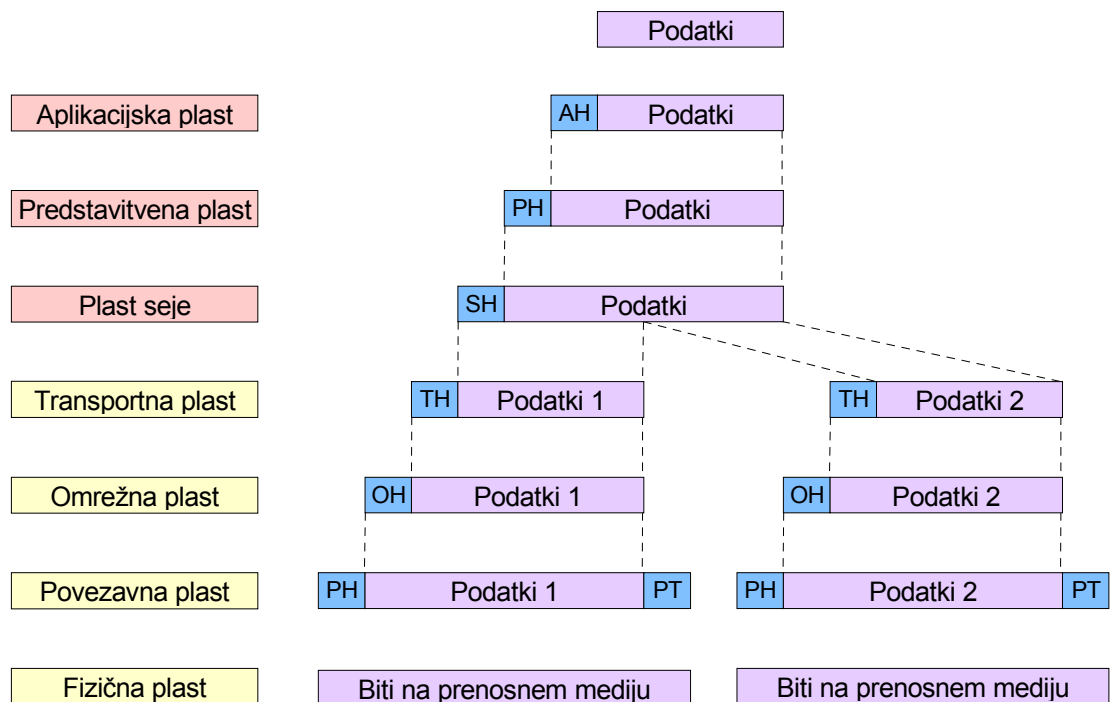
Istoležne plasti na obeh koncih povezave si preko protokola te plasti izmenjujeta protokolne podatkovne enote (PPE). Na primer, transportni plasti si izmenjujeta podatkovne enote transportne plasti in komunicirata preko protokola transportne plasti.

Tok podatkov je na oddajni strani od nadrejenih proti podrejenim plastem; od plasti $n+1$ preko n do $n-1$ in naprej do zadnje fizične plasti, ki podatke preko prenosnega medija pošlje sprejemniku. Vsaka plast podatkom doda svoje kontrolne informacije, ki jih za pravilno delovanje potrebuje protokol te plasti. Plast n od plasti $n+1$ sprejme storitveno podatkovno enoto (SPE), ji doda svoje kontrolne informacije (glavo in/ali rep) in odda plasti $n-1$. Oddana enota se imenuje protokolna podatkovna enota plasti n .



Sl. 4.2: Abstraktni model delovanja protokolne plasti

Na sprejemni strani je proces ravno obraten, vsaka plast svoji PPE odstrani svoje kontrolne informacije in ostanek kot SPE pošlje nadrejeni plasti. Dodajanje in odzemanje kontrolnih informacij si lahko ogledamo na Sl. 4.3. Posebnost je transportna plast, ki ima možnost segmentacije ali združevanja podatkovnih enot, če je to zaradi kakršnegakoli razloga potrebno.



Sl. 4.3: Dodajanje kontrolnih informacij na protokolnih plasteh

4.4.1.2 Fizična plast

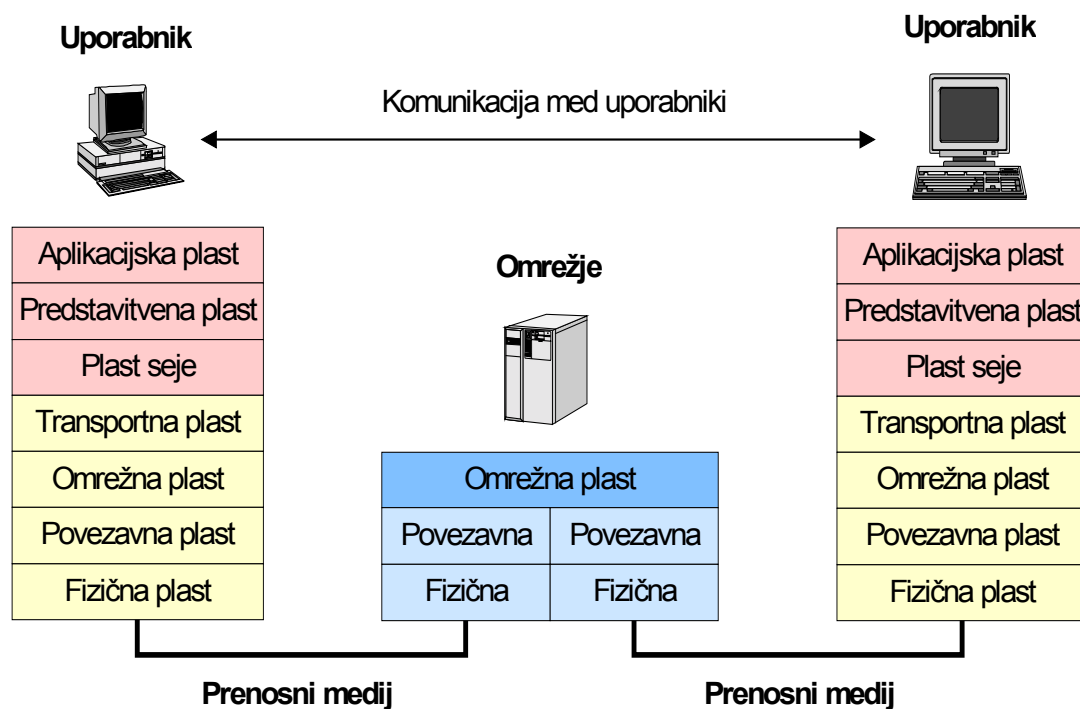
Fizična plast zagotavlja prenos bitov preko prenosnega medija. Realizirana je v sami aparaturni opremi in je močno odvisna od prenosnega medija, priključkov, načina modulacije signala, itd. Oddajna stran preprosto oddaja tok bitov in sprejemna stran jih zaznava, njihov pomen jih ne zanima.

4.4.1.3 Povezavna plast

Povezavna plast prenaša podatkovne okvire med dvema točkama na isti fizični povezavi. Njena osnovna naloga je zagotavljanje prenosa podatkov brez napak. Osnovne funkcije povezavne plasti so: sinhronizacija okvirov, razvrščanje bitov v podatkovne okvire, zaznavanje in odpravljanje prenosnih napak. Nekateri protokoli te plasti pa opravljajo še dodatne funkcije kot so: nadzor pretoka podatkov, razvrščanje okvirov v pravilna zaporedja, izdajanje zahtev po ponovnem prenosu izgubljenih okvirov.

4.4.1.4 Omrežna plast

Omrežna plast skrbi za usmerjanje podatkovnih enot (največkrat jim rečemo kar paketi) skozi omrežje. Na njem je vsak sistem določen kot končni ali vmesni. V splošnem končni sistemi vsebujejo vseh sedem plasti OSI referenčnega modela, medtem ko ima lahko vmesni le spodnje tri plasti, ki zadoščajo za usmerjanje in prenos podatkovnih enot. Primer komunikacije med dvema končnima sistemoma, ki poteka preko triplastnega vmesnega sistema je prikazan na Sl. 4.4.



Sl. 4.4: Komunikacija med končnimi uporabniki preko vmesnega sistema

4.4.1.5 Transportna plast

Transportna plast je nekakšen posrednik med višjimi plastmi OSI referenčnega modela in transportnim sistemom pod njim, ter pred prvimi skrije zapletenost prenosa podatkovnih enot med končnimi uporabniki. Medtem, ko spodnje tri plasti vzpostavljajo povezave med sosednjimi

sistemi⁸, jih transportna vzpostavi med končnimi uporabniki in to kot storitev nudi višjim plastem. Naloge transportne plasti so: nadzor hitrosti pretoka podatkov in s tem nadzor zasičenja omrežja, segmentacija podatkovnih enot višjih plasti v obliko, ki jo zahteva omrežna plast, razvrščanje podatkovnih enot v pravilna zaporedja, izdajanje zahtev po ponovnem prenosu izgubljenih enot, vzdrževanje več hkratnih omrežnih povezav in drugo.

4.4.1.6 Plast seje

To je prva plast, katere storitve so bolj naravnane k uporabniškim aplikacijam kot h prenosu podatkovnih enot. Namenjena je vzpostavitvi dialoga med dvema aplikacijama na končnih sistemih in izmenjavi podatkov med njima. Po vzpostavitvi dialoga tega tudi vodi in določa smernost komunikacije (enosmerna, izmenično enosmerna ali dvosmerna), sinhronizacijske točke znotraj dialoga in drugo.

4.4.1.7 Predstavitvena plast

Predstavitvena plast skrbi za združljivost predstavitve podatkov in njihovo zaščito. To je prva plast, ki ni zadolžena le za urejeno premikanje bitov ampak jo zanima tudi njihov pomen. Njena naloga je pretvoriti podatke v tako obliko, da bodo uporabni v trenutnem računalniškem okolju.

4.4.1.8 Aplikacijska plast

To je najbolj "odprta" plast v OSI referenčnem modelu, saj se v njej nahaja vrsta standardnih aplikacij, ki jih uporabniki koristijo za komunikacijo med seboj (na primer elektronska pošta). V njej se nahajajo vse preostale funkcije, ki niso podprte v nižjih plasteh. Zagotavlja komunikacijo med uporabniškimi programi in pred njimi skrije zapletenost nižjih plasti.

4.4.2 TCP/IP referenčni model

Za razliko od OSI referenčnega modela je model TCP/IP *de facto standard*, ki je v svoji osnovi nastal že daljnega leta 1974 pod sponzorstvom ameriškega ministrstva za obrambo za potrebe njihovega omrežja ARPANET. Odlikuje se po svoji preprostosti in robustnosti, imenuje pa se po svojih dveh najpomembnejših protokolih TCP in IP. Sl. 4.5 je primerjava med obema modeloma.

OSI	TCP/IP
Aplikacijska plast	Aplikacijska plast
Predstavitvena plast	Nedefinirano
Plast seje	
Transportna plast	Transportna plast
Omrežna plast	Internetna plast
Povezavna plast	
Fizična plast	Računalnik/omrežje

Sl. 4.5: Primerjava plasti OSI in TCP/IP referenčnega modela

⁸ To so sistemi, ki so na isti fizični povezavi.

Model TCP/IP ima le štiri plasti. Aplikacijska in transportna plast funkcionalno ustrežata enakima plastema v modelu OSI, internetna plast ustreza omrežni plasti, spodnji dve plasti sta združeni v eno, ki zagotavlja povezavo med računalnikom in omrežjem, plast seje in predstavitvena plast pa v modelu TCP/IP sploh nista realizirani. Na kratko si oglejmo vsako izmed njih.

4.4.2.1 Plast za povezavo računalnika z omrežjem

Ta plast v modelu TCP/IP pravzaprav niti ni definirana, prav tako pa ni definirano dogajanje v njej. Zahtevano je le, da se mora računalnik povezati na omrežje z enim od protokolov, ki omogočajo pošiljanje IP paketov. Ta protokol pa ni definiran in se razlikuje od računalnika do računalnika in od omrežja do omrežja.

4.4.2.2 Internetna plast

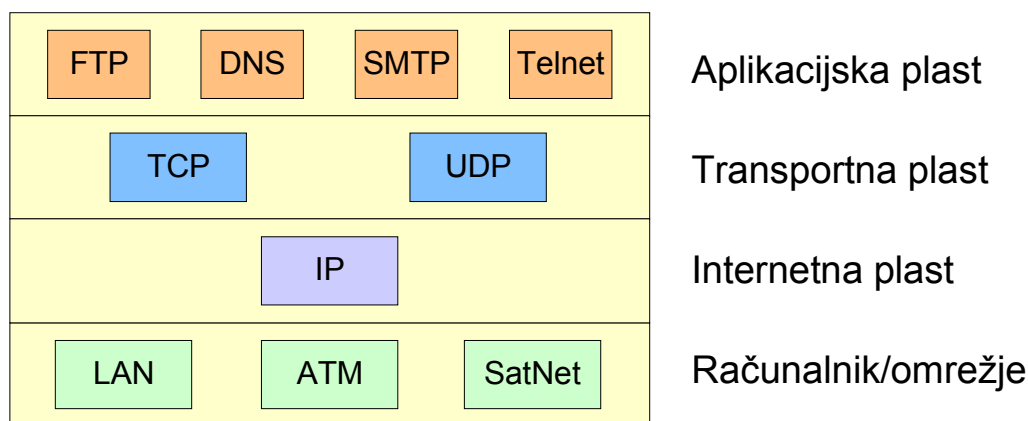
Internetna plast ustreza omrežni plasti OSI referenčnega modela. V njej je realiziran nepovezavno naravnan protokol, ki v omrežje pod seboj pošilja pakete, ki potem neodvisno potujejo do cilja. Tja lahko prispejo v nepravilnem vrstnem redu in njihova ureditev je naloga višjih plasti. Glavna naloga internetne plasti je usmerjanje IP paketov na njihov cilj.

4.4.2.3 Transportna plast

V transportni plasti domujeta dva različna protokola: TCP in UDP. Prvi je zanesljiv, povezavno naravnan protokol, ki sprejema podatkovne enote aplikacijske plasti, jih segmentira in predaja internetni plasti kot IP pakete. V obratni smeri pa sprejema IP pakete od internetne plasti, jih sestavlja in dostavlja aplikacijski plasti. Poleg tega pa ima tudi nadzor nad hitrostjo pošiljanja podatkov, da, na primer, hitri oddajnik ne poplavi počasnega sprejemnika s paketi, ki jih ta ne more tako hitro sprejeti.

Drugi protokol pa je UDP, ki je nezanesljiv, nepovezavno naravnan. Lahko ga uporabljajo aplikacije, ki ne želijo uporabiti funkcij TCP protokola in raje same poskrbijo zanje.

Nabor protokolov TCP/IP



Sl. 4.6: Protokolne plasti in nabor protokolov v TCP/IP referenčnem modelu

4.4.2.4 Aplikacijska plast

TCP/IP model ne vsebuje plasti seje in predstavitvene plasti, ker zanju ni nobene potrebe in sta tudi v OSI modelu le redko uporabljeni. V tej plasti domujejo protokoli kot so Telnet, FTP, elektronska pošta (SMTP), DNS in drugi. TCP/IP referenčni model in protokoli, ki v njem nastopajo, so predstavljeni na Sl. 4.6.

4.4.3 Primerjava OSI in TCP/IP referenčnih modelov

O tej temi je bilo napisanih že ničkoliko besed in vendar na vprašanje: "Kateri je boljši?", ne moremo odgovoriti. Oba imata svoje prednosti in slabosti, ki jih bomo v grobem poskusili tudi našteti. Omeniti pa je potrebno, da bomo primerjali referenčna modela in ne nabore protokolov, ki zanju obstajajo.

Primerjavo med plastmi obeh modelov nam podaja Sl. 4.5. Iz same slike vidimo, da imata oba modela kar precej skupnih točk: nekatere plasti, plastno zgradbo itd. naštejmo pa še nekaj njunih razlik:

- OSI referenčni model so si izmislili preden so se zanj pojavili prvi protokoli, pri TCP/IP pa je bilo ravno obratno.
- OSI model uporabljajo predvsem v telekomunikacijah, TCP/IP pa v Internetu.
- TCP/IP je hiter in prilagodljiv, medtem ko so odlike OSI modela sistematičnost in konceptualnost.
- Za TCP/IP obstaja mnogo bolj ali manj uporabnih storitev, OSI pa čuti veliko pomanjkanje na tem področju.

Podobnih razlik je najbrž še kar nekaj, vendar se vanje ne bomo podrobneje spuščali, ker to ni namen tega dela. Pri obeh modelih najdemo dobre in slabe lastnosti, ki so za različne aplikacije različno pomembne. Več o nekaterih protokolih obeh referenčnih modelov pa v naslednjih poglavjih.

4.5 Delitev podatkovnih omrežij

Spoznali smo že razlike med podatkovnimi in računalniškimi omrežji, podatkovnimi in komunikacijskimi omrežji, procese standardizacije in mednarodne organizacije za izdajo standardov, protokolne sklade in njihove referenčne modele; ničesar pa še nismo povedali o konkretnih lastnostih podatkovnih omrežij in kako jih glede na te delimo.

Podatkovna omrežja lahko delimo na osnovi mnogih kriterijev, ki vključujejo njihove osnovne lastnosti, nekateri izmed teh kriterijev so:

- Lastništvo omrežja
- Razsežnost omrežja
- Način preklapljanja podatkov
- Prenosni medij
- Način odpošiljanja podatkov

4.5.1 Lastništvo omrežja

Glede na lastništvo ločimo omrežja na zasebna in javna. Prva so v lasti podjetja ali posameznika, ki jih tudi upravlja, vzdržuje in ima izključno pravico njihove uporabe. Primer takega omrežja je krajevno računalniško omrežje v nekem podjetju, ki ga uporabljajo samo zaposleni.

Javna omrežja so v lasti države in/ali podjetij. Za razliko od zasebnih pa lastnik tega omrežja nudi njegove storitve vsakomur, ki je pripravljen za njih plačati. Primer takega omrežja je javno telefonsko omrežje.

4.5.2 Razsežnost omrežja

Glede na prostorsko razsežnost lahko delimo podatkovna omrežja v krajevna, mestna in omrežja velikega dosega. Tabela 5 prikazuje razvrstitev omrežij v skupine in njihove tipične predstavnike.

Razdalja	Namestitev	Primer tehnologije	
do 10 m	Soba	RS 232, Ethernet	Krajevno omrežje (LAN)
100 m	Zgradba	Ethernet	
1 km	Skupina zgradb	Več segmentov Ethernet, FDDI	
nad 10 km	Mesto	FDDI, ISDN	Mestno omrežje (MAN)
nad 100 km	Država	ISDN, ATM	Omrežje velikega dosega (WAN)
nad 1000 km	Celina	ATM, SDH	
nad 10000 km	Svet	SDH, satelitske povezave	

Tabela 5: Delitev podatkovnih omrežij glede na prostorsko razsežnost

4.5.3 Načini preklapljanja podatkov

Poznamo štiri osnovne načine preklapljanja podatkov preko omrežja: sporočilno, povezavno, paketno in celično. Pri preklapljanju sporočil se preko omrežja prenašajo cela sporočila in sicer tako, da se najprej shranijo na vsaki vmesni točki in šele potem pošljejo naprej (store and forward).

Preklapljanje povezav vzpostavi in rezervira kapaciteto prenosne poti na njeni celotni dolžini za celoten čas trajanja komunikacije ne glede na to ali se podatki res prenašajo ali ne. Za razliko od nje pa preklapljanje paketov, ki je najpogostejši način preklapljanja v podatkovnih omrežjih, zaseda prenosno pot le v času pošiljanja paketov. Preklapljanje celic je le različica preklapljanja paketov pri kateri so vsi paketi iste dolžine, kar ima določene posledice. Več o načinih preklapljanja pa v 4.6.6.

4.5.4 Prenosni medij

Podatkovna omrežja delujejo na različnih prenosnih medijih: koaksialni kabel, neoklopljena prepletena parica, telefonski vodi, optična vlakna, brezžični prenos, itd. Od prenosnega medija je odvisno marsikaj, saj imajo različni mediji zelo različne lastnosti, ki jih moramo upoštevati. Lastnosti atmosfere se zelo razlikujejo od lastnosti optičnih vlaken, zato moramo za njiju uporabljati različne komunikacijske protokole. To dejstvo pa v določeni meri že lahko vpliva na nabor podatkovnih omrežij, ki jih lahko realiziramo na določenem prenosnem mediju.

4.5.5 Načini odpošiljanja podatkov

Poznamo dva osnovna načina odpošiljanja podatkov: razpršeno oddajanje (broadcasting) in točka-točka (point-to-point). Pri prvem pošljemo podatke vsem enotam omrežja, pri drugem pa le eni, točno določeni enoti. Vmesna različica pa je pošiljanje na več naslovov (multicasting), ki so selektivno izbrani. Radiodifuzno omrežje je primer za prvi, modemska klicna zveza za drugi in pošiljanje elektronske pošte na več naslovov hkrati za zadnji način.

4.6 Osnovne lastnosti in pojmi podatkovnih omrežij

Preden začnemo podrobneje obravnavati posamezna podatkovna omrežja moramo spoznati nekaj njihovih osnovnih lastnosti in pojmov. Nekatere od njih smo že omenili v zgornjih odstavkih in jih bomo v nadaljevanju skupaj s preostalimi podrobneje predstavili.

4.6.1 Smernost povezave

Ločimo tri vrste komunikacije: enosmerno (simplex), izmenično enosmerno (half-duplex) in dvosmerno (full-duplex).

Pri enosmerni komunikaciji se signal prenaša le v eni smeri. Na eni strani povezave imamo le oddajnik, na drugi le sprejemnik, zato tudi ni možnosti povratne informacije. Primer enosmerne komunikacije je kabelska televizija ali radijski prenos preko radiodifuznega omrežja.

Pri izmenično enosmerni povezavi lahko signal potuje v obeh smereh, a le v eno naenkrat. Napravi na koncih povezave imata vgrajen tako oddajnik kot sprejemnik, vendar je lahko ob vsakem času aktiven le eden izmed obeh. Primer izmenično enosmerne komunikacije je pogovor po domofonu ali po CB postaji.

Pri dvosmerni komunikaciji pa lahko obe strani oddajata in sprejemata hkrati, oddajnika in sprejemnika v vsaki napravi torej lahko delujeta ob istem času. Primer take komunikacije je telefonski pogovor.

4.6.2 Odpošiljanje podatkov

Podatke lahko pošiljamo eni, večim ali vsem enotam priključenim na neko omrežje. Razpršeno oddajanje (broadcasting) nastopi, ko neka enota omrežja pošilja podatke vsem ostalim. Tak način razpošiljanja je razmeroma preprost, saj podatke samo predamo omrežju, ki poskrbi za dostavo vsem svojim priključenim enotam. Preprostost realizacije pa je odvisna od vrste omrežja. Najpreprostejša je v radiodifuznem omrežju, sorazmerno preprosta pa je tudi v krajevnih računalniških omrežjih, kjer so vse enote priključene na isti fizični medij (Ethernet, Token Bus...). Razpršeno odpošiljanje podatkov se uporablja v radiodifuznih in kabelskih omrežjih ter tudi na nekaterih podatkovnih omrežjih (Ethernet).

Odpošiljanje podatkov na več naslovov (multicasting) nastopi, ko ena izmed enot pošlje podatke večim, vendar ne vsem enotam omrežja. Ta način je za realizacijo najbolj zapleten, saj mora omrežje ciljne enote izbirati selektivno, glede na zahteve oddajne enote. V same tehnike realizacije se ne bomo spuščali. Primer odpošiljanja na več naslovov je predaja nekega sporočila vsem članom neke skupine na krajevnem računalniškem omrežju.

Kot zadnja nastopi možnost pošiljanje podatkov na relaciji točka-točka (point-to-point), ki je preprosto opravilo, če imamo med njima neposredno fizično povezavo (na primer modemska klicna zveza). V nasprotnem primeru morajo podatki preko več vmesnih točk, ki morajo biti sposobne te podatke usmerjati k zelenemu cilju. O načinih usmerjanja in preklapljanja bo več govora v 4.6.6 in 4.6.7. Primer komunikacije točka-točka je telefonski pogovor, prenos datotek s strežnika in drugo.

4.6.3 Multipleksiranje

Pri prenosu podatkov skozi omrežje, ko ima več komunikacijskih kanalov isto prenosno pot, nastopi potreba po združevanju kanalov z nižjimi v kanale z višjimi kapacitetami. To realiziramo s tehniko multipleksiranja.

Na oddajni strani imamo multipleksor, ki združuje posamezne kanale, na sprejemni pa demultipleksor, ki jih zopet razdruži v samostojne kanale. Z multipleksiranjem izboljšamo izkoriščenost prenosnih poti in s tem posredno povečamo njihovo ekonomičnost. Poznamo naslednje tehnike multipleksiranja:

- Prostorski multipleks
- Frekvenčni multipleks
- Valovnodolžinski multipleks
- Časovni multipleks
- Statistični multipleks
- in drugo

4.6.3.1 Prostorski multipleks (SDM)

Prostorski multipleks je najpreprostejši izmed vseh, saj preprosto združimo fizične prenosne poti. Če nam prenosno pot predstavlja par žic, potem preprosto združimo več takih parov v večžilni kabel v razmerju 1:1. Prednost tega multipleksa je predvsem v bolj kompaktni obliki in lažjem rokovanju s takim kablom. Uporablja se predvsem v telefonskih omrežjih za razdeljevanje telefonskega signala od centrale do končnih uporabnikov.

4.6.3.2 Frekvenčni multipleks (FDM)

Frekvenčni multipleks je po naravi analogna tehnika multipleksiranja in se večinoma uporablja v sistemih z analognim načinom prenosa. Pri njem posamezne analogne ali digitalne kanale prenašamo po isti fizični prenosni poti istočasno, vendar v različnih frekvenčnih pasovih. Kabelsko omrežje za razdeljevanje televizijskih kanalov uporablja prav frekvenčno multipleksiranje, ko po enem koaksialnem kablu na različnih frekvencah prenaša več deset programov.

4.6.3.3 Valovnodolžinski multipleks (WDM)

Valovnodolžinski multipleks je v bistvu frekvenčni multipleks za prenos po optičnih vodnikih. Svoje ime je dobil zaradi terminologije pri optičnem prenosu signalov, ki kot lastnost signala namesto frekvence uporablja valovno dolžino. Obe veličini sta pri tem povezani preko enačbe (3), pri kateri v pomeni hitrost signala v optičnem vlaknu, λ njegovo valovno dolžino in f frekvenco.

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (3)$$

4.6.3.4 Časovni multipleks (TDM)

Časovni multipleks je v prvi vrsti tehnika za prenos digitalnih kanalov. Ti si časovno delijo prenosno pot in pri tem vsak v svojem času zasedajo njeno celotno pasovno širino. Prenos je razdeljen na časovne okvire z določenim trajanjem, vsak okvir je še nadalje razdeljen na časovne rezine znotraj njega, ki so dodeljene posameznim kanalom.

Poznamo dve načeli dodeljevanja časovnih rezin posameznim kanalom: statično in dinamično. Prvega ponekod v literaturi omenjajo tudi kot sinhrono. Pri njem ima vsak kanal točno določeno časovno rezino, ki jo uporablja in zaseda celoten čas trajanja zveze. Dinamično dodeljevanje pa omenjajo tudi kot asinhrono. Tu je kanalu časovna rezina dodeljena samo v času njegove aktivnosti in na podlagi razpoložljivosti tako, da se podatki nekega kanala lahko ob različnih časih nahajajo v različnih rezinah.

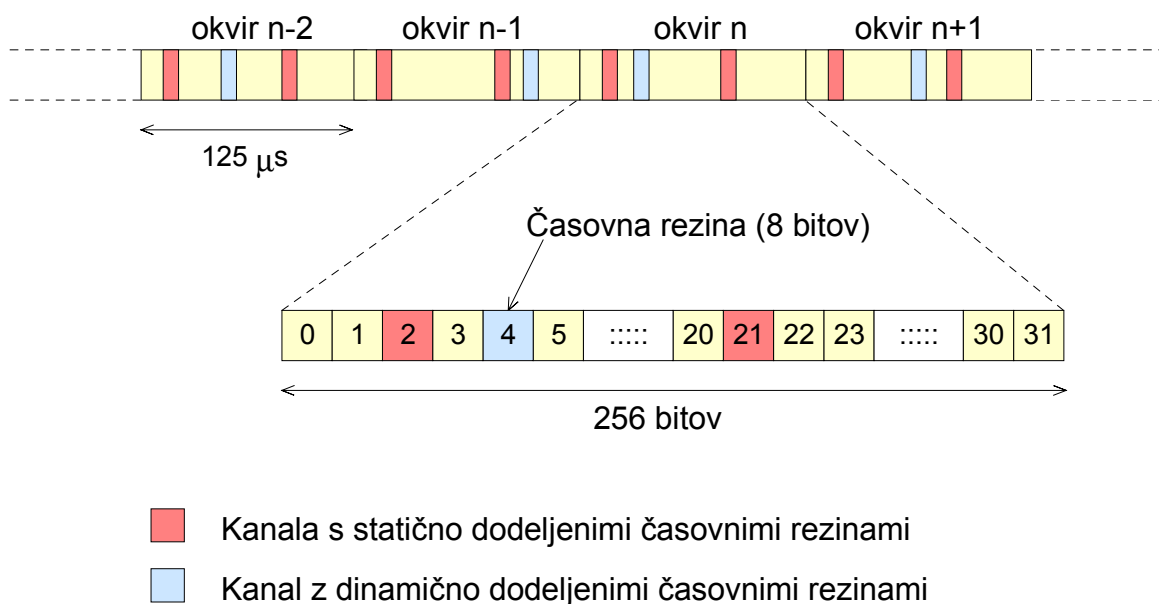
Najbolj razširjen primer uporabe časovnega multipleksa je v digitalnih telefonskih omrežjih, kjer je vsakemu govornemu kanalu dodeljena časovna rezina, ki jo drži ves čas pogovora. Na Sl. 4.7 je prikazan primer časovnega multipleksa po E1 evropskem standardu digitalne hierarhije.

Za digitalni prenos govor vzorčimo s frekvenco 8 kHz ali periodo 125 μ s (glej poglavje 3.3.1), kolikor je tudi trajanje enega okvira časovnega multipleksa. Pri E1 je ta okvir nadalje razdeljen na 32 časovnih rezin, od katerih sta dve namenjeni sinhronizaciji in signalizaciji, preostalih 30 pa prenosu uporabniških podatkov, ki so večinoma PCM govorni kanali. V vsaki časovni rezini, ki predstavlja en prenosni kanal, prenašamo 8 bitov informacije. Vsak kanal ima kapaciteto 64 kbit/s (8 bitov $\times$ 8000 Hz) in vseh 32 kanalov skupaj nam da prenosno kapaciteto 2048 kbit/s.

Na Sl. 4.7 so posebej prikazani trije prenosni kanali. Dvema so časovne rezine znotraj okvira dodeljene statično, kar pomeni, da kanal v vsakem okviru zaseda isto rezino; enemu kanalu pa dinamično, kar pomeni, da lahko v vsakem okviru zaseda poljubno rezino, ki je takrat na voljo.

4.6.3.5 Statistični multipleks

Statistični multipleks se uporablja v omrežjih s paketnim in celičnim prenosom podatkov. Podoben je časovnemu, vendar tu prenosne poti po času ne delimo v enakomerne okvire ampak podatke prenašamo, ko se ti pojavljajo na vhodu multipleksorja. Celoten paket ali celico pošljemo naenkrat in v tem času morajo ostali kanali čakati na sprostitev prenosne poti. Zato imamo pri takih multipleksorjih čakalne vrste (buffer), ki začasno hranijo pakete, ki še niso prišli na vrsto za prenos in jih potem po določenem algoritmu posredujejo na vhod multipleksorja.



Sl. 4.7: Časovni multipleks

Tako kot pri ostalih tehnikah multipleksiranja je tudi pri statističnem bistvo združevanje kanalov. Pri ostalih tehnikah ima multipleksiran kanal kapaciteto, ki je vsota kapacitet vhodnih kanalov. Vsak vhodni kanal ima torej zagotovljeno kapaciteto ves čas trajanja zveze. Pri statističnem multipleksu pa gremo en korak dlje in tega ne zagotavljamo. Zgodi se torej, da je ob nekem času na vhodu multipleksorja več podatkov kot je kapaciteta prenosne poti⁹. Izhajamo iz dejstva, da pri podatkovnih komunikacijah s paketnim prenosom podatki ne prihajajo enakomerno ampak v izbruhih. To pomeni, da vstopni kanali niso ves čas enako aktivni ampak se količina njihovih podatkov spreminja s časom. Zato multipleksorju ni potrebno zagotoviti vsote maksimalnih pretokov vhodnih kanalov, ampak le neko njihovo povprečno vrednost.

Seveda se zgodi, da je v nekem času pritok paketov v multipleksor prevelik in začne se polniti čakalna vrsta, ki lahko do določene mere kompenzira kratke presežke pritoka. Če se to nadaljuje dalj časa, se čakalna vrsta zapolni in pride do izgube paketov. Takemu stanju rečemo zasičenje vozlišča/omrežja. Okoli statističnega multipleksa, čakalnih vrst, algoritmov strežbe vhodnih kanalov, izločanju odvečnih paketov, itd, se je razvila obsežna teorija, ki se je mi na tem mestu ne bomo podrobneje lotili.

Statistični multipleks je primeren predvsem za omrežja s paketnim prenosom, pri katerih podatki prihajajo naključno, v izbruhih in s spremenljivo hitrostjo. Manj pa je primeren za omrežja, ki morajo prenašati podatke kanalov z nespremenljivo kapaciteto (govor, gibljiva slika). Za te je mnogo primernejši časovni multipleks.

4.6.4 Navidezne povezave (VC) in datagrami

Pri izvedbi prenosa podatkov preko omrežnih plasti podatkovnega omrežja imamo na voljo dva modela povezav: navidezno in datagramsko.

Navidezno povezavo si lahko predstavljamo kot neko cev med izvorom in ponorom. Vse kar na eni strani vtaknemo vanjo, prileti ven na drugi strani. Navidezna ji rečemo zato, ker ne obstaja v obliki neposredne, fizične povezave, ampak je sestavljena iz vmesnih vozlišč in povezav med njimi, ki si jih deli z drugimi navideznimi povezavami. S stališča uporabnika pa se obnaša kot neposredna povezava.

⁹ Tu pridejo na svoj račun čakalne vrste, ki odvečne podatke shranijo in pošiljajo na vhod multipleksorja s hitrostjo, ki jo dovoljuje kapaciteta prenosne poti.

Navidezna povezava se vzpostavi med transportnima plastema uporabnikov in se v času njenega trajanja vzdržuje na omrežnih plasteh vseh vmesnih vozlišč. Pri njeni vzpostavitvi ločimo tri faze:

1. Fazo vzpostavitve povezave
2. Fazo prenosa podatkov
3. Fazo rušenja povezave

V prvi fazi se s pomočjo posebnega paketa, ki ga pošlje transportna plast, v vseh omrežnih plasteh vmesnih vozlišč vzpostavijo ustrezne prevezave. Te so določene z vrednostmi v povezovalnih tabelah, na podlagi katerih omrežna plast ve, kateri vhodi in izhodi pripadajo posameznim navideznim povezavam.

Po vzpostavitvi povezave lahko začnemo po njem pošiljati podatke, pri čemer za vsak poslani paket navedemo le kratko lokalno oznako navidezne povezave na izvoru. Ko paket vstopi vanjo, ga ta s pomočjo vzpostavljenih povezovalnih tabel v vmesnih vozliščih samodejno usmerja do ponora.

Ko smo poslali vse podatke, sledi faza rušenja povezave kar pomeni, da iz povezovalnih tabel zberemo vrednosti, ki se tičejo te navidezne povezave.

Posebna oblika navideznih povezav so **stalne navidezne povezave (PVC)**, ki so v omrežju stalno vzpostavljene. To pomeni, da so njene vrednosti v povezovalnih tabelah stalno zapisane in zanje ne potrebujemo fazi vzpostavljanja in rušenja povezave. Dobra stran pri tem je predvsem, da preskočimo fazo vzpostavljanja, ki lahko traja precej časa.

Navidezna in **datagramska povezava** se med seboj zelo razlikujeta in če navidezno povezavo primerjamo s telefonsko (vzpostavitev, pogovor, rušenje), potem lahko datagramsko primerjamo s poštno pošiljko.

Vsak paket, ki uporablja datagramsko povezavo, mora v svoji glavi imeti naslov ponora in izvora. Ko se tak paket odda omrežju z datagramskimi povezavami, ga ta usmerja na podlagi naslovov v njegovi glavi, odločitev usmerjevalnih algoritmov in tabel omrežnih plasti vmesnih vozlišč. V podrobnosti usmerjevalnih algoritmov in tabel se tu ne bomo spuščali. Datagramske povezave lahko višjim plastem nudijo nepovezavne storitve in najbolj poznano omrežje, ki te povezave uporablja, je Internet. Tabela 6 navaja primerjavo med navideznimi in datagramskimi povezavami omrežnih plasti.

	Navidezna povezava	Datagramska povezava
Vzpostavljanje zveze	Zahtevano	Ni potrebno
Naslavljanje	Vsak paket vsebuje le kratko oznako navidezne povezave	Vsak paket vsebuje popoln naslov izvora in ponora
Informacija o zvezah	Vozlišča hranijo podatke o navideznih povezavah	Vsak paket se obravnava posebej
Usmerjanje	Ob vzpostavitvi povezave se izbere pot in vsi paketi potujejo po njej	Vsak paket se usmerja ločeno od ostalih
Izpad vozlišča	Vse navidezne povezave skozi to vozlišče izpadejo	Ni posledic, razen za pakete, ki so se nahajali v njem
Kontrola pretoka podatkov	Pod določenimi pogoji jo zagotavlja omrežje	Težko izvedljiva

Tabela 6: Primerjava navidezne in Datagramske povezave

4.6.5 Povezavne in nepovezavne storitve in sistemi

Povezavne storitve in sistemi temeljijo na navideznih povezavah, pri katerih se povezava med izvorom in ponorom vzpostavi še pred prenosom podatkov s pomočjo posebnega postopka vzpostavitve povezave. Podatki potem potujejo po že vzpostavljeni poti, katere topologija se v času trajanja zveze ne spreminja. Podatki se usmerjajo v vozliščih na podlagi povezovalne tabele, ki jih

z vhodov preusmeri na izhode glede na vrednosti v tabeli. Informacija o izvoru in ponoru je s tem shranjena v samem omrežju in podatkom ni potrebno pripenjati dodatnih informacij o njihovi poti.

Za razliko od povezavnih, nepovezavne storitve in sistemi med izvorom in ponorom ne vzpostavijo povezave, ampak vsak podatkovni paket opremijo z njunima naslovoma, ki se potem samostojno in neodvisno drug od drugega prebijajo skozi omrežje. Temeljijo na datagramski povezavi, kar pomeni, da v vozliščih ni potrebno vzdrževati povezovalnih tabel, hkrati pa tudi, da načeloma lahko vsak paket potuje po svoji poti. Če je pri povezavnih storitvah veljalo, da se vrstni red paketov ohranja, tu temu ni tako. Če paketi potujejo po različnih poteh to traja različno dolgo in na cilj lahko prispejo pomešani. Njihovo urejanje pa je seveda stvar ponora.

Tipičen primer povezavne storitve na povezavno naravnem omrežju¹⁰ je pogovor preko telefonskega omrežja. Pošiljanje elektronske pošte preko Interneta pa je primer nepovezavne storitve na nepovezavno naravnem omrežju¹¹. Obstajajo pa tudi kombinacije obeh, recimo uporaba TCP protokola, ki je povezavno naravn nad IP protokolom, ki je očiten primerek nepovezavno naravnega protokola.

4.6.6 Načini preklapljanja

Poznamo štiri osnovne načine preklapljanja:

- Preklapljanje povezav
- Preklapljanje sporočil
- Preklapljanje paketov
- Preklapljanje celic

4.6.6.1 Preklapljanje povezav

Pri preklapljanju povezav med uporabnikoma obstaja neposredna povezava in pri starem analognem telefonskem omrežju je to veljalo dobesedno, saj je med njim obstajala neprekinjena žična povezava. V digitalnem telefonskem omrežju to ne velja več, vendar povezavo še vedno smatramo za neposredno¹². Potrebna lastnost, da neko povezavo opredelimo kot neposredno, je, da podatkom, ki jih po njej pošiljamo, ni potrebno dodajati prav nobenih kontrolnih informacij. Take povezave tudi ne zanima vsebina samih podatkov in mnogokrat služi kot podlaga višjenivojskim podatkovnim storitvam.

Način preklapljanja povezav nam nudi komunikacijski kanal s stalno in zagotovljeno kapaciteto in zanemarljivimi zakasnitvami (v vozliščih ni nobene obdelave podatkov) ter je zato kot nalašč za prenos govora in podatkov povezavno naravnanih storitev podatkovnih omrežij.

4.6.6.2 Preklapljanje sporočil

Preklapljanje sporočil je bilo v 60-tih in 70-tih letih prevladujoče v podatkovnih omrežjih in nekatere aplikacije (elektronska pošta) ga uporabljajo še danes. Pri tem načinu preklapljanja po omrežju potujejo sporočila, ki se v vsakem vozlišču najprej shranijo kot celota in šele potem pošljejo naprej. Sporočila so lahko poljubno dolga, zato moramo imeti v vozliščih zadostne pomnilniške kapacitete, navadno v obliki trdih diskov, ki so jih sposobna shraniti.

Vse te lastnosti naredijo ta način preklapljanja relativno neroden in počasen, kar ne omogoča interaktivnega dela in ga zato uporabljajo le nepovezavne storitve.

¹⁰ Omrežje, ki uporablja navidezne povezave.

¹¹ Omrežje, ki uporablja datagramske povezave.

¹² Pri sistemih s časovnim multipleksom je povezava zagotovljena preko hitrih čakalnih vrst. Kljub temu jo štejemo za neposredno, ker nudi stalno in zagotovljeno kapaciteto. Ta način preklapljanja pa označimo kot CES (Circuit Emulation Switching).

4.6.6.3 Preklapljanje paketov

Zaradi težav s preklapljanjem sporočil (velika zakasnitev, neomejena dolžina, velike zahteve po pomnilniškem prostoru v vozliščih) so iskali nove načine in rodilo se je preklapljanje paketov, ki je kmalu postalo prevladujoče v podatkovnem svetu.

Paketi so deli sporočil (ali včasih kar cela sporočila) s spremenljivo dolžino, ki pa so za razliko od sporočil navzgor omejena. Paketi se v vozliščih tudi ne shranjujejo, ampak se odpošljejo naprej takoj, ko je to mogoče in za njih zadoščajo že RAM pomnilniki v vozliščih. Zmanjša se tudi zakasnitev; s tem ta način preklapljanja nudi interaktivne storitve.

Prednosti pred preklapljanjem sporočil so očitne, kaj pa primerjava s preklapljanjem povezav? Medtem ko neposredna povezava zaseda kapaciteto na prenosni poti ves čas trajanja zveze, jo paketi le v času njihovega odpošiljanja. Temu smo v poglavju 4.6.3.5 rekli statistični multipleks in smo zanj tudi ugotovili, da mnogo bolje izkorišča prenosne poti kot časovni, ki ga večinoma uporabljajo neposredne povezave.

Težko pa je reči kateri način preklapljanja je boljši, saj je to odvisno od vrste in oblike prenašanih podatkov. Za podatke, ki večinoma prihajajo v obliki izbruhov, je vsekakor boljši način preklapljanje paketov, saj lahko pri njem uporabimo načela statističnega multipleksiranja. Podatkom s stalnim bitnim pretokom, ki zahtevajo prenos v realnem času (govor, gibljiva slika) pa je preklapljanje povezav pisano na kožo. Vendar se jim sodobna paketna omrežja v tem pogledu vse bolj približujejo in nudijo tako povezavne kot nepovezavne storitve.

4.6.6.4 Preklapljanje celic

Celice in paketi so si med seboj zelo podobni in se v bistvu razlikujejo le v dolžini, ki je pri celicah stalna. To dejstvo ima mnogo posledic in prva med njimi je, da se pri preklapljanju celic v vozliščih zmanjša zahtevnost obdelave podatkov, saj že vnaprej vemo koliko je vsak "paket" dolg. Ker pa so celice ponavadi kratke je tudi njihova zakasnitev manjša. Naslednja, zelo pomembna posledica je, da lahko celice prenašamo v časovnih multipleksih, če njihova dolžina ustreza njegovim časovnim rezinam. Primer je prenos ATM celic z dolžino 53 bytov v časovnih rezinah enake dolžine DQDB tehnologije. Tako lahko dosežemo zahteve nekaterih aplikacij, ki jih v omrežjih s statističnim multipleksiranjem ne moremo. Najbolj poznan predstavnik celičnega načina preklapljanja je ATM omrežje.

4.6.7 Usmerjanje

V 4.6.4 smo govorili o navideznih in datagramskih povezavah, vendar nismo rekli nobene besede o tem, kako se te povezave v omrežni plasti tudi izvedejo in kako podatki najdejo pot do cilja. S temi vprašanji se ukvarjajo usmerjevalni postopki in koncepti.

Glede na prilagodljivost poznamo statične in dinamične usmerjevalne algoritme. Prvi so primerni za stabilna omrežja in temeljijo na nespremenljivih podatkih o topologiji takega omrežja, drugi pa predpostavljajo stalno spreminjanje topologije in so sposobni hitre prilagoditve na trenutno stanje. Poznamo štiri osnovne koncepte usmerjanja:

- Porazdeljeno
- Izvorno
- Centralizirano
- Hierarhično

4.6.7.1 Porazdeljeno usmerjanje

Porazdeljeno usmerjanje pomeni, da vsako vozlišče, na katero paket na svoji poti naleti, odloča o njegovi naslednji postaji (vozlišču). Na tem načelu temeljijo datagramski modeli in v primeru velikega števila vozlišč tudi modeli z navideznimi povezavami. Vsako vozlišče mora vzdrževati svojo lokalno usmerjevalno tabelo, na podlagi katere se odloča, kam naj kateri paket pošlje. Ta koncept usmerjanja je dokaj prilagodljiv, ker vsako vozlišče prilagaja svoje usmerjevalne tabele glede na trenutno stanje v omrežju in se na svojih dejanjih tudi uči.

4.6.7.2 Izvorno usmerjanje

Pri izvornem usmerjanju celotno pot skozi omrežje določi izvorno vozlišče. Pri tem lahko v izvornem vozlišču podatke o vmesnih vozliščih določimo ročno ali pa se nahajajo v njegovi usmerjevalni tabeli, ki mora vsebovati podatke o topologiji celotnega omrežja.

Tudi ta koncept lahko uporabimo za datagrame ali navidezne povezave. Pri prvem mora vsak paket vsebovati naslove vseh vmesnih vozlišč, pri drugem pa izvorno vozlišče v omrežja pošlje paket za vzpostavitev povezave, ki ravno tako vsebuje naslove vseh vmesnih vozlišč.

4.6.7.3 Centralizirano usmerjanje

To pomeni, da se za določevanje poti skozi omrežje uporablja posebno vozlišče, ki mu rečemo "Center za nadzor usmerjanja" (CNU). Vsako vozlišče, ki želi poslati podatke na določen naslov povpraša CNU za pot do njega. Ko te podatke dobi, pošlje podatke na enak način kot pri izvornem usmerjanju. Prednosti centraliziranega usmerjanja so v potrebi po vzdrževanju le ene usmerjevalne tabele, slabosti pa v možnosti zasičenja omrežja v bližini CNU zaradi dodatnega prometa vozlišč, ki povprašujejo o usmerjevalnih informacijah.

4.6.7.4 Hierarhično usmerjanje

To je nekakšna nadgradnja porazdeljenega usmerjanja. Vozlišča so pri njem razdeljena v skupine ali domene in zaradi hierarhične zgradbe naslovov vsako vozlišče točno ve kam poslati vsak posamezen paket. Naslovi so zgrajeni podobno kot telefonske številke, pri katerih v vsaki centrali točno vemo, kam klic usmeriti. Podobno so zgrajeni tudi IP naslovi. V omrežjih z več milijoni vozlišč postane kombinacija hierarhičnega in porazdeljenega usmerjanja edina sprejemljiva rešitev usmerjanja in to velja tako za datagrame kot navidezne povezave.

4.6.8 Nadzor pretoka podatkov in zasičenja omrežja

Nadzor pretoka in zasičenja sta dva različna pojma, ki pa se ju mnogokrat enači ali zamenjuje. Tu bomo v nekaj stavkih poskusili razložiti njune razlike in lastnosti.

Nadzor pretoka podatkov se nanaša na povezave točka-točka in mora zagotoviti, da "hitri" oddajnik s svojimi podatki ne zasuje "počasnega" sprejemnika. V protokolih za nadzor pretoka vedno obstaja neka povratna informacija, ki oddajniku pove, koliko lahko obremeni sprejemnik in kakšno je stanje na drugi strani povezave.

Nadzor zasičenja omrežja pa nam zagotovi njegovo delovanje pod mejo zasičenja. Nadzora se moramo lotiti na globalni ravni z upoštevanjem lastnosti in zmogljivosti prenosnih poti, vozlišč in drugih elementov omrežja.

Razliko med nadzorom pretoka in zasičenja lahko ponazorimo tudi s primerom. Recimo, da imamo omrežje, ki ima prenosno kapaciteto 100 Mbit/s, oddajnik lahko oddaja s hitrostjo 1 Mbit/s, sprejemnik pa sprejema z 10 kbit/s. Vidimo, da tu ne more priti do zasičenja omrežja, potreben pa je nadzor pretoka podatkov med oddajnikom in sprejemnikom, da prvi pošilja le toliko podatkov kot jih je drugi sposoben sprejeti.

Vzrokov za zasičenje omrežja je več in se z njimi ne bomo podrobneje ukvarjali, omenimo pa tri osnovne mehanizme njegovega nadzora.

Eksplisitni nadzor zasičenja pomeni, da omrežje točno določi koliko podatkov lahko vanj vstopi in uporabniki se morajo tega držati tako, da zmanjšajo pretok podatkov ali popolnoma ustavijo njihovo oddajanje. Tako ostane dokler omrežje ne izda drugačnih dovoljenj.

Implicitni nadzor zasičenja pomeni, da omrežje ne določi eksplisitnih vrednosti pretoka podatkov ampak le "predlaga" njegovo znižanje ali ustavitev. Če se uporabniki tega priporočila ne držijo, tvegajo, da bo omrežje odvečne podatke zavrlo.

Brez nadzora. Mehanizem nadzora pretoka v omrežju ne obstaja in to lahko zavrže vse podatke, ki povzročajo težave. To je s stališča omrežja vsekakor najlažja strategija nadzora zasičenja, vendar pa za uporabnike v večini primerov ni sprejemljiva.

4.6.9 Kakovost storitve (QoS)

Do sedaj smo našli že kar nekaj lastnosti podatkovnih omrežij, pri čemer smo se večinoma držali pri dnu referenčnega protokolnega modela, predvsem okoli njegove omrežne plasti. Omrežje smo obravnavali s stališča njegovega delovanja in zgradbe ter tako spoznali lastnosti protokolov, povezav, vozlišč in drugih njegovih elementov.

Če pa omrežje gledamo s stališča uporabnika in aplikacij, ki jih ta uporablja, spoznamo, da ga te podrobnosti sploh ne zanimajo in od omrežja želi le eno: da ustreza zahtevam aplikacije, ki jo uporablja. Različne aplikacije pa imajo do omrežja različne zahteve in različna omrežja lahko ponudijo različne storitve ali pa enake storitve različnih kakovosti.

Eden izmed načinov opredelitve storitev, ki jih nudi omrežje, je tudi preko nabora parametrov, ki definirajo kakovost njegove storitve (QoS). Nekateri izmed teh parametrov so:

- Zakasnitev prenosa podatkov
- Ponujena kapaciteta povezave
- Rezervacija pasovne širine/kapacitete
- Nivo napak v prenosu
- Stopnja izgube podatkov
- Zaščita podatkov
- Zakasnitev pri vzpostavljanju povezave

To pa še zdaleč niso vsi možni parametri, saj se s porajanjem novih aplikacij in storitev pojavljajo vedno novi.

Ponujena kakovost storitve je za nekatera omrežja bolj ali manj fiksna¹³, pri drugih pa se lahko spreminja. Uporabnik se lahko za kakovost storitve dogovori ob njenem nakupu ali pa ob vsaki vzpostavitvi povezave posebej. Vprašanje kakovosti storitev je še posebej zanimivo pri novejših tehnologijah kot sta ATM in Frame Relay. Ti že imajo definirane različne parametre kakovosti storitve, ki jih pod različnimi tarifami ponujajo uporabnikom. Pri tem so nekateri od njih definirani kot maksimalne, drugi kot minimalne ali povprečne, tretji spet kot pričakovane vrednosti. Za primer navedimo nekaj parametrov kakovosti storitve ATM omrežja:

- PCR (Peak Cell Rate) določa maksimalno bitno hitrost, ki jo uporabnik lahko doseže.
- MCR (Minimum Cell Rate) je najnižja bitna hitrost, ki jo mora omrežje nuditi uporabniku.
- CTD (Cell Transfer Delay) je povprečni čas prenosa celice od izvora do ponora.

Zgoraj so našli nekateri parametri kakovosti storitve, ki jih omrežje ponuja uporabniku. Gledano z njegove strani pa je bolj logično, da za osnovo vzamemo aplikacijo, pogledamo njene zahteve in potem omrežje prilagodimo njim tako, da izberemo ustrezne parametre kakovosti storitve. Za primer vzemimo aplikacijo, ki želi preko omrežja prenašati PCM govorni signal. Omrežje bo moralo, na primer, izpolnjevati naslednje zahteve:

Parameter kakovosti storitve	Vrednost
Zagotovljena bitna hitrost	64 kbit/s
Zakasnitev	< 30 ms
Spremenljivost zakasnitve	< 5 ms
Izguba podatkov	< 10 ⁻⁴

Tabela 7: Primer vrednosti parametrov kakovosti storitve za PCM govorni signal

¹³ Telefonska povezava preko digitalnega telefonskega omrežja nam nudi stalno kapaciteto 64 kbit/s ter stalno in nespremenljivo zakasnitev.

5 PODATKOVNA OMREŽJA Z IZOHRONIM PRENOSOM

Podatkovna omrežja z izohronim prenosom nam zagotavljajo stalen in enakomeren pretok podatkov in jim bomo v nadaljevanju rekli kar izohrona podatkovna omrežja. Beseda izohrono pomeni istočasno, sočasno in izohroni prenos podatkov pomeni, da ti prihajajo v rednih, enakomernih in vnaprej definiranih intervalih. Zaradi tega so izohrona omrežja še posebej primerna za aplikacije, ki imajo stalen in enakomeren pretok podatkov ter zahtevajo prenos v realnem času.

Izohrona podatkovna omrežja za nudenje svojih storitev uporabljajo časovni multipleks¹⁴ s statičnim dodeljevanjem časovnih rezin, saj le tako lahko zagotovijo izohroni prenos kot je bil definiran zgoraj. Časovni multipleks je torej nekakšen predpogoj za izohroni prenos podatkov in omrežja, ki uporabljajo statistični multipleks, že v osnovi niso sposobna zagotoviti izohronega prenosa, če nimajo realiziranega rezervacijskega protokola, kar pa pomeni, da to ni več "čisti" statistični multipleks.

V nadaljevanju bomo našeli glavne lastnosti izohronih omrežij, razčlenili njihovo sposobnost za prenos govora in nekatera izmed njih tudi podrobneje spoznali.

5.1 Glavne lastnosti izohronih omrežij

V poglavju 4.6 smo našeli in obdelali osnovne lastnosti podatkovnih omrežij sedaj pa nas zanima, katere izmed njih posedujejo izohrona omrežja in kaj to za njih pomeni.

Kot način preklapljanja izohrona omrežja uporabljajo preklapljanje povezav, ki so realizirane preko časovnega multipleksa in edine zagotavljajo stalno in enakomerno kapaciteto prenosnega kanala potrebnega za izohroni prenos.

Izohrone storitve so povezavno naravnane in med izvorom in ponorom vzpostavijo navidezno povezavo. Izohrona omrežja imajo zaradi že naštetih lastnosti majhne zakasnitve prenosa in spremenljivost le te je zanemarljiva.

Nadzor pretoka podatkov je preprost in se vrši ob zahtevi za vzpostavitev povezave. Če so prenosne kapacitete zasedene se vse nove zahteve zavrne, že obstoječe pa delujejo naprej nemoteno in z nezmanjšano kakovostjo storitve. Kakovost storitve, ki jo izohrono omrežje ponuja, pa je odvisna predvsem od tehnologije na kateri je realizirano in nekatere izmed njih bomo podrobneje spoznali v nadaljevanju. Splošne lastnosti izohronih omrežij lahko strnemo v nekaj točk:

- Preklapljanje povezav
- Časovno multipleksiranje (TDM)
- Povezavno naravnane storitve
- Vzpostavljane navideznih povezav (VC)
- Majhna in nespremenljiva zakasnitev
- Zagotovljena enakomerna prenosna kapaciteta
- Lahek nadzor pretoka podatkov
- Kakovost storitve delno odvisna od tehnologije

¹⁴ Časovni multipleks je bil podrobneje opisan v poglavju 4.6.3.4.

5.2 Izohrona omrežja in govor

Govorne aplikacije so izohronim omrežjem pisane na kožo, saj zaradi svojih lastnosti zlahka izpolnijo njihove zahteve, ki so podrobneje opisane v poglavju 3.7 in jih lahko strnemo v nekaj točk:

- Zadosti velika bitna hitrost
- Zagotovljena stalna prenosna kapaciteta
- Majhna zakasnitev
- Čimmanjša spremenljivost zakasnitve
- Prenos v realnem času

Konkretno vrednosti parametrov so odvisne od mnogih dejavnikov, kot je na primer način kodiranja govornega signala. Kako jih posamezne tehnologije izpolnjujejo pa v naslednjih podpoglavjih. Že sedaj pa lahko rečemo, da vsa izohrona omrežja izpolnjujejo glavne zahteve govornih aplikacij in so zato zanje primerna.

5.3 Digitalno omrežje z integriranimi storitvami (ISDN)

ISDN bi lahko opredelili tudi kot digitalno telefonsko omrežje z dodatnimi storitvami. Že ime samo pove, da je to omrežje, v katerem integriramo več storitev kot so prenos govora, slike in podatkov.

Standard ISDN izhaja iz telefonskega sveta za razliko od nekaterih drugih izohronih omrežij (Izohroni Ethernet, DQDB), katerih standardi izhajajo iz računalniškega sveta. Tu bo v nekaj odstavkih predstavljen ozkopasovni ISDN (N-ISDN), ki je bil sprejet v osemdesetih letih. Trenutno pa je v pripravi že širokopasovna različica ISDN-a, ki bo temeljila na asinhronem prenosnem načinu (ATM), vendar je tu ne bomo podrobneje predstavljali.

Prvoten namen ISDN-a je bil zagotavljanje digitalnega vmesnika med uporabnikom in digitalnim omrežjem ter s tem omogočanje digitalnega prenosa na celotni prenosni poti, poleg tega pa še integracija prenosa govora in podatkov. ISDN je že nekaj časa v uporabi in poleg prvotno načrtovanih storitev nudi še druge, ki pa jih tu ne bomo podrobneje obravnavali.

5.3.1 Uporabniški vmesnik in arhitektura

Zaradi pestre izbire terminalne opreme (TE), ki uporablja ISDN storitve, je bilo, potrebno določiti standardiziran vmesnik med njo in omrežjem. Na Sl. 5.1 je prikazana tipična arhitektura ISDN omrežja. Oprema levo od referenčne točke U predstavlja uporabniški vmesnik in se tipično nahaja na uporabnikovi strani, pri čemer je v večini primerov uporabnik lastnik opreme levo od referenčne točke T, desno od nje pa operater omrežja.

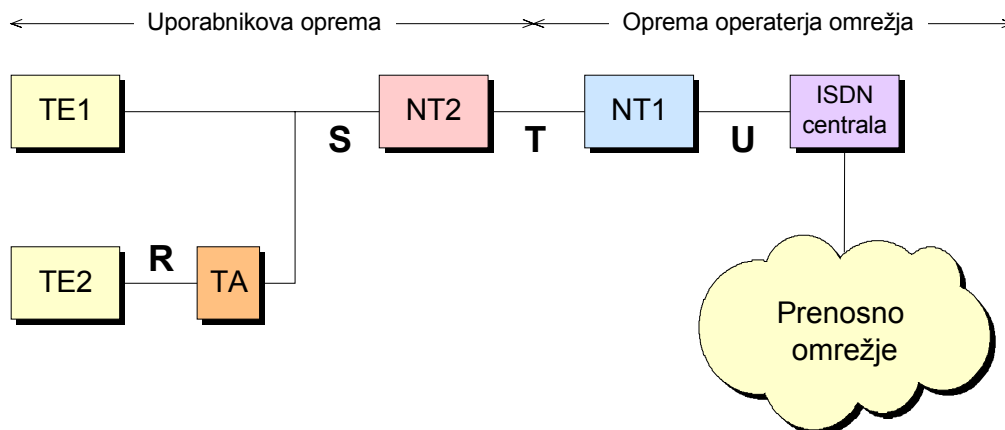
Arhitekturo ISDN omrežja lahko predstavimo s prenosnim omrežjem, funkcionalnimi napravami in referenčnimi točkami. Prvo je predstavljeno z oblačkom, druge s pravokotniki in slednje označene s črkami.

Prenosno omrežje pri ozkopasovnem ISDN večinoma temelji na tehnologijah, ki uporabljajo časovni multipleks, vendar pa to s samim standardom ni določeno in je lahko tudi paketno, celično, satelitsko ali katero drugo.

5.3.1.1 Funkcionalne naprave

Funkcionalna naprava **NT1** (Network Termination Type 1) zagotavlja funkcijo fizične zaključitve omrežja na uporabnikovi strani in opravlja predvsem funkcije povezane s fizično plastjo OSI protokolnega modela in je tipično v lasti operaterja ISDN omrežja.

Funkcionalna naprava **NT2** (Network Termination Type 2) omogoča združevanje več ISDN naprav (telefon, faks, PC) na eni ISDN povezavi in opravlja funkcije fizične, povezavne in omrežne plasti OSI protokolnega modela.



Sl. 5.1: Uporabniški vmesnik in arhitektura ISDN

V določenih okoljih, predvsem v Evropi, se uporablja tudi funkcionalna naprava **NT12**, ki združuje funkcije naprav NT1 in NT2. Tipično je v lasti operaterja omrežja.

TE1 (Terminal Equipment Type 1) so naprave, ki ustrezajo ISDN standardom in za komunikacijo uporabljajo ISDN protokole. Take naprave so: ISDN telefon, ISDN faks, ISDN modem in drugo.

Terminalni adapter (**TA**) omogoča ne-ISDN napravam komunikacijo preko ISDN omrežja. Te naprave so na Sl. 5.1 označene s **TE2** (Terminal Equipment Type 2) in so lahko: analogni telefon, analogni faks, PC in drugo. TA zagotavlja povezljivost teh naprav v ISDN omrežje preko ustreznih pretvorb komunikacijskih protokolov in TE2 predstavi NT2 kot napravo, ki ustreza TE1.

5.3.1.2 Referenčne točke

Referenčne točke določajo komunikacijske protokole med posameznimi funkcionalnimi napravami. Pri ISDN uporabniškem vmesniku so določene štiri točke, pri čemer se točka **U** uporablja le v ZDA ter določa komunikacijo med lokalno centralo na operaterjevi in NT1 na uporabnikovi strani. ITU standardi te točke ne določajo.

Referenčna točka **R** določa komunikacijo med TE2 in TA ter s standardom ni določena. Določi jo vsak proizvajalec TA. Točka **S** določa komunikacijo med TE1 in NT2, točka **T** pa med NT1 in NT2. V primerih, ko NT12 nadomešča obe funkcionalni napravi se tudi referenčni točki združita v točko S/T.

5.3.2 ISDN kanali

Obstajajo trije tipi ISDN kanalov: D, B in H, ki imajo lahko različne prenosne hitrosti, ki so za vsakega od njih naštetje spodaj.

- D kanal: 16 ali 64 kbit/s
- B kanal: 64 kbit/s
- H kanal: 384, 1536 ali 1920 kbit/s

Preko **D kanala** se prenašajo kontrolne informacije in signalizacija med uporabnikom in omrežjem. Na povezavi D kanala se kot način preklapljanja podatkov uporablja preklapljanje paketov s kapacitetama 16 ali 64 kbit/s, odvisno od dostopnega vmesnika uporabnika (glej 5.3.3). D kanal pa se lahko uporablja tudi za prenos uporabniških podatkov v času, ko tega ne zasedajo kontrolne informacije in signalizacija.

Po **B kanalu** se prenašajo uporabniški podatki, njegove karakteristike pa so določene z informacijami izmenjanimi po D kanalu. Aplikacije za prenos podatkov po B kanalu lahko uporabljajo paketno ali povezavno preklapljanje, kar je spet določeno preko D kanala. Preklapljanje povezav aplikaciji zagotovi transparenten prenosni kanal s kapaciteto 64 kbit/s za celoten čas

trajanja povezave (govor, gibljiva slika), paketno preklapljanje pa podpira paketni prenos podatkov (X.25, Frame Relay).

Za aplikacije, ki potrebujejo večje prenosne kapacitete, pa so na voljo **H kanali** s kapacitetami, ki so mnogokratnik kapacitete B kanala. Standardizirani H kanali so H_0 s kapaciteto $6 \times B$ ali 384 kbit/s, H_{11} s kapaciteto $24 \times B$ ali 1536 kbit/s in H_{12} s kapaciteto $30 \times B$ ali 1920 kbit/s.

5.3.3 Dostopni vmesnik

Pri ozkopasovnem ISDN sta definirani dve obliki dostopa: osnovni in primarni dostop. Pri **osnovnem dostopu** je uporabniku na voljo kapaciteta 144 kbit/s, ki je sestavljena iz dveh B in enega D kanala ($2 \times 64 + 16$ kbit/s). Zaradi dodatne signalizacije fizične plasti prenosna kapaciteta naraste na 192 kbit/s.

Primarni dostop pa uporabniku ponuja kapaciteto 1984 kbit/s, ki je sestavljena iz 30 B in enega D kanala ($30 \times 64 + 64$ kbit/s). Celotna prenosna kapaciteta fizične plasti je 2048 kbit/s¹⁵, kar se sklada z E1 nivojem standarda digitalne hierarhije.

5.4 FDDI II

FDDI ali Fiber Distributed Data Interface je paketno računalniško omrežje, ki preko optičnega vodnika prenaša podatke s hitrostjo 100 Mbit/s. Ima topologijo dvojnega obroča z največjim razponom do 200 km in možnostjo priključitve do 1000 delovnih postaj, ki so lahko največ 2.5 km vsaksebi. Zaradi teh lastnosti je FDDI primeren tako za krajevna kot mestna omrežja.

Prenos podatkov temelji na izmenjavi žetona zelo podobno kot pri standardu za krajevna računalniška omrežja IEEE 802.5 Token Ring. Za fizični prenos bitov uporablja linijsko kodo 4B/5B (glej poglavje 5.7.1), zato za hitrost prenosa 100 Mbit/s potrebuje uro s frekvenco 125 MHz, pri čemer dosega nivo napak reda 10^{-9} .

FDDI II je naslednik standarda FDDI in je z njim navzdol tudi združljiv. Medtem ko slednji dovoljuje le prenos podatkov v asinhronih okvirih spremenljive dolžine, FDDI II uporablja tudi sinhrono okvire¹⁶, ki jih vsakih 125 μ s generira glavna ali nadzorna postaja omrežja. Ta časovni interval nam da vzorčno frekvenco 8000 Hz, kar se lepo sklada s PCM sistemi. Na ta način dosežemo izohroni prenos.

5.4.1 Sinhroni okvir

Kot že rečeno, sinhrono okvire generira glavna ali nadzorna postaja omrežja na vsakih 125 μ s. Okvir lahko predstavlja en sam izohroni kanal s kapaciteto 6144 kbit/s ali pa je razdeljen na več manjših z manjšimi kapacitetami. Tipično ga razdelimo na 96 kanalov s kapacitetami po 64 kbit/s, kar ustreza PCM kodiranemu govoru. Taka kapaciteta je bila izbrana, ker tako v enem sinhronem okviru prenašamo štiri T1 (4×1536 kbit/s) ali tri E1 kanale (3×2048 kbit/s).

FDDI delovne postaje lahko rezervirajo sinhrono okvire ali njihove dele ter tako pridejo do povezavno preklapljanega kanala s stalno in zagotovljeno kapaciteto, kar je osnova za prenos časovno občutljivih podatkov kot je govor.

5.4.2 Načini delovanja

Pri FDDI II poznamo dva načina delovanja: osnovnega in hibridnega. V **osnovnem načinu** je delovanje popolnoma enako kot pri FDDI kar pomeni, da je celotna prenosna kapaciteta namenjena paketnemu prenosu podatkov.

¹⁵ V severni Ameriki in na Japonskem je kapaciteta primarnega dostopa 1536 kbit/s, celotna prenosna kapaciteta pa 1544 kbit/s, kar se sklada s T1 nivojem digitalne hierarhije.

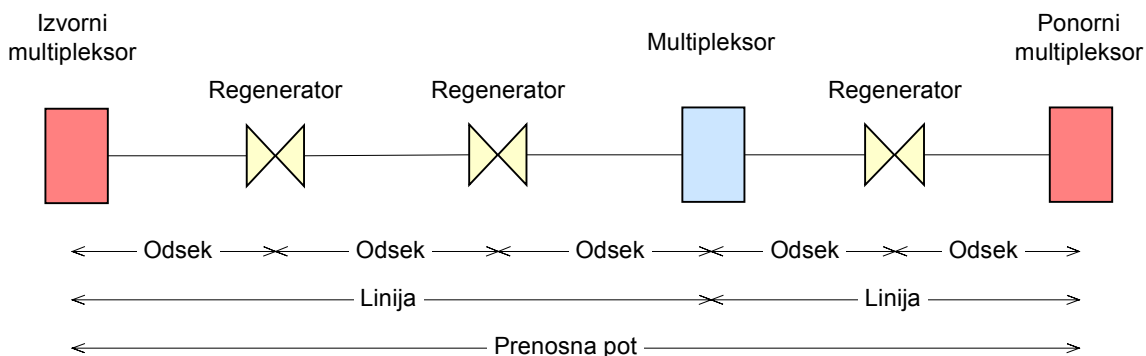
¹⁶ Asinhroni okviri se lahko pojavijo na liniji ob kateremkoli času in so lahko spremenljivih dolžin tja do 4500 bytov, sinhroni okviri pa imajo fiksno dolžino in točno določen časovni interval pojavljanja.

Pri **hibridnem načinu** delovanja pa je prenosna kapaciteta razdeljena med paketni (preklapljanje paketov) in izohroni prenos (preklapljanje povezav). Za prvega se uporablja asinhroni, za drugega pa sinhroni okviri. Sinhronih okvirov s kapaciteto 6144 kbit/s imamo pri hibridnem prenosu lahko največ do 16, pri čemer zasedajo kapaciteto 98.3 Mbit/s. Za paketni prenos je takrat namenjeno le 768 kbit/s in za režijo 928 kbit/s. Če je sinhronih okvirov manj kot 16, potem preostanek kapacitete lahko uporabimo za paketni prenos v asinhronih okvirih.

5.5 Sinhrona digitalna hierarhija (SDH)

SDH in v severni Ameriki SONET (Synchronous Optical Network) sta omrežji definirani le na fizični plasti OSI referenčnega modela. V glavnem se uporabljata kot fizično prenosno omrežje za druge tehnologije, predvsem ATM. SDH in SONET standarda sta skoraj popolnoma enaka in se razlikujeta le v manjših podrobnostih tako, da z združljivostjo ni težav.

Kot že ime samo pove, omrežje deluje sinhrono glede na matično uro z natančnostjo reda 10^{-9} na katero so sinhronizirane vse podrejene enote. Omrežje ima ponavadi topologijo dvojnega obroča na katerem so regeneratorji, digitalni prevezovalniki (Digital Cross-connect), končni multipleksorji in multipleksorji z dodajanjem in odvzemanjem (Add/drop Multiplekser).

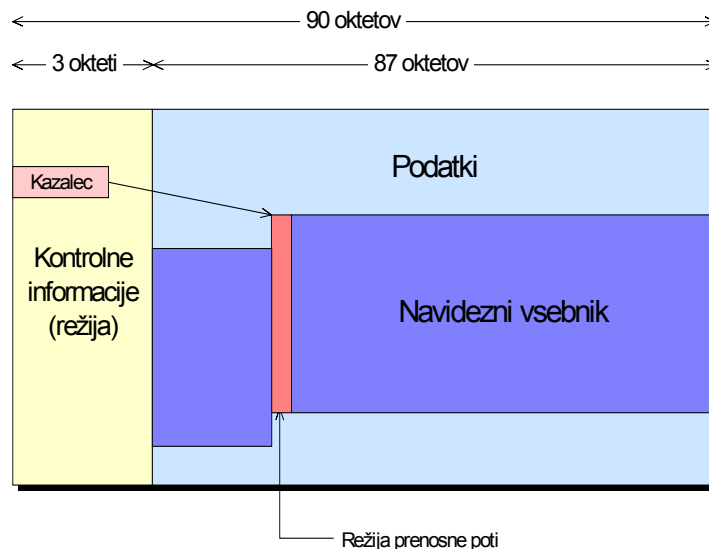


Sl. 5.2: Prenosna pot v SDH/SONET omrežjih

Prenosna pot v SDH/SONET omrežju je sestavljena iz linij, te pa iz odsekov, kar je prikazano tudi na Sl. 5.2. Odsek je del poti med regeneratorji ali med multipleksorjem in regeneratorjem. Linija je del poti med dvema multipleksorjema, prenosna pot pa med izvirnim in ponornim multipleksorjem.

Osnovni SONET okvir je dolg 810 bytov in se pošilja na vsakih 125 μ s, kar spet lepo ustreza PCM kanalu za prenos govora. Kapaciteta te osnovne povezave, ki jo označujemo z STS-1, je 51.84 Mbit/s. STS-1 okvir je sestavljen iz 9 vrstic v katerih se nahaja 90 stolpcev (oktetov), kar vidimo na Sl. 5.3. Prvi trije stolpci so namenjeni režiji, ostali pa za prenos podatkov. Znotraj podatkovnega prostora pa se nahajajo še kontrolne informacije (režija) za prenosno pot tako, da lahko od 50.112 Mbit/s uporabimo le 49.536 Mbit/s za prenos uporabniških podatkov. Osnovni okvir pri SDH z oznako STM-1 je nekoliko večji in zajema tri STS-1 okvire. Njegova zgradba je enaka kot pri STS-1, le da je režiji namenjenih 9 stolpcev, preostalih 261 pa prenosu podatkov.

Podatki se pri SDH/SONET omrežjih prenašajo v navideznih vsebnikih, ki se lahko začnejo kjerkoli znotraj podatkovnega prostora okvira. Na njegov začetek kaže kazalec v režijskem delu okvira (glej Sl. 5.3). Dobra stran take organizacije podatkov je v tem, da lahko začnemo s prenosom le teh takoj, ko je navidezni vsebnik pripravljen in nam ni treba čakati na začetek naslednjega okvira. S tem boljše izkoriščamo prenosne kapacitete in brez težav prenašamo tudi vsebnike, ki se ne prilegajo SDH/SONET okvirom.



Sl. 5.3: Osnovni okvir SONET omrežja STS-1

Večje prenosne kapacitete dosežemo z združevanjem manjših okvirov v večje. Tako na primer združimo tri osnovne SONET STS-1 okvire v en STS-3 okvir ali en STM-1 okvir, ki predstavlja osnovni okvir SDH omrežja. Združevanje poteka naprej po hierarhiji, ki jo prikazuje Tabela 8.

SDH	SONET	Kapaciteta (Mbit/s)
	STS-1	51.84
STM-1	STS-3	155.52
STM-3	STS-9	466.56
STM-4	STS-12	622.08
STM-6	STS-18	933.12
STM-8	STS-24	1244.16
STM-12	STS-36	1866.24
STM-16	STS-48	2488.32

Tabela 8: Hierarhija SDH in SONET omrežij

SDH/SONET pa ima še eno dobro lastnost, ki je posledica sinhronega prenosa in uporabe kazalcev, ki označujejo začetek navideznih vsebnikov. Kadar želimo iz okvira izločiti navidezni vsebnik, vedno natanko vemo kje v njem se nahaja. Tega pri starejši izvedbi digitalne hierarhije, ki ji pravimo pleziohrona digitalna hierarhija (PDH), ni. Pri slednji smo za izločitev E1 okvira morali razdreti in ponovno sestaviti celoten E3 okvir. Temu postopku se pri SDH/SONET omrežjih sedaj lahko izognemo in tako prihranimo pri času in obdelavi okvirov.

5.6 Dvojno vodilo s porazdeljeno čakalno vrsto (DQDB)

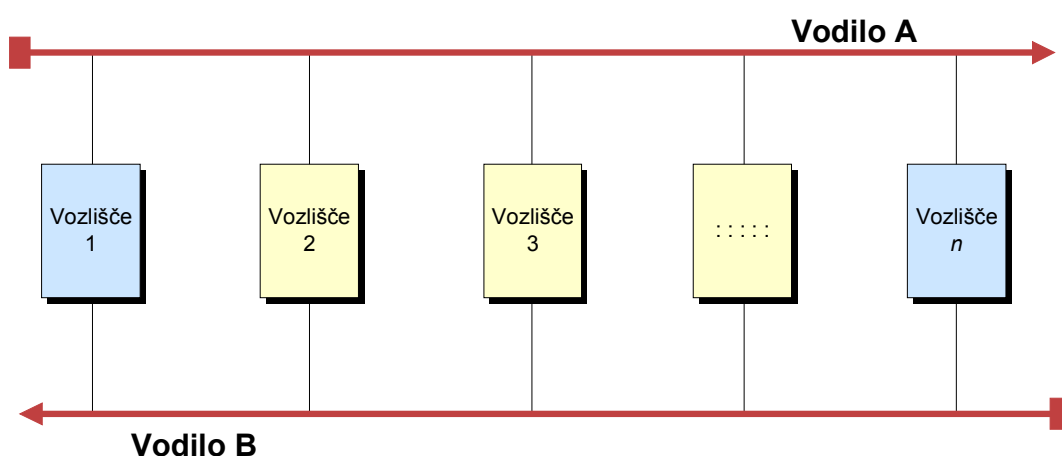
DQDB ali Distributed Queue Dual Bus je tehnologija za mestna omrežja z dosegom do sto in več kilometrov, ki preko optičnih povezav zagotavlja prenosne hitrosti do 155 Mbit/s. Tehnologija je določena z IEEE 802.6 standardom, ki obsega spodnji dve plasti OSI referenčnega modela.

DQDB je realiziran z dvema samostojnima, enosmernima vodiloma in uporabniku nudi povezavne, nepovezavne in izohrone storitve. Njegova arhitektura se kar precej razlikuje od že poznanih pri drugih tehnologijah ter nam ponuja zanimivo in pravično metodo dostopa do vodila in kapacitete omrežja.

5.6.1 Arhitektura in topologija

DQDB realiziramo preko dveh samostojnih enosmernih vodil in vozlišč, v katerih se nahajajo dostopne enote ali delovne postaje. Vsako vozlišče je povezano na obe vodili in na vsakem od njiju poteka promet le v eni smeri. Na Sl. 5.4 sta vodili označeni s črkama A in B. Po vodilu A tečejo podatki v smeri od leve proti desni in na vodilu B od desne proti levi. Na začetku vsakega vodila je vozlišče, ki generira prazne rezine¹⁷ in na koncu vozlišče, ki jih z vodila odstranjuje. Kako si enote v vozliščih izmenjujejo podatke in kako je urejen njihov dostop do vodil pa v naslednjih podglavjih.

Poznamo dve različni topologiji za DQDB. **Topologijo odprtega vodila** prikazuje Sl. 5.4 in zanjo je značilno, da se vodili začneta in končata v dveh različnih vozliščih (v primeru na sliki v vozliščih 1 in n). Vse rezine, ki jih generira vozlišče 1, z vodila odstrani vozlišče n in obratno. Pri **topologiji sklenjenega vodila** pa se začetka in konca obeh vodil nahajata v istem vozlišču, ki skrbi tako za generiranje kot odstranjevanje rezin.



Sl. 5.4: Arhitektura DQDB omrežja

Arhitektura DQDB je zelo robustna in se zelo dobro odziva na izpade povezav kot je fizično prekinjeno vodilo. Pri topologiji odprtega vodila se v primeru prekinitve povezave med vozliščema 2 in 3 samodejno vzpostavita dve omrežji, ki imata začetke in konce vodil v vozliščih 1 in 2 ter 3 in n . Kadar pa pride do izpada pri topologiji sklenjenega obroča se omrežje preoblikuje v omrežje s topologijo odprtega vodila z začetkoma in koncema vodil na obeh straneh prekinjene povezave.

5.6.2 Metoda dostopa do vodila

Vozlišča dostopajo do vodila preko čakalne vrste, ki pa ni centralizirana temveč porazdeljena med vsa vozlišča na vodilu. Na ta način dosežemo pravičen dostop do vodila po pravilu FIFO (First In First Out).

Vsako vozlišče lahko pošilja podatke le v smeri pretoka podatkov na vodilu. Če hoče poslati podatke vozlišču desno od sebe bo to naredilo preko vodila A, za vozlišča levo od sebe pa preko vodila B. Sedaj pa si na grobo oglejmo postopek pošiljanja in sprejemanja podatkov na vodilu.

Pri sprejemanju podatkov ni posebnih problemov, saj vsako vozlišče ves čas bere z vodila in si prepíše le tiste rezine, ki so namenjene njemu, se pravi, da imajo v glavi naslov tega vozlišča.

Pri oddajanju pa je več problemov saj moramo skrbeti za pravičnost in enake možnosti oddajanja vseh vozlišč. Vsako vozlišče v ta namen vzdržuje dva registra. V prvem z oznako CD (Count Down) se nahaja število praznih rezin, ki jih mora vozlišče prepustiti vozliščem za seboj (ta

¹⁷ Tako pri DQDB imenujemo podatkovne enote.

so jih seveda prej že rezervirala). V drugem z oznako RC (Request Counter) pa se nahaja število zahtev po praznih rezinah drugih vozlišč od trenutka, ko je vozlišče zadnjič samo poslalo tako zahtevo.

Če želi neko vozlišče poslati podatke po vodilu A mora najprej rezervirati prazno rezino tako, da pošlje zahtevo zanj po vodilu B. Vsa vozlišča, ki na vodilu A ležijo pred njim, bodo preko vodila B dobila informacijo o rezervaciji, povečala vrednosti v svojih RC registrih in spustila prazno rezino do vozlišča.

Ilustrirajmo celoten postopek na primeru. Recimo, da ima vozlišče, ko se pojavi potreba po prenosu po vodilu A, v svojih registrih naslednje stanje: $RC = 3$ in $CD = 0$. Najprej mora po vodilu B poslati zahtevo za prenos, zatem preslikati RC v CD in prvega postaviti na nič. Potem na vodilu A spremlja mimoidoče prazne rezine, prve tri spusti naprej¹⁸ in ob vsaki zmanjša vrednost CD za ena. Hkrati s tem na vodilu B spremlja nove zahteve za prenos in ustrezno večja register RC. Ko je vrednost registra CD enaka nič pomeni, da je vozlišče na vrsti za prenos in svoje podatke naloži v prvo prazno rezino, ki pride mimo. Vsako vozlišče vzdržuje dva para opisanih registrov, za vsako vodilo po enega. S tem smo dosegli pravičnost na osnovi pravila FIFO.

5.6.3 Nadzor dostopa do vodila

Nadzor dostopa vozlišč do prenosne kapacitete je realiziran v DQDB MAC (Medium Access Control) protokolu, ki se nahaja na drugi plasti po OSI referenčnem modelu. Nadzor se izvaja preko definiranja dveh tipov rezin za prenos podatkov: **vnaprej rezerviranih** ali s tujko prearbitrated (PA) in **rezerviranih na osnovi čakalnih vrst** ali Queue-arbitrated (QA).

PA rezine uporabljamo za izohroni prenos podatkov in jih ob ustreznih intervalih (tipično 125 μ s) generira začetno vozlišče na vodilu. Vsaka PA rezina nosi oznako navidezne poti (VPI), ki definira ustrezen navidezni kanal. Vozlišča z izohronimi povezavami, ki ustrezajo VPI v PA rezinah lahko v njih prenašajo svoje podatke. Če neka izohrona povezava ne izrablja celotne kapacitete navidezne povezave, si jo lahko deli z izohronimi povezavami drugih vozlišč.

QA rezine uporabljajo povezavne in nepovezavne storitve in vozlišča si jih priborijo na osnovi rezervacij v porazdeljenih čakalnih vrstah po metodi opisani v podpoglavju 5.6.2.

5.7 Izohroni Ethernet

Izohroni Ethernet, IsoEthernet ali ISLAN (Integrated Services LAN) je nov standard s področja krajevnih računalniških omrežij z oznako IEEE 802.9, ki združuje lastnosti ISDN in Ethernet omrežja. Dodatek standardu z oznako IEEE 802.9a ali ISLAN16-T pa določa njegovo delovanje na fizični in povezavni plasti OSI referenčnega modela.

ISLAN16-T je na nivoju krajevnega omrežja sposoben izohronega in paketnega prenosa podatkov ter lahko nadomesti privatno telefonsko centralo (PBX) in krajevno računalniško omrežje Ethernet. V bistvu je to nadgradnja slednjega, ki mu je poleg paketnega dodan še izohroni prenos podatkov.

Možna topologija ISLAN16-T je prikazana na Sl. 5.5. V njegovem vozlišču se nahaja ISLAN16-T dostopna enota (AU-Access Unit), ki je na nivoju krajevnega omrežja sposobna servisirati odjemalce z različnimi zahtevami in načini prenosa podatkov.

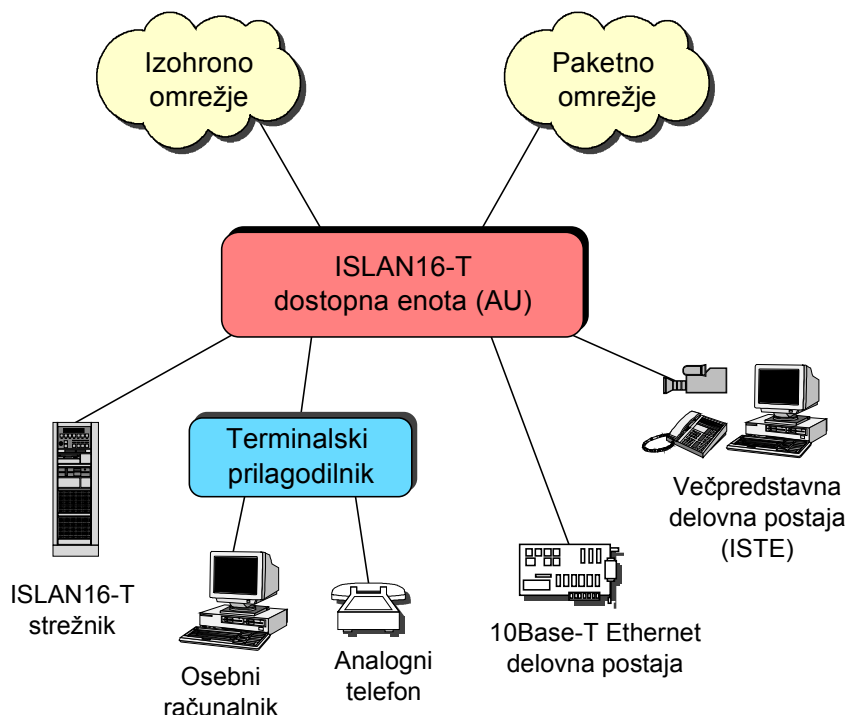
Njegova "naravna odjemalca" sta (večpredstavna) delovna postaja z integriranimi storitvami ISTE (Integrated Services Terminal Equipment) in ISLAN strežnik, ki uporabljata izohroni in paketni način prenosa hkrati.

ISLAN16-T je navzdol združljiv z IEEE 802.3 10Base-T Ethernet in nanj lahko neposredno in brez kakršnihkoli sprememb priključimo 10Base-T delovne postaje. Seveda pa le te s tem ne pridobijo sposobnosti izohrone komunikacije. Preko terminalnega prilagodilnika TA (Terminal

¹⁸ Vozlišča desno od nje so te rezine rezervirale že pred njo in jih mora prepustiti njim.

Adapter) pa lahko nanj priključimo tudi analogni telefonski aparat in/ali podatkovno enoto (npr. osebni računalnik).

Navzven se ISLAN16-T povezuje v izohrona (ISDN, FDDI II,...) in paketna (Internet, Frame Relay,...) hrbitenična omrežja ter tako svojim odjemalcem omogoča globalno povezljivost.



Sl. 5.5: Možna topologija krajevnega omrežja ISLAN16-T

5.7.1 Fizični kanal ISLAN16-T

ISLAN16-T ima zvezdasto topologijo kar pomeni, da obstaja povezava od vsake delovne postaje ali terminalne opreme do dostopne enote, ki se nahaja v vozlišču. Povezava je realizirana preko dveh prepletenih paric kategorije 3 (Category 3 UTP), katere dolžina je lahko največ 100 metrov, kar je v skladu s standardom 10Base-T. S tem je zagotovljena fizična združljivost med standardoma.

5.7.1.1 Linjsko kodiranje, ura in bitna hitrost

Za razliko od 10Base-T standarda, ki ima 20 MHz uro, ISLAN16-T uporablja uro s frekvenco 20.48 MHz. To nam s 4B/5B linijskim kodiranjem in NRZI kodo prinese koristno bitno hitrost 16.384 Mbit/s. Če to primerjamo z Manchester kodiranjem pri 10Base-T, ki nam da hitrost 10 Mbit/s, vidimo, da smo z učinkovitejšim kodiranjem pridobili 60%. Dobitek s pridom izkoristimo za izohrone kanale.

5.7.1.2 Časovni okvir in multipleksiranje

Vsi podatki na ISLAN16-T se prenašajo v časovno multipleksiranih okvirih¹⁹, ki si sledijo na 125 μ s ali s frekvenco 8 kHz. To je enako kot pri digitalni telefoniji ali ISDN-u, s čimer je zagotovljena osnova za združljivost.

¹⁹ Razen v že omenjenem primeru, ko na AU priključimo 10Base-T uporabnika.

Pri frekvenci ure 20.48 MHz in frekvenci okvirov 8 kHz vsak od njih nosi 2560 bitov informacije. Pri 4B/5B kodiranju to pomeni 512 simbolov s po 4 biti koristne informacije, kar nam da 256 bytov v enem okviru, ki jih potem na različne načine združujemo v logične kanale.

5.7.2 Logični kanali

V časovno multipleksiranih okvirih fizičnega kanala prenašamo do štiri logične kanale, odvisno od načina v katerem deluje ISLAN16-T (podrobnejši opis v 5.7.3). Oglejmo si njihove glavne značilnosti.

C-kanal je polni dupleks kanal s kapaciteto 6.144 Mbit/s in se sestoji iz 96 B kanalov (polni dupleks) s kapacitetami 64 kbit/s pri *mešanem načinu* ali iz 248 B kanalov z enakimi lastnostmi pri *polnem izohronem načinu*, ki nam da kapaciteto 15.872 Mbit/s. B kanale lahko poljubno združujemo v skupke $N \times 64$ kbit/s za kar poskrbijo višje plasti protokolnega sklada in signalizacija D-kanala.

D-kanal je 64 kbit/s polni dupleks kanal po katerem se prenaša signalizacija na osnovi ITU Q.93x priporočil, ki so vsebovana tudi v ISDN standardih.

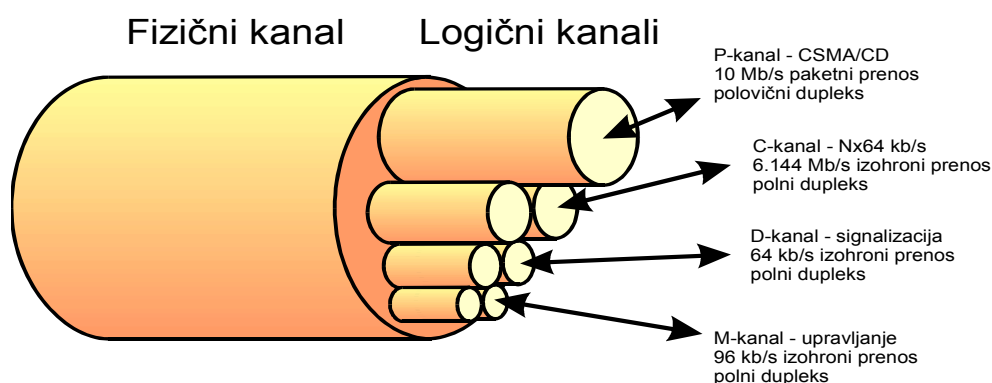
M-kanal ima kapaciteto 96 kbit/s, polni dupleks, in je namenjen izmenjavi upravljaljskih informacij med AU in ISTE. Informacije M-kanala se ne posredujejo višjim plastem sklada ampak neposredno upravljaljski plasti na fizični plasti.

P-kanal ima kapaciteto 10.016 Mbit/s, polovični dupleks, kar v enem okviru zavzame 156.5 bytov ali 313 simbolov. Če hočemo doseči kapaciteto točno 10 Mbit/s, bi morali v vsakem okviru poslati 312.5 simbolov. To dosežemo tako, da izmenoma pošiljamo 312 ali 313 simbolov, odvečni simbol v vsakem drugem okviru pa pošljemo kot "no data" in s tem prilagodimo bitno hitrost.

Če seštejemo kapacitete posameznih kanalov, dobimo 16.320 Mbit/s. Preostalih 64 kbit/s, ki še manjkajo do kapacitete fizičnega kanala, pa je namenjenih za sinhronizacijo časovnih okvirov (dva sinhronizacijska simbola na okvir).

5.7.3 Načini delovanja ISLAN16-T

ISLAN16-T pozna tri načine delovanja: 10Base-T, mešani in polni izohroni način. To nam ponuja široke možnosti za povezovanje različne opreme v enem krajevnem omrežju. Sočasno lahko deluje oprema, ki zahteva različne načine prenosa, kar pri drugih tehnologijah vsekakor ni lahko doseči.



Sl. 5.6: Razdelitev fizičnega kanala pri mešanem načinu delovanja ISLAN16-T

Pri **10Base-T načinu** delovanja ni možnosti izohronega prenosa podatkov med AU in terminalno opremo, saj se povezava obnaša kot klasični 10Base-T Ethernet s paketnim prenosom podatkov in CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection) protokolom dostopa do prenosnega medija. Kanali C, D in M v tem načinu ne obstajajo.

Logični kanal	ISLAN16-T mešani način		ISLAN16-T polni izohroni način		10Base-T način
	Oktetov na TDM okvir	Bitna hitrost	Oktetov na TDM okvir	Bitna hitrost	Bitna hitrost
P-kanal Paketni prenos	156.5*	10 Mbit/s*	ne obstaja	0	10 Mbit/s
C-kanal Izohroni prenos	96	6.144 Mbit/s	248	15.872 Mbit/s	ne obstaja
D-kanal Signalizacija	1	64 kbit/s	1	64 kbit/s	ne obstaja
M-kanal Upravljanje	1.5	96 kbit/s	1.5	96 kbit/s	ne obstaja
Sinhronizacija	1	64 kbit/s	1	64 kbit/s	ne obstaja
Ostalo	0	0	4.5	288 kbit/s	ne obstaja
Skupaj	256	16.384 Mbit/s	256	16.384 Mbit/s	10 Mbit/s
* Bitna hitrost je prilagojena z 10.016 Mbit/s na točno 10 Mbit/s tako, da na vsak drugi TDM okvir enega simbola ne prenesemo					

Tabela 9: Bitne hitrosti kanalov pri različnih načinih delovanja ISLAN16-T

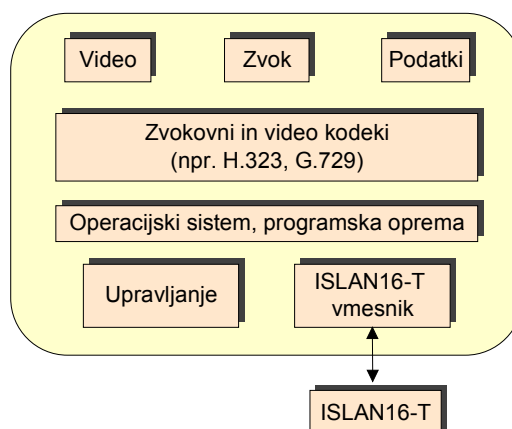
V **mešanem načinu** imamo vse štiri logične kanale, ki so nazorneje predstavljeni na Sl. 5.6. C-kanal zagotavlja 6.144 Mbit/s izohronega prenosa, D in M-kanal imata kapaciteti 64 in 96 kbit/s (vsi so polni duplex kanali), P-kanal pa deluje s kapaciteto 10 Mbit/s (polovični duplex) in CSMA/CD protokolom dostopa do prenosnega medija.

V **polnem izohronem načinu** izločimo P-kanal in skoraj vso njegovo kapaciteto dodelimo C-kanalu, ki ima tako kapaciteto 15.872 Mbit/s. D in M-kanal ostaneta nespremenjena. Večjo kapaciteto C-kanala lahko s pridom izkoristimo za izohroni prenos podatkov zahtevnejših aplikacij.

Tabela 9 prikazuje podatke o bitnih hitrostih posameznih kanalov pri različnih načinih delovanja ISLAN16-T.

5.7.4 Delovna postaja z integriranimi storitvami (ISTE)

Če želimo izkoristiti vse storitve, ki nam jih ponuja ISLAN, moramo imeti delovno postajo, ki je sposobna tvoriti in sprejemati tok večpredstavnih podatkov. To vključuje zvok, gibljivo sliko, slike in ostale podatke.



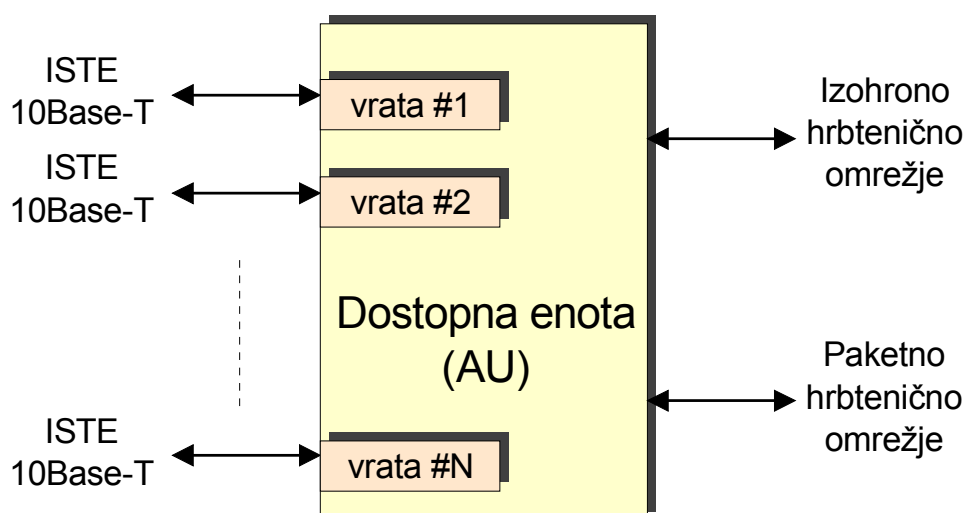
Sl. 5.7: Možna zgradba delovne postaje z integriranimi storitvami (ISTE)

Imeti moramo dovolj zmogljiv računalnik z dobrimi grafičnimi, zvokovnimi in video lastnostmi, zvočniki, mikrofoni, zvokovni in video kodeki, itd. Vse to pa morata podpirati operacijski sistem in programska oprema. Na Sl. 5.7 je prikazan primer delovne postaje, ki zadošča tem zahtevam.

Če za primer večpredstavne storitve vzamemo videokonferenco, si lahko za kodeke izberemo naprave ali opremo, ki ustreza priporočilu ITU H.323. Ta nam dovoljuje vzpostavitev zvokovne/video/podatkovne povezave s pomočjo vgrajenih kodekov za govor in gibljivo sliko. Z dodatkom priporočila ITU T.120 pa lahko vzpostavimo tudi večtočkovno videokonferenčno zvezo.

5.7.5 Dostopna enota (AU)

Dostopna enota je srce ISLAN16-T omrežja. Topologija v obliki zvezde narekuje, da je vsak odjemalec nanjo priključen neposredno preko zveze točka-točka. Njena poenostavljena zgradba je prikazana na Sl. 5.8, iz katere je razvidno, da lahko nanjo preko njenih vrat priključimo različno število odjemalcev. Vsak od njih lahko deluje v enem od že omenjenih načinov delovanja (glej 5.7.3), ki je neodvisen od ostalih odjemalcev in se samodejno nastavi ob njegovi priključitvi na dostopno enoto. Na drugi strani pa dostopno enoto lahko priključimo na paketno in/ali izohrono hrbtenično omrežje.



Sl. 5.8: Poenostavljena zgradba dostopne enote

5.7.6 Povezovanje dostopnih enot

Na vsako dostopno enoto je lahko priključenih le določeno število odjemalcev in v mnogih primerih to število ne zadovolji vsem potrebam uporabnikov krajevnega omrežja. Pojavi se potreba po povezovanju več dostopnih enot preko različnih hrbteničnih omrežij:

- IEEE 802.9a hrbteničnega omrežja (naravna povezava)
- Paketnega omrežja
- Izohronega omrežja
- Omrežja s polnimi storitvami (paketni in izohroni prenos)

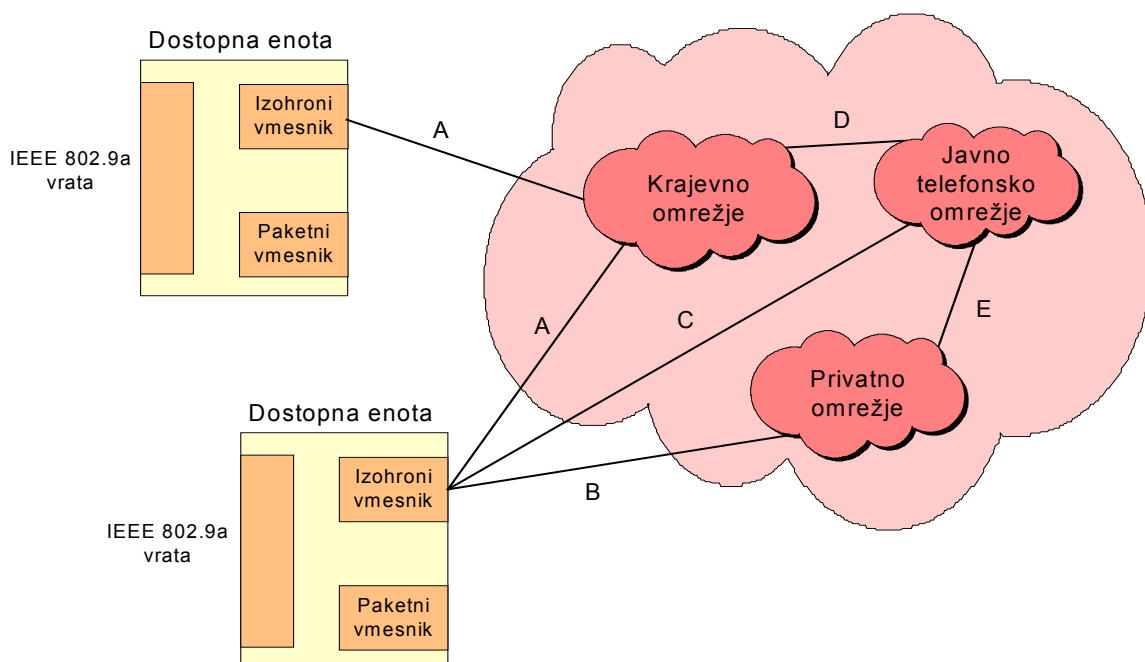
Zadnje možnosti ne bomo posebej obravnavali, ker so storitve tega omrežja enake kot pri prvi možnosti in se jih da zagotoviti tudi z mnogimi izohronimi omrežji.

Naravna povezava dostopnih enot je kar preko **IEEE 802.9a hrbteničnega omrežja**, ki predstavlja omrežje s polnimi storitvami, ker lahko prenaša tako izohroni kot paketni promet. Dostopne enote pri tem povežemo preko: prostih IEEE 802.9a vrat, vmesnika za izohrono omrežje ali kombinacije vmesnikov za paketno in izohrono omrežje.

Paketno hrbtenično omrežje s standardom ni določeno in je lahko katerokoli paketno omrežje, ki ima zadostno kapaciteto. To je lahko tudi isto omrežje, ki ga uporabljamo za izohroni prenos, če le ima zahtevane kapacitete in paketni prenos podatkov.

Dostopne enote lahko preko **izohronega hrbteničnega omrežja** povežemo na več načinov, ki so prikazani na Sl. 5.9 in naštetih spodaj:

- A. Dostopna enota povezana v krajevno omrežje
- B. Dostopna enota povezana v privatno omrežje
- C. Dostopna enota povezana v javno telefonsko omrežje
- D. Krajevno omrežje povezano v javno telefonsko omrežje
- E. Privatno omrežje povezano v javno telefonsko omrežje



Sl. 5.9: Povezave dostopnih enot z izohronim omrežjem

5.7.7 Nadaljnji razvoj izohronega Etherneteta

Čeprav obstajajo že delujoče rešitve ISLAN16-T standarda pa se njegova standardizacija še nadaljuje. Tabela 10 prikazuje družino IEEE 802.9 standardov, od katerih so nekateri še v postopku.

IEEE 802.9 je osnova vsem podstandardom, **IEEE 802.9a** pa smo podrobneje že spoznali. Standarda **IEEE 802.9c** in **IEEE 802.9d** se ukvarjata predvsem s problemom medsebojnega delovanja naprav različnih proizvajalcev.

IEEE 802.9b se ukvarja predvsem s povezavo in medsebojnim sodelovanjem dostopnih enot (AU-to-AU Interworking), ki so med seboj povezane lokalno ali na ravni omrežij velikega dosega (glej 5.7.6). S tem lahko ustvarimo neke vrte Izohrono Ethernet omrežje širšega obsega.

IEEE 802.9e dopolnjuje podstandard IEEE 802.9a z ATM načinom prenosa, ki ga doda že obstoječima paketnemu in izohronemu. To bo omogočilo lažje povezovanje delovnih postaj v ATM omrežja.

IEEE 802.9f dopolnjuje podstandard IEEE 802.9a z daljinskim napajanjem terminalne opreme, kar bo omogočilo njeno sposobnost za govorne komunikacije tudi, ko bo delovna postaja (računalnik) izključen ali v primeru izpada električnega omrežja.

Standard	Servisi	Status
IEEE 802.9	LAN in ISDN servisi	izdan 1994
IEEE 802.9a	Specifikacija ISLAN16-T	izdan 1995
IEEE 802.9b	Medsebojno sodelovanje dostopnih enot	v pripravi
IEEE 802.9c	MOCS (Managed Objects Conformance Statement)	izdan 1995
IEEE 802.9d	PICS (Protocol Implementation Conf. Statement)	izdan 1995
IEEE 802.9e	ATM način prenosa med terminalno opremo in dostopno enoto	v pripravi
IEEE 802.9f	Daljinsko napajanje terminalne opreme	v pripravi

Tabela 10: IEEE 802.9 standardi

5.8 Primernost opisanih izohronih omrežij za prenos govora

Kot je bilo že nekajkrat rečeno, izohrona omrežja s svojimi lastnostmi popolnoma ustrezajo prenosu govora katerega zahteve so bile tudi že nekajkrat podane (glej podpoglavji 3.7 in 5.2). Med pravkar opisanimi tehnologijami obstajajo velike razlike, saj izhajajo iz različnih "svetov": telefonskega in računalniškega. Njihov izvor pa na lastnosti izohronega prenosa, ki je za govor tako pomemben, ne vpliva.

SDH in ISDN omrežji izhajata iz telefonskega sveta in sta veljavna ITU standarda. Prvo je bilo razvito predvsem kot hrbtenično omrežje in s svojim sinhronim prenosom zagotavlja osnovo izohronim tehnologijam. O ISDN ni potrebno zgubljati besed, saj je bil prenos govora zahteva že pri njegovem načrtovanju in je tega popolnoma sposobno.

Iz sveta računalniških omrežij pa izhajajo DQDB, FDDI II in Izohroni Ethernet. Pri teh omrežjih je bil prenos govora in gibljive slike do nedavna zelo zapostavljen. S pojavom večpredstavnih aplikacij pa se je pokazala potreba tudi po tem in nekaterim računalniškim omrežjem so dodali možnost izohronega prenosa.

Govor za izohrona omrežja torej ne predstavlja nikakršnih problemov ne glede na to iz katerega okolja izhaja omrežje, veliko več problemov z njim imajo omrežja, ki zmorejo le paketni prenos. S tem se bomo ukvarjali v naslednjem poglavju.

6 PODATKOVNA OMREŽJA S PAKETNIM PRENOSOM

Podatkovna omrežja s paketnim prenosom so po svojih lastnostih zelo različna od omrežij z izohronim prenosom. V izohronih omrežjih prenašamo govor brez težav, v paketnih omrežjih pa imamo z njim precej težav. Prav tako izohrona omrežja s svojimi lastnostmi z lahkoto zagotavljajo primerno kakovost storitve za prenos govora, paketna omrežja pa le s težavo ali pa sploh ne, kar izvira iz njihovih osnovnih lastnosti in dejstva, da so bila v prvi vrsti načrtovana za prenos podatkov.

V nadaljevanju bomo našteali glavne lastnosti paketnih omrežij, analizirali njihovo sposobnost za prenos govora in pomembnejša tudi bolj ali manj podrobno opisali.

6.1 Glavne lastnosti paketnih omrežij

Osnovne lastnosti podatkovnih omrežij so bile našteje in obdelane v podpoglavju 4.6. Katere izmed njih imajo paketna omrežja si bomo pogledali v naslednjih odstavkih.

Paketna omrežja kot način preklapljanja uporabljajo preklapljanje paketov, ki je realizirano preko statističnega multipleksa, ki je bil podrobneje opisan v podpoglavju 4.6.3.5. Žal statistični multipleks ne more zagotoviti stalne in enakomerne prenosne kapacitete in je zato prenos govora pri njem težaven, saj se morajo njegovi paketi nenehno boriti za prenosno kapaciteto povezav s paketi ostalih aplikacij.

S statističnim multipleksom je povezan tudi pojem zasičenja omrežja. To je stanje, ko je pritok podatkov v omrežje večji kot njegova prenosna kapaciteta in je omrežje primorano zavračati pakete vstopajoče vanj in zavreči odvečne pakete znotraj njega. Za stanje zasičenja so značilne velike zakasnitve in izguba paketov.

Zakasnitev v prenosu je pri paketnih omrežjih večja kot pri izohronih in je poleg tega še spremenljiva. To pomeni, da paketi na cilj prihajajo v neenakomernih presledkih četudi so bili poslani v enakomernih. Velikost in spremenljivost zakasnitev pa je pereč problem pri prenosu govora, saj močno vpliva na njegovo kakovost (glej podpoglavje 3.2.).

Paketna omrežja nudijo tako povezavne kot nepovezavne storitve, kar je odvisno predvsem od realiziranih protokolnih skladov na omrežju. Na njih lahko realiziramo tako datagramsko kot navidezno povezavo, ki sta bili podrobneje opisani v 4.6.4.

Nadzor pretoka podatkov in zasičenja je v paketnih omrežjih mnogo zapletenejši kot v izohronih. Oboje je bilo podrobneje opisano v 4.6.8. Splošne lastnosti paketnih omrežij pa lahko strnemo v nekaj točk:

- Preklapljanje paketov
- Statistično multipleksiranje
- Spremenljiva razpoložljiva prenosna kapaciteta
- Nevarnost zasičenja omrežja
- Srednja do velika in spremenljiva zakasnitev
- Povezavne in nepovezavne storitve
- Vzpostavljanje datagramskih in navideznih povezav
- Težaven nadzor pretoka podatkov in zasičenja omrežja

6.2 Paketna omrežja in govor

Paketna omrežja so za prenos govora mnogo manj primerna kot izohrona, saj ne morejo v celoti izpolniti glavnih zahtev govornih aplikacij:

- Zadosti velika bitna hitrost
- Zagotovljena stalna prenosna kapaciteta
- Majhna zakasnitev
- Čimmanjša spremenljivost zakasnitve
- Prenos v realnem času

Prva zahteva običajno ni problematična, saj imajo skoraj vsa paketna omrežja mnogo večje prenosne kapacitete kot pa jih zahteva govor. Močno pa se zaplete že pri drugi zahtevi, ki ji paketna omrežja s svojim statističnim multipleksiranjem ne morejo zadostiti. Pri nekaterih paketnih omrežjih skušajo to rešiti z različnimi rezervacijskimi protokoli, ki rezervirajo prenosno kapacitete za govor na celotni prenosni poti, izgubimo pa prednosti statističnega multipleksa.

Zagotavljanje primerno nizke in čimbolj enakomerne zakasnitve je pri paketnih omrežjih velik problem. Dokler omrežje deluje pod majhno obremenitvijo načeloma ni nobenih problemov. Ti se začnejo, ko se obremenitev omrežja veča in približuje meji zasičenja. Zakasnitev se tedaj veča in postaja vse bolj neenakomerna do te mere, da postane pogovor močno moten ali celo nemogoč. Na sprejemni strani moramo spremenljivost zakasnitve uravnati z dodatno zakasnitvijo, kar nas kaj hitro privede na mejo še sprejemljive kakovosti govora in prenosa v realnem času.

V povezavi z zasičenjem omrežja je tudi izguba paketov podatkov (govora), kar lahko povzroči izpad krajših ali daljših odsekov govora tako, da sporazumevanje postane moteno ali onemogočeno. Ponovno pošiljanje izgubljenih paketov pri govoru seveda ne pride v poštev, saj bi ponovno poslani deli govora na cilj prispeli prepozno, da bi bili še uporabni.

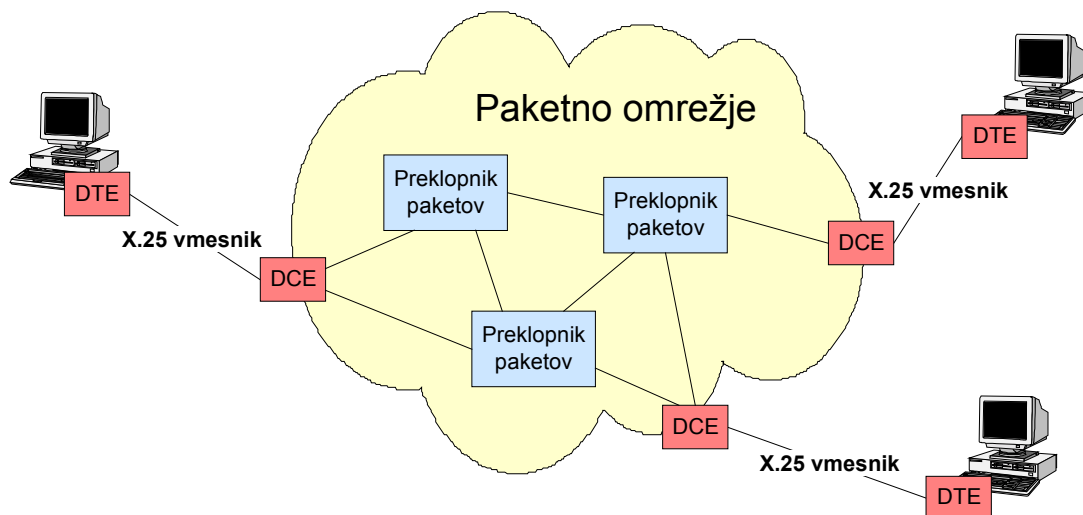
Če strnemo zgornje ugotovitve, hitro pridemo do spoznanja, da so paketna omrežja zaradi svojih lastnosti manj primerna za prenos govora, saj ne morejo zadostiti vsem zahtevam govornih aplikacij. Kljub temu pa so paketna omrežja čedalje bolj zanimiva tudi za prenos govora, saj so dokaj razširjena in ponujajo relativno poceni prenos podatkov. Če v zakup vzamemo nekoliko slabšo kakovost prenesenega govora se že danes lahko pogovarjamo preko Interneta. Koliko so posamezna paketna omrežja primerna za prenos govora pa bomo spoznali v nadaljevanju, ko bodo opisana nekatera najbolj razširjena in najpomembnejša izmed njih.

6.3 X.25

Standard X.25 je bil razvit v sedemdesetih letih pri mednarodni zvezi za telekomunikacije ITU (takratni CCITT) in določa način povezovanja uporabnikov v javno omrežje s paketnim prenosom podatkov.

Funkcija in mesto standarda X.25 v paketnem omrežju je velikokrat narobe razumljena. X.25 namreč ne določa delovanja samega paketnega omrežja, ampak je le posrednik med njim in njegovimi uporabniki. Standard določa postopke in protokole za izmenjavo podatkov med uporabnikovo opremo ali DTE (Data Terminal Equipment) in DCE (Data Circuit-termination Equipment), ki predstavlja vstopno točko v paketno omrežje.

Sl. 6.1 prikazuje arhitekturo paketnega podatkovnega omrežja na katerega so priključeni uporabniki. Na njihovi strani se nahaja DTE, ki je preko X.25 vmesnika povezana na DCE na strani omrežja. Slednja posreduje podatke paketnemu omrežju, ki jih prenese DCE na sprejemni strani in ta zopet preko X.25 naprej DTE, priključeni nanjo. Prenosno paketno omrežje s standardom X.25 ni definirano in je na sliki predstavljeno le simbolično. Pravzaprav X.25 vmesnik ne ve nič o njem in njegovi notranji zgradbi. Ne zanima ga kakšne usmerjevalne postopke uporablja, ali je povezovalno ali nepovezovalno naravnano in kakšne so njegove preostale funkcije.



Sl. 6.1: Arhitektura omrežja z X.25 vmesnikom

6.3.1 Glavne lastnosti X.25 vmesnika

Kot že rečeno standard X.25 določa le vmesnik med DTE in DCE. Njegov protokolni sklad obsega spodnje tri plasti OSI referenčnega modela. Protokol fizične plasti ni določen in je lahko eden izmed mnogih, ki se uporabljajo na fizični plasti: X.21, X.21bis, protokoli serije V in drugi. V povezavni plasti se nahaja protokol LAPB (Link Access Protocol, Balanced), ki skrbi za zanesljiv prenos podatkovnih okvirov med DTE in DCE. Na tretji, omrežni plasti, pa se nahajajo procedure, ki skrbijo za vzpostavitev, nadzor in prekinitev povezav preko omrežja in dostavo podatkov višjim protokolnim plastem, definiranim s strani uporabnika.

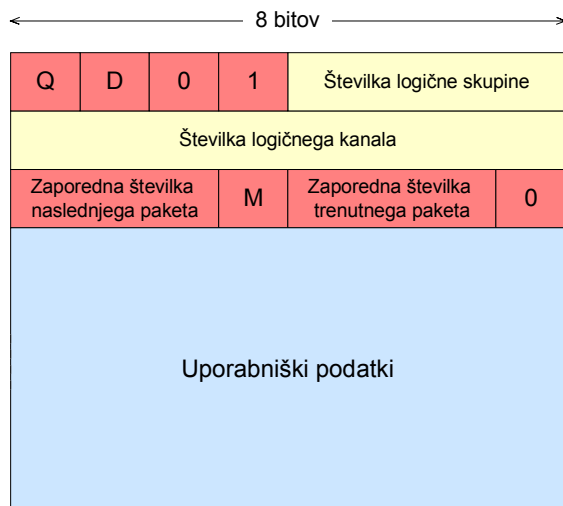
Ker je bil X.25 načrtovan v času, ko so bila paketna omrežja še dokaj nezanesljiva in so bile zato napake v prenosu pogoste, je za odpravljanje teh napak moralo poskrbeti omrežje, saj so bile podatkovne enote na uporabnikovi strani razmeroma počasne in neinteligentne. X.25 nam zato zagotavlja prenos podatkov brez napak in v pravilnem zaporedju. V ta namen paketom omrežne plasti in okvirom povezavne plasti dodamo kontrolne informacije, ki nam to omogočajo. Omrežje je zato robustno vendar dokaj počasno saj od njega zahtevamo mnogo obdelave prenašanih podatkov, ki se pri sodobnejših paketnih omrežjih opravljajo v uporabnikovi opremi.

Uporabnik lahko preko X.25 vzpostavi dve vrsti povezav: **navidezno povezavo** (VC) in **stalno navidezno povezavo** (PVC). Obe sta bili podrobneje opisani v podpoglavju 4.6.4, tu naj omenimo le, da se navidezna povezava vzpostavi na zahtevo in se ob koncu zveze poruši, stalna navidezna povezava pa je prisotna in na voljo ob vsakem času ter fazi vzpostavljanja in rušenja nista potrebni. Iz pravkar povedanega je razvidno, da je X.25 **povezavno naravnan**. Za uporabnika so take povezave transparentne, saj vsaka DTE smatra, da je od drugih DTE oddaljena le eno etapo (hop).

Prenosne hitrosti X.25 vmesnika so tipično 64 kbit/s, vendar pa s standardom samim niso določene. Z uporabo različnih protokolov na fizični plasti lahko dosežemo različne prenosne hitrosti tudi tja do 2048 kbit/s. Te hitrosti se glede na potrebe sodobnih aplikacij in zmogljivosti paketnih omrežij mogoče zdijo nekoliko smešne, vendar pa še vedno obstaja precej aplikacij, ki ne potrebujejo velikih prenosnih hitrosti in za njih je X.25 kot nalašč in prav zaradi tega najbrž še nekaj časa ne bo zamrl.

6.3.2 X.25 paketi

Podatki se preko X.25 vmesnika prenašajo v paketih dolžine do 128 oktetov, od katerih so trije namenjeni režiji ali kontrolnim informacijam, preostali pa uporabniškim podatkom. Zgradba takega paketa je prikazana na Sl. 6.2.



Sl. 6.2: Zgradba X.25 paketa

Polji s številko logične skupine in številko logičnega kanala nam dasta 12 bitno oznako navideznega kanala, ki pripada navidezni povezavi. Vsaka DTE lahko naenkrat vzpostavi do 4095 navideznih povezav (navidezni kanal z oznako 0 ni veljaven). Polja z zaporednimi številkami trenutnega in naslednjega pričakovanega paketa protokolom omrežne plasti omogočata pravilno razvrščanje paketov, polje M pa jim pove ali temu paketu sledi še kakšen, ki pripada istemu sporočilu. Polje Q določa ali so v paketu kontrolni ali uporabniški podatki, polje D pa ali ima nadzor pretoka podatkov lokalni ali globalni pomen.

6.4 Krajevna računalniška omrežja (LAN)

V nekaj naslednjih poglavjih bomo govorili o krajevnih računalniških omrežjih. To je dokaj obsežna tema, zato si bomo malo poglobljevali le najpomembnejše in najbolj razširjene tehnologije, ostale bomo le omenili ali na kratko predstavili.

Krajevna računalniška omrežja so po razsežnosti omejena na območje nekaj kilometrov kjer so nanje priključene delovne postaje. Svojim uporabnikom nudijo predvsem medsebojno povezljivost in delitev skupnih virov. Krajevna računalniška omrežja se tako uporabljajo za: izmenjavo sporočil in elektronske pošte, izrabo skupne procesorske moči delovnih postaj na omrežju, souporabo dragih ali zapletenih naprav (tiskalnik, čitalnik,...), souporabo datotek, baz podatkov in aplikacij, ki se navadno nahajajo na strežniku. Manj pogosto pa se uporabljajo za nadzor proizvodnih procesov in drugo.

Krajevna računalniška omrežja lahko delimo po več kriterijih: glede na prenosni medij, glede na topologijo in glede na metodo dostopa do prenosnega medija.

6.4.1 Prenosni medij

Tehnologije krajevnih računalniških omrežij ponavadi lahko delujejo na različnih prenosnih medijih, ki s svojimi fizikalnimi lastnostmi določajo (omejujejo) nekatere lastnosti tehnologij, predvsem najvišjo možno prenosno hitrost. V podrobnejšo analizo prenosnih medijev se ne bomo spuščali. Na tem mestu naj naštejemo le tiste, ki se uporabljajo pri tehnologijah krajevnih računalniških omrežij:

- Prepletena parica
- Koaksialni kabel
- Optično vlakno
- Brežžični prenos

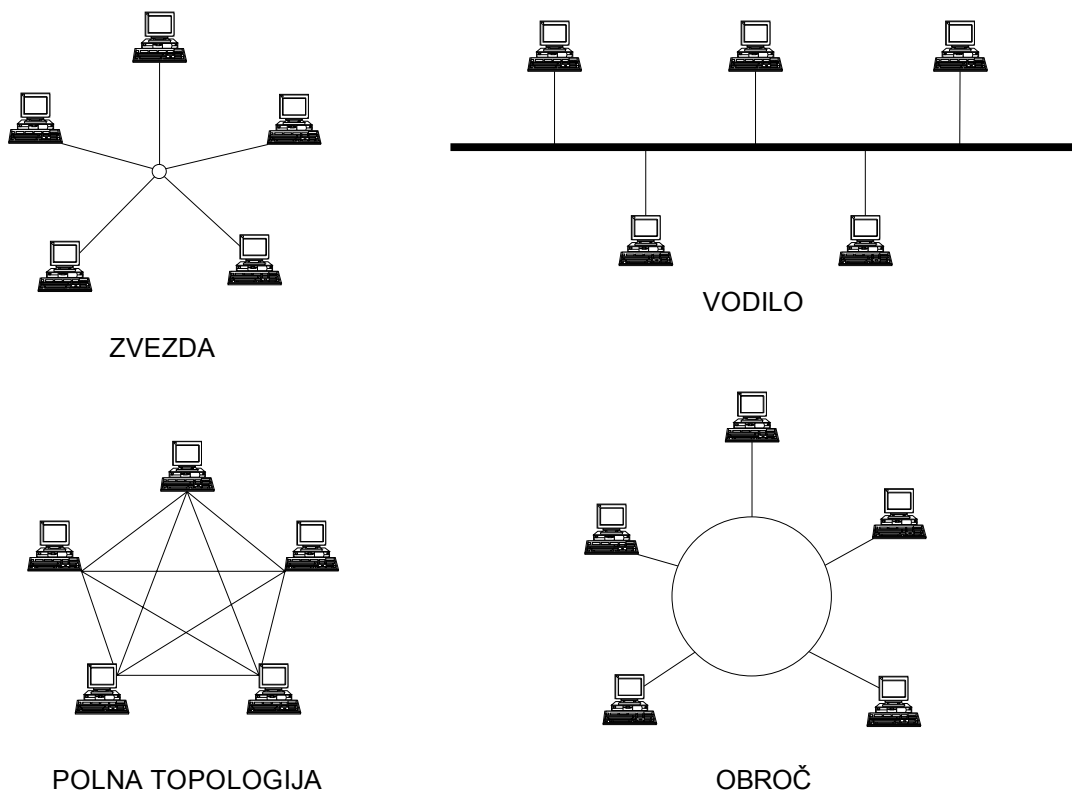
6.4.2 Topologija

Poznamo kar nekaj osnovnih omrežnih topologij: vodilo, zvezda, obroč, polna topologija. Obstaja pa tudi mnogo njihovih kombinacij in variacij kot so: drevesna topologija, hierarhično in medsebojno povezani obroči in vodila ter druge. Krajevna računalniška omrežja so realizirana v večini izmed naštetih topologij. Osnovne omrežne topologije so prikazane na Sl. 6.3.

6.4.3 Metoda dostopa do prenosnega medija

Kjer je na isti prenosni medij priključenih več uporabnikov se ti borijo za njegovo prenosno kapaciteto. Ta boj je urejen z nekimi pravili, ki za vse uporabnike določajo metodo dostopa do prenosnega medija. Tekom let se je razvilo mnogo različnih metod, ki jih lahko razvrstimo v dve glavni kategoriji:

- Metode s trki na prenosnem mediju
- Metode brez trkov na prenosnem mediju



Sl. 6.3: Osnovne omrežne topologije

6.4.3.1 Metode s trki na prenosnem mediju

Med metode dostopa z možnostjo trka na prenosnem mediju spadata ALOHA in sodostop z zaznavanjem nosilca ali CSMA (Carrier Sense Multiple Access). Pri prvi lahko uporabnik oddaja podatke kadar hoče ne glede na zasedenost prenosnega kanala. Na ta način zlahka pride do trkov podatkovnih paketov različnih uporabnikov, ki morajo zato po vsaki oddaji prisluškovati prenosnemu kanalu, da vidijo, če se je njihov paket pravilno prenesel in ni prišlo do trka s kakšnim

drugim paketom. V primeru trka se paket pošlje še enkrat. Izkoristek prenosnega kanala je pri tej metodi zelo nizek in ne preseže dvajsetih odstotkov.

Metode z boljšim izkoristkom prenosnega kanala temeljijo na CSMA, ki prisluškujejo prenosnemu kanalu in podatke pošljejo šele, ko se prepričajo, da je ta prost. Obstaja kar nekaj različnih CSMA protokolov, zato bomo tu opisali le najbolj razširjenega z oznako CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection) ali sodostop z zaznavanjem nosilca in detekcijo trkov.

Pri tej metodi vsak uporabnik začne pošiljati podatke šele, ko zazna prost prenosni kanal. Če med pošiljanjem paketa zazna trk, pošiljanje takoj ustavi in na ta način sprosti prenosni kanal ter ga tako ne zaseda po nepotrebnem. To metodo smo omenili predvsem zato, ker jo uporablja Ethernet omrežje, ki bo opisano v nadaljevanju.

6.4.3.2 Metode brez trkov na prenosnem mediju

Metode dostopa do prenosnega medija brez možnosti trkov zagotavljajo boljšo izrabo prenosnega kanala pri visokih obremenitvah, vendar se pri nizkih obremenitvah zaradi večjih zakasnitev v prenosu odrežejo nekoliko slabše od metod z možnostjo trka. Metode slonijo na načelu rezervacije prenosnega kanala, ki mora biti izvedena pred prenosom podatkov.

Ena od takih metod je rezervacija prenosnega kanala preko posebnega rezervacijskega paketa, ki se pošlje po omrežju na začetku vsake prenosne periode. Uporabnik, ki želi v tej periodi prenašati podatke, mora v tem paketu nastaviti določen bit. Ko rezervacijski paket obide vse uporabnike, ti v določenem vrstnem redu pošiljajo podatke in ko zadnji prijavljeni uporabnik preneha s pošiljanjem, se na omrežje pošlje nov rezervacijski paket.

Druga metoda, ki je v današnjih omrežjih dokaj razširjena, je metoda s podajanjem žetona. Pri njej po omrežju potuje poseben paket, ki mu rečemo *žeton* in v vsakem trenutku ima pravico prenosa le tisti uporabnik, ki ga poseduje. Ko s prenosom konča, ga posreduje naslednjemu uporabniku željnemu prenosu. To metodo uporabljajo krajevna omrežja: Token Ring, Token Bus in FDDI. Opisana bodo v nadaljevanju.

6.4.4 Najbolj razširjene tehnologije krajevnih omrežij

Danes je daleč najbolj razširjen Ethernet, ki ima izmed vseh tehnologij najboljše razmerje med zmogljivostjo in ceno. Sledi mu Token Ring, za njima pa so ostale tehnologije, od katerih je omembe vreden le še FDDI, ki se je uveljavil predvsem kot hrbtenica za povezovanje krajevnih omrežij. Podrobneje bomo opisali le omenjene tri, ostale pa naj le naštejemo:

- Ethernet
- Token Ring
- FDDI
- Token Bus
- ArcNet
- LocalTalk
- Brezžične tehnologije

6.5 IEEE/ISO/ANSI krajevna računalniška omrežja

Na področju krajevnih in mestnih omrežij je nesporni zmagovalec zbirka IEEE standardov z oznako 802.x, ki obvladujejo večino tržišča. Od začetka osemdesetih let pa do danes se jih je nabralo že kar nekaj:

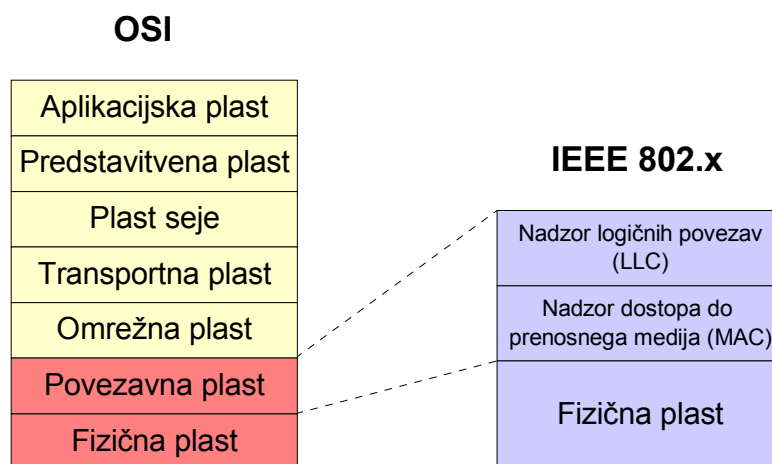
- 802.2 Nadzor navideznih povezav (LLC)
- 802.3 Ethernet
- 802.4 Token Bus

- 802.5 Token Ring
- 802.6 DQDB
- 802.9 Izohroni Ethernet
- 802.11 Brezžično krajevno omrežje
- 802.14 Kabelsko krajevno omrežje

Od naštetih²⁰ standardov sta zadnja dva še v pripravi, ostali pa so že izdani in so se bolj ali manj uveljavili. 802.3 Ethernet je z nekaj deset milijoni delovnih postaj priključenih nanj vsekakor najuspešnejši med njimi in mu bomo v nadaljevanju namenili nekaj več pozornosti, podrobneje pa si bomo ogledali tudi standard 802.5 Token Ring. Standarda 802.6 DQDB in 802.9 Izohroni Ethernet pa sta bila že opisana v podpoglavjih 5.6 in 5.7.

6.5.1 IEEE protokolni sklad

IEEE standardi so definirani le na spodnjih dveh plasteh OSI referenčnega modela, kar je prikazano na Sl. 6.4. Povezavna plast se deli na dve podplasti, od katerih je zgornja skupna vsem standardom iz družine 802.x in je definirana s standardom z oznako 802.2 Nadzor logičnih povezav ali LLC (Logical Link Control).



Sl. 6.4: IEEE protokolni sklad

Kot vidimo fizična plast IEEE sklada ustreza fizični plasti OSI referenčnega modela. Poleg specifikacije procedur in signalov za prenos podatkov preko fizičnega prenosnega kanala vključuje tudi specifikacijo prenosnega medija, priključkov, vtičev, itd.

Povezavna plast, kot jo določa OSI referenčni model, je pri IEEE skladu razdeljena v dve podplasti. Podplast za nadzor logičnih povezav ali LLC je enaka pri vseh 802.x standardih in je odgovorna za zagotavljanje storitev neodvisnih od prenosnega medija. Tako protokolom omrežne plasti ni potrebno skrbeti kakšen prenosni medij uporablja omrežje. Funkcije, storitve in protokoli podplasti LLC so določeni s standardom 802.2. Višjim plastem zagotavlja tri vrste storitev: povezavne, nepovezavne in nepovezavne s potrditvijo.

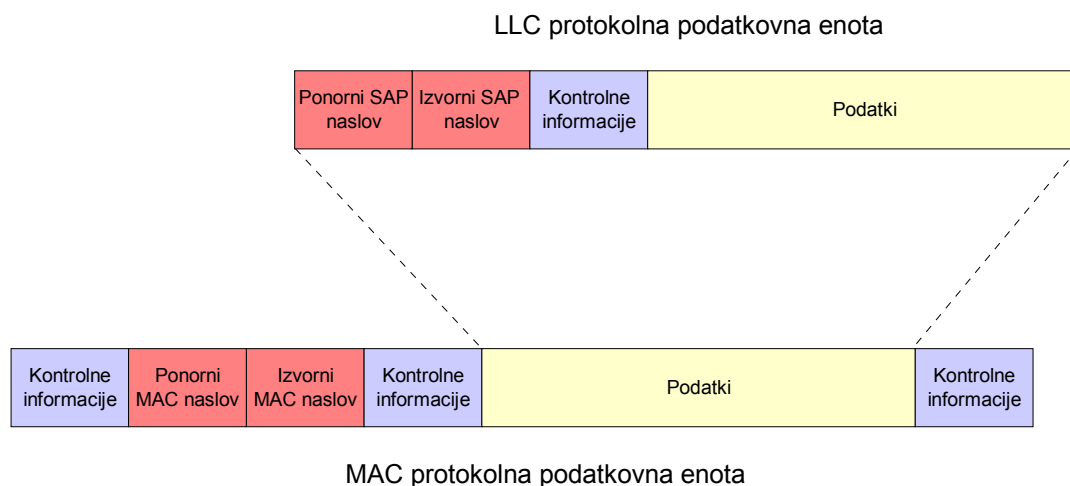
Podplast za nadzor dostopa do prenosnega medija ali MAC (Medium Access Control) je definirana za vsak standard posebej in, kot že ime samo pove, nadzira dostop do prenosnega medija, ki si ga v krajevnih omrežjih deli več uporabnikov. MAC podplasti si preko svojih protokolov izmenjujejo MAC podatkovne enote, ki jim pravimo tudi MAC okviri. Oboje si bomo

²⁰ Obstaja še nekaj standardov iz iste zbirke, vendar so za nas manj pomembni in jih zato tu ne bomo naštevati.

podrobneje ogledali pri opisu posameznih standardov, načelno zgradbo okvirov pa že v naslednjem podpoglavju.

6.5.2 Naslavljanje in podatkovne enote

IEEE arhitektura pozna dvonivojsko naslavljanje: SAP in MAC naslavljanje. Z SAP (Service Access Point) naslovom je povezana točno določena pristopna točka LLC podplasti, ki jo uporabljajo višje protokolne plasti (glej 4.4.1.1). MAC naslov pa je naslov delovne postaje, priključene na krajevno omrežje. Oba naslova se prenašata v ustreznih protokolnih podatkovnih enotah, katerih zgradba je prikazana na Sl. 6.5.



Sl. 6.5: IEEE podatkovne enote

6.5.2.1 LLC protokolne podatkovne enote in naslovi

Protokolna podatkovna enota LLC podplasti je sestavljena iz glave in podatkovnega paketa omrežne plasti. Prva se sestoji iz 3-4 slednji pa iz 0- n oktetov. Po en oktet iz glave določa izvorni in ponorni SAP naslov, eden do dva pa vsebujeta kontrolne informacije in vrsto podatkovne enote.

6.5.2.2 MAC protokolne podatkovne enote in naslovi

Zgradba MAC protokolnih podatkovnih enot je bolj zapletena, saj poleg glave vsebujejo še rep. Glava je razdeljena na kontrolni in naslovni del. Slednji vsebuje MAC naslove izvorne in ponorne delovne postaje. Vsak izmed teh dveh naslovov je lahko dolg 16 ali 48 bitov (2-6 oktetov). 16 bitni naslovi imajo vedno le lokalni, medtem ko imajo 48 bitni lahko lokalni ali globalni pomen, kar je določeno s kontrolnimi biti znotraj naslova samega.

Vsak globalni MAC naslov je edinstven in tovarniško "zapečen" v mrežno kartico na delovni postaji. Te naslove proizvajalcem podeljuje IEEE, s čemer je edinstvenost zagotovljena.

Vsebina kontrolnega dela glave in repa se pri vsakem standardu nekoliko razlikuje, zato jo bomo podrobneje predstavili vzporedno z obravnavo posameznih standardov.

6.6 IEEE 802.3 Ethernet

Ethernet je trenutno najbolj razširjen standard za krajevna omrežja in ima dokaj zanimivo zgodovino. Že ob koncu sedemdesetih let so pri podjetju Xerox postavili omrežje s 100 postajami, kilometrskim obsegom, prenosno kapaciteto 2.94 Mbit/s in CSMA/CD metodo dostopa do prenosnega medija. Xerox Ethernet je bil tako uspešen, da so skupaj s podjetjema DEC in Intel napisali standard za 10 Mbit/s Ethernet, ki je kasneje postal osnova družini IEEE 802.3 standardov.

Za razliko od osnovnega Etherneta, ki je bil definiran le za 50 Ω koaksialni kabel, pa 802.3 definira celo družino standardov, ki delujejo na različnih prenosnih medijih in z različno prenosno hitrostjo. Tabela 11 navaja najpomembnejše predstavnike te družine.

Standard	Prenosni medij	Največja razdalja med postajama	Največja dolžina odseka	Prenosna hitrost
10Base5	Koaksialni kabel 10 mm	2500 m	500 m	10 Mbit/s
10Base2	Koaksialni kabel 5 mm	2500 m	200 m	10 Mbit/s
10BaseT	Prepletena parica	2500 m	100 m	10 Mbit/s
100BaseT	Štiri prepletene parice	250 m	100 m	100 Mbit/s

Tabela 11: Najpomembnejši predstavniki IEEE 802.3 družine standardov

6.6.1 Topologija

Topologija Etherneta je vodilo, na katerega so priključene postaje, ki si delijo njegovo prenosno kapaciteto. Tabela 11 vsebuje dve polji, ki določata razsežnost omrežja: največjo dolžina segmenta in največjo razdaljo med dvema postajama na omrežju. Slednjo lahko dosežemo s povezovanjem posameznih segmentov preko ponavljalnikov²¹, katerih število je v omrežju omejeno. Pri standardu 802.3 10Base5, ki je najstarejši iz družine, je določeno, da je lahko največja dolžina odseka 500 m, razdalja med najoddaljenejšima postajama 2500 m in največje število ponavljalnikov med katerimakoli postajama 4. Poleg osnovne funkcije regeneracije signalov imajo ponavljalniki tudi funkcijo povezovanja odsekov z različnimi prenosnimi mediji. Tako lahko med seboj povežemo 10BaseT, 10Base5 in druge Ethernet odseke. Vlogo in mesto ponavljalnika v omrežju vidimo na Sl. 6.6, ki prikazuje možno topologijo Ethernet omrežja.

Čeprav je topologija 10BaseT fizično zvezdasta (vse postaje so priključene na vozelnost postajo), pa je logična topologija še vedno vodilo, saj je kolizijska domena²², ki jo pri drugih standardih družine predstavlja celoten prenosni medij, skržena na eno samo točko znotraj vozelnost postaje.

6.6.2 Fizična plast

V fizični plasti so določeni parametri različnih standardov iz družine 802.3 Ethernet. Specifikacije te plasti zajemajo: prenosni medij (koaksialni kabel, prepletene parice, atmosfera, optično vlakno), dimenzije priključkov, napetostne nivoje na liniji in podobno.

Večina standardov iz te družine ima prenosno hitrost 10 Mbit/s z Manchester linijskim kodiranjem, ki za to hitrost prenosa potrebuje 20 MHz uro, kar je precejšnja potrata pasovne širine. Prenosni mediji, ki zadoščajo tem hitrostim, so: koaksialni kabel, prepletene parice in optično vlakno. Novejši standard 100BaseT pa kot prenosni medij uporablja optično vlakno ali štiri prepletene parice, preko katerih prenaša podatke s hitrostjo 100 Mbit/s in pri tem uporablja 8B6T linijsko kodiranje²³. Tri parice so uporabljene za vzporedni prenos podatkov s hitrostjo ure 25 MHz, četrta pa za detekcijo trkov.

6.6.3 CSMA/CD metoda dostopa do prenosnega medija

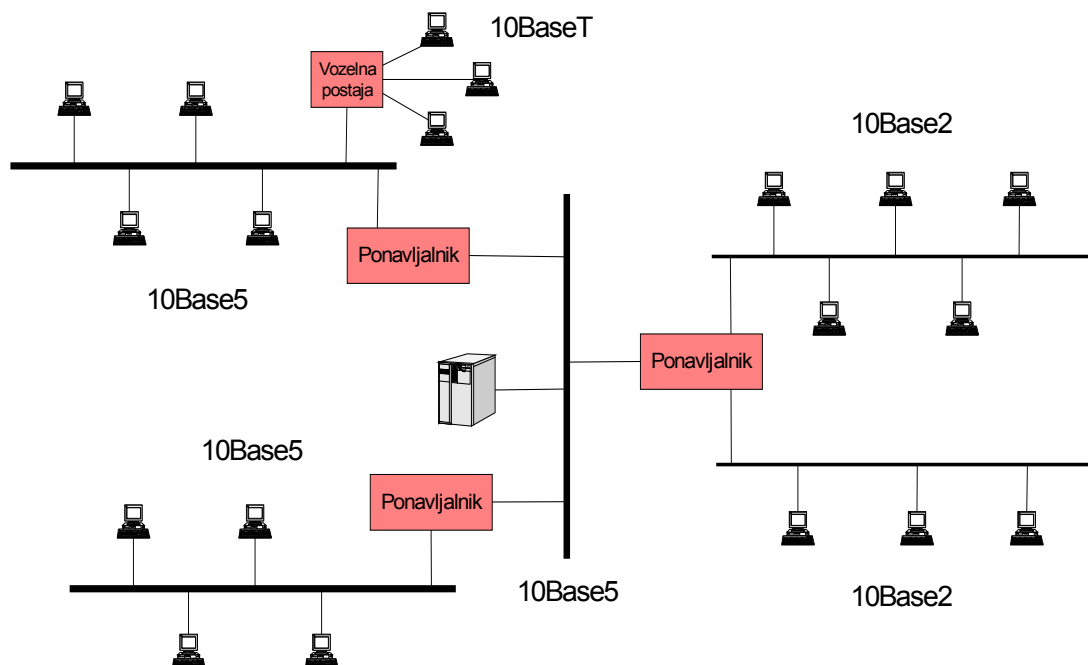
MAC podplast je za celo družino standardov enaka in uporablja CSMA/CD metodo dostopa do prenosnega medija. Postaje, ki želijo prenašati podatke, najprej preverijo ali je prenosni kanal prost

²¹ Ponavljalnik je naprava, ki deluje na fizični plasti protokolnega sklada. Njegova naloga je regeneracija sprejetih signalov enega odseka in njihovo pošiljanje na preostale priključene odseke.

²² Kolizijska domena je prostor, na katerem prihaja do trkov podatkovnih okvirov različnih postaj.

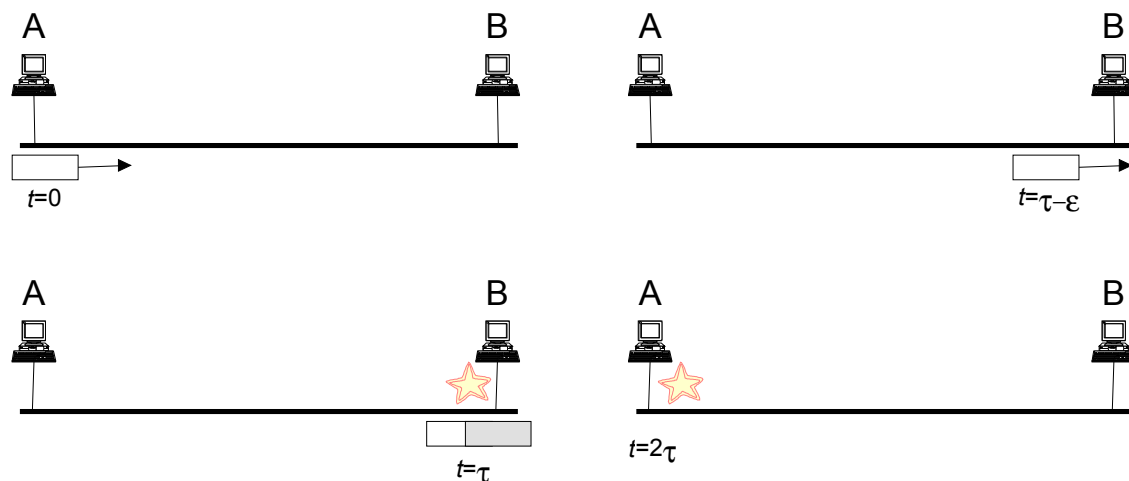
²³ Linijsko kodiranje 8B6T 8 binarnih (dvonivojskih) simbolov zakodira v 6 terciarnih (trinivojskih).

in šele nato začnejo s prenosom podatkov. Zaznava prostega prenosnega kanala pa še ne zagotavlja uspešnega prenosa, saj lahko neka druga postaja na drugem koncu omrežja ob istem trenutku zazna prost kanal in začne pošiljati svoje podatke, ki seveda povzročijo trk s prvimi. Zato prenos podatkov pri CSMA/CD razdelimo v tri faze: zaznavanje prenosnega kanala, boj za prenosni kanal in prenos podatkov.



Sl. 6.6: Možna Ethernet topologija

Faza zaznavanja prenosnega kanala nastopi, ko postaja želi prenašati podatke in traja toliko časa, da je le ta prost. Postaja začne s prenosom, vendar s tem stvar še ni rešena, saj v tej drugi fazi še vedno obstaja možnost trka s podatki drugih postaj. Po preteku druge faze, katere trajanje je točno določeno, pa je postaja prepričana o uspešnem zasegu prenosnega kanala in podatke lahko mirno prenese do konca. Če med trajanjem druge faze postaja zazna trk, nemudoma prekine oddajanje, sprosti prenosni kanal in znova poskusi čez nekaj časa, ki je odvisen od algoritmov, ki določajo čas ponovnega poskusa prenosa.



Sl. 6.7: Trajanje faze boja za prenosni kanal

Postavi se vprašanje trajanja druge faze. Odgovor ilustrirajmo s primerom, ki je prikazan na Sl. 6.7. Vzemimo dve medsebojno najbolj oddaljeni postaji na omrežju: A in B. Postaja A želi prenašati podatke, zazna prost prenosni kanal in ob času $t=0$ nanj pošlje podatkovni paket, ki se širi po omrežju in se ob času $t=\tau-\epsilon$ nahaja tik pred postajo B. Ta se je ravno tako odločila prenašati podatke in v tem trenutku še vedno zaznava prost prenosni kanal in zato nanj pošlje svoj podatkovni paket, ki ob času $t=\tau$ povzroči trk s paketom postaje A. Trk povzroči izbruh šuma, ki potuje v obe smeri in postajo A doseže ob času $t=2\tau$. Torej, če hoče postaja A zagotovo vedeti ali ji je uspelo priboriti prenosni kanal, mora prenos podatkov trajati vsaj 2τ , kar je ugotovitev s pomembnimi posledicami.

S časom 2τ sta omejena največja razdalja med postajama na omrežju in najkrajši paket, ki ga smemo prenašati ob določeni prenosni hitrosti. Pri osnovnem 10 Mbit/S Ethernet standardu so se odločili za najkrajši paket z dolžino 64 oktetov (512 bitov) in največjo razdaljo med postajama 2500 m. To pomeni, da faza boja za prenosni kanal traja 51.2 μ s, kar je sicer več, kot je čas 2τ na tej razdalji, saj so zraven vštete tudi zakasnitve, ki jih vnesejo ponavljalniki med posameznimi odseki na omrežju.

Sedaj je lažje razumeti, zakaj je pri 10BaseT Ethernetu največja razdalja med postajami le 250 m. Zaradi večje prenosne hitrosti so podatkovni okviri časovno krajši in bi za 2500 m morali biti dolgi vsaj 640 oktetov. To se ne bi skladalo z ostalimi standardi iz družine in bi tako trpela povezljivost med njimi. Zato so raje omejili razsežnost teh omrežij.

6.6.4 MAC podatkovni okvir

Zaradi pravkar opisanih omejitev mora biti 802.3 Ethernet MAC podatkovni okvir dolg najmanj 64 oktetov. Njegova zgradba je prikazana na Sl. 6.8.



802.3 MAC podatkovni okvir

Sl. 6.8: Zgradba Ethernet MAC podatkovnega okvira

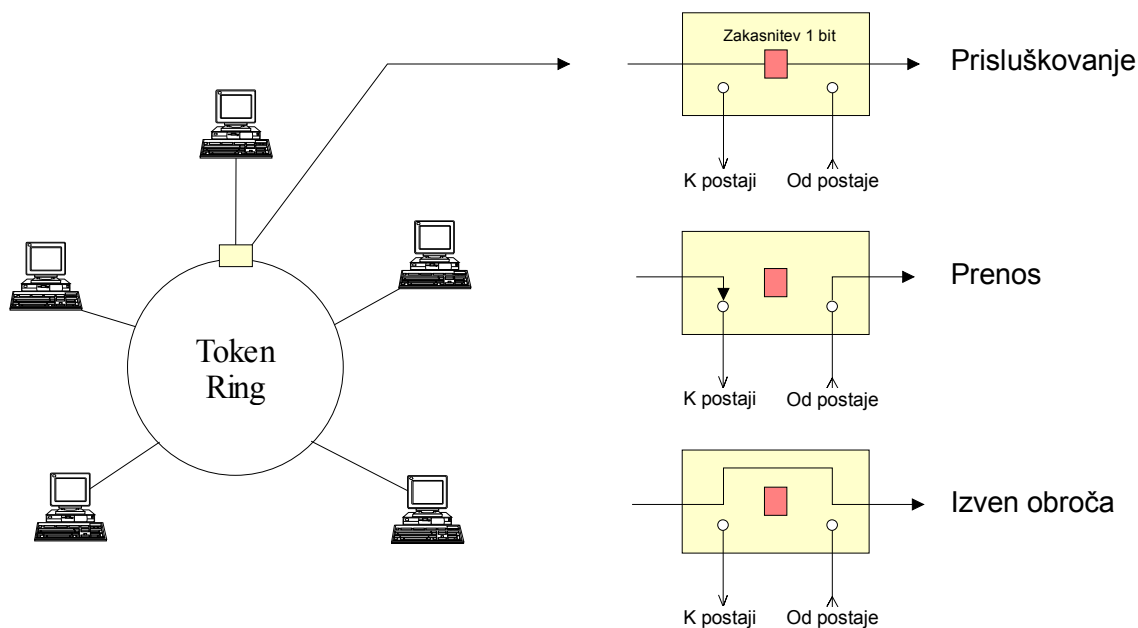
Sinhronizacijski del je niz 56 bitov (7 oktetov) z izmenjujočimi se ničlami in enicami, ki se uporabljajo za sinhronizacijo sprejemnika. Tem sledi 8 bitov s stalnim vzorcem 10101011, ki označuje **začetek okvira**. Sledita **naslova ponorne in izvorne postaje**, ki sta lahko dolga 2 ali 6 oktetov, odvisno od vrste MAC naslova (glej podpoglavje 6.5.2.2). Sledita okteta, ki sprejemniku povesta **dolžino podatkov**, ki se lahko giblje od 0 do 1500 oktetov. Polje z oznako **polnilo** je lahko dolgo od 0 do 46 oktetov in se uporablja za zagotavljanje najmanjše dovoljene dolžine podatkovnega okvira, ki znaša 64 oktetov. Preostali štirje okteti so namenjeni preverjanju pravilnosti prenešenih okvirov po CRC (Cyclic Redundancy Check) metodi.

6.7 IEEE 802.5 Token Ring

Token Ring je za Ethernetom drugi najbolj razširjeni standard za krajevna omrežja. Skupni prenosni medij ima topologijo obroča, v resnici pa je to le skupek povezav točka-točka med sosednjimi postajami na obroču. Osnovni Token Ring standard je bil razvit pri IBM-u. IEEE ga je prevzel in izdal pod oznako 802.5 v različicah s hitrostmi prenosa 1, 4 in 16 Mbit/s.

6.7.1 Topologija

802.5 omrežje ima topologijo obroča, na katerega so priključene postaje, ki so si lahko največ 2500 m vsaksebi. Največje število postaj na enem obroču je 250, kar nam da največji možni obseg obroča 625 km. Postaje na obroču lahko delujejo v enem izmed treh načinov delovanja: prisluškovanje prenosnemu kanalu, prenos podatkov in delovanje izven obroča. Pri prvem načinu postaja prisluškuje prenosnemu kanalu tako, da bere podatke, ki se prenašajo po njem in jih z zakasnitvijo 1 bita odpošilja naprej. V načinu prenosa podatkov postaja obroč "prekine" tako, da na enem koncu nanj pošilja svoje podatke, ki jih po preteku enega kroga na drugem koncu zopet izloči. Kadar postaja ni priključena na obroč, deluje v načinu izven obroča. Topologija in načini delovanja so prikazani na Sl. 6.9.



Sl. 6.9: Topologija in načini delovanja 802.5 Token Ring krajevnega omrežja

6.7.2 Fizična plast

Token Ring omrežja za prenosni medij uporabljajo oklopljene in neoklopljene prepletene parice. Zgodnejše verzije standarda so delovale na oklopljenih paricah s hitrostmi 1 in 4 Mbit/s, novejšje verzije pa delujejo tudi na neoklopljenih paricah in s hitrostmi do 16 Mbit/s.

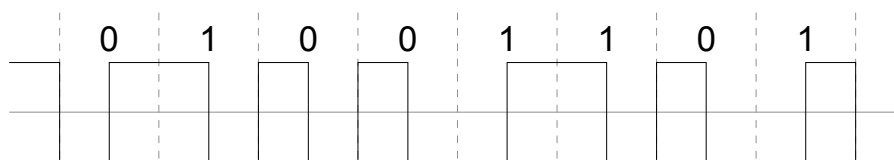
Za prenos podatkov se uporablja diferencialno Manchester kodiranje, ki je prikazano na Sl. 6.10. Njegova dobra lastnost je, da ima v sredini bitnega intervala vedno prehod med signalnimi nivoji, kar mu daje možnost samoproženja (self-clocking). Če prehoda v sredini bitnega intervala ni, nam to predstavlja "kršitev kode", ki se v Token Ring omrežjih namerno uporablja za označevanje začetka in konca podatkovnega okvira. Obstajata dve vrsti kršitve kode: K in J. Pri prvi je na začetku bitnega intervala kršitve prehod med signalnimi nivoji, pri drugem pa ne.

6.7.3 Dostop do prenosnega medija

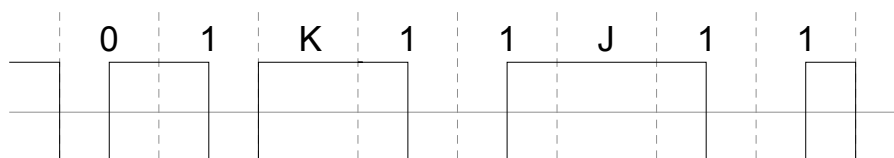
Pri Token Ring omrežju poteka dostop do prenosnega medija s pomočjo žetona. Vsaka postaja, ki želi prenašati podatke, si mora najprej pridobiti prost žeton in jih šele nato pošlje. Za razliko od Etherneta tu ne more priti do trkov, saj ima žeton v svoji posesti le ena postaja naenkrat.

Recimo, da imamo Token Ring omrežje, na katerega je priključenih nekaj postaj. Če nobena izmed njih ne prenaša podatkov (so v načinu prisluškovanja), po njem neprestano kroži prost žeton v obliki paketa z dolžino treh oktetov. Ko se ena izmed postaj odloči za prenos, mora najprej zaseči

prost žeton, ki ga takoj spremeni v zasedenega in ga kot del glave podatkovnega okvira pošlje nazaj na omrežje. Okvir potuje po obroču, kjer ostale postaje prisluškujejo ali je paket namenjen njim. Tista, ki v okviru prepozna svoj naslov, si cel okvir prepíše v svoj pomnilnik, a okvira ne odstrani z obročja. To je naloga izvirne postaje, ki vsak okvir po preteku enega kroga odstrani z obročja. Ko izvirna postaja s prenosom zaključi, odda prost žeton v uporabo ostalim postajam na obroču.



Diferencialno Manchester kodiranje



J in K kršitvi kode

Sl. 6.10: Diferencialno Manchester linijsko kodiranje z J in K kršitvami kode

Dolžina podatkovnega okvira s standardom ni omejena ne navzdol ne navzgor, vendar pa je omejen čas zadrževanja žetona na posamezni postaji. Tipično je to 10 ms. Znotraj tega časa postaja, ki žeton poseduje, prenaša podatke, po njegovem poteku pa ga mora nepreklicno oddati na obroč v uporabo drugim. Na ta način je dosežena približna pravičnost dostopa do prenosnega medija, saj nobena postaja ne more podatkov prenašati v nedogled.

6.7.4 MAC podatkovni okvir

Za razliko od Etherneta tu nimamo omejitve, ki se tičejo najkrajšega ali najdaljšega dovoljenega podatkovnega okvira, zato pa so postaje časovno omejene pri zadrževanju žetona. Zgradba 802.5 MAC podatkovnega okvira in žetona je prikazana na Sl. 6.11.



802.5 MAC podatkovni okvir

Sl. 6.11: Zgradba Token Ring MAC podatkovnega okvira in žetona

Žeton je zgrajen iz treh oktetov, ki predstavljajo začetek in konec okvira ter oktet za nadzor dostopa MAC plasti do prenosnega medija. Oktet, ki označuje **začetek okvira**, predstavlja

edinstven signalni vzorec z nizom simbolov JK0JK000, ki vsebuje J in K kršitve kode (glej 6.7.2). Na ta način preprečimo zamenjavo določenega vzorca znotraj podatkov in vzorca za začetek okvira.

Oktet, ki označuje **konec okvira**, predstavlja edinstven signalni vzorec z nizom simbolov JK1JK1IE, pri čemer sta I in E bita, ki povesta ali je to zadnji prenašani okvir (I=0) in ali je pri prenosu prišlo do napake (E=1).

Oktet z oznako **nadzor dostopa** z vzorcem PPPTMRRR prenaša naslednje informacije. Polje PPP določa prioriteto okvira, T nam pove ali je okvir žeton (T=0) ali podatki (T=1), M je bit, ki ga nastavi nadzorna postaja, polje RRR pa postaja, ki želi naslednja prenašati podatke z določeno prioriteto.

Zgradba podatkovnega okvira je bolj zapletena od zgradbe žetona in vsebuje nekaj več polj. Prvi dve sta enaki kot pri žetonu, sledi jima oktet, ki določa **vrsto okvira** (kontrolni ali podatkovni). Temu sledita **MAC naslova izvora in ponora**, ki sta enake oblike kot pri ostalih standardih družine 802.x (glej 6.5.2.2 za podrobnosti). Naslovnim oktetom sledijo **podatki**, ki po dolžini s standardom niso omejeni. Sledijo jim štirje okteti za **CRC** preverjanje napak v okviru in tem oktet za **konec okvira**, ki je enak kot pri žetonu. Na koncu je dodan še oktet **stanja okvira** z vzorcem ACrrACrr. Bit A nastavlja postaja, ki prepozna, da je podatkovni okvir namenjen njej, če pa ji ga uspe v celoti pravilno prepisati, pa nastavi še bit C. S tema dvema bitoma rešimo problem potrjevanja sprejetih okvirov. Ko izvorna postaja z obroča odstranjuje odposlani okvir samo preveri bita A in C. Če je bit A=1 pomeni, da je naslovna postaja aktivna in če je bit C=1 pomeni, da je uspela okvir pravilno prepisati v svoj pomnilnik; to pa pomeni, da je sprejem okvira potrjen. Bitar r sta namenjena za prihodnjo uporabo. Vsi štirje biti pa so zaradi varnosti podvojeni.

6.8 Fiber Distributed Data Interface (FDDI)

Glede na razsežnost in prenosno hitrost lahko FDDI uvrstimo med krajevna ali mestna omrežja. Obstajata dve različici standarda. Novejšo (FDDI II) smo na kratko spoznali že v poglavju 5.4, tu si bomo pa ogledali še osnovno različico standarda, ki podpira priključitev do 1000 postaj na (dvojni) optični obroč z obsegom do 200 km. Postaje, priključene nanj, so si lahko največ 2500 m vsaksebi, prenos podatkov pa poteka s hitrostjo 100 Mbit/s.

S svojo razsežnostjo in prenosno hitrostjo je FDDI nadvse primeren za hitra krajevna omrežja ali hrbtenična omrežja, ki ponavadi povezujejo več samostojnih krajevnih omrežij. Dostop do prenosnega medija je podoben kot pri standardu IEEE 802.5 Token Ring. Za prenosni medij se večinoma uporablja optično vlakno, definirana pa je tudi različica standarda z oznako CDDI (Copper Distributed Data Interface), ki kot prenosni medij uporablja prepletene parice.

6.8.1 Topologija

FDDI ima topologijo dvojnega obroča, ki je prikazana na Sl. 6.12. Podatki se po vsakem izmed obročev pretakajo v drugo smer in za prenos lahko uporabimo kateregakoli izmed obeh. V primeru izpada enega izmed njih za prenos uporabimo drugega, če pa se oba prekineta na istem mestu, ju lahko združimo v enojni obroč dvojnega obsega.

Na dvojni obroč lahko priključimo postaje dveh tipov, A in B. Prve so povezane v oba obroča, druge pa le v enega, kar je ravno tako prikazano na Sl. 6.12. Postaje tipa A lahko med seboj vzpostavijo dvosmerno komunikacijo (polni dupleks), postaje tipa B pa le enosmerno ali izmenično enosmerno komunikacijo. Standard dovoljuje soobstoj obeh tipov postaj na enem dvojnem FDDI obroču.

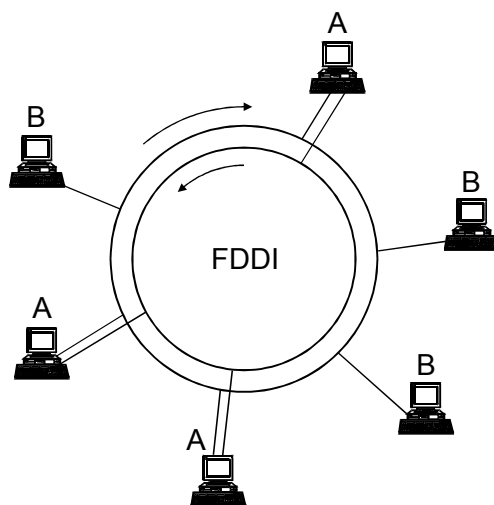
6.8.2 Fizična plast

Kot prenosni medij se uporabljajo večrodovna optična vlakna, ki za 100 Mbit/s in največjo razdaljo med postajami 2500 m povsem zadoščajo. Optični oddajnik in sprejemnik predstavljata LED in PIN diodi.

Obstaja tudi CDDI različica standarda za prepletene parice. Pri uporabi neoklopljenih prepletenih paric je lahko razdalja med postajami največ 50 m, pri oklopljenih pa največ 100 m. V nadaljevanju bomo podrobneje opisali le funkcije fizične plasti pri uporabi optičnih vlaken.

Za prenos podatkov se uporablja 4B/5B NRZI (Non-Return to Zero Inverted) linijsko kodiranje. Pri njem simbol dolžine 4 bitov pred prenosom zakodiramo v simbol dolžine 5 bitov. Za prenos s hitrostjo 100 Mbit/s tako potrebujemo uro s frekvenco 125 MHz. Z uporabo NRZI kodiranja pridobimo na izrabi pasovne širine, izgubimo pa lastnost samoproženja, ki je bila prisotna pri Manchester kodiranju. To narekuje uporabo začetnih sinhronizacijskih simbolov (preamble) pri vsakem prenašanem okviru. Prav tako moramo zagotoviti vsaj 0.005% stabilnost sprejemnikove ure, ki nam zagotavlja pravilno razpoznavo prenašanih bitnih simbolov v okviru dolžine do 4500 oktetov.

S standardom je določena tudi verjetnost napake pri prenosu bitnih simbolov, ki mora biti manjša od $4 \cdot 10^{-11}$, česar pa pri današnjem stanju na področju optičnih tehnologij ni težko doseči.



Sl. 6.12: FDDI topologija dvojnega obroča

6.8.3 Dostop do prenosnega medija

Protokol dostopa do prenosnega medija MAC plasti je zelo podoben kot pri IEEE 802.5 Token Ring standardu in se od njega razlikuje le v podrobnostih, od katerih bomo omenili le najvažnejše.

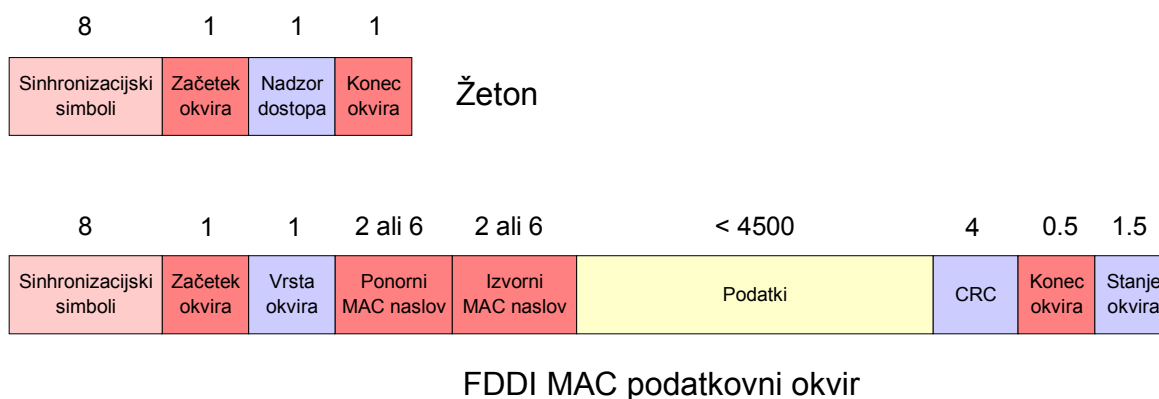
Pri obeh standardih lahko podatke pošilja le postaja, ki poseduje žeton. Ko odposlani podatki naredijo en krog na obroču, jih ta ista postaja z njega tudi odstrani. Razlika med obema pa je v tem, da pri Token Ring standardu oddajna postaja vrne žeton na omrežje šele, ko je z njega odstranila vse odposlane okvire, pri FDDI standardu pa takoj, ko odpošlje zadnji okvir. To pomeni, da je pri slednjem lahko na različnih delih obroča več okvirov različnih postaj naenkrat, s tem pa bolje izkoristimo prenosno kapaciteto obroča.

FDDI MAC plast vsebuje tri časovnike (timer). Prvi je enak kot pri Token Ring in določa koliko časa lahko posamezna postaja zadržuje žeton in prenaša podatke. Drugi vsebuje čas obhoda žetona in ob njegovem preteku sproži inicializacijo obroča ker se predpostavlja, da je v takem primeru žeton izgubljen ali nerazpoznaven. Tretji pa je namenjen odkrivanju resnejših okvar na omrežju in ponovni vzpostavitvi njegovega delovanja.

6.8.4 MAC podatkovni okvir

FDDI okvir je lahko skupaj z začetnimi sinhronizacijskimi simboli dolg največ 4500 oktetov. Dolžina je določena glede na omejitve fizične plasti in natančnosti ure. Obstaja osem različnih tipov FDDI podatkovnih okvirov:

- Prazen okvir - prenašani podatki se ignorirajo
- Žeton
- Omejeni žeton - nadzor prenosa večkratnih okvirov
- Upravljavski okvir - prenos upravljaljskih podatkov
- MAC okvir - nadzor delovanja MAC plasti
- Podatkovni okvir - prenos uporabniških podatkov
- Izdelovalčev okvir - rezerviran za specifične funkcije izdelovalca opreme
- Rezervirani okvir - prihodnja uporaba



Sl. 6.13: Zgradba FDDI MAC podatkovnega okvira in žetona

Splošna zgradba MAC podatkovnega okvira in žetona je podana na Sl. 6.13. Vsak okvir se začne s 16 **sinhronizacijskimi simboli** (8 oktetov), ki se uporabljajo za sinhronizacijo sprejemnikove ure. Sledi mu oktet **začetek okvira**, ki vsebuje edinstven vzorec, ki določa začetek podatkov v okviru. Oktet **vrsta okvira** določa tip MAC podatkovnega okvira. Polji z izvornim in ponornim **MAC naslovom** sta enaki kot v družini IEEE 802.x standardov. Sledi polje, v katerem se prenašajo **podatki**, ki jih sme biti toliko, da je skupna dolžina okvira skupaj s sinhronizacijskimi simboli manjša ali enaka 4500 oktetov. Sledi 4 oktete dolgo **CRC** polje za preverjanje pravilnosti prenosa. **Konec okvira** je pri žetonu dolg 1 oktet, pri ostalih tipih okvirov pa le en simbol (0.5 okteta). Na koncu je še tri simbole (1.5 okteta) dolgo polje, ki določa **stanje okvira**: zaznana napaka, prepoznani MAC naslov, okvir sprejet in drugo.

6.9 Frame Relay

V zadnjem času smo priča hitremu razmahu Frame Relay²⁴ podatkovnih omrežij, ki so nekakšen naslednik X.25 omrežij. Tako kot slednji tudi Frame Relay uporablja prenos podatkov v paketih različnih dolžin, vendar s precej višjimi prenosnimi hitrostmi, ki se gibljejo tja do 2.048 Mbit/s. Ponuja nam nezanesljivo storitev, ki uporabnika ne obvešča o izgubljenih ali izločenih paketih, ne zagotavlja pravilnega vrstnega reda prenašanih podatkov, ne potrjuje sprejema paketov na sprejemni strani in drugo. Vse našteje funkcije so prepuščene višjim protokolnim plastem na uporabnikovi terminalni opremi.

Mesto in funkcija Frame Relay standarda v omrežju je zelo podobna kot pri X.25. Standard ne določa delovanja omrežja samega ampak le vmesnik med uporabnikom in omrežjem ali UNI (User

²⁴ Frame Relay prevajamo kot "blokovno posredovanje", vendar bomo zaradi široke uveljavljenosti angleškega izraza v tekstu uporabljali ime Frame Relay.

to Network Interface) ter vmesnik med posameznimi Frame Relay omrežji ali NNI (Network to Network Interface). Podobnosti z X.25 je tu večinoma konec, zato si oglejmo še razlike med njima.

Pri standardu X.25 je predpostavljeno, da za prenos podatkov uporablja sorazmerno nezanesljivo prenosno omrežje z visoko stopnjo napak v prenosu. Zaradi tega zagotavlja celo vrsto funkcij za odkrivanje in popravljanje le teh. V času, ko se je standard X.25 pojavil, je bila terminalna oprema na uporabniški strani (računalniki) draga in počasna in zato večino funkcij prvih treh plasti OSI protokolnega sklada opravlja kar omrežje samo. Oboje skupaj pa pomeni veliko obdelave paketov znotraj omrežja in zato počasen prenos podatkov.

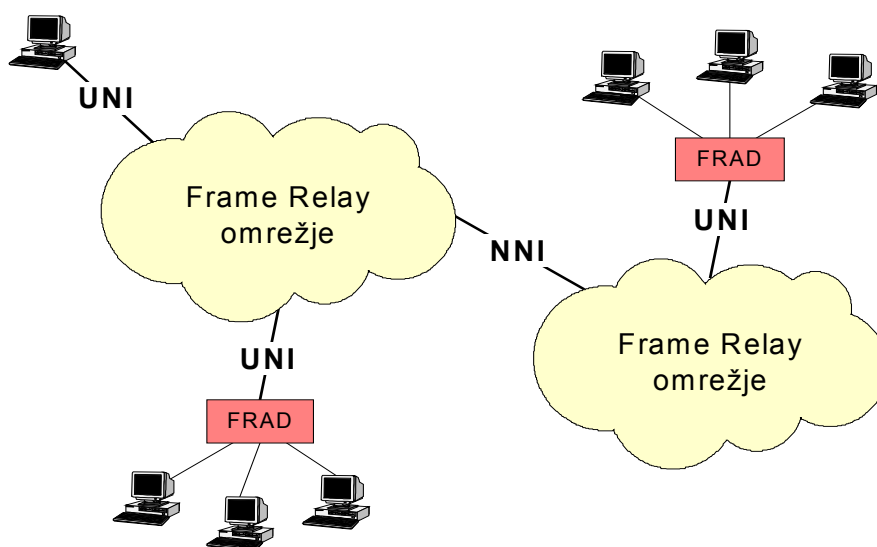
Frame Relay standard pa oboje postavi na glavo. Predpostavlja zanesljivo omrežje z nizko stopnjo napak v prenosu in zmogljivo terminalno opremo na uporabniški strani. Večina funkcij X.25 omrežja se zato preseli na stran uporabnika in tako razbremeni omrežje, ki zato lahko ponudi hitrejši prenos podatkov. V šali bi lahko rekli, da je Frame Relay "neumno", vendar hitro omrežje.

Če se je na začetku Frame Relay uporabljal predvsem kot hitrejši nadomestek za počasna X.25 omrežja in je uporabnikom ponujal zgolj stalne navidezne povezave (PVC), se je sčasoma njegova uporabnost razširila tudi na druga področja. Zelo primeren je kot cenejši nadomestek za privatna podatkovna omrežja temelječa na najetih povezavah. S sprejetjem specifikacije za preklapljanje navidezne povezave ali SVC (Switched Virtual Circuit) ter nekaterih dodatkov in izboljšav posameznih proizvajalcev, se je odprla tudi možnost prenosa govornih komunikacij. Več o tem pa v nadaljevanju.

6.9.1 Arhitektura

Tipično arhitekturo Frame Relay omrežja prikazuje Sl. 6.14. Na njej sta predstavljeni dve omrežji, ki sta med seboj povezani preko NNI protokola. Uporabniki so na omrežje navadno povezani preko Frame Relay dostopne naprave ali FRAD (Frame Relay Access Device), ki je lahko usmerjevalnik (tipično) ali neka druga naprava, ki vsebuje UNI protokol za povezavo na Frame Relay omrežje. UNI protokol je lahko vsebovan tudi v uporabniški terminalni opremi, vendar je to manj pogosta rešitev. Večinoma se uporablja priključitev uporabnikov na FRAD, da se pred njimi skrije funkcije omrežja in naredi prenos podatkov preko njega transparenten.

V omrežju so Frame Relay stikala, ki navzven (za komunikacijo s FRAD ali uporabniško terminalno opremo) uporabljajo UNI protokol, za prenos podatkov znotraj omrežja pa standard ni določen. V zadnjem času se zanj veliko uporablja ATM, v katerega lahko zelo preprosto preslikamo storitve, ki jih ponuja Frame Relay in o katerih bomo govorili v nadaljevanju.



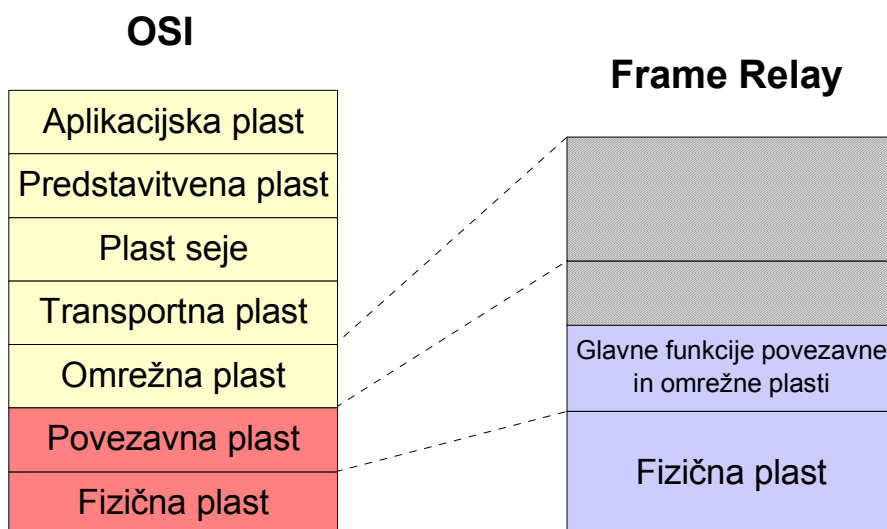
Sl. 6.14: Arhitektura Frame Relay omrežja

6.9.2 Protokolni sklad

Protokolni sklad Frame Relay vmesnika med uporabnikom in omrežjem (UNI) je zelo preprost in skrčen na najnujnejše funkcije, potrebne za prenos podatkov preko po predpostavki zanesljivega prenosnega omrežja. Če si ogledamo Sl. 6.15 vidimo, da ima Frame Relay protokolni sklad le dve plasti. Fizična plast s samim standardom ni določena, vendar je v praksi največkrat kar T1 ali E1. Nad njo je povezavna plast, v kateri so združene le najpomembnejše funkcije povezavne plasti in nekatere funkcije omrežne plasti OSI referenčnega modela. Teh funkcij je pet in sicer:

- Razmejitev podatkovnih okvirov in zagotavljanje transparentnosti simbolov za začetek in konec okvira
- Multipleksiranje in demultipleksiranje navideznih povezav
- Prilagoditev podatkovnih okvirov na celo število oktetov
- Preverjanje največje in najmanjše dovoljene dolžine okvirov
- Zaznavanje napak v prenosu in formatu podatkovnih okvirov ter delovanju sistema

Preostale funkcije povezavne in omrežne plasti so izločene ali potisnjene v višje protokolne plasti. Frame Relay protokolni sklad torej zagotavlja le zelo majhen nabor funkcij, ki mu zaradi malo obdelave podatkovnih okvirov omogoča hitro delovanje. Višje protokolne plasti so realizirane na uporabnikovi terminalni opremi in niso del Frame Relay vmesnika med njim in omrežjem.



Sl. 6.15: Frame Relay protokolne plasti

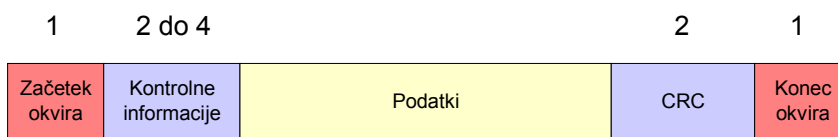
6.9.3 Frame Relay podatkovni okvir

Tako kot protokolni sklad je tudi Frame Relay podatkovni okvir zgrajen dokaj preprosto, kar je prikazano na Sl. 6.16. Na začetku in na koncu ima simbol dolžine enega okteta z edinstvenim bitnim vzorcem²⁵, ki označuje **začetek** in **konec okvira**.

Sledijo mu 2 do 4 okteti **kontrolnih informacij**, v katerih se nahaja oznaka navidezne povezave in nekateri kontrolni biti. Za nas bodo predvsem pomembni biti z oznakami BECN (Backward Explicit Congestion Control), FECN (Forward Explicit Congestion Control) in DE (Discard

²⁵ Edinstvenost bitnega vzorca zagotavlja povezavna plast z vrivanjem dodatnih bitov v simbole znotraj okvira, ki imajo enak bitni vzorec kot simbol za začetek in konec okvira (bit stuffing).

Eligibility), ki so pomembni pri nadzoru zasičenja omrežja. Več o tem pa v nadaljevanju. Sledi polje spremenljive dolžine, v katerem se prenašajo uporabniški **podatki**. Temu sledi še 2 okteta dolgo polje s **CRC** kodo za preverjanje pravilnosti prenešenega okvira.



Frame Relay podatkovni okvir

Sl. 6.16: Zgradba Frame Relay podatkovnega okvira

6.9.4 Nadzor zasičenja omrežja

Tako kot nekatere druge funkcije povezavne in omrežne plasti OSI referenčnega modela načeloma prepušča Frame Relay tudi nadzor zasičenja omrežja višjim plastem. Načeloma zato, ker že sam standard ponuja mehanizme za nadzor zasičenja v Frame Relay omrežju, ki temelje na uporabi FECN, BECN in DE bitov iz kontrolnega polja podatkovnega okvira. Uporaba teh bitov s standardom ni zahtevana in se zanjo odloči vsak proizvajalec po lastnih željah.

Vrednosti FECN in BECN bitov nastavljajo naprave za preklapljanje Frame Relay okvirov (Frame Relay Switch) kadar zasledijo težave v svojem delovanju ali se bližajo zasičenju²⁶. Z nastavitvijo vrednosti bita BECN=1 v okvirih, ki potujejo nazaj proti izvoru, le tega opozorijo na (možne) težave. Izvor zato primerno preoblikuje (zmanjša) pretok podatkov dokler težave niso odpravljene. Z nastavitvijo bita FECN=1 v okvirih, ki potujejo proti ponoru, pa o težavah obveščamo slednjega. Če je uporaba bita BECN logična, pa uporaba bita FECN na prvi pogled ni čisto jasna. Vendar če se zavedamo, da je lahko tudi ponor vzrok za prevelik pretok podatkov od izvora in da tudi sam pošilja potrditve sprejetih okvirov (protokoli višjih plasti), potem uporaba tega bita postane bolj logična.

Z nastavitvijo DE bita omrežju povemo, kateri izmed podatkovnih okvirov so primernejši za izločitev iz prometa ob potencialnih težavah ali zasičenju. DE bit navadno nastavlja uporabnik, da z njim označi prioriteto svojih podatkov, lahko pa jih nastavlja tudi omrežje samo v primerih, ko uporabnik prekorači vnaprej dogovorjene količine prenašanih podatkov. Več o tem pa v naslednjih odstavkih.

6.9.5 Storitve in navidezne povezave

Frame Relay ponuja uporabnikom dve vrsti povezav: stalne (PVC) in preklapljanje navidezne povezave (SVC). Pri prvih je povezava med dvema uporabnikoma vzpostavljena stalno, pri drugih pa se vzpostavi le na zahtevo (za podrobnejšo razlago glej 4.6.4). Stalne navidezne povezave so vsebovane že v osnovnem standardu, za preklapljanje pa trenutno obstajata dve specifikaciji, ki so ju izdali v Frame Relay Forumu in ITU.

Storitve, ki jih Frame Relay ponuja uporabniku, temeljijo na treh parametrih, o vrednostih katerih se dogovorita uporabnik in omrežje pred vzpostavitvijo navidezne povezave. Te vrednosti so lahko stalne ali pa se določajo sproti pred vsako vzpostavitvijo zveze (samo pri SVC). Ti parametri so:

²⁶ Preobremenjenost procesorja, polne čakalne vrste, težave s pomnilnikom in drugo.

- CIR Committed Information Rate
- B_r Burst Rate
- B_e Burst Excess

CIR je povprečna hitrost prenosa preko določenega časovnega intervala. Ponudnik storitve se zaveže, da bo ob normalnih pogojih delovanja omrežja ta prenosna hitrost uporabniku vedno na voljo. Če bo uporabnik pri prenosu podatkov ostal znotraj dogovorjene vrednosti CIR, mu omrežje ne bo spreminjalo vrednosti DE bita v njegovih podatkovnih okvirih.

B_r določa največjo dovoljeno vrednost izbruha podatkov v obdobju posameznega časovnega intervala, pri čemer pa lahko omrežje v primeru zasičenja spreminja vrednost DE bita v vseh podatkovnih okvirih, ki presegajo vrednost CIR.

B_e določa največjo dovoljeno vrednost dodatnega prometa nad vrednostjo B_r (znotraj določenega časovnega intervala). Omrežje vsem podatkovnim okvirom, ki presegajo B_r , nastavi DE bit na vrednost 1. To pomeni, da so ti okviri v primeru zasičenja omrežja prvi na vrsti za izločitev iz prometa.

Če uporabnik v omrežje pošilja podatke s hitrostjo, ki presega vse naštetje meje, pa so presežni okviri iz omrežja izločeni že na njihovem vstopnem vozlišču. Vrednosti in nabor parametrov s standardom niso določene, določajo se na podlagi pogodbe med uporabniki in ponudniki storitev. Tipično razmerje med njimi je $CIR:B_r:B_e = 2:4:1$. Če je vrednost $CIR=64$ kbit/s, lahko v izbruih prenašamo podatke s hitrostjo 128 kbit/s in ob upoštevanju dodatnega dovoljenega prometa s hitrostjo 160 kbit/s ($B_e=32$ kbit/s).

6.9.6 Prenos govora

Na prvi pogled se zdi ideja o prenosu govora preko Frame Relay omrežja le neizpolnljiva želja in če podrobneje pogledamo osnovni standard, se naša bojazen potrdi. Ugotovimo lahko le, da bi bil poskus brezupen. Frame Relay je omrežja s paketnim preklapljanjem, statističnim multipleksiranjem, paketi so lahko različnih dolžin in standard ne vključuje nikakršnih mehanizmov za dajanje prednosti različnim vrstam prometa. Vsa ta dejstva kažejo na to, da je Frame Relay primeren za prenos podatkov (za kar je bil tudi načrtovan) in neprimeren za prenos govora. Splošneje to pomeni, da je primeren za prenos podatkov, ki se pojavljajo v izbruih in manj za podatke, ki imajo stalen bitni pretok.

Podatki so dokaj neobčutljivi na zakasnitve in njihovo spremenljivost, važno je le, da na cilj prispejo brez napak. Pri govoru pa je ravno obratno. Izgube kakšnega paketa govora sem in tja niti ne opazimo, malo večjo zakasnitev pa takoj zaznamo kot padec kakovosti. Zakaj bi se torej trudili s prenosom govora preko Frame Relay omrežij? Kot za mnogo drugih stvari tudi tu razlog ni kakovost, ampak cena in znižanje stroškov.

Pri prenosu govora preko Frame Relay omrežja lahko prihranijo predvsem uporabniki, ki ga že uporabljajo za prenos podatkov. Govor dodamo podatkom in vse skupaj prenašamo za minimalno razliko v ceni. Tak način prenosa govora bi se močno izplačal večjim podjetjem, ki za prenos podatkov uporabljajo Frame Relay in imajo močan notranji telefonski promet. V nekaterih primerih bi se lahko popolnoma izognili uporabi javnega telefonskega omrežja. Namesto naštevanja primerov uporabe pa se raje posvetimo spremembam in dodatkom, ki jih za prenos govora potrebuje osnovni standard in jih proizvajalci vgrajujejo v svoje naprave.

Zahteve govornih aplikacij do omrežja so bile podane že v podpoglavjih 3.7.2, 5.2 in 6.2. Poglejmo si katere mehanizme in rešitve uporabljajo proizvajalci opreme za dosego teh zahtev.

6.9.6.1 Kompresija govora

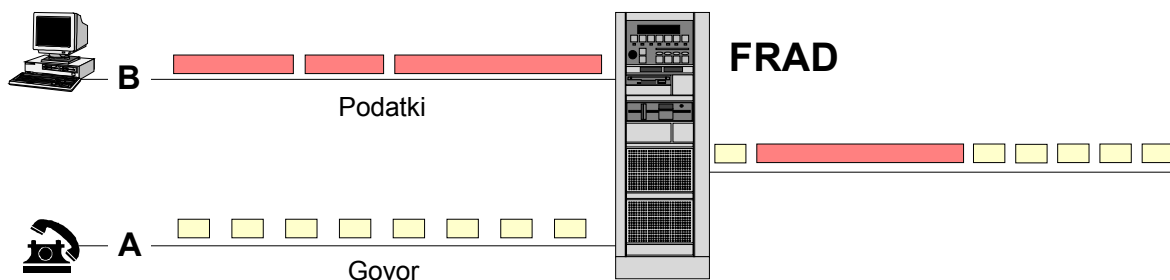
Za zmanjšanje pretoka podatkov in učinkovitejšo izrabo prenosnih kapacitet govor komprimiramo preko enega izmed mnogih kodirnih postopkov, od katerih so bili nekateri že naštet in na kratko opisani v poglavju 3.5. Proizvajalci pa lahko uporabijo tudi lastne kodirne postopke. Bitne hitrosti kodiranega govora se tipično gibljejo med 4.8 in 16 kbit/s, za govor višje kakovosti pa tudi 32 ali 64 kbit/s.

Za dodatno zmanjšanje pretoka podatkov se lahko poslužimo tudi izločanja tišine, ki pri pogovoru doseže okoli 60 do 65% časa posameznega govorca. V tem času podatkov ne prenašamo ali pa prenašamo le informacijo o šumu ozadja.

S kompresijo zmanjšamo potrebno prenosno kapaciteto omrežja za prenos govora. Zahtevam kot sta stalna in nespremenljiva prenosna kapaciteta ter majhna in nespremenljiva zakasnitev, pa s tem ne zadovoljimo.

6.9.6.2 Prednostno razvrščanje

Z razvrščanjem prenašanih okvirov po prednosti na zadovoljiv način rešimo zahtevo po stalno razpoložljivi prenosni kapaciteti. V ta namen v Frame Relay napravah vzdržujemo dve ali več ločenih čakalnih vrst z različnimi prednostmi. Govor ima navadno prednost pred ostalimi vrstami podatkov in njegove okvire uvrstimo v čakalno vrsto z višjo prednostjo. Pri odpošiljanju okvirov iz teh čakalnih vrst pa se držimo določenih pravil o njihovem praznjenju. Primer takega pravila je, da na vsakih 10 okvirov iz čakalne vrste z višjo prednostjo (govor) pošljemo en okvir iz čakalne vrste z nižjo prednostjo (podatki). Primer praznjenja čakalnih vrst je prikazan na Sl. 6.17, kjer je vrsta z višjo prednostjo označena z A, vrsta z nižjo pa z B.



Sl. 6.17: Prednostno razvrščanje govora v Frame Relay omrežjih

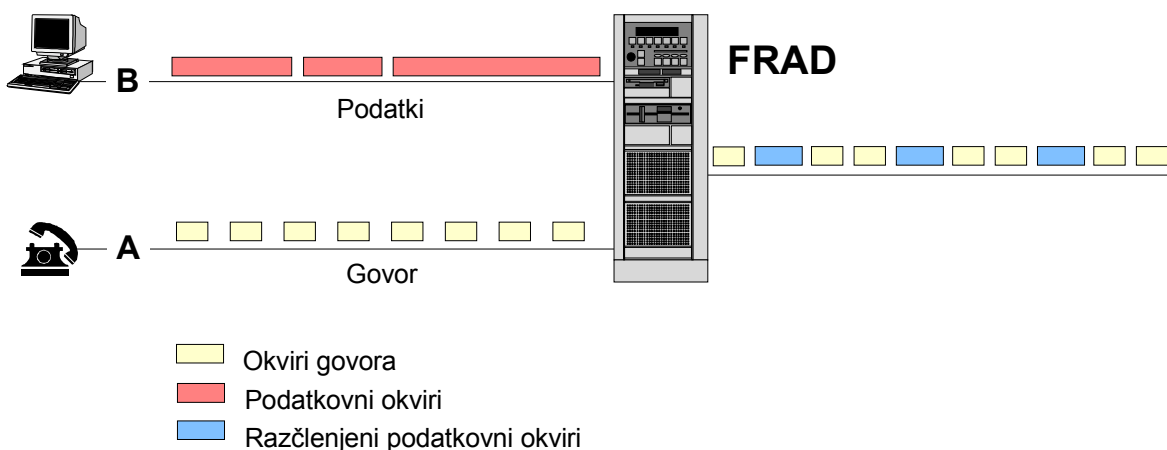
6.9.6.3 Razčlenitev dolgih podatkovnih okvirov

S prednostnim razvrščanjem smo zadovoljivo rešili problem zahtevane kapacitete, zahteva po majhni in nespremenljivi zakasnitvi pa ostaja nerešena. Zamislimo si primer, ko preko povezave s prenosno hitrostjo 64 kbit/s prenašamo podatkovne okvire dolžine 1500 oktetov in okvire komprimiranega govora dolžine 50 oktetov. Čeprav imajo govorni okviri prednost pred podatkovnimi, bo vsake toliko časa še vedno prišlo do prenosa podatkovnega okvira, ki bo trajal celih 187.5 ms (1500 oktetov). Ta čas bodo govorni okviri čakali na prenos in ta čas se bo prištel k njihovi celotni zakasnitvi. Taka zakasnitev na eni sami napravi (vozlišču) pa za govorne povezave ni sprejemljiva. Pojavi se tudi problem spremenljivosti zakasnitve, ki je močno odvisna od dolžine prenašanih podatkovnih okvirov.

Problem lahko rešimo na dva načina. Pri prvem preprosto opustimo že potekajoči prenos dolgega podatkovnega okvira, ko se na izhodu čakalne vrste A pojavi okvir govora (glej Sl. 6.18). Pri drugem načinu pa dolge podatkovne okvire razbijemo na več krajših in jih odpošiljamo po pravilih o prednostnem razvrščanju. Vsak izmed načinov ima svoje slabe in dobre lastnosti. Pri prvem pride govor na vrsto takoj a žrtvujemo deloma že prenesen podatkovni okvir; pri drugem pa je govor malenkostno zakasnen, razčlenitev podatkovnih okvirov pa nam prinese dodatne režijske informacije, ki jih moramo prenašati.

6.9.7 Ugotovitve

Vidimo, da z dodatnimi prijemi Frame Relay omrežje lahko uporabimo za prenos govora. Žal so mnogokrat te rešitve od proizvajalca do proizvajalca različne. To pomeni, da moramo imeti na obeh straneh omrežja enako opremo (naprave istega proizvajalca), če hočemo prenašati govor. V zadnjem letu pa je na tem področju vseeno prišlo do določenih premikov in proizvajalci, združeni v Frame Relay Forum²⁷, so se vendarle dogovorili in izdali skupna priporočila (sporazume), ki zadevajo prenos govora preko Frame Relay omrežja.



Sl. 6.18: Razčlenjevanje dolgih podatkovnih okvirov v Frame Relay omrežjih

S sprejetjem in uporabo izdanih dogovorov se bo verjetno povečala tudi kakovost prenesenega govora, ki trenutno ni na ravno visoki ravni in tudi ni sprejemljiva za vse namene in vrste uporabe²⁸. Tudi zakasnitve so kljub naštetim ukrepom še vedno dokaj visoke (reda od 100 do nekaj 100 ms), kar je mnogo več od zakasnitev javnega telefonskega omrežja (nekaj 10 ms).

Zaenkrat je prenos govora preko Frame Relay omrežij primeren le za ozek krog uporabnikov, ki se zavedajo omejitev in nižje kakovosti ter hkrati s tem še nekaj prihranijo. Z novimi priporočili in standardizacijo, zmanjšanjem zakasnitve, boljšimi kodirniki govora, širitvijo omrežij ter obljubami o znižanju stroškov pa se govoru preko Frame Relay omrežij vsekakor obetajo lepši časi.

6.10 ATM - Asinhroni prenosni način

Na začetku devetdesetih let je večina strokovnjakov napovedovala novemu standardu s področja omrežnih tehnologij z oznako ATM (Asynchronous Transfer Mode) lepo in svetlo prihodnost. Zaradi svojih lastnosti naj bi hitro izpodrinil konkurenčne tehnologije ter postal glavna tehnologija komunikacijskih omrežij. No, napovedi se niso uresničile in razširjenost ATM omrežij je trenutno precej pod napovedano ravni. Vzrokov za tako stanje je več in jih tu ne bomo naštevali. Ostaja pa vprašanje zakaj so ATM tehnologiji napovedovali tako lepo prihodnost. Naj na kratko odgovorimo nanj.

²⁷ Frame Relay Forum je neprofitno združenje, v katerem sodelujejo proizvajalci opreme za Frame Relay omrežja.

²⁸ Poslovni pogovori zahtevajo mnogo višjo kakovost govora kot na primer pogovor med dvema sodelavcema ali znancema.

Ob težnji po združevanju govornih in podatkovnih omrežij v eno samo, ki bo sposobno prenašati podatke večpredstavnih aplikacij, se je ATM pokazal kot najresnejši in najprimernejši kandidat. Poleg možnosti združitve obeh omenjenih omrežij ponuja tudi njihovo prostorsko združevanje in je primeren tako za krajevna kot za omrežja velikega obsega. Zagotovi nam globalno povezljivost, ki ni odvisna od vrste prometa ali razsežnosti omrežja.

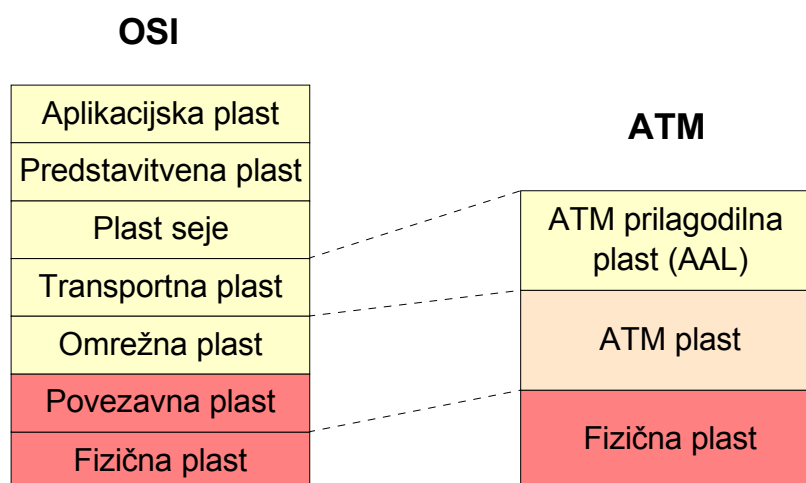
V osnovi je ATM paketno omrežje, ki pa za prenos podatkov uporablja pakete stalne dolžine, ki jim pravimo celice. Njihova dolžina je 53 oktetov, kar je nekakšen kompromis med potrebami in zahtevami govornih in podatkovnih aplikacij. Prve bi si želele čim krajše celice zaradi manjših zakasnitev, druge pa čim daljše zaradi optimalnejšega prenosa podatkov z manj režije. Stalna dolžina celic nam prinese več dobrih lastnosti, med katerima sta najpomembnejši deterministična zakasnitev in zmanjšanje potreb po obdelavi paketov (celic) v vozliščih.

Osnovni prenosni hitrosti ATM omrežij sta 155.520 Mbit/s in 622.080 Mbit/s, kar se sklada s prenosnimi hitrostmi SDH omrežij, ki so predvidena za prenos na fizični plasti. Zaradi porajanja novih potreb in storitev pa so v zadnjem času dodali še nekaj prenosnih hitrosti, ki so 51.84 Mbit/s, 25.92 Mbit/s in hitrosti v območju Gbit/s. Višje prenosne hitrosti naj bi zadostile velikim potrebam večpredstavnih aplikacij, predvsem prenosu gibljive slike, nižje pa uporabi v krajevnih omrežjih. Pri višjih hitrostih se kot prenosni medij uporabljajo optična vlakna, pri nižjih (25.92 Mbit/s) pa tudi bakreni vodi.

Uporaba optičnih vlaken pomeni visoko ceno opreme, ki je poleg počasne standardizacije glavni razlog za relativen neuspeh in počasen prodor ATM omrežij. Uporabniki se zato mnogokrat raje odločijo za eno izmed konkurenčnih tehnologij, kot sta Frame Relay in 100 Mbit/s Ethernet. Kljub nekaterim pomanjkljivostim pa je ATM tehnologija, ki nam trenutno ponuja največ. Dokaj razširjena je v hrbteničnih omrežjih, počasi pa si utira tudi pot do krajevnih računalniških omrežij in končnih uporabnikov. Koliko se bo uveljavila pa bo pokazal čas. V nadaljevanju si bomo ogledali njene glavne značilnosti.

6.10.1 Protokolne plasti

ATM protokolni sklad je dokaj zapleten in je določen v več ravlinah: uporabniški, kontrolni in upravljavski. Prvi dve sta si vzporedni in hierarhično razplasteni, tretja pa poteka vzdolž obeh in je namenjena upravljanju celotnega sistema in usklajevanju delovanja vseh protokolnih plasti. Kontrolna ravnina je odgovorna predvsem za signalizacijo ter vzpostavljanje in nadzor povezav. Podrobneje si bomo ogledali le uporabniško ravnino, ki je predstavljena na Sl. 6.19 in je odgovorna za prenos uporabniških podatkov.



Sl. 6.19: Protokolni sklad ATM uporabniške ravnine

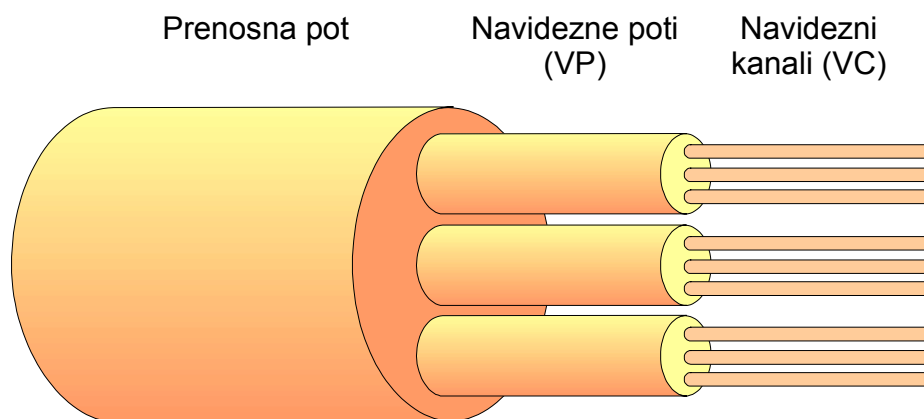
Fizična plast je neodvisna od višje ležečih plasti. Zaradi visokih osnovnih prenosnih hitrosti (155.520 in 622.080 Mbit/s) to plast v večini primerov predstavlja kar SDH omrežje, ki deluje na optičnih povezavah in je bilo opisano v poglavju 5.5. Za nižje prenosne hitrosti (25.92 in 51.84 Mbit/s) na krajših razdaljah v krajevnih omrežjih pa se uporabljajo tudi bakrene povezave.

ATM plast združuje glavne funkcije povezavne in omrežne plasti OSI referenčnega modela in je nekakšno srce ATM tehnologije. Odgovorna je za kar nekaj funkcij: generacijo glave ATM celic, nadzor pretoka podatkov, multipleksiranje, tolmačenje in prevajanje oznak navideznih kanalov in poti, usmerjanje celic skozi vozlišča in drugo.

ATM prilagodilna plast ali AAL (ATM Adaptation Layer) še najbolj ustreza transportni plasti OSI referenčnega modela, čeprav v sebi združuje tudi nekatere funkcije njegovih višjih in nižjih plasti. Vsebuje dve podplasti: konvergenčno podplast ali CS (Convergence Sublayer) in podplast za členjenje in ponovno sestavljanje podatkovnih enot ali SAR (Segmentation And Reassembly). Več o ATM prilagodilnih plasteh bomo govorili v podpoglavju 6.10.4.

6.10.2 Povezave in storitve

ATM je povezavno naravnano omrežje in uporabniku nudi vrsto povezavnih in nepovezavnih storitev, ki bodo opisane v nadaljevanju. Uporabniki so med seboj povezani preko navideznih povezav, ki so vzpostavljene stalno ali pa se vzpostavijo na zahtevo. Navidezne povezave med končnimi uporabniki so zaporedno povezani navidezni kanali ali VC (Virtual Channel), ki jih lahko združujemo v navidezne poti ali VP (Virtual Path) ter tako dobimo dvonivojsko hierarhijo povezav. Ta ima pred enonivojsko mnoge prednosti, ki pa jih tu ne bomo navajali. Omenimo naj le, da je preklapljanje več navideznih kanalov na isti prenosni poti mnogo zahtevnejše in časovno potratnejše opravilo kot preklapljanje ene same navidezne poti, ki te kanale vsebuje. Povezava med njimi je prikazana na Sl. 6.20.



Sl. 6.20: Navidezne poti in kanali na prenosni poti v ATM omrežju

ATM plast, ki v protokolnem skladu predstavlja omrežno plast, višjim plastem nudi naslednje razrede storitev:

- | | | |
|-------|----------------------|--|
| ➤ CBR | Constant Bit Rate | Stalna in nespremenljiva bitna hitrost |
| ➤ VBR | Variable Bit Rate | Spremenljiva bitna hitrost |
| ➤ ABR | Available Bit Rate | Razpoložljiva bitna hitrost |
| ➤ UBR | Unspecified Bit Rate | Nedoločena bitna hitrost |

CBR posnema fizični prenosni kanal, ki nam zagotavlja stalno in nespremenljivo kapaciteto. Podatki se tu prenašajo brez preverjanja napak, nadzora pretoka ali kakšne druge obdelave. Ta razred je primeren predvsem za prenos govora in gibljive slike, ki zahtevata prenosni kanal s prav takimi lastnostmi.

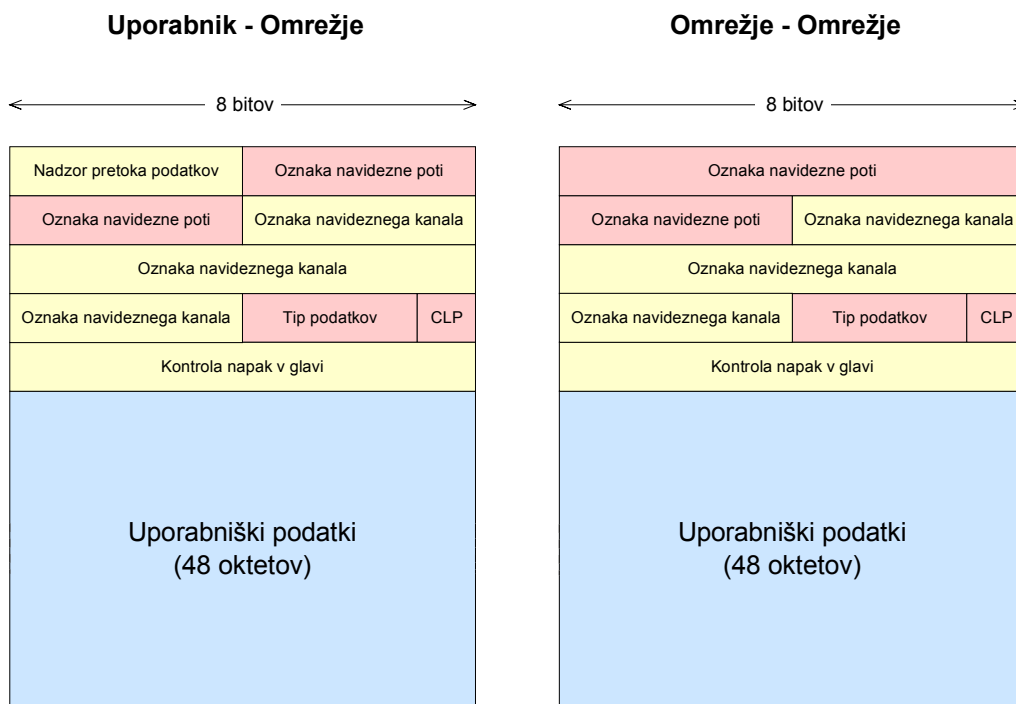
VBR razred je razdeljen v dva podrazreda: za prenos v realnem času in prenos izven realnega časa. Prvi je primeren za prenos podatkov s spremenljivo bitno hitrostjo, ki pa zahtevajo prenos v realnem času (MPEG video, govor z izločenimi območji tišine); drugi pa za prenos podatkov, ki niso preveč občutljivi na zakasnitve (prenos datotek in drugo).

ABR je razred storitve, ki uporabniku ponuja toliko pasovne širine, kot jo je trenutno na voljo (kar jo ostane po razdelitvi CBR in VBR storitvam). Razpoložljiva pasovna širina se s časom spreminja in omrežje to informacijo posreduje izvoru, ki ustrezno prilagaja pretok svojih podatkov. Omrežje izvoru posreduje tudi informacijo o zasičenju v omrežju. Ob zglednem sodelovanju izvora in omrežja je nivo izgube celic nizek. ABR razred je primeren za aplikacije, ki podatke prenašajo v izbruhih; kot je na primer brskanje po Internetu.

UBR uporabniku ne daje nobenih zagotovil in ga tudi ne obvešča o zasičenju omrežja. Uporabnik pošilja podatke v omrežje na lastno odgovornost in ta jih po svojih najboljših močeh poskuša dostaviti naslovniku. Ob zasičenju omrežja te podatke preprosto zavrže in o tem izvora niti ne obvesti. Za prenos podatkov preko te storitve moramo zato uporabljati zanesljive prenosne protokole v višjih plasteh, kot je TCP. UBR razred je primeren za prenos datotek v ozadju in podobne aplikacije.

6.10.3 Zgradba ATM celice

ATM celica ima dolžino 53 oktetov. Prvih pet oktetov predstavlja glavo celice, 48 oktetov pa je namenjenih prenosu podatkov višjih protokolnih plasti. Obstajata dve obliki celic, ki se razlikujeta le v prvih štirih bitih. Prva oblika se uporablja za prenos podatkov med uporabnikom in omrežjem, druga pa le znotraj omrežja. Polje, ki je namenjeno nadzoru pretoka podatkov, se znotraj omrežja nameni razširjeni oznaki navidezne poti. Zgradba obeh oblik celic je prikazana na Sl. 6.21.



Sl. 6.21: Zgradba ATM celice

Polje za **nadzor pretoka podatkov** obstaja le v celicah, ki se prenašajo med uporabnikom in omrežjem. V povezavi s protokoli za nadzor pretoka podatkov je namenjeno blaženju kratkoročnih zasičenj omrežja. **Oznaka navidezne poti** in **oznaka navideznega kanala** predstavljata naslovni del glave celice. ATM omrežje na podlagi njunih vrednosti usmerja celice do njihovega cilja. Tip

podatkov je polje, ki določa kakšen tip podatkov se nahaja v podatkovnem polju celice. To so lahko uporabniški, nadzorni ali upravljalovski podatki.

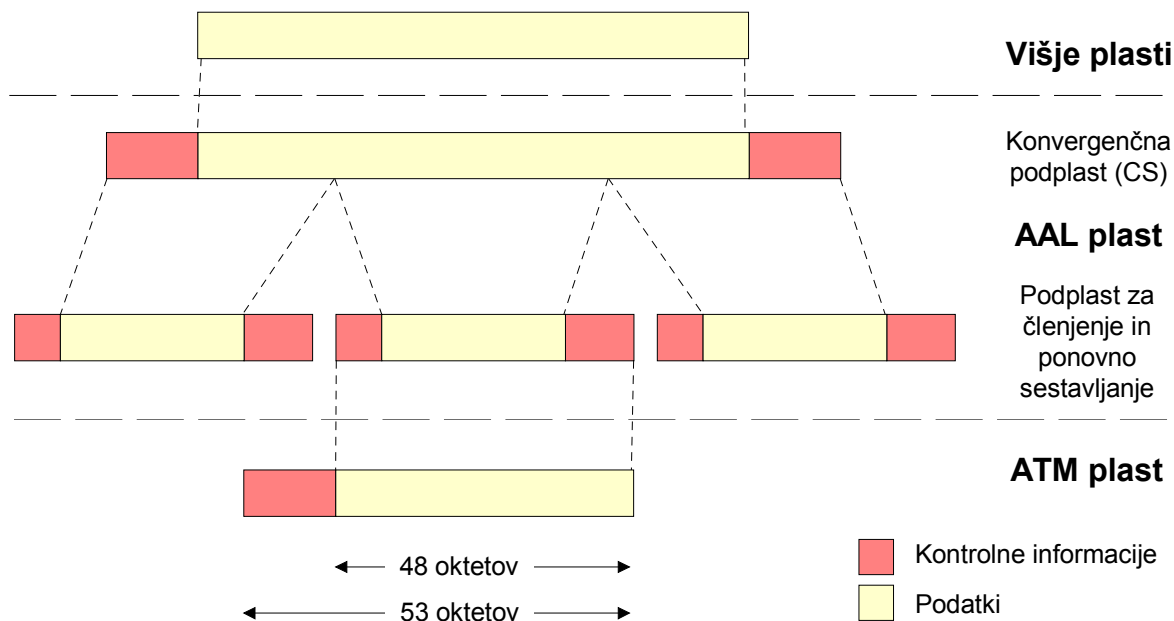
CLP bit (Cell Loss Priority) določa prednost, ki jo ima celica v stikalih. Če ima vrednost 1 pomeni, da je to celica z nižjo prednostjo in se ob težavah v omrežju lahko zavrže pred ostalimi. Vrednost 0 pa pomeni, da ima celica višjo prednost. Vrednost CLP bita lahko nastavlja uporabnik ali omrežje in je odvisna predvsem od razreda storitve. Celice, ki uporabljajo CBR razred, imajo vrednost bita enako 0 in podobno. Sledita še polji za **kontrolno napak v glavi** in 48 oktetov dolgo polje s **podatki**.

6.10.4 ATM prilagodilna plast (AAL)

AAL plast vsebuje protokole za prenos podatkov med končnimi uporabniki. Njena glavna naloga je priprava podatkov za prenos v ATM celicah. Pri oddajanju od višjih protokolnih plasti sprejema njihove podatkovne enote, jih po potrebi razčleni in doda kontrolne informacije ter posreduje ATM plasti. Pri sprejemanju pa je postopek, ki je prikazan na Sl. 6.22, ravno obraten.

Podatkovne enote višje plasti najprej sprejme konvergenčna podplast in jim doda svoje kontrolne informacije. Funkcije konvergenčne podplasti²⁹ so močno odvisne od tipa prenašanih podatkov (govor, gibljiva slika, podatki) in zagotavljajo vmesnik med podplastjo za členjenje in ponovno sestavljanje (v nadaljevanju SAR) in višjimi protokolnimi plastmi.

Kot že ime samo pove je naloga SAR podplasti členitev podatkovnih enot konvergenčne podplasti pri oddajanju in njihovo sestavljanje pri sprejemanju podatkov. SAR podplast iz podatkovnih enot konvergenčne podplasti tvori 44-48 oktetov dolge pakete in jim doda 0-4 oktete svojih kontrolnih informacij. Oboje je odvisno od tipa AAL protokola, ki jih bomo spoznali v nadaljevanju. SAR podplast preda 48 oktetov dolge podatkovne enote ATM plasti, ki jim doda 5 oktetov dolgo glavo in 53 oktetov dolga celica je nared za prenos do naslovnika.



Sl. 6.22: Priprava podatkov za prenos v ATM celicah

²⁹ Nekatere od funkcij konvergenčne podplasti so: izravnava spremenljivih zakasnitev celic, regeneracija ure izvora, prenos strukturnih podatkov prenašanih okvirov in drugo.

6.10.4.1 Razredi storitev in tipi AAL protokolov

Glede na različne potrebe raznovrstnih aplikacij so z ATM standardom definirani štirje razredi storitev, ki za prenos podatkov uporabljajo različne AAL protokole. Razredi temeljijo na treh kriterijih: bitni hitrosti, vrsti povezave in časovni povezavi med izvorom in ponorom. Tabela 12 podaja definicije razredov glede na podane kriterije in ustrezne AAL protokole.

Kriterij \ Razred	A	B	C	D
Časovna povezava	Zahtevana		Ni zahtevana	
Bitna hitrost	Stalna	Spremenljiva		
Povezava	Povezavno naravnana			Nepovezavno
AAL protokol	1	2	3/4 in 5	

Tabela 12: Razredi storitev ATM prilagodilne plasti

6.10.4.2 AAL 1

Protokol z oznako AAL 1 zagotavlja povezavno naravnano storitev razreda A s stalno bitno hitrostjo prenosa podatkov in časovno povezavo med izvorom in ponorom, pri tem uporablja CBR storitev ATM plasti. Zaradi teh lastnosti je protokol AAL 1 nadvse primeren za prenos (nekomprimiranega) govora in gibljive slike ter je bil v ta namen tudi definiran.

Konvergenčna podplast je odgovorna za zaznavanje izgubljenih ali napačno prenesenih³⁰ celic in izravnavo njihove spremenljive zakasnitve. Tako skrbi za stalen dotok podatkov v višje protokolne plasti. SAR podplast razbije podatke v 46-47 oktetov dolge pakete, ki jih opremi z zaporedno številko in po izbiri tudi z 8 bitnim kazalcem, ki dovoljuje, da je celica le delno zapolnjena s podatki. Zgradba SAR podatkovne enote je prikazana na Sl. 6.23.

6.10.4.3 AAL 2

Storitve razreda B zagotavlja protokol AAL 2, ki je funkcionalno zelo podoben AAL 1. Glavna razlika med njima je v uporabi storitev ATM plasti. AAL 1 uporablja CBR, AAL 2 pa VBR s prenosom v realnem času.

Ker AAL 2 zagotavlja povezavno naravnano storitev s spremenljivo bitno hitrostjo, vendar s časovno povezavo med izvorom in ponorom, je kot nalašč za prenos komprimiranega govora in gibljive slike. Bitni pretoki teh aplikacij so spremenljivi, zahtevajo pa prenos v realnem času.

SAR podatkovna enota je sestavljena iz 45 oktetov podatkov in 3 oktetov kontrolnih informacij. Njena zgradba je prikazana na Sl. 6.23. Prvi oktet predstavlja 4 bitno zaporedno številko in njeno 4 bitno zaščito, zadnja dva okteta pa 6 bitno dolžino prenašanih podatkov (lahko jih je manj kot 45 oktetov) in 10 bitno CRC kodo za preverjanje pravilnosti podatkov.

6.10.4.4 AAL 3/4

Prvotno sta bila za razreda C in D definirana protokola AAL 3 in 4, vendar so kmalu spoznali, da ni potrebe pa dveh ločenih protokolih in so ju združili v enega z oznako AAL 3/4. Protokol uporablja VBR storitev ATM plasti s prenosom izven realnega časa in je primeren za prenos podatkov, ki niso preveč občutljivi na zakasnitve in njihovo spremenljivost.

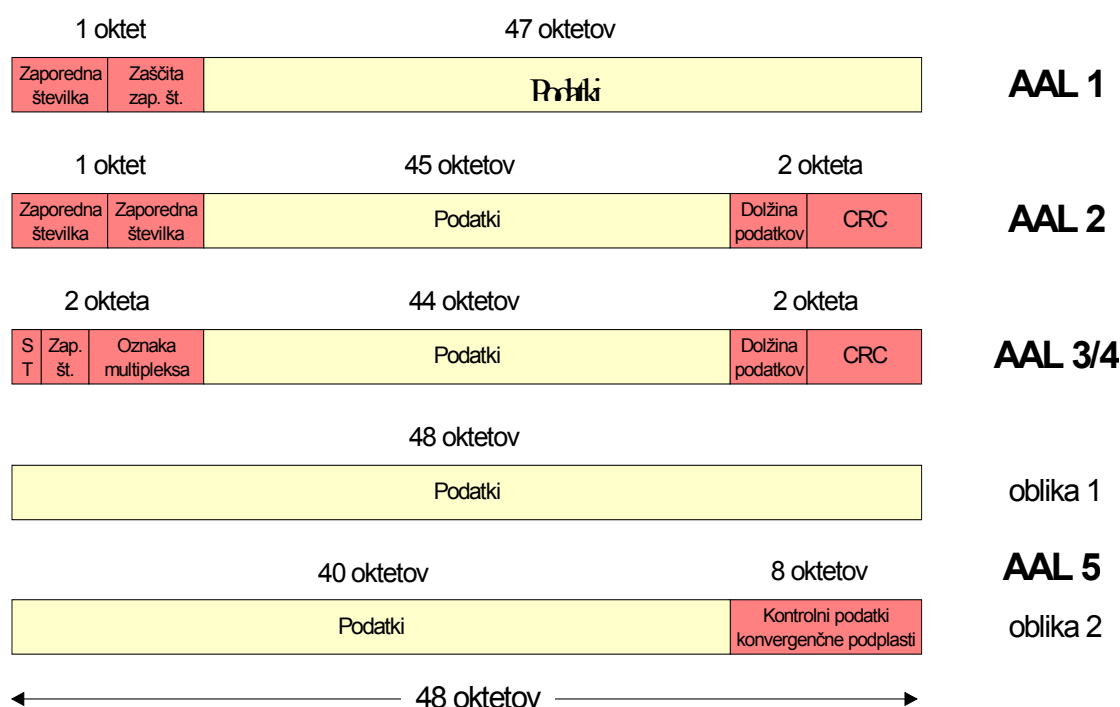
Pri prvih dveh AAL protokolih konvergenčna plast podatkom ni dodala kontrolnih informacij, pri AAL 3/4 pa doda 8 oktetov. Konvergenčna podplast podpira dva načina delovanja. Pri prvem

³⁰ Napačno prenesena je celica, ki je zaradi nezaznane napake v njenem naslovnem delu prispela na napačen naslov.

lahko vsaka podatkovna enota prenaša le eno sporočilo višjih plasti, pri drugem pa lahko v eno podatkovno enoto konvergenčne podplasti zapakiramo več sporočil različnih aplikacij.

Zgradba SAR podplasti je prikazana na Sl. 6.23 in je zelo podobna kot pri AAL 2. Zadnja dva okteta sta pri obeh protokolih enaka, razlika je le v glavi, ki je tu dolga 2 okteta in vsebuje polja z oznako tipa podatkovne enote (ST), njeno zaporedno številko in multipleksirno oznako, ki pove, kateri aplikaciji pripada posamezna enota. Za prenos podatkov je tu namenjenih le 44 oktetov, kar predstavlja že dokaj neučinkovito izrabo prenosne kapacitete.

Omeniti je potrebno še, da AAL 3/4 ponuja dva načina prenosa podatkov: zanesljiv in nezanesljiv. Prvi zagotavlja prenos brez napak s ponovnim pošiljanjem izgubljenih ali okvarjenih celic in nadzorom pretoka podatkov; drugi pa ponuja le omejene možnosti nadzora pretoka podatkov.



Sl. 6.23: Zgradba SAR podatkovnih enot različnih AAL protokolov

6.10.4.5 AAL 5

Ta protokol je bil definiran naknadno in je odpravil nekatere pomanjkljivosti protokola AAL 3/4. Njegove funkcije so skoraj identične tistim pri AAL 3/4 z glavno razliko, da AAL 5 ne podpira multipleksiranja podatkov več aplikacij v eno podatkovno enoto konvergenčne podplasti in da ne podpira zanesljivega načina prenosa podatkov.

Konvergenčna podplast podatkom doda 8 oktetov kontrolnih informacij: 2 okteta sta namenjena za prenos informacije o dolžini podatkovne enote³¹, 2 okteta zasedajo kontrolne informacije, sledijo pa jim še 4 okteti s CRC kodo za preverjanje pravilnosti prenosa. Podatkovne enote konvergenčne podplasti morajo biti dolge $N \times 48$ oktetov zato se pred kontrolne informacije po potrebi doda še 0-47 praznih oktetov.

SAR podatkovna enota ima dve obliki, ki sta prikazani na Sl. 6.23. Pri prvi je vseh 48 oktetov namenjenih prenosu podatkov, pri drugi pa zadnjih 8 oktetov zasedajo kontrolne informacije

³¹ Podatkovna enota je tako lahko dolga največ 65536 oktetov, kar je enako kot pri AAL 3/4.

konvergenčne podplasti. Prva oblika nastopa pri prvih ($N-1$) delih podatkovne enote konvergenčne podplasti, druga pa pri zadnjem delu, ki vsebuje tudi njene kontrolne informacije.

Prenos podatkov preko AAL 5 je optimalnejši od prenosa preko AAL 3/4 protokola zaradi boljše izkoriščenosti SAR podatkovnih enot, saj je pri vsaki razlike za 4 oktete. AAL 5 se zato uporablja za optimalen prenos podatkovnih okvirov drugih omrežnih tehnologij s paketnim prenosom: X.25, Frame Relay, TCP/IP. Tabela 13 podaja primerjavo med različnimi AAL protokoli.

	AAL 1	AAL 2	AAL 3/4	AAL 5
Razred storitve	A	B	C/D	C/D
Multipleksiranje sporočil	Ne	Ne	Da	Ne
Razmejitev sporočil	Ne obstaja	Ne obstaja	Btag/Etag ³²	PTI bit
Režija konvergenčne podplasti	0	0	8 oktetov	8 oktetov
Režija SAR podplasti	1-2 okteta	3 okteti	4 okteti	0
Koristni podatki SAR podplasti	46-47	45 oktetov	44 oktetov	48 oktetov

Tabela 13: Primerjava lastnosti AAL protokolov

6.10.5 Prenos govora

ATM je edino omrežje s paketnim prenosom, ki nima težav s prenosom govora. Razlog tiči v dejstvu, da je bil prenos govora že od vsega začetka načrtovana storitev, tako kot prenos podatkov in drugih aplikacij, ki zahtevajo prenos v realnem času. Tudi dolžina ATM celice je bila določena z ozirom na različne vrste prometa, ki se pretaka po ATM omrežju. Za prenos govora so boljše krajše celice, ki prinesejo manjše zakasnitve, za prenos podatkov pa daljše, ki bolj optimalno izkoristijo prenosne kapacitete, ker na delež uporabniških podatkov prenašamo manj režijskih. S standardom so tako določili kompromisno dolžino celice, ki znaša 53 oktetov.

Za prenos govora preko ATM omrežja imamo na voljo štiri AAL protokole, od katerih sta za govor najprimernejša AAL 1 in 2, ki sta bila v ta namen tudi definirana. Oba zagotavljata prenos podatkov v realnem času. AAL 1 nudi stalno in nespremenljivo prenosno hitrost, AAL 2 pa spremenljivo. Vsak od njiju je zato primeren za prenos govora, kodiranega po različnih postopkih. AAL 1 za postopke, ki imajo na izhodu enakomeren in nepretrgan tok podatkov: G.711, G.729 in drugi. AAL 2 pa je primeren za postopke, ki imajo na izhodu spremenljiv tok podatkov: G.723.1, G.722 in vse postopke, ki dovoljujejo izločanje tišine.

Oba protokola izpolnjujeta naslednje zahteve govornih aplikacij: zadostna prenosna hitrost, majhna spremenljivost zakasnitve in rezervacija pasovne širine. Za kakovosten prenos govora pa so nam ostale še zahteve po: nizki zakasnitvi, izločanju odboja po potrebi in nizkemu nivoju napak pri prenosu. Zadnja zahteva ni kritična, saj je nivo napak pri optičnih prenosnih omrežjih, ki jih v veliki večini uporabimo za prenos ATM celic, nizek in precej pod nivojem, ki je zahtevan pri prenosu govora. Potreba po izločanju odboja se pojavi šele pri zakasnitvah, ki presegajo 25 ms in je zato neposredno odvisna od velikosti zakasnitve, ki ji bomo namenili nekaj več pozornosti.

6.10.5.1 Zakasnitve v ATM omrežjih pri prenosu govora

Ogledali si bomo zakasnitve pri prenosu govora preko ATM omrežja, ki vključujejo: obdelavo že kodiranega govora v izvoru in ponoru, pakiranje vzorcev govora v ATM celice, obdelavo ATM celic znotraj ATM omrežja in zakasnitve na prenosni poti. Slednje so odvisne od razdalje med uporabniki in znašajo približno 1 ms na 200 km. Zakasnitve pri obdelavi govora znotraj omrežja so

³² Btag in Etag sta kontrolni polji podatkovne enote konvergenčne podplasti s katerima uokvirimo sporočilo.

majhne (reda nekaj μs) in zato doprinesejo zanemarljiv prispevek k celotni zakasnitvi. Obdelava kodiranega govora v izvoru in ponoru je čas, ki ga porabijo AAL protokoli za svoje operacije, predvsem za izravnavo spremenljive zakasnitve celic. Ta čas je reda 1 ms in manj. Vsota vseh do sedaj naštetih zakasnitev je reda nekaj milisekund (na razdaljah do nekaj 100 km) in je za govor tako rekoč nepomembna. Bolj pomembna pa je zakasnitev pri pakiranju vzorcev kodiranega govora v ATM celice. Za primer vzemimo protokol AAL 1 in kodirna postopka G.711 in G.729.

Pri G.711 je bitna hitrost kodiranega govora 64 kbit/s pri čemer se na vsakih 125 μs tvori en 8 bitni vzorec govora; pri G.729 pa ima bitno hitrost 8 kbit/s in tvori 80 bitni paket govora na vsakih 10 ms.

Protokol AAL 1 dovoljuje prenos 46–47 oktetov govora v eni ATM celici. Če jo hočemo zapolniti z G.711 kodiranim govorom, za to potrebujemo 5.875 ms ($47 \times 125 \mu\text{s}$), pri G.729 pa celih 40 ms ($4 \times 10 \text{ ms}$) pri čemer nam v celici ostane še nekaj prostora. Obe vrednosti zakasnitve se zdita sprejemljivi kar za G.711 pod določenimi pogoji tudi drži, pri G.729 pa moramo poleg malo prej omenjenih zakasnitev (40 ms in nekaj milisekund) prišteti še zakasnitev zaradi samega kodiranja, ki znaša okoli 25 ms. Vsota je kar velika vrednost okoli 70 ms, kar že močno presega 25 ms, ki je še dovoljena zakasnitev za prenos govora z odboji na prenosni poti. Zato moramo na prenosni poti uporabiti postopke za zmanjševanje in izločanje teh odbojev.

V zgoraj obravnavanem primeru je prenosna pot v celoti potekala preko ATM omrežja. V primeru, da poteka preko več ATM otokov, ki so povezani z STM (Synchronous Transfer Mode) povezavami, pa moramo te vrednosti (5.875 in 40 ms) množiti s številom otokov. To nam prinese visoke zakasnitve, ki narekujejo uporabo izločevalnikov odboja ali pa celo presegajo predpisane vrednosti za samo zakasnitev³³.

Vgraditev izločevalnikov odboja je dokaj draga zadeva, zato je bolj praktično ubrati drugo pot. Namesto da čakamo, da se celice popolnoma zapolnijo z govorom, jih odpošljemo delno zapolnjene in s tem močno zmanjšamo zakasnitev zaradi pakiranja govornih vzorcev. Za 8 vzorcev G.711 govora je ta zakasnitev le še 1 ms, pri G.729 pa pod 10 ms ne moremo, zato se pojavi vprašanje o smiselnosti uporabe tega kodirnega postopka za prenos govora preko ATM omrežja. Po tej poti seveda pade učinkovitost izrabe prenosne kapacitete, vendar je to lahko dosti cenejše kot uvedba izločevalnikov odboja. Učinkovitost izrabe lahko povečamo s prenosom več govornih kanalov v eni celici, vendar to pride v poštev le, kadar imajo vsi isto prenosno pot, na primer med dvema telefonskima centralama. Zakasnitev posameznega govornega kanala je potem $5.875/N$ ms, pri čemer N predstavlja število kanalov. Vidimo, da je pri uporabi pravilne strategije prenosa govora preko ATM omrežja le ta možen brez težav in poteka v realnem času ter izpolnjuje vse njegove zahteve.

6.11 Primernost paketnih omrežij za prenos govora

Večino splošnih ugotovitev o primernosti paketnih omrežij za prenos govora smo podali že v poglavju 6.2. Če jih strnemo v nekaj stavkov lahko zapišemo naslednje. Edina zahteva govora, ki jo izpolnjujejo vsa paketna omrežja, je zadostna ponujena prenosna hitrost. To niti ni presenetljivo, saj je govor glede tega dokaj nezahteven. Preostale zahteve pa posamezne tehnologije izpolnjujejo bolj ali manj (večinoma manj). Vsako izmed opisanih bomo na kratko komentirali.

ATM je nekakšen križanec med paketnimi in izohronimi omrežji ter združuje (najboljše) lastnosti obeh. Temu primerna je tudi njegova zapletenost (in cena). Govor je bil pri njem že od vsega začetka načrtovana storitev in zato je ATM edino paketno omrežje, ki izpolnjuje prav vse njegove zahteve in z njegovim prenosom nima težav. Več o tem je bilo že napisano v poglavju 6.10.5.

Frame Relay je pravo nasprotje ATM-u, saj je "pravo paketno omrežje", ki je bilo načrtovano le za prenos podatkov. Osnovni standard je za prenos govora popolnoma neprimeren, saj ne nudi

³³ V ITU priporočilih so predpisane vrednosti: 150 ms zakasnitve je sprejemljivo za večino načinov uporabe, 400 ms je sprejemljivo le za nekatere načine uporabe, nad 400 ms pa je nesprejemljivo.

нити najosnovnejših pogojev za to. Ker pa je ideja o zastonj prenosu govora vedno mikavna, se je pojavila tudi v krogih uporabnikov Frame Relay omrežij, še posebej med tistimi, ki so hkrati tudi lastniki teh omrežij, ki jih prenos obstoječih podatkov ne izkorišča v celoti in zato lahko preko njih govor prenašamo praktično zastonj. Njihovo idejo so udejanili proizvajalci, ki so sami ali v okviru Frame Relay Forum napisali dodatne standarde, ki omogočajo prenos govora. Več o tem je bilo napisano v poglavjih 6.9.6 in 6.9.7.

X.25 je najstarejše izmed obravnavanih paketnih omrežij in je tudi edino, ki ne ponuja pravega upanja za prenos govora. Čeprav je njegova prenosna hitrost s 64 kbit/s načeloma dovolj velika, pa so njegove ostale lastnosti za prenos govora skrajno neprimerne.

FDDI, Token Ring in Ethernet so krajevna računalniška omrežja, ki ne ponujajo nobenih zagotovil in razen zadostne prenosne hitrosti ne izpolnjujejo nobene zahteve govora v celoti ali ves čas trajanja pogovora. Tehnologije izhajajo iz časov, ko so bila podatkovna in telefonska omrežja še strogo ločena in ideja o enem omrežju, ki bi združevalo njihove storitve, še ni bila dovolj prisotna. Danes omenjena omrežja nekako zavirajo poskuse združevanja storitev na enem omrežju. Njihova nadomestitev s primernim omrežjem je večinoma še predraga in ne opravičuje stroškov. Mnogo cenejša je njihova nadgradnja s hitrejšo različico tehnologije (10 Mbit/s Ethernet nadomestimo s 100 Mbit/s Ethernetom), ki pa težav pri prenosu govora seveda ne reši. Čeprav imamo na voljo večjo prenosno hitrost in obstaja manjša verjetnost, da si govor ne bo mogel priporiti pravice prenosa v določenem časovnem intervalu, pa to še vedno ni dovolj dobro. Vedno se najde sebična aplikacija, ki bo za dalj časa zasedala prenosni medij s svojimi dolgimi paketi in govorna aplikacija bo le nemočno poskušala prenašati svoje kratke, a mnogoštevilne pakete.

Pri FDDI in Token Ring omrežjih sicer obstaja mehanizem podeljevanja prednosti, ki si jo določi vsaka postaja zase, kar pa zopet vodi v stalno zviševanje prednosti svojim podatkom in kmalu pridemo v pat položaj, ko vsaka postaja želi prenašati podatke z najvišjo prednostjo. Tudi če se postaje držijo določenih pravil in ima govor prednost pred ostalimi podatki, pa ob večjem številu pogovorov pride do podobnega položaja; posamezne postaje si ne morejo priporiti dovolj kapacitete na prenosnem mediju ob pravem času.

Najbolj nesrečna okoliščina pri poskusih prenosa govora preko teh omrežij je ta, da si govor ne more priporiti tistih nekaj stotink ali desetink odstotka prenosne kapacitete ob določenih časih, zato to lahko prinese veliko zakasnitev in njeno veliko spremenljivost. Vendar pa stvari le niso tako brezupne kot se zdi na prvi pogled. Pod določenimi pogoji delovanja teh omrežij lahko prenašamo govor z zadovoljivo ali celo odlično kakovostjo. Kakšni so ti pogoji bomo natančneje spoznali v naslednjem poglavju.

7 SIMULACIJA PRENOSA GOVORA PREKO KRAJEVNIH RAČUNALNIŠKIH OMREŽIJ

Čeprav smo v prejšnjem poglavju ugotovili, da krajevna omrežja s paketnim prenosom niso najbolj primerna za prenos govora, pa je ta možnost v več pogledih preveč mamljiva, da bi jo tako na hitro opustili. V zadnjem desetletju so krajevna računalniška omrežja doživela hiter razmah in dosegla večino osebnih računalnikov na namizjih zaposlenih v malih, srednjih in velikih podjetjih. Velik delež teh krajevnih računalniških omrežij je povezan tudi v različna omrežja širšega obsega kot so Internet, Frame Relay in privatna omrežja velikih podjetij.

Gonilna sila razvoja so predvidevanja in obljube o velikih prihrankih pri uporabi podatkovnih omrežij za prenos govora namesto klasičnih telefonskih. Razvoj in raziskave potekajo v več smereh. Najpomembnejše so: Internetna telefonija, ki poskuša uporabiti Internet kot vzporedno omrežje za prenos govora, prenos govora preko Frame Relay omrežij in nov ITU H.323 standard, ki se ukvarja s prenosom podatkov v realnem času (govor, gibljiva slika) preko omrežij, ki ne ponujajo nobenih zagotovil. Pri prvih dveh je predmet obravnave govor, pri slednjem pa večpredstavne aplikacije kot je videokonferenca, ki ravno tako vključuje govor.

Pri naštetih primerih zadnji del prenosne poti v večini primerov poteka preko krajevnih računalniških omrežij³⁴. V času pisanje tega dela je bilo od osebnih računalnikov, priključenih na neko krajevno računalniško omrežje, kar 80 odstotkov takih, ki so uporabljali omrežje tipa Ethernet. Glede na ugotovitve v prejšnjih poglavjih pa je prav ta omrežna tehnologija najmanj primerna za prenos govora. Kljub temu ali prav zaradi tega jo bomo vzeli pod drobnogled in s pomočjo simulacij ugotovili pod kakšnimi pogoji bi jo vendarle lahko uporabili za prenos govora.

V nadaljevanju bomo določili cilje simulacije, opisali simulacijski sistem, določili kriterije za prenos govora ter podali rezultate simulacij za opisani sistem.

7.1 Cilji simulacije

Glavni cilj simulacije je ugotoviti zmožnosti Ethernet krajevnega računalniškega omrežja za prenos govora. To dosežemo s posnemanjem resničnih razmer na omrežju s pomočjo simulacijskega programa, ki teče na osebnem računalniku. Ob znanih kriterijih, ki izhajajo iz zahtev govora, bomo podali mejne vrednosti simulacijskih parametrov, katerih rezultati še zadovoljivo izpolnjujejo te kriterije³⁵.

Rezultati simulacij lahko služijo tudi kot smernice pri načrtovanju uporabe Ethernet omrežij kot zadnje stopnje pri prenosu govora preko podatkovnih omrežij in kot okvirne meje, do katerih je ta sploh še možen, smiselni ali zadosti kakovosten.

7.2 Simulacijski sistem

Ob poplavi različnih tehnologij krajevnih računalniških omrežij, protokolnih skladov, kodirnih postopkov za kompresijo govora in standardov je skoraj nemogoče simulirati vse možne kombinacije, ki lahko nastopijo pri prenosu govora preko krajevnih računalniških omrežij. Potrebno je bilo izbrati eno kombinacijo, po možnosti tako, ki zajame največji del možnih

³⁴ Druga razširjena možnost je klicna modemska povezava, ki pa se zopet lahko konča v nekem krajevnem računalniškem omrežju in preko njega potuje naprej v svet.

³⁵ Kriteriji in simulacijski parametri so definirani v poglavjih 7.3 in 7.4.

uporabnikov in je trenutno najverjetnejša³⁶. Odločil smo se za naslednjo, ki predstavlja naš simulacijski sistem:

- | | |
|---------------------------------|------------|
| ➤ Krajevno računalniško omrežje | Ethernet |
| ➤ Standard za prenos govora | ITU H.323 |
| ➤ Kodirnik govornega signala | ITU G.729 |
| ➤ Protokolni sklad | RTP/UDP/IP |

Odločitev za Ethernet ni bila težka, saj je ta tehnologija trenutno vgrajena v kar okoli 80 odstotkov računalnikov vključenih v krajevna računalniška omrežja. Tudi odločitev za ITU H.323 standard ni bila težka, saj na področju prenosa podatkov večpredstavnih aplikacij (kamor spada tudi prenos samega govora) preko krajevnih omrežij, ki ne dajejo nobenih zagotovil, ni pravega konkurenta.

Z izbiro H.323 se nam zoži krog možnih kodirnikov govora, kljub temu pa je bila odločitev o izbiri enega izmed njih dokaj težka. Najresnejša kandidata sta bila G.723 in G.729. Prvi podpira dve prenosni hitrosti (5.3 in 6.4 kbit/s), izločanje tišine in ima 30 ms govorni okvir. Drugi ima prenosno hitrost 8 kbit/s, 10 ms govorni okvir in ravno tako podpira izločanje tišine. Po premisleku smo se iz več razlogov odločili za slednjega. Je dostopen v papirni in elektronski obliki, o njegovih lastnostih obstaja precej podatkov in analiz, njegova realizacija v simulacijskem programu je preprosta. G.723 ima sicer manjšo prenosno hitrost, kar je bolj pomembno pri prenosu govora preko Interneta in manj pri prenosu preko krajevnega omrežja.

Za prenos podatkov preko Ethernet omrežij se uporablja več protokolnih skladov. Odločili smo se za TCP/IP, ki ga uporablja tudi Internet. V naslednjih podpoglavjih so opisani posamezni elementi simulacijskega sistema.

7.2.1 Krajevno računalniško omrežje

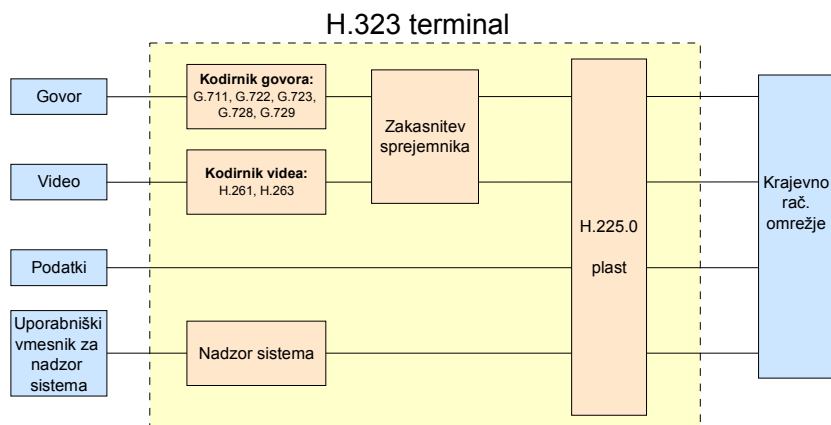
Ethernet je sinonim za IEEE 802.3 družino standardov, ki se med seboj ločijo po prenosni hitrosti, dolžini odsekov in drugih lastnostih, ki so bile opisane v poglavju 6.6. Za simulacijo smo izbrali verzijo 10Base2, ki uporablja koaksialni kabel premera 5 mm in ima prenosno hitrost 10 Mbit/s. Ta predstavnik Ethernet družine je zelo razširjen in je bil do izdaje 10BaseT standarda tudi najpogostejše vgrajevan. Omrežje te vrste imamo tudi v Laboratoriju za komunikacijske naprave na Fakulteti za elektrotehniko, zato se nam je zdelo za simulacijo najbolj smiselno izbrati prav tega. Preostali 10 Mbit/s Ethernet standardi se od njega funkcionalno ne razlikujejo in so zato rezultati veljavni tudi zanje.

7.2.2 Standard za prenos govora

H.323 je nekakšen krovni standard, ki pod seboj združuje standarde potrebne za prenos podatkov večpredstavnih aplikacij preko omrežij, ki ne nudijo zagotovil o kakovosti storitev. Tako omrežje je tudi Ethernet.

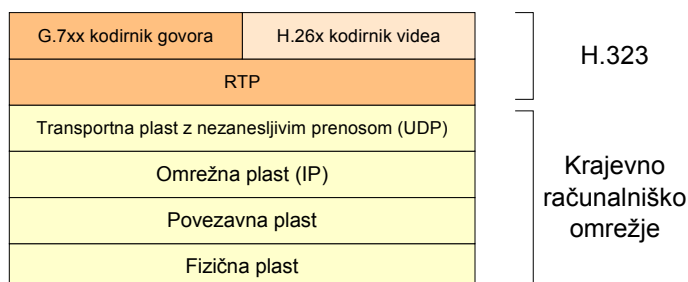
Na Sl. 7.1 je prikazan H.323 terminal, ki je na eni strani povezan v krajevno računalniško omrežje in na drugi na izvore podatkov ter uporabniški vmesnik za nadzor. Standard obsega le del označen črtkano ter vsebuje 5 podsklopov: nadzor sistema, kodirnik(e) za video in govor, zakasnitev sprejemnika in H.225.0 plast. Za nas so pomembni predvsem zadnji trije, ki določajo lastnosti in kakovost prenašanega govora. Izbiramo lahko med petimi **kodirniki govora**: G.711 (obvezen), G.722, G.723, G.728 in G.729 (neobvezni). Za simulacijo smo izbrali zadnjega, ki je na kratko opisan v nadaljevanju. **Zakasnitev sprejemnika** poskrbi za izravnavo spremenljivosti zakasnitve prispelih govornih okvirov. To doseže z medpomnilnikom, ki dodatno zakasni okvire, ki prihajajo v neenakomernih presledkih ter jih v enakomernih pošilja na vhod dekodirnika govora.

³⁶ Napovedi o tem, kaj se bo uveljavilo in obdržalo in kaj ne, so vedno nehvaleže in so se že mnogokrat izkazale za napačne, čeprav izrečene iz ust poznavalcev posameznih področij.



Sl. 7.1: H.323 terminal

H.225.0 plast določa načine kodiranja in pakiranja podatkovnih enot ter načine združevanja ustreznih signalizacijskih in podatkovnih kanalov H.323 terminala. Njena naloga je komunikacija med H.323 enotami in zato si jo lahko predstavljamo kot protokolno plast, ki leži nad transportno plastjo spodaj ležečega paketnega omrežja. Ta mora na obeh straneh povezave uporabljati isti transportni protokol. Paketno omrežje lahko predstavlja en sam Ethernet segment, omrežje nekega podjetja ali kar celo Internet omrežje. H.225.0 se ne ukvarja z vprašanji kakovosti storitev na teh povezavah.



Sl. 7.2: Del H.323 protokolnega sklada za prenos podatkov v realnem času

H.225.0 za prenos v realnem času uporablja protokol za prenos v realnem času ali RTP (Real-time Transfer Protocol), ki ni del H.323 standarda in je bil izdan pri IETF. Uporaba RTP pa ni vezana na UDP/IP sklad, ki se sicer večinoma uporablja, ampak se lahko naloži na katerikoli transportni protokol z nezanesljivim prenosom. Del H.323 protokolnega sklada, ki je zadolžen za prenos videa in govora, je prikazan na Sl. 7.2. Pri simulacijah smo uporabili UDP transportni protokol, več o tem pa v nadaljevanju.

7.2.3 Kodirnik govornega signala

Za simulacijo smo izbrali kodirnik govora G.729 brez izločanja tišine. Njegovi glavni parametri so podani v 3.5, kakovost komprimiranega govora pa v 3.6.

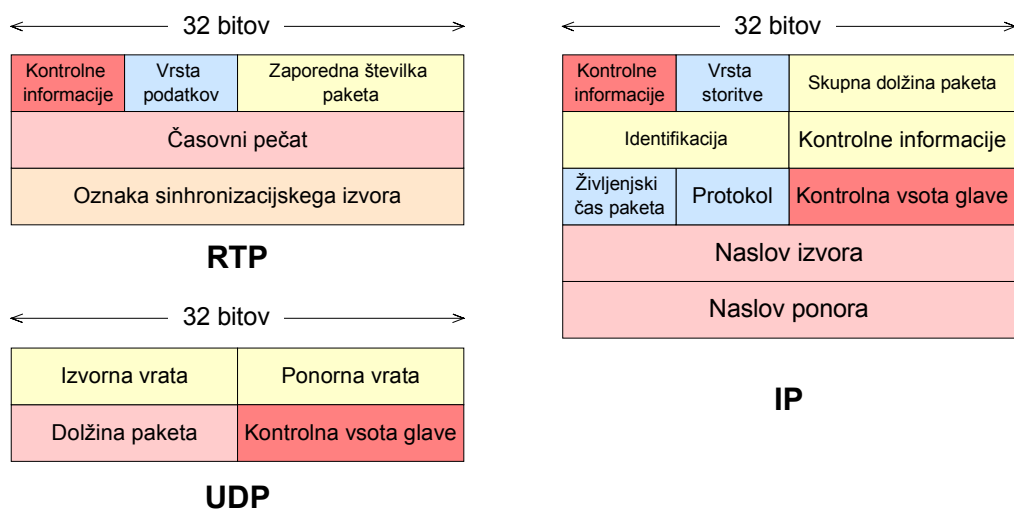
Za izvedbo simulacije je pomembna predvsem dolžina govornega okvira in podatek, koliko teh okvirov naenkrat prenašamo v eni podatkovni enoti H.323 govornega kanala. Za pakiranje govornih okvirov v podatkovne enote je zadolžena H.225.0 plast, ki je določena z istoimenskim ITU standardom. Ta določa naslednje vrednosti:

- Zaželena dolžina govora v eni podatkovni enoti govornega kanala je 20 ms.
- Kodirnik govora naj bi bil sposoben kodirati in dekodirati od 1 do 10 zaporednih okvirov govora prenešenih v eni podatkovni enoti.
- Sprejemnik naj bi bil sposoben sprejeti podatkovno enoto z 0 do 200 ms govora.

To pomeni, da v eno podatkovno enoto tipično zapakiramo dva 10 ms okvira govora, kodiranega z G.729. Število govornih okvirov se lahko giblje od 1 do 10, kar predstavlja do 200 ms govora. Z različnim številom govornih okvirov v posamezni podatkovni enoti lahko vplivamo na zakasnitev paketov in obremenjenost paketnega omrežja. V simulacijah je to število eden izmed simulacijskih parametrov. Več o tem pa v poglavju 7.4.

7.2.4 Protokolni sklad

V simulacijskem sistemu smo kot protokolni sklad za prenos podatkov preko paketnega omrežja uporabili TCP/IP, ki je opisan v poglavju 4.4.2. Kot transportni protokol smo izbrali UDP, ki se uporablja za prenos govora preko IP omrežij. Ponuja nam nezanesljiv prenos podatkov z malo režije, brez obveščanja o prispelih paketih in brez ponovnega pošiljanja izgubljenih paketov. IP je omrežni protokol, ki za prenos podatkov nudi datagranske povezave. Ti zato lahko na cilj prispejo v napačnem vrstnem redu. Za prenos podatkov v realnem času moramo tema dvema protokoloma dodati še RTP, ki reši težave z vrstnim redom prispelih paketov in podatkom doda časovno komponento. Vsakega opremi z njegovo zaporedno številko in časovnim pečatom ter informacijo o sinhronizacijskem izvoru. RTP je protokol H.323 terminala, UDP in IP pa protokola paketnega omrežja (glej Sl. 7.2), vsi skupaj pa predstavljajo RTP/UDP/IP sklad, ki je bil uporabljen v simulacijah.



Sl. 7.3: Glave podatkovnih enot RTP/UDP/IP protokolnega sklada

Glave podatkovnih enot posameznih protokolov so prikazane na Sl. 7.3. Vsebine glave IP paketa ne bomo predstavljali, pomudili pa se bomo pri ostalih dveh. Glava UDP paketov je zelo preprosta in vsebuje le 16 bitni oznaki **izvornih** in **ponornih vrat** (port), skupno **dolžino paketa** in kontrolno vsoto, ki je izračunana na podlagi namišljene glave (pseudo header).

Za prenos podatkov v realnem času so posebno pomembne informacije v RTP glavi, ki imajo stalni in spremenljivi del. H.225.0 uporablja samo prvega, ki je prikazan na Sl. 7.3. Na začetku glave je 9 bitno polje s kontrolnimi informacijami (verzija protokola, dolžina spremenljivega dela glave in podobno). Za njim je 7 bitno polje, ki nosi informacijo o **vrsti prenašanih podatkov**, temu pa sledi **zaporedna številka paketa**, ki je vsebovana v istoimenskem 16 bitnem polju. S pomočjo tega RTP protokol zazna izgubljene pakete in prispele razvrsti v pravilno zaporedje.

Časovni pečat dolžine 32 bitov predstavlja časovno informacijo, na podlagi katere sprejemnik razpozna časovne odnose med prejetimi paketi ter izračuna nekatere parametre, kot je spremenljivost zakasnitve in podobno. Vrednost polja se povečuje v enakomernih časovnih presledkih ne glede na število odposlanih paketov. Časovni presledek mora biti zadosti majhen za pravilno predstavitev podatkov na ponoru. Za G.729 govor je ta vrednost 125 μ s.

32 bitna **oznaka sinhronizacijskega izvora** določa naslov izvora toka RTP paketov in je neodvisna od omrežnih naslovov. Vsak izvor toka RTP paketov (govor, video,...) ima edinstveno oznako, na podlagi katere sprejemnik razvršča pakete v podatkovne tokove za predvajanje na izhodnih napravah. Paketi različnih tokov imajo lahko enak časovni pečat vendar različno oznako sinhronizacijskega izvora.

Pravkar opisani protokolni sklad seveda ni edini možni. Uporabili bi lahko tudi sklad RTP/SPX/IPX, ki je pogost na krajevnih računalniških omrežjih, vendar pa bi s tem izgubili možnost neposrednega prenosa podatkov preko Interneta. V praksi se najpogosteje uporablja RTP/UDP/IP sklad.

Naj omenimo še, da z izbiro protokolnega sklada določimo tudi razmerje med režijo in koristnimi podatki, ki je za prenos govora preko podatkovnih omrežij praviloma zelo neugodno. Za prenos govora preko RTP/UDP/IP protokolnega sklada (40 oktetov režije) s pomočjo G.729 kodirnega postopka in prenosom 10, 20 ali 30 ms govora v enem podatkovnem paketu (10, 20 ali 30 oktetov govora) so ta razmerja 4:1, 4:2 ali 4:3 v korist režije, izkoristki uporabljene kapacitete prenosne poti pa so 20, 33 in 43 odstotkov.

7.2.5 Programska oprema

Za izvedbo simulacij smo uporabili program *Comnet III ver 1.4* podjetja *CACI Products Company*. Program je namenjen simulaciji vseh vrst komunikacijskih omrežij in vsebuje širok izbor gradnikov zanje med katerimi najdemo paketna omrežja: Ethernet, FDDI, Token Ring; protokole: TCP/IP, IPX in druge; procesne enote, ki lahko predstavljajo delovno postajo, usmerjevalnik ali stikalo; izvore podatkov in drugo.

Kljub velikemu izboru pa je bilo za realizacijo prenosa govora preko krajevnega računalniškega omrežja Ethernet potrebno definirati še RTP/UDP/IP protokolni sklad, načine in parametre delovanja procesnih enot ter podatkovnih izvorov.

7.3 Simulacijski kriteriji

Kot kriterija za oceno primernosti pravkar opisanega sistema za prenos govora bomo postavili zakasnitev in stopnjo izgube govornih okvirov, ki pa sta neposredno povezana. Izguba govornih okvirov na Ethernet omrežju nastaja skoraj izključno zaradi velike spremenljivosti zakasnitve paketov, ki nosijo govorne okvire. Paket, ki na cilj ne prispe pravočasno, sprejemnik zavrže in je za nas izgubljen.

7.3.1 Zakasnitev

Dovoljene meje zakasnitev za govor na celotni prenosni poti so podane v ITU standardu z oznako G.114. Te zakasnitve vključujejo zakasnitve na prenosni poti (razširjanje signala, obdelava podatkov v omrežnih vozliščih) in obdelave govornega signala (kompresija, pakiranje in drugo). Vrednosti so podane spodaj:

- 0 - 150 ms Primerno za večino uporabnikov in večino govornih aplikacij.
- 150 - 400 ms Sprejemljivo ob pogoju, da se upravljavec omrežja in uporabnik zavedata vpliva povečane zakasnitve na kakovost govora.
- nad 400 ms Nesprejemljivo za večino uporabnikov in govornih aplikacij.

Kadar prenosna pot poteka znotraj enega omrežja ima njegov upravljavec nadzor nad celotno zakasnitvijo, če pa prenosna pot poteka preko več omrežij (mednarodne telefonske povezave) pa je

dovoljena zakasnitev znotraj enega izmed njih del skupne. V primeru mednarodne povezave naj zakasnitve v začetnem in končnem omrežju (nacionalno) ne bi presegale po 50 ms, preostanek pa je namenjen vmesnim (mednarodnim) povezavam. Če prenašamo govor preko krajevnih računalniških omrežij, lahko poteka povezava, po kateri teče pogovor, po sledečih prenosnih poteh:

- *V okviru krajevnega omrežja* - oba sogovornika na istem krajevnom omrežju
- *Preko Interneta* - prenosna pot poteka preko krajevnega omrežja in Interneta
- *Preko javnega telefonskega omrežja* - prenosna pot poteka preko krajevnega omrežja in javnega telefonskega omrežja

V prvem primeru imamo za prenos preko krajevnega omrežja na voljo vso dovoljeno zakasnitev, pri drugih dveh pa le del. Za povezave preko Interneta so značilne velike zakasnitve in zato jih je na krajevnom omrežju priporočljivo čimbolj zmanjšati. Za povezave preko javnega telefonskega omrežja je del zakasnitve, ki je na voljo za prenos preko krajevnega omrežja, odvisen od vrste povezave. Če je ta mednarodna, nam ostane manj kot 50 ms, pri lokalni pa skoraj vsa. Za prvi primer postavimo meje pri 150 in 400 ms (odvisno od želene kakovosti govora), pri drugih dveh pa pri 50 ms.

Do sedaj smo obravnavali le skupno zakasnitev na prenosni poti, ki jo lahko razdelimo na dva dela: zakasnitev obdelave govornega signala in zakasnitev za dejanski prenos podatkov. Pri kodirniku govora G.729 je prvi del (obdelava) velik in znaša okoli 25 ms. Algoritemska zakasnitev kodirnika znaša 15 ms in nastane zaradi govornega okvira dolžine 10 ms in predvpogleda v govorni signal dolžine 5 ms. Preostalih 10 ms³⁷ prispeva obdelava govora v kodirniku (kodiranje in dekodiranje) ter obdelava že kodiranega govora v uporabnikovi opremi (pakiranje govora v pakete, operacije protokolnega sklada in drugo).

Navedene vrednosti veljajo za prenos enega govornega okvira v eni podatkovni enoti paketnega omrežja. Kadar pa v slednji prenašamo več govornih okvirov naenkrat, se te vrednosti povečajo za 10 ms za vsak dodaten okvir. Pri dveh govornih okvirih (20 ms govora) znaša zakasnitev obdelave okoli 35 ms, pri treh (30 ms govora) pa že okoli 45 ms.

Tabela 14 prikazuje razmerja med zakasnitvami zaradi obdelave in prenosa govornega signala preko krajevnega računalniškega omrežja za različne primere uporabe.

PRENOS		Znotraj krajevnega omrežja		Preko Interneta	Preko javnega telefonskega omrežja
Skupna dovoljena zakasnitev		150 ms	400 ms	50 ms	50 ms
10 ms govora	Obdelava	25 ms		25 ms	25 ms
	Prenos	125 ms	375 ms	25 ms	25 ms
20 ms govora	Obdelava	35 ms		35 ms	35 ms
	Prenos	115 ms	365 ms	15 ms	15 ms
30 ms govora	Obdelava	45 ms		45 ms	45 ms
	Prenos	105 ms	355 ms	5 ms	5 ms

Tabela 14: Razmerja med zakasnitvami zaradi obdelave in prenosa govora na krajevnom omrežju

³⁷ To je le okvirna vrednost, ki je odvisna od hitrosti procesorja kodirnika, kompleksnosti kodirnega algoritma, optimalnosti kode in drugih parametrov. Pri različnih izvedbah kodirnikov se ta vrednost spreminja, zato je podana okvirna vrednost 10 ms. V tem času morajo biti vse operacije kodirnika gotove, saj na vrsto za obdelavo pride že naslednji govorni okvir.

7.3.2 Izguba okvirov govora

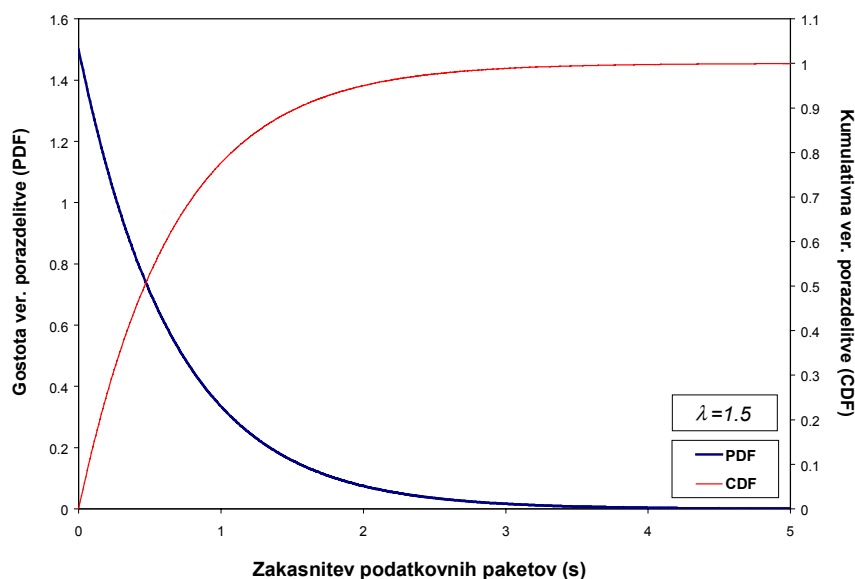
Pri prenosu preko Ethernet omrežja je izguba okvirov govora odvisna skoraj izključno od zakasnitve, točneje od njene spremenljivosti in statistične porazdelitve. Govor prenese dokaj visoko stopnjo izgube podatkov brez večjega padca kakovosti. G.729 kodirani govor se pri tem dokaj dobro obnese in je bil tudi zaradi tega zbran kot primeren kandidat za prenos govora preko Ethernet omrežij. Padec kakovosti ob različnih stopnjah in oblikah izgube govornih okvirov je za G.729 opisan v poglavju 3.6.1.4 in prikazan v grafu na Sl. 3.4. Vidimo, da dokaj dobro prenese izgubo do 5% govornih okvirov, pa naj ta nastopi naključno ali v izbruhih.

Kot mejno vrednost izgube govornih okvirov za še dovolj kakovosten govor zato vzamemo vrednost 5% izgubljenih okvirov. Kako je to povezano z zakasnitvami, pa je odvisno od njihove statistične porazdelitve. Omenimo naj še, da je problem izgube govornih okvirov lahko bolj pereč v primeru, ko jih v enem paketu prenašamo več skupaj. Ob izgubi paketa izgubimo daljši odsek govornega signala.

7.3.3 Izbira osnovnega kriterija

Za osnovni simulacijski kriterij izberemo dopustno mejno stopnjo izgube govornih okvirov, ki znaša 5%. To pomeni, da mora v malo prej določenih okvirih zakasnitve (Tabela 14: mastni ležeči tisk) na cilj prispeti 95% odposlanih govornih okvirov.

Pojavi se več vprašanj: kakšna je verjetnostna porazdelitev zakasnitev na Ethernet omrežjih, ali je njena oblika stalna ali se spreminja glede na obremenitev omrežja, s katerimi parametri verjetnostne porazdelitve lahko najbolje določimo mejno vrednost zakasnitve, pod katero se nahaja 95% govora.



Sl. 7.4: Eksponentna verjetnostna porazdelitev

Poskusimo na ta vprašanja odgovoriti teoretično. Če predpostavimo, da je prihod podatkovnih paketov na cilj neodvisni naključni dogodek, potem ti prihodi predstavljajo naključni proces, ki mu ustreza eksponentna verjetnost porazdelitve zakasnitev po enačbah

$$f(x) = \lambda \cdot e^{-\lambda x} \quad (4)$$

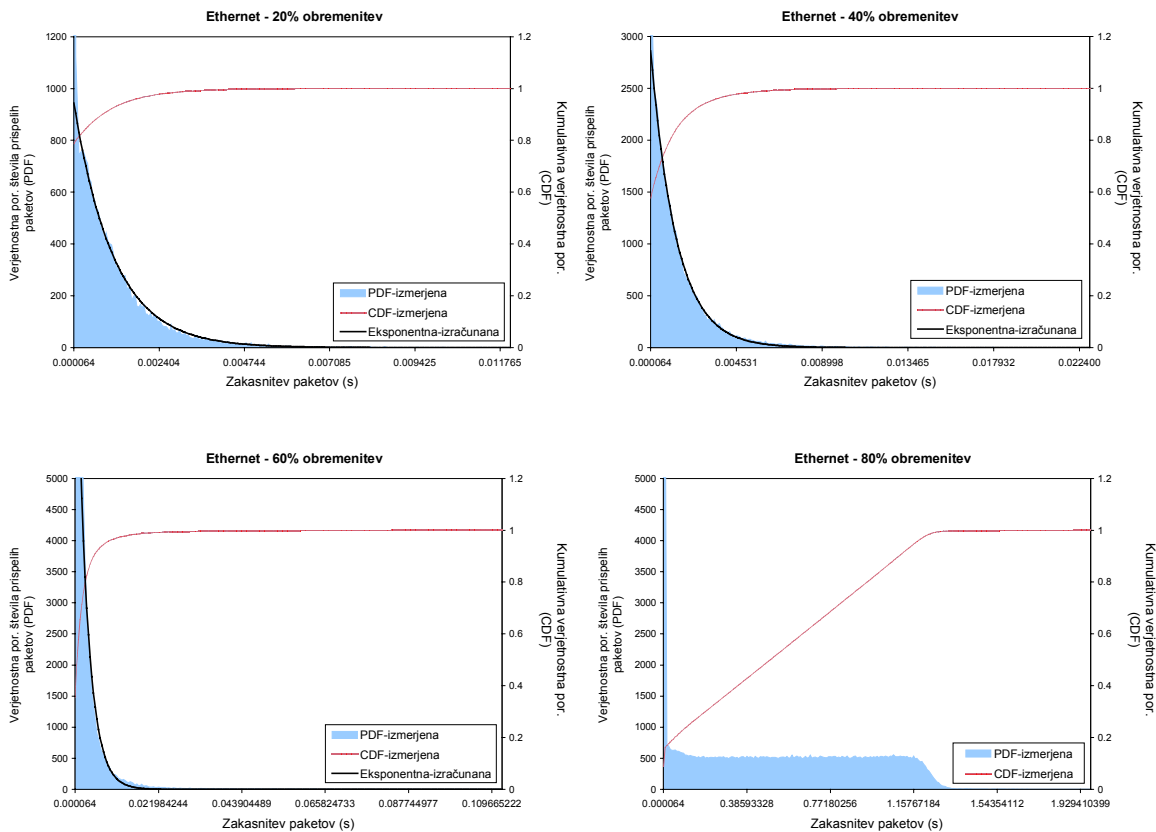
$$F(x) = 1 - e^{-\lambda x} \quad (5)$$

kjer je x zakasnitev podatkovnih paketov, $f(x)$ gostota verjetnostne porazdelitve zakasnitev, $F(x)$ kumulativna verjetnostna porazdelitev zakasnitev in λ konstanta. Povprečna vrednost $E(x)$ in standardna deviacija σ zakasnitev sta pri eksponentni porazdelitvi enaki in neposredno odvisni od konstante λ po enačbi

$$E(x) = \sigma = \lambda^{-1} \quad (6)$$

Verjetnost, da je na cilj prispelo 95% podatkovnih paketov, ustreza vrednosti kumulativne verjetnosti zakasnitev $F(x)=0.95$, ki se za eksponentno porazdelitev nahaja pri trikratni vrednosti standardne deviacije $x=3\sigma$. Za določevanje mejne vrednosti zakasnitve zato vzamemo kar to vrednost. To pomeni, da bodo sprejemljivi vsi pogovori preko Ethernet omrežja, ki bodo imeli vrednost 3σ manjšo od dovoljene vrednosti zakasnitve za prenos preko krajevnega računalniškega omrežja zakasnitve (Tabela 14: mastni ležeki tisk).

Teoretične predpostavke smo preverili s simulacijami različno obremenjenega Ethernet omrežja. Dobljene porazdelitve so bile zelo podobne eksponentni in so s spreminjanjem obremenitve nekoliko spreminjale svojo obliko. Na Sl. 7.5 so prikazane porazdelitve zakasnitev in pripadajoče kumulativne porazdelitve pri 20, 40, 60 in 80% obremenjenem Ethernet omrežju.



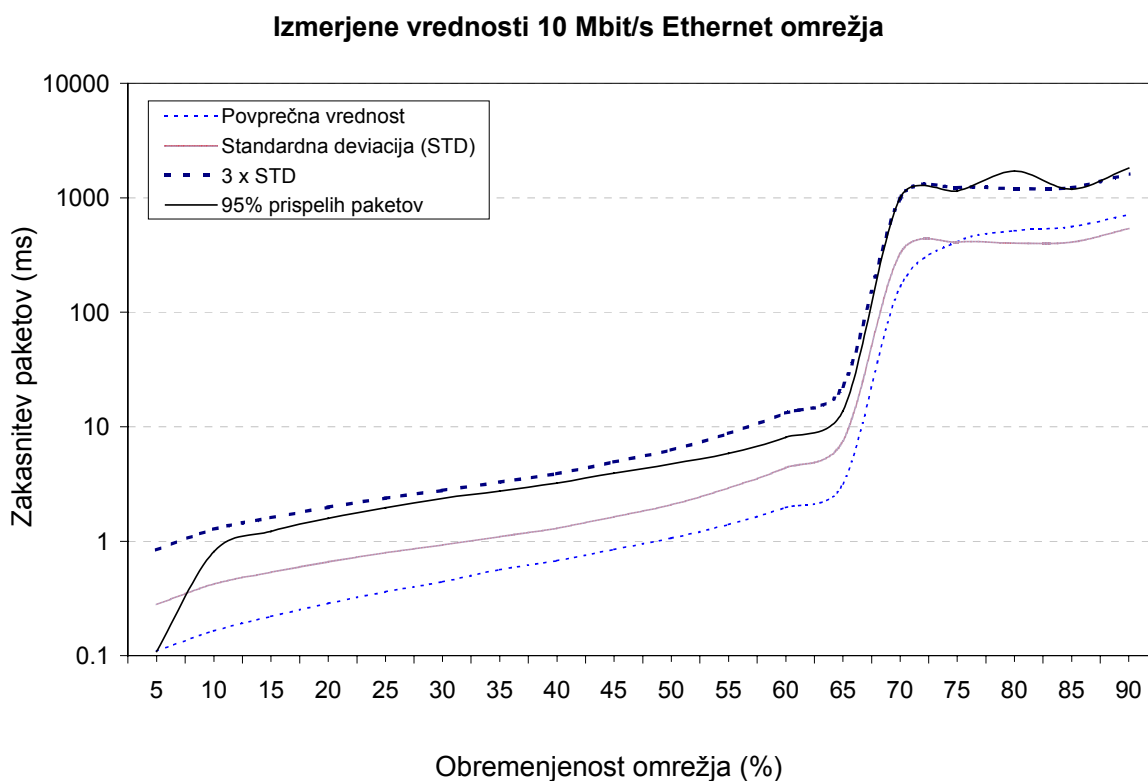
Sl. 7.5: Porazdelitve zakasnitev pri različno obremenjenem Ethernet omrežju

Vidimo, da so prve tri izredno podobne eksponentni porazdelitvi in da se jim izračunana eksponentna krivulja lepo prilega. Odstopanje od nje se kaže le pri zakasnitvi 64 μ s, kjer je število paketov zelo veliko (izven mej prikazanih grafov). Tako zakasnitev imajo paketi, ki so bili uspešni že v svojem prvem poskusu boja za prenosni kanal. Njihovo število je pri nižjih obremenitvah omrežja večje kot pri višjih. Njihov delež prikazuje začetna vrednost kumulativne verjetnosti porazdelitve. Graf porazdelitve za 80% obremenitev omrežja pa ima pri večjih zakasnitvah enakomerno porazdelitev zakasnitev paketov.

V splošnem lahko rečemo, da je skupna porazdelitev vsota diskretne porazdelitve z vrednostjo različno od nič pri zakasnitvi 64 μ s, eksponentne in enakomerne. Prva se z višanjem obremenitve manjša, zadnja večja, eksponentna pa spreminja svoje parametre (vrednost λ). Vpliv posameznih porazdelitev se lepo kaže na kumulativni vrednosti (CDF). Njena začetna vrednost predstavlja delež paketov, ki pripadajo diskretni porazdelitvi, njen enakomerno naraščajoči del, ki je posebno dobro viden pri 80% obremenitvi omrežja, pa kaže na prevladujočo enakomerno porazdelitev.

Ugotovili smo, da verjetnostna porazdelitev ni enaka eksponentni, vendar pa lahko kljub temu upoštevamo njene teoretične meje zakasnitve 3σ za 95% prispelih podatkovnih paketov. Na Sl. 7.6 so v odvisnosti od obremenitve Ethernet omrežja prikazane izmerjene: povprečne vrednosti in standardne deviacije (STD) zakasnitev podatkovnih paketov, trikratna vrednost standardne deviacije ($3 \times \text{STD}$) in vrednost zakasnitev, znotraj katere se nahaja 95% vseh paketov.

Ugotovimo, da za Ethernet omrežja teoretična meja 3σ velja tudi za izmerjene porazdelitve zakasnitev. Odgovori na zastavljena vprašanja se tako glasijo: verjetnostna porazdelitev zakasnitev ni popolnoma enaka eksponentni in se z obremenitvijo nekoliko spreminja, kriterij za mejno vrednost zakasnitve pa lahko postavimo na trojno vrednost izmerjene standardne deviacije zakasnitev.



Sl. 7.6: Izmerjeni parametri porazdelitev zakasnitev za različno obremenjeno Ethernet omrežje

7.4 Simulacijski parametri

Za simulacijo različnih razmer na Ethernet omrežju je bilo potrebno simulacijskemu sistemu spreminjati njegove parametre. Glavni trije so naštetih spodaj:

- Število sočasnih pogovorov (10 do 100), vsak pogovor zaseda dva 8 kbit/s govorna kanala.
- Predobremenitev omrežja, ki ga povzročajo podatkovni izvori (0 do 70%).
- Število G.729 govornih okvirov v enem podatkovnem paketu (1 do 3).

S spreminjanjem števila sočasno potekajočih pogovorov (med 10 in 100 s korakom 10) in predobremenitve omrežja (med 0 in 70% s korakom 5%) smo želeli dobiti naslednji oceni: koliko sočasnih pogovorov imamo lahko na omrežju z določeno predobremenitvijo in koliko je lahko omrežje predobremenjeno, če želimo sočasno prenašati določeno število pogovorov. S spreminjanjem tretjega parametra pa smo želeli ugotoviti, kako na omenjeni oceni vpliva različno število govornih okvirov, ki se je spreminjalo med 1 in 3 s korakom 1. To je pomenilo 10 do 30 ms govora in hkrati tudi 25 do 45 ms zakasnitve zaradi njegove obdelave (Tabela 14).

7.5 Rezultati simulacij

Rezultate simulacij bomo najprej podali za simulacijski sistem z osnovnimi parametri: dva G.729 okvira govora v enem podatkovnem paketu, predobremenitev omrežja med 0 in 70% in število sočasnih pogovorov med 10 in 100. Po razčlenitvi osnovnega primera si bomo pogledali še primerjavo teh rezultatov z rezultati simulacij pri prenosu enega in treh okvirov govora v enem podatkovnem paketu in razmere pri prenosu večje količine podatkov naenkrat.

7.5.1 Osnovni simulacijski parametri

Rezultati simulacij za podane osnovne parametre so prikazani na Sl. 7.7 in Sl. 7.8. Prva prikazuje odvisnost standardne deviacije zakasnitev okvirov govora v odvisnosti od števila sočasnih pogovorov in predobremenitve 10 Mbit/s Ethernet omrežja, ki za prenos podatkovnih paketov uporablja RTP/UDP/IP protokolni sklad. Na sliki so vrisane tudi meje dopustnih vrednosti standardne deviacije zakasnitev za še dovolj kakovosten govor pri različnih kombinacijah prenosa govora, ki jih navaja Tabela 14.

Pri 20 ms odsekih govora so te vrednosti 15 ms za prenos preko Interneta in javnega telefonskega omrežja ter 115 in 365 ms za prenos govora različne kakovosti znotraj krajevnega omrežja. Te vrednosti predstavljajo meje, v katerih na cilj prispe vsaj 95% odposlanih govornih okvirov in so enake trikratni standardni deviaciji zakasnitev (3σ). Na sliki so prikazane vrednosti σ , zato so vrednosti mej deljene s tri in so 5, 38 in 122 ms. Predstavljene so z debelimi vodoravnimi črtami.

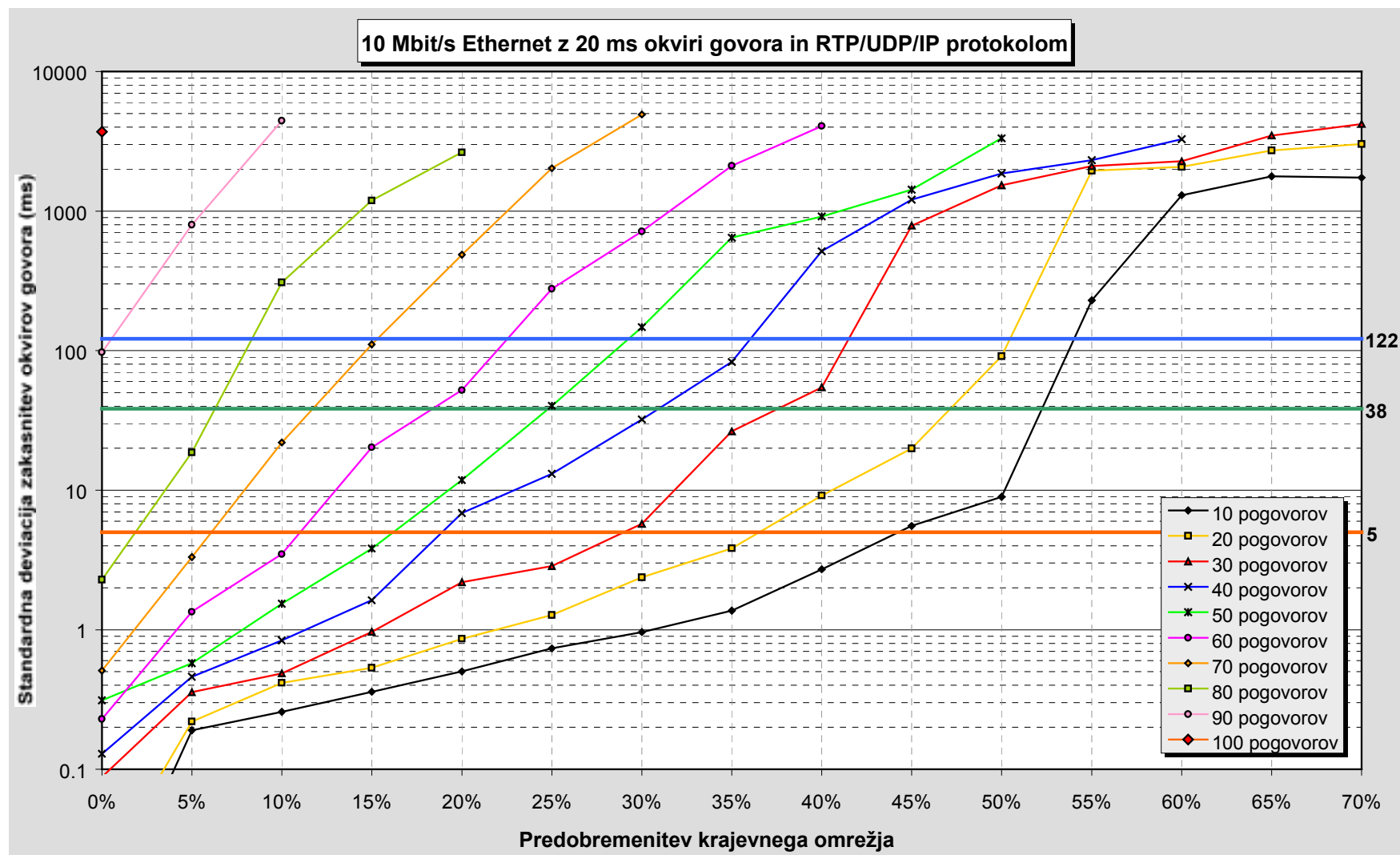
Najprej si oglejmo najostrejšo mejo 5 ms. Največje število sočasnih pogovorov na neobremenjenem omrežju je 80, kar je dokaj visoka številka, vendar je verjetnost, da bo omrežje ves čas neobremenjeno z ostalimi podatki, zelo majhna. Največja dovoljena predobremenitev omrežja, pri kateri še lahko prenašamo 10 sočasnih pogovorov, pa je 40%. Meje za druge kombinacije števila sočasnih pogovorov in predobremenitve omrežja pa so razvidne iz slike.

Za prenos govora višje kakovosti znotraj krajevnega omrežja je mejna vrednost 38 ms (skupna zakasnitev na prenosni poti 150 ms). Največje dovoljeno število sočasnih pogovorov pri neobremenjenem omrežju je še vedno 80, vendar je to število primerno tudi za 5% predobremenitev. Največja dovoljena predobremenitev omrežja je 50%, pri kateri lahko prenašamo do 10 sočasnih pogovorov.

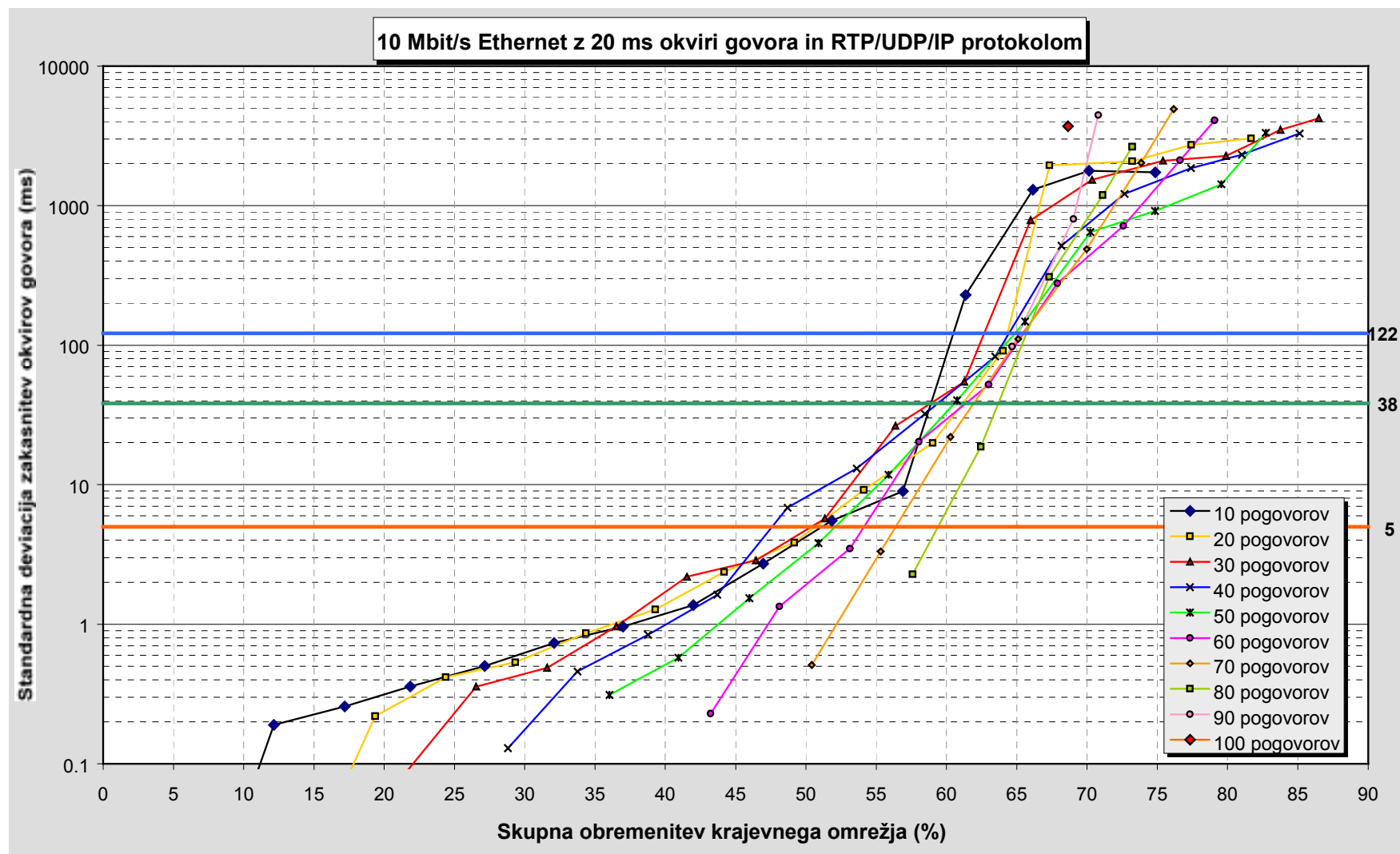
Najvišja meja za prenos govora nižje kakovosti znotraj krajevnega omrežja je pri 122 ms (skupna zakasnitev na prenosni poti 400 ms). Pri neobremenjenem omrežju lahko prenašamo že 90 sočasnih pogovorov, najvišja dovoljena predobremenitev pa je 50%, ki dovoljuje prenos do 20 pogovorov. Navedene vrednosti navaja Tabela 15.

Meja	Število sočasnih pogovorov	Največja predobremenitev omrežja	
		%	Število pogovorov
5 ms	80	40	10
38 ms	80	50	10
122 ms	90	50	20

Tabela 15: Največje število sočasnih pogovorov in najvišje predobremenitve omrežja



Sl. 7.7: Standardna deviacija zakasnitev v odvisnosti od predobremenitve omrežja in števila sočasnih pogovorov pri 20 ms govora

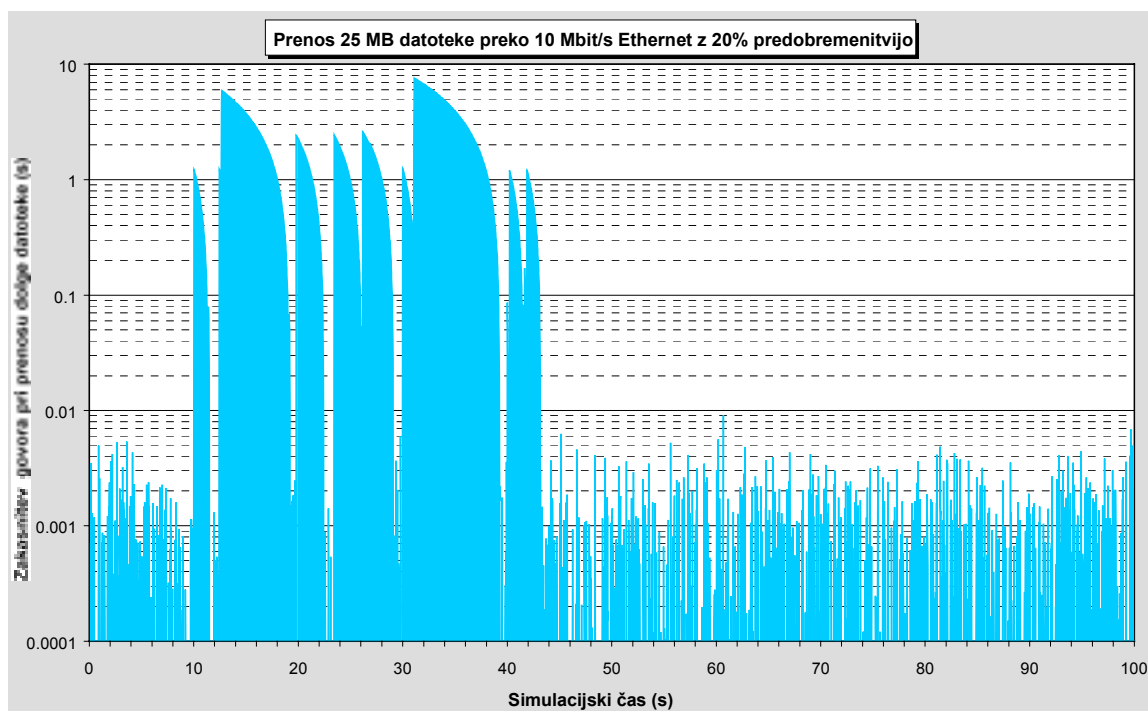


Sl. 7.8: Standardna deviacija zakasnitve v odvisnosti od skupne predobremenitve omrežja in števila sočasnih pogovorov pri 20 ms govora

Na Sl. 7.8 vidimo odvisnost standardne deviacije zakasnitev od skupne obremenitve omrežja in števila sočasnih pogovorov. Skupna obremenitev je vsota predobremenitve s podatki in obremenitve zaradi prenosa govora. Slika se lepa sklada s Sl. 7.6, na kateri so prikazane zakasnitve podatkov na Ethernet omrežjih. To kaže na pravilnost izvedenih simulacij in dejstvo, da je zakasnitev govornih okvirov odvisna predvsem od skupne obremenitve omrežja, kar smo tudi predpostavljali. Najnižja meja (5 ms) se, v odvisnosti od števila pogovorov, nahaja nekje med 45 in 60% skupne obremenitve omrežja, srednja (38 ms) med 55 in 65%, najvišja (122 ms) pa med 60 in nekaj več kot 65% skupne obremenitve omrežja.

7.5.2 Prenos velike količine podatkov

Opisane meritve in dobljeni rezultati simulacij so se nanašali na pogoje "normalne obremenjenosti" Ethernet omrežja. To pomeni, da so predobremenitev povzročale aplikacije, ki so prenašale manjše količine podatkov naenkrat. Kaj pa se zgodi, če se pojavi aplikacija, ki želi prenesti večjo količino podatkov naenkrat? Tak primer je prenos velike datoteke ali večjega števila manjših naenkrat. V času takega prenosa se obremenjenost omrežja močno poveča in zakasnitve narastejo preko vseh dovoljenih mej.



Sl. 7.9: Zakasnitve podatkovnih okvirov govora pri prenosu dolge datoteke

Tezo smo potrdili s simulacijo, katere rezultati so prikazani na Sl. 7.9. Simulirali smo aplikacijo, ki preko omrežja z 20% predobremenitvijo prenaša datoteko dolžine 25 MB. Prenos se je začel ob času 10 sekund in je trajal nekaj več kot 30 sekund. V tem času je zakasnitev narasla tudi do več sekund. Čez celotni simulacijski interval je bila povprečna zakasnitev 639 ms in njihova standardna deviacija 1480 ms. To pa presega že vse dovoljene meje.

Kljub spodbudnim rezultatom s Sl. 7.7 in Sl. 7.8 vedno obstaja možnost, da zaradi kratkotrajne (nekaj sekund ali minut) visoke zasedenosti omrežja kakovost prenašanega govora pade pod predpisane (zadovoljive) vrednosti. To ne pomeni, da je njegov prenos nemogoč ampak le, da je takrat prenesen govor nekakovosten in pogovor zelo moten ali celo nemogoč.

7.5.3 Prenos 10 in 30 ms odsekov govora v enem podatkovnem paketu

Pri osnovnih simulacijskih parametrih smo izbrali 20 ms govorni odsek ali dva G.729 govorna okvira s po 10 okteti govornih informacij. Zanima nas, kako se spremenijo razmere, če prenašamo 10 ali 30 ms odseke govora. S prenosom 10 ms odsekov pridobimo na zakasnitvi, vendar pa moramo glede na 20 ms odseke odposlati dvakrat več podatkovnih paketov. To ob zelo slabem izkoristku za prenos uporabljenih prenosnih kapacitet pomeni občutno povečanje prometa na Ethernet omrežju (več kot dvakratno). Izkoristki uporabljene prenosne kapacitete za prenos 10, 20 ali 30 ms govora so pri RTP/UDP/IP protokolnem skladu 20, 33 in 43 odstotkov. To pomeni, da en pogovor pri 10 ms govora v enem paketu porabi več prenosne kapacitete omrežja kot pri 20 ali 30 ms govora v enem paketu. Rezultati simulacij kažejo, da pri 10 ms odsekih govora en pogovor porabi približno 1% prenosne kapacitete 10 Mbit/s Ethernet omrežja, pri 20 ms približno 0.6% in pri 30 ms približno 0.45%.

Manj porabljene kapacitete na pogovor pomeni, da lahko prenašamo več sočasnih pogovorov ob isti porabi prenosne kapacitete, vendar pa to pomeni tudi večjo zakasnitev zaradi obdelave govora in meje dovoljene zakasnitve zaradi prenosa podatkov se pomaknejo nižje (vsak dodatni okvir govora v podatkovnem paketu prinese dodatnih 10 ms zakasnitve obdelave).

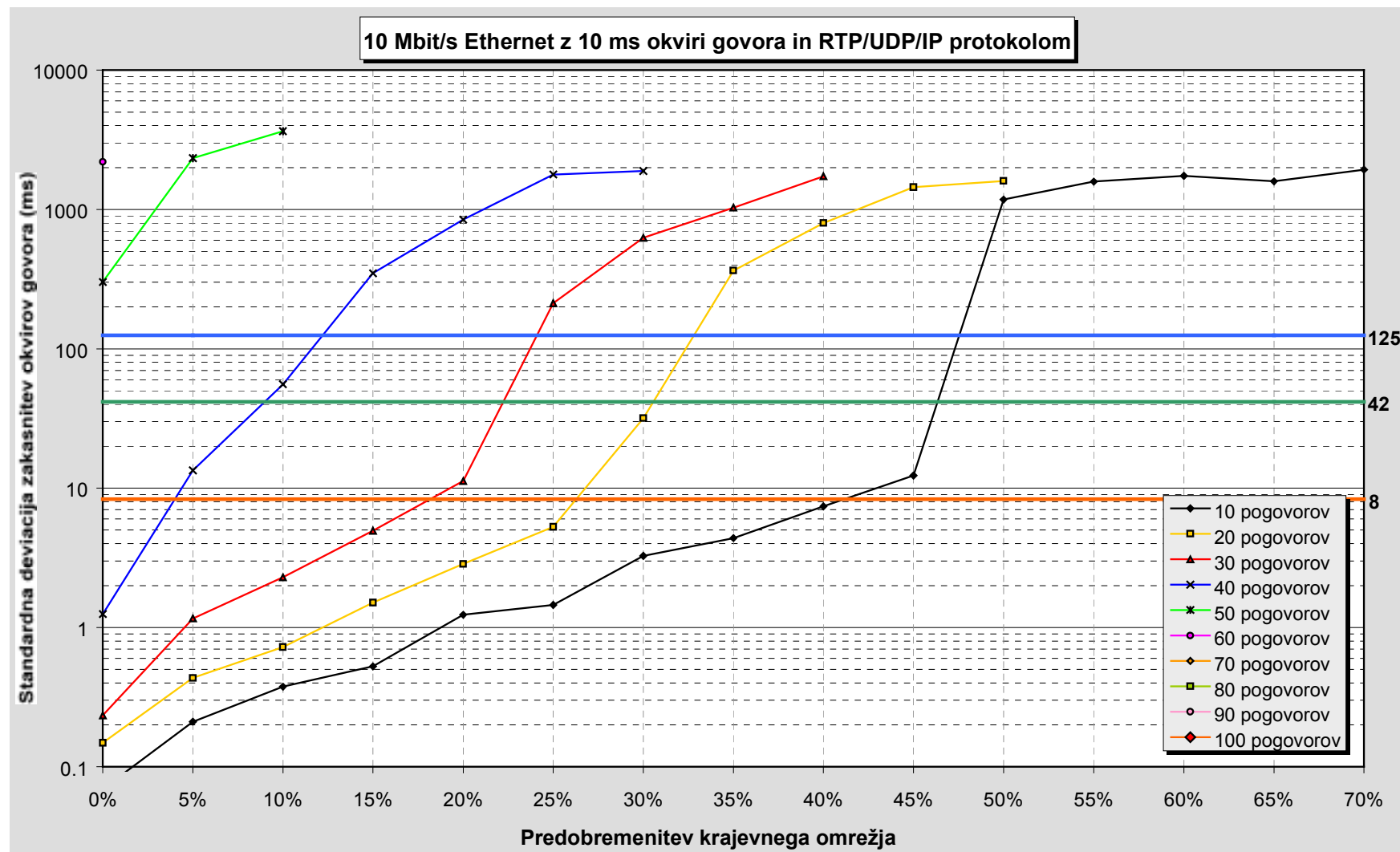
Rezultati simulacij in meje dovoljenih standardnih deviacij zakasnitev za prenos 10 in 30 ms govora v enem podatkovnem okviru so prikazani na Sl. 7.10 in Sl. 7.11. Kot komentar k tem rezultatom naj služi Tabela 16, ki prikazuje primerjavo med 10, 20 in 30 ms odseki prenašanega govora in podaja meje standardne deviacije zakasnitve govornih okvirov za različne primere prenosa govora (glej Tabela 14), največje število sočasnih pogovorov ob neobremenjenem omrežju, največjo dovoljeno skupno obremenitev omrežja, pri kateri je prenos govora ob različnem številu sočasnih pogovorov še dovolj kakovosten ter največjo dovoljeno predobremenitev omrežja, pri kateri je prenos govora še zadovoljive kakovosti in koliko sočasnih pogovorov pri tem imamo.

	Meja STD zakasnitve	Število sočasnih pogovorov na neobrem. omrežju	Meja skupne obremenjenosti omrežja	Največja predobremenitev omrežja	
				%	Število pogovorov
10 ms govora	8 ms	40	50-60%	40	10
	42 ms	40	55-60%	45	10
	125 ms	40	55-65%	45	10
20 ms govora	5 ms	80	45-60%	40	10
	38 ms	80	55-65%	50	10
	122 ms	90	60-70%	50	20
30 ms govora	2 ms	100	40-55%	35	10
	35 ms	100	60-65%	55	10
	118 ms	100	60-80%	55	10

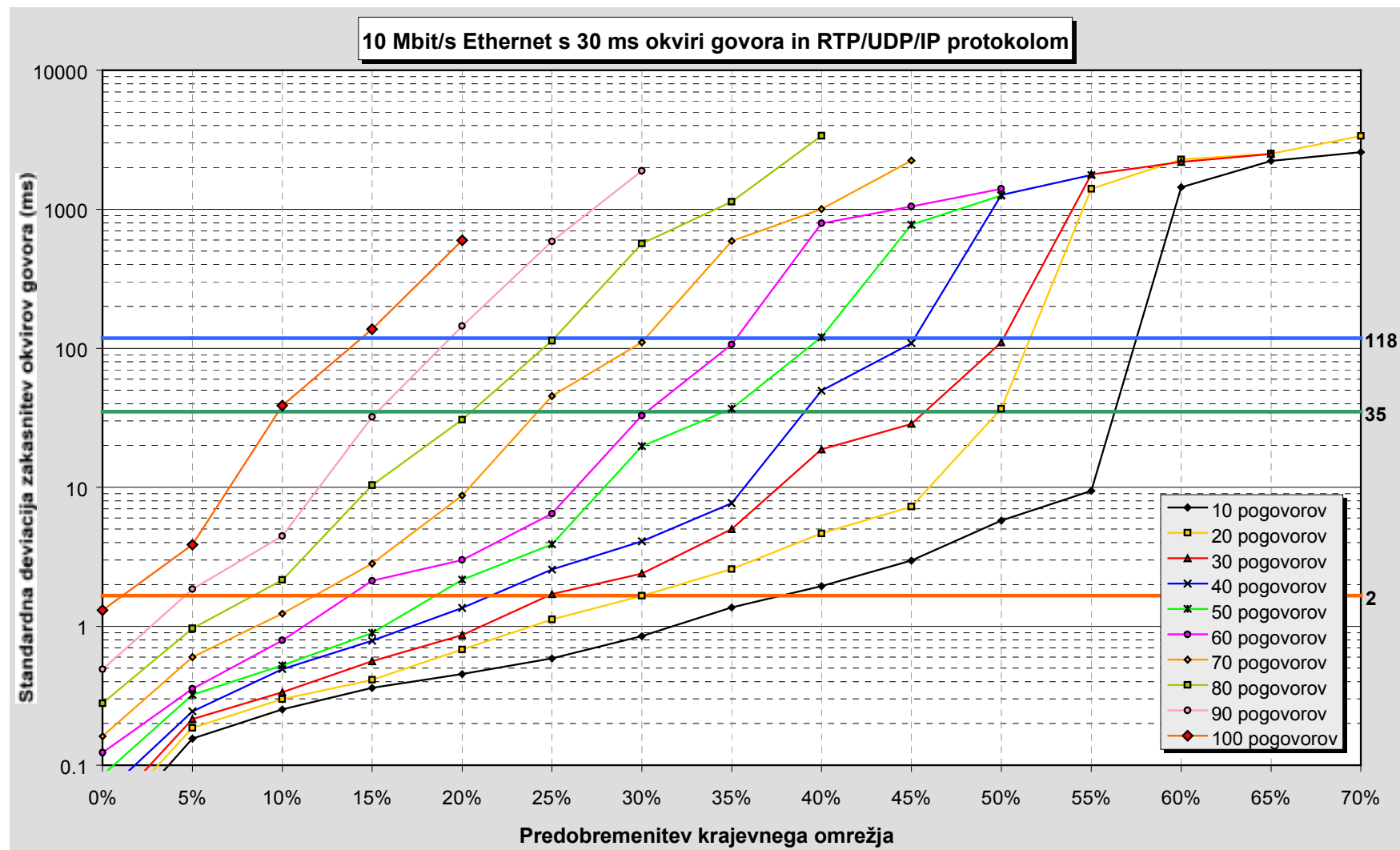
Tabela 16: Največje število sočasnih pogovorov in vrednosti predobremenitve omrežja za različno dolge odseke govora v enem podatkovnem paketu

Vidimo, da je prenos 10 ms odsekov govora v vseh pogledih slabši od prenosa 20 ali 30 ms odsekov. To je posledica požrešnosti po prenosni kapaciteti zaradi velikega števila odposlanih paketov in zelo slabega razmerja med režijo in koristnimi podatki (govorom) v njih. Zaključimo lahko, da je prenos 10 ms odsekov govora nezanimiv za vse omenjene načine uporabe.

Bolj zanimiva je primerjava med prenosom 20 in 30 ms odsekov govora. Pri najostrejši meji so primernejši 20 ms odseki, ki dovoljujejo večjo predobremenitev omrežja in večjo skupno obremenitev omrežja (10 sočasnih pogovorov), nekaj slabše pa se odrežejo pri neobremenjenem omrežju, kjer dovolijo le 80 sočasnih pogovorov napram 100 pri 30 ms odsekih. Pri drugih dveh mejah, ki določujeta dve stopnji kakovosti za prenos znotraj krajevnega omrežja, pa se 30 ms odseki govora obnesejo nekoliko bolje: v vseh kategorijah se odrežejo 5-10% bolje kot 20 ms odseki. Zaključimo lahko, da so za prenos govora znotraj krajevnega omrežja boljši 30 ms odseki govora, za prenos izven teh meja pa 20 ms odseki.



Sl. 7.10: Standardna deviacija zakasnitve v odvisnosti od predobremenitve omrežja in števila sočasnih pogovorov pri 10 ms govora



Sl. 7.11: Standardna deviacija zakasnitve v odvisnosti od predobremenitve omrežja in števila sočasnih pogovorov pri 30 ms govora

Opisani rezultati so deloma odvisni od izbire simulacijskih kriterijev in bi bili ob njihovih drugačnih vrednostih lahko tudi nekoliko drugačni. Ob milejšem kriteriju za dovoljeno zakasnitev za prenos govora izven meja krajevnega omrežja bi prenos 30 ms odsekov v vseh kategorijah prekašal prenos 20 ms odsekov.

7.5.4 Prenos govora preko TCP protokola

TCP protokol transportne plasti ni preveč primeren za prenos govora. Je povezavno naravnani in nudi zanesljiv prenos podatkov, obveščanje o prispelih paketih in ponovno pošiljanje izgubljenih. Za večino aplikacij so to zahtevane lastnosti, prenosu govora pa prej škodijo kot koristijo. Ponovno pošiljanje izgubljenih paketov nima pravega smisla, saj ponovno odposlani paketi navadno na cilj prispejo prepozno, da bi jih še lahko vključili v govor. Obveščanje o prispelih paketih je tako le nepotrebno obremenjevanje omrežja. Primerjave simulacijskih rezultatov med prenosom preko TCP in UDP protokola so prikazane na Sl. 7.12.

Simulirali smo 10 sočasnih pogovorov in za prenos preko TCP protokola ugotovili, da je primeren le za prenos govora znotraj Ethernet omrežja in še to le pri njegovih nizkih obremenitvah. Iz druge slike je razvidno tudi, da je protokol zelo požrešen glede porabe prenosnih kapacitet omrežja. Za 10 sočasnih pogovorov pri neobremenjenem omrežju je porabi kar 37% ali 3.7% na pogovor. To je šestkrat več kot pri uporabi UDP protokola. Zaključimo lahko le, da je TCP protokol za prenos govora skoraj neuporaben.

7.5.5 Prenos nekodiranega govora

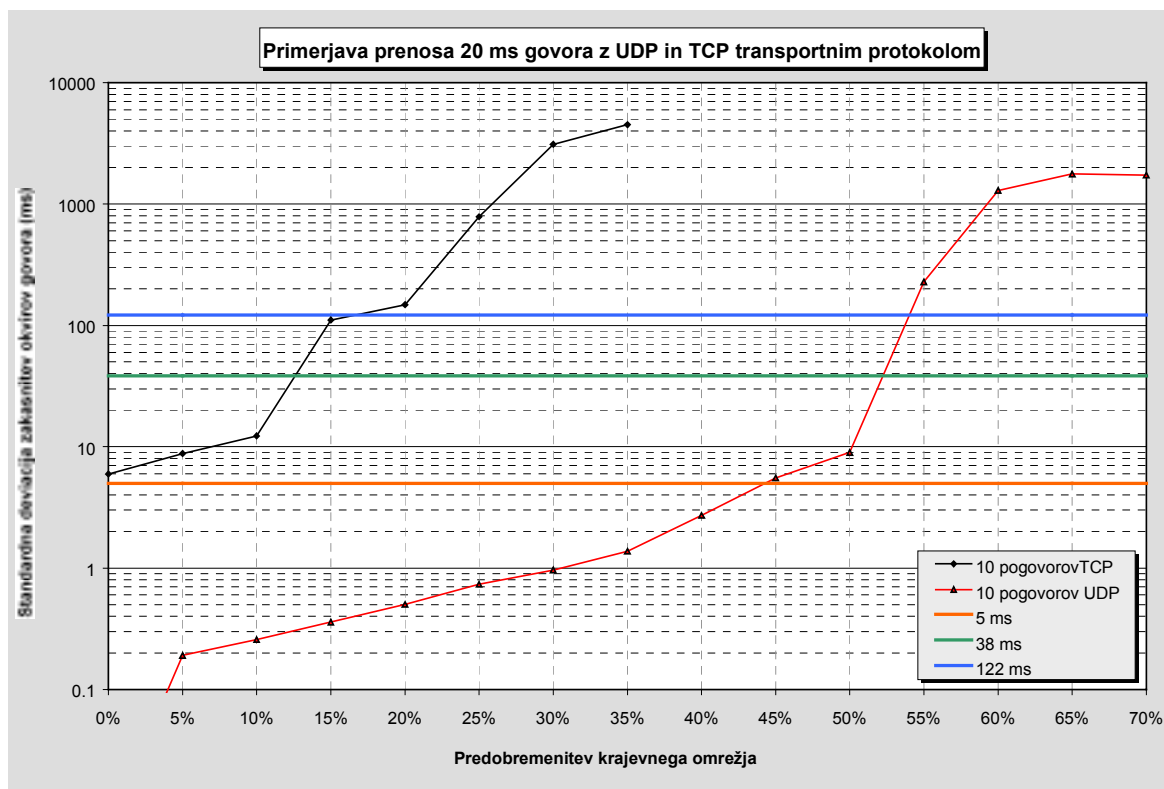
Zaradi velikega deleža režije protokolnega sklada pri prenosu kodiranega govora se pojavi vprašanje o smiselnosti samega kodiranja. Ali lahko torej dosežemo podobne ali vsaj primerne rezultate s prenosom nekodiranega govora po standardu G.711 (64 kbit/s PCM)? Prenašati moramo osemkrat več govora kot pri 8 kbit/s G.729, vendar dosežemo relativno boljše razmerje med režijo in koristnimi podatki. Pri prenosu 20 ms govora v enem paketu imamo pri G.711 razmerje 1:4, pri G.729 pa 4:2. Absolutno gledano je prednost še vedno na strani G.729, saj za en pogovor porabimo okoli 0.6% prenosne kapacitete Ethernet omrežja, pri G.711 pa okoli 1.8%. Prednosti G.711 pa so v manjših zakasnitvah zaradi obdelave govora in višje kakovosti govora.

Če si malo podrobneje ogledamo zakasnitve zaradi obdelave govora, je G.711 v prednosti, saj ne porabi skoraj nič časa za kodiranje. Govorni signal v bistvu le vzorčimo in zapišemo v digitalni obliki. Pri simulacijah smo v enem paketu prenašali 20 ms govora, kar pri G.711 pomeni 160 osembitnih vzorcev ali prav toliko oktetov, pri G.729 pa že dobro znanih 20 oktetov. Zakasnitev zaradi obdelave je tako pri G.711 20 ms, pri G.729 pa 35 ms. Meje standardne deviacije zakasnitev so za G.711 pri 10, 43 in 127 ms, za G.729 pa pri znanih vrednostih 5, 38 in 122 ms, ki so na slikah za G.711 vrisane s prekinjeno in za G.729 s polno odebeljeno črto.

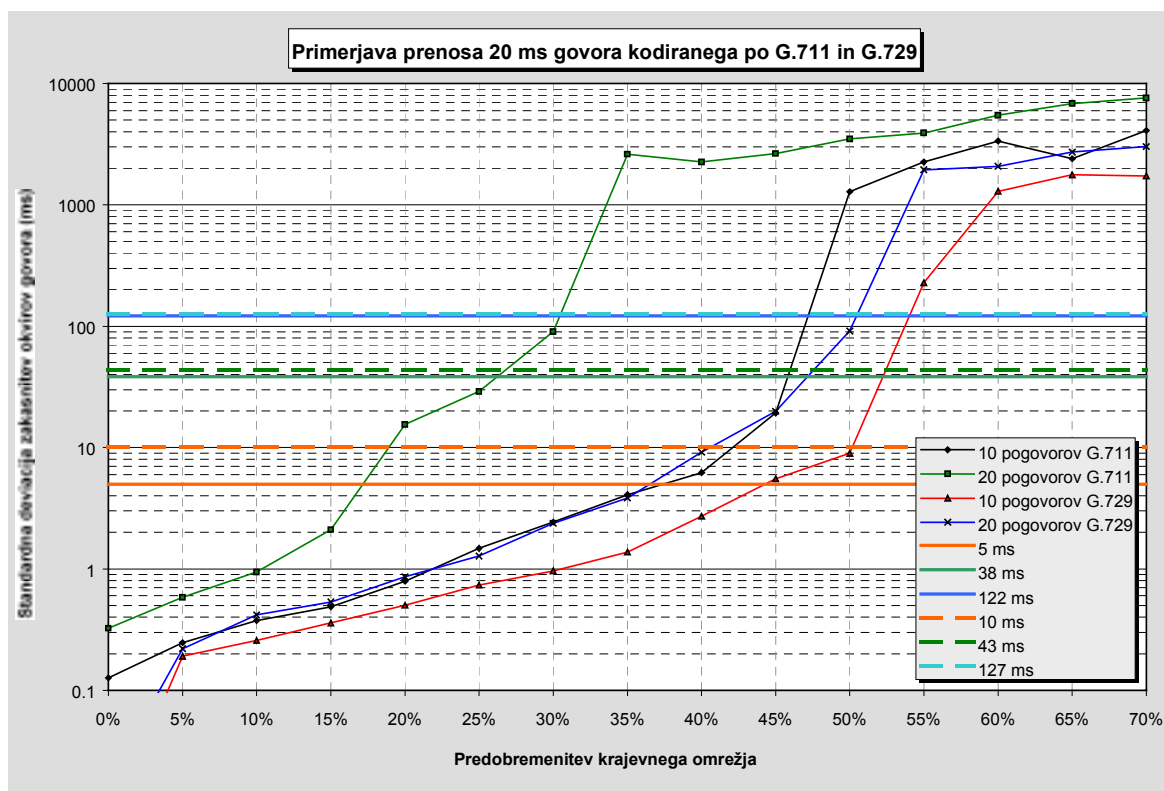
Simulacije smo izvedli za 10 in 20 sočasnih pogovorov za oba načina kodiranja. Rezultati so prikazani na Sl. 7.13. Vidimo, da pri G.711 porabimo več prenosne kapacitete na pogovor, kar je seveda razumljivo, saj prenašamo več podatkov, ki dajo boljšo kakovost govora. To pa nam prinese nekoliko večje zakasnitve.

Pomembno je predvsem dejstvo, da lahko pri nizkih predobremenitvah Ethernet omrežja prenašamo tudi nekodiran govor. Za prenos preko Interneta to sicer ni preveč primerno, zelo pa je dobrodošlo za prenos znotraj krajevnega omrežja in za prenos preko javnega telefonskega omrežja, kjer se tako izognemo potratnim postopkom kodiranja (časovno in denarno) na eni in dekodiranja na drugi strani. Govorni kanali v javni telefoniji so večinoma še vedno po G.711 standardu in zato pri prenosu nekodiranega govora pridobimo na kakovosti ob manjših stroških.

Zaključimo lahko, da ima prenos nekodiranega govora ob določenih pogojih prednosti pred kodiranim, čeprav slednji v splošnem daje boljše rezultate glede zakasnitev in obremenitev omrežja. Boljša kakovost in nižji stroški pa so v večini primerov vsekakor zadosten razlog za malo večjo obremenjenost omrežja.



Sl. 7.12: Primerjava prenosa govora s TCP in UDP v odvisnosti od predobremenitve omrežja



Sl. 7.13: Prenos govora kodiranega po G.711 in G.729 v odvisnosti od predobremenitve omrežja

7.6 Ugotovitve

S simulacijami smo dobili odgovor na vprašanje o primernosti Ethernet omrežja za prenos govora. Ob izbranem simulacijskem sistemu se je pokazalo, da je ob izpolnjevanju določenih pogojev glede zakasnitev in izgube govornih okvirov prenos govora primerne kvalitete možen. Kot kriterij za oceno izpolnjevanja teh pogojev smo postavili standardno deviacijo zakasnitev podatkovnih paketov. Njena trikratna vrednost mora biti manjša od mejne vrednosti zakasnitve pri prenosu, ki je odvisna od izbire povezave (znotraj krajevnega omrežja, preko Interneta ali preko javnega telefonskega omrežja) in zakasnitve zaradi obdelave govora. Slednja je odvisna od izbire kodirnega postopka in števila govornih okvirov ali vzorcev v enem podatkovnem paketu.

Izkaže se, da je prenos govora preko Etherneta mogoč do neke obremenitve omrežja, pri kateri standardna deviacija zakasnitve preseže vse definirane mejne vrednosti. Slednje so, ko že rečeno, odvisne od dovoljene vrednosti zakasnitev zaradi prenosa, mejne obremenitve omrežja pa predvsem od števila sočasnih pogovorov in dolžine govornih odsekov v enem paketu. Ugotovili smo, da je prenos 10 ms odsekov manj zanimiv kot prenos 20 in 30 ms odsekov govora. Pri slednjih dveh pa ima pri različnih mejah vsak svoje prednosti. Podrobnejši rezultati so navedeni v poglavju 7.5.3.

Ogledali smo si tudi primerjavi med prenosom preko TCP in UDP protokola ter med prenosom kodiranega (G.729) in nekodiranega (G.711) govora. Ugotovili smo, da je TCP protokol skoraj povsem neprimeren za prenos govora, prenos nekodiranega govora pa je mogoč ob manjšem številu pogovorov ali nizki obremenjenosti omrežja. To je pomembna ugotovitev, saj se na ta način lahko izognemo časovno (in tudi denarno) potratnemu kodiranju in dekodiranju govora, kar je še posebej dobrodošlo pri prenosu preko javnega telefonskega omrežja.

Nekoliko manj prijeten pa je rezultat simulacije zakasnitev omrežja pri prenosu večje količine podatkov naenkrat. V času njihovega prenosa močno narastejo zakasnitve in kakovost govora pade pod mejo primernosti. Če prenos podatkov traja le nekaj sekund to včasih ni niti opazno, če pa traja dlje v tem času pogovori niso mogoči.

Prenos govora preko Etherneta je v splošnem torej mogoč, vendar nimamo nobenih zagotovil, da bo primerne kakovosti ves čas trajanja pogovora. Tudi če je na njegovem začetku omrežje izpolnjevalo vse njegove zahteve, lahko prenos večje količine podatkov razmere kaj hitro pokvari. Rešitev tega problema je možna le z zamenjavo tehnologije krajevnega omrežja, ki pa v večini primerov ne pride v poštev. Zato je prenos govora preko Etherneta priporočljiv le za uporabnike, ki lahko brez težav pretrpijo občasne izpade storitve prenosa govora. Za zanesljive in zagotovljene storitve prenosa govora pa je potrebno uporabiti eno od omrežij, ki dovoljujejo rezervacijo prenosnih kapacitet (telefonsko omrežje, izohrone tehnologije, ATM).

8 ZAKLJUČEK

Velika večina uporabnikov za prenos govora trenutno še vedno uporablja javno ali privatno telefonsko omrežje. Zaradi določenih prednosti pa so se v zadnjih letih začele pojavljati tudi storitve prenosa govora preko podatkovnih omrežij. Za omrežja z možnostjo izohronega prenosa podatkov smo ugotovili, da lahko brez težav zadostijo vsem potrebam govora in zaradi tega njegova kakovost prav nič ne zaostaja od tiste v telefonskih omrežjih.

Drugače je s podatkovnimi omrežji s paketnim prenosom. Ker večinoma temeljijo na statističnem multipleksiranju podatkovnih paketov, je izpolnjevanje zahtev govora težavno ali celo nemogoče. Pri tem se različna paketna omrežja obnesejo različno dobro. Zelo pomemben predstavnik paketnih omrežij so krajevna računalniška omrežja, ki so prodrli do skoraj vsakega namizja. Pri prenosu govora in podatkov lahko predstavljajo celotno ali vsaj zadnji del prenosne poti, zato je poznavanje njihovih lastnosti in primernosti za prenos govora zelo pomembno.

Preko simulacij smo podrobneje spoznali 10 Mbit/s Ethernet omrežje, ki je izmed vseh krajevnih računalniških omrežij najbolj razširjeno. Simulacije so pokazale, da je prenos govora preko njih mogoč le pod določenimi pogoji, ki so opisani v poglavju 7.6. Ugotovili smo, da je pri nizkih obremenitvah in majhnem številu sočasnih pogovorov prenos govora mogoč brez večjih težav. Nerešljiv problem pri Ethernet tehnologiji pa so kratkočasne visoke obremenitve, ki jih povzroči prenos večje količine podatkov naenkrat. Prenos govora preko Etherneta je zato primeren le za uporabnike, ki dopuščajo spremenljivo kakovost storitve prenosa govora ter njene občasne prekinitve in izpade.

Za celostno sliko možnosti prenosa govora preko krajevnih računalniških omrežij bi morali izvesti simulacije tudi za Token Ring, Token Bus, FDDI, 100 Mbit/s Ethernet in druga omrežja. Glede na njihove lastnosti lahko pričakujemo boljše rezultate kot pri 10 Mbit/s Ethernetu, kar pa bi seveda morali potrditi s simulacijami.

V kakšni meri in katera podatkovna omrežja se bodo najbolj uveljavila za prenos govora in drugih storitev, ki zahtevajo prenos v realnem času, pa lahko pokaže le čas. Vsake napovedi so ob hitrem in nepredvidljivem razvoju računalništva in telekomunikacij lahko le ugibanja. Večja izbira in konkurenca na področju prenosa govora pa vsekakor koristita predvsem uporabnikom.

9 LITERATURA

9.1 Knjige

- [1] Prabhat K. Andleigh, Kiran Thakrar; *Multimedia System Design*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey 1996
- [2] Janez Bešter; *ATM in B-ISDN*, Elektrotehniška zveza Slovenije, Ljubljana 1996
- [3] Uyless Black; *Emerging Communications Technologies*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey 1997
- [4] Bud Bates, Donald Gregory; *Voice and Data Communications Handbook*, McGraw-Hill, New York 1996
- [5] John-R.-Jr. Deller, John-G. Proakis, John H. L. Hansen; *Discrete-Time Processing of Speech Signals*, Macmillan Publishing Company, New York 1993
- [6] Rainer Händel, Manfred N. Huber, Stefan Schröder; *ATM Networks: Concepts, Protocols, Applications*, Addison-Wesley, Wokingham, England 1994
- [7] John Y. Hsu; *Computer Networks: Arhitecture. Protocols, and Software*, Arterch House, Norwood, Maine 1996
- [8] Gary C. Kessler; *ISDN: concepts, facilities, and services*, McGraw-Hill, New York 1993
- [9] Alberto Leon-Garcia; *Probability and Random Processes for Electrical Engineering*, Addison-Wesley Publishing Company, USA 1994
- [10] Pavel Meše; *Angleško-slovenski, Slovensko-angleški slovar, Telekomunikacije*, Smartcom d.o.o., Ljubljana 1993
- [11] James Martin, Kathleen-Kavanagh Chapman, Joe Leben; *Enterprise Networking: Data Link Subnetworks*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey 1996
- [12] Beno Pehani; *Komunikacijski sistemi in omrežja*, ZAFER, Ljubljana 1993
- [13] Andrew S. Tanenebaum; *Computer Networks*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey 1996
- [14] Tone Vidmar; *Računalniška omrežja in storitve*, Atlantis, Ljubljana 1997

9.2 Članki

- [15] Ingo Busse, Bernd Deffner, Henning Schulzrinne; *Dynamic QoS Control of Multimedia Applications Based on RTP*, Computer Communications, Vol., no. 19, 1996
- [16] Torsten Braun; *Internet Protocols for Multimedia Communications*, IEEE Multimedia, Vol., no. July-September, 1997
- [17] Richard Brand; *Iso-Ethernet: Bridging the Gap From WAN to LAN*, Data Communications, Vol., no. July, 1995
- [18] Richard-V. Cox, Peter Kroon; *Low Bit-Rate Speech Coders for Multimedia Communication*, IEEE Communications Magazine, Vol. 34, no. 12, 1996
- [19] Richard V. Cox; *Three New Speech Coders from the ITU Cover a Range of Applications*, IEEE Communications Magazine, Vol. 35, no. 9, 1997
- [20] Frame Relay Forum; *A Discussion of Voice Over Frame Relay*, 1996
- [21] Robin Gareiss; *Voice Over the Internet*, Data Communications, Vol., no. September, 1996
- [22] david Greenfield; *Iso-Ethernet: A Reprive for Ethernet*, Data Communications, Vol., no. March, 1996
- [23] Peter Heywood; *Making Voice a Top Priority*, Data Communications, Vol., no. August, 1996
- [24] N. S. Jayant; *High-Quality Coding of Telephone Speech and Wideband Audio*, IEEE Communications Magazine, Vol. 28, no. 1, 1990

- [25] Paul Kearney; *Voice and Data Over Frame Relay*, British Telecommunications Engineering, Vol. 15, no. October, 1996
- [26] Nobuhiko Kitawaki, Hiromo Nagabuchi; *Quality Assessment of Speech Coding and Speech Synthesis Systems*, IEEE Communications Magazine, Vol. 26, no. 10, 1988
- [27] David Newman, Brent Melson, Kumar Silva S.; *Voice Over Frame Relay: Imperfect Pitch*, Data Communications, Vol., no. September 21, 1996
- [28] Richard Platt; *New Standard Helps Multimedia Get Off the Ground*, IEEE Multimedia, Vol., no. Summer, 1996
- [29] Richard Platt; *Why IsoEthernet Will Change the Voice and Video Worlds*, IEEE Communications Magazine, Vol. 34, no. 4, 1996
- [30] E.-Mark Perkins, Keith Evans, Dominique Pascal, Leigh A. Thorpe; *Characterizing the Subjective Performance of the ITU-T 8 kb/s Speech Coding Algorithm - ITU-T G.729*, IEEE Communications Magazine, Vol. 35, no. 9, 1997
- [31] Tony Rybczynski, Ravi Narayanan; *ATM Gets Real About Real-Time Apps*, Data Communications, Vol., no. October, 1996
- [32] Floyd-E. Ross, Dhadesugoor R. Vaman; *IsoEthernet: An Integrated Services LAN*, IEEE Communications Magazine, Vol. 34, no. 8, 1996
- [33] William Stallings; *RTP and RSVP: Special Delivery*, Network, Vol., no. June, 1997
- [34] Gerhard Schröder, Mostafa Hashem Sherif; *The Road to G.729: ITU 8-kb/s Speech Coding Algorithm with Wireline Quality*, IEEE Communications Magazine, Vol. 35, no. 9, 1997
- [35] Gary A. Thom; *H.323: The Multimedia Communications Standard for Local Area Networks*, IEEE Communications Magazine, Vol. 34, no. 12, 1996
- [36] David J. Wright; *Voice over ATM: An Evaluation of Implementation Alternatives*, IEEE Communications Magazine, Vol. 34, no. 5, 1996
- [37] Debra-W. Worsley, Takunbo Ogunfunmi; *Isochronous Ethernet - An ATM Bridge for Multimedia Networking*, IEEE Multimedia, Vol., no. January-March, 1997

9.3 Standardi

- [38] FRF.12; *Frame Relay Fragmentation Implementation Agreement*, Frame Relay Forum, 12/1997
- [39] FRF.11; *Voice over Frame Relay Implementation Agreement*, Frame Relay Forum, 05/1997
- [40] ITU G.821; *Error performance of an international digital connection forming part of an integrated services digital network*, International Telecommunication Union, Geneva, Switzerland 1993
- [41] ITU H.225.0; *Media stream packetization and synchronization on non-guaranteed quality of service LANs*, International Telecommunication Union, Geneva, Switzerland 11/1996
- [42] ITU G.126; *Listener echo in telephone networks*, International Telecommunication Union, Geneva, Switzerland 03/1993
- [43] ITU G.114; *One-way transmission time*, International Telecommunication Union, Geneva, Switzerland 02/1996
- [44] ITU G.729 Annex A; *Annex A: Reduced complexity 8 kbit/s CS-ACELP speech codec*, International Telecommunication Union, Geneva, Switzerland 11/1996
- [45] ITU G.729; *Coding of speech at 8 kbit/s using conjugate-structure algebraic-code-excited linear-prediction (CS-ACELP)*, International Telecommunication Union, Geneva, Switzerland 03/1996
- [46] ITU H.323; *Visual telephone systems and equipment for local area networks which provide a non-guaranteed quality of service*, International Telecommunication Union, Geneva, Switzerland 11/1996
- [47] IEEE 802.9f standard; *Remote Terminal Line Power for IEEE 802.9a ISTE*, IEEE, New York 1996
- [48] IEEE 802.9e standard; *ATM Cell Bearer Mode for IEEE 802.9a ISTE*, IEEE, New York 1996
- [49] IEEE 802.9b standard; *Functional Specifications of AU to AU Interworking*, IEEE, New York 1996
- [50] IEEE 802.9a standard; *Specifications of ISLAN16-T*, IEEE, New York 1995

SEZNAM UPORABLJENIH KRATIC

Kratica	Pomen	Prevod
AAL	ATM Adaptation Layer	ATM prilagodilna plast
ABR	Available Bit Rate	Razpoložljiva bitna hitrost
ADPCM	Adaptive Differential Pulse Code Modulation	Adaptivna diferencialna impulzno kodna modulacija
ANSI	American National Standards Institute	Ameriški narodni inštitut za standardizacijo
APCM	Adaptive Pulse Code Modulation	Adaptivna impulzno kodna modulacija
ATM	Asynchronous Transfer Mode	Asinhroni način prenosa
B-ISDN	Broadband ISDN	Širokopasovni ISDN
CBR	Constant Bit Rate	Stalna in nespremenljiva bitna hitrost
CDDI	Copper Distributed Data Interface	Bakreni porazdeljeni podatkovni vmesnik
CELP	Code Excited Linear Prediction	Kodno vzbujana linearna predikcija
CS	Convergence Sublayer	Konvergenčna podplast
DNS	Domain Name Server	Ime domenskega strežnika
DoD	Department of Defence	Ministrstvo za obrambo
DoD	Department of Defence	Ministrstvo za obrambo
DPCM	Differential Pulse Code Modulation	Diferencialna impulzno kodna modulacija
DQDB	Distributed Que Dual Bus	Dvojno vodilo s porazdeljeno čakalno vrsto
DTE	Data Terminal Equipment	Podatkovna terminalska oprema
ETSI	European Telecommunication Standards Institute	Evropski inštitut za standardizacijo v telekomunikacijah
FDDI	Fiber Distributed Data Interface	Optični porazdeljeni podatkovni vmesnik
FDM	Frequency Division Multiplex	Frekvenčni multipleks
FTP	File Transfer Protocol	Protokol za prenos datotek
GSM	Global Sistem Mobile	Globalni sistem mobilne telefonije
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	Inštitut inženirjev elektrotehnike in elektronike
IETF	Internet Engineering Task Force	Skupina za razvoj Interneta
IP	Internet Protocol	Internetni protokol
ISDN	Integrated Services Digital Network	Digitalno omrežje z integriranimi storitvami
ISLAN	Integrated Services LAN	Krajevno omrežje z integriranimi storitvami
ISO	International Standards Organisation	Mednarodna organizacija za standardiz.
ISTE	Integrated Services Terminal Equipment	Terminalna oprema z integriran. storitvami
ITU	International Telecommunication Union	Mednarodna zveza za telekomunikacije
LAN	Local Area Network	Krajevno omrežje
LAPB	Link Access Protocol Balanced	Uravnoteženi protokol dostopa do povezave
LLC	Logical Link Control	Nadzor navideznih povezav
LPC	Linear Prediction Coding	Kodiranje z linerno predikcijo
MAC	Medium Access Control	Nadzor dostopa do medija
MAN	Metropolitan Area Network	Mestno omrežje
MLPC	Multipulse Linear Prediction Coding	Večpulzno vzbujana linearna predikcija
MOS	Mean Opinion Score	Povprečna ocena
N-ISDN	Narrowband ISDN	Ozko pasovni ISDN
NNI	Network to Network Interface	Vmesnik med omrežji
NRZI	Non-Return to Zero Inverted	Modulacija brez povratka na ničlo - invertirana
NT	Network Termination	Omrežna zaključitev
OSI	Open System Interconnection	Povezovanje odprtih sistemov
PCM	Pulse Code Modulation	Impulzno kodna modulacija
PDH	Plesiochronous Digital Hierarchy	Pleziohrona digitalna hierarhija
PVC	Permanent Virtual Circuit	Stalna navidezna povezava
QoS	Quality of Service	Kakovost storitve
RELPC	Residual Excited Linear Prediction	Linearna predikcija vzbujana z ostankom
RTP	Real-time Transfer Protocol	Protokol za prenos v realnem času
SAR	Segmentation And Reassembly	Členitev in ponovno sestavljanje
SDH	Synchronous Digital Hierarchy	Sinhrona digitalna hierarhija

SDM	Space Division Multiplex
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol
SVC	Switched Virtual Circuit
TCP	Transfer Control Protocol
TDM	Time Division Multiplex
TE	Terminal Equipment
UBR	Unspecified Bit Rate
UDP	User Datagram Protocol
UNI	User to Network Interface
VBR	Variable Bit Rate
VC	Virtual Circuit
VC	Virtual Circuit
VC	Virtual Connection Identifier
WAN	Wide Area Network
WDM	Wavelength Division Multiplex

Prostorski multipleks
Preprosti protokol posredovanja sporočil
Preklapljana navidezna povezava
Protokol za nadzor prenosa
Časovni multipleks
Terminalna oprema
Nedoločena bitna hitrost
Uporabniški datagramski protokol
Vmesnik med uporabnikom in omrežjem
Spremenljiva bitna hitrost
Navidezna povezava
Oznaka navidezne povezave
Omrežje velikega dosega
Valovnodolžinski multipleks