

Univerza v Ljubljani

Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo

Tomaž Zajc

Klicni modemi

Zaključna naloga

Mentor: Doc. dr. Sašo Tomažič

V Ljubljani, junij 1995

Zahvala

Za usmerjanje in svetovanje pri izdelavi zaključne naloge se zahvaljujem svojemu mentorju, doc. dr. Sašu Tomažiču, dipl. ing. .

Sodelavcem Laboratorija za komunikacijske naprave se zahvaljujem za strokovno pomoč in praktične nasvete. Profesorjem in asistentom Fakultete za elektrotehniko in računalništvo se zahvaljujem za posredovano znanje.

Iskreno pa se zahvaljujem tudi svojemu dekletu za vzpodbujanje in svojim staršem, ki so mi študij omogočili.

Povzetek

Razumevanje delovanja modema je pogojeno z osnovnim poznavanjem modemskega okolja, ki je podano v poglavju 2. Okolje je predstavljeno glede na vrstni red prenosa signala. Najprej opisujemo oblikovanje izvora digitalne informacije in prilagajanje signala za serijski prenos prek modema v poglavju 2.1. Pri serijskem prenosu se pojavi težava določanja začetka in konca informacije, kar uredi sinhronizacija signala. Opisana je v poglavju 2.1.3 in 2.1.4. Nato je podan pregled fizične povezave modema z računalnikom ali terminalom prek RS-232C vmesnika v poglavju 2.2.

Priporočilo določa mehanske in električne povezave ter mesto prenosa posameznih podatkovnih in kontrolnih signalov. Ko povežemo računalnik in modem se v modemu signal primerno oblikuje (poglavje 2.3), za prenos po analogni telefonski liniji, ki najobsežneje vpliva na delovanje modema.

Na koncu signal pripeljemo do linije, ki ga njenim karakteristikam primerno popači. Parametri in lastnosti linije so opisani v poglavju 2.4, zaradi razumevanja popačenj pri sprejemu signala in načina delovanja posameznih tehnik v modemu.

V poglavju 3 so modemi razdeljeni najprej po načinu povezave z telefonsko linijo na akustične in direktno vezane. Naprej jih razdelimo po standardih in njim predpisanim hitrostim prenosa (poglavje 3.4). Hitrost in način prenosa sta odvisna od vrste modulacijske tehnike, ki je zaradi tega predstavljena v povezavi s standardi (poglavje 3.3) in ne v poglavju 2.4, pri oblikovanju signala v modemu.

Na koncu so predstavljeni inteligentni modemi (poglavje 3.5), ki nam omogočijo, z uporabo hitrih procesorjev, RAM in ROM integriranih vezij, kvalitetno kontrolo in korekcijo napak, kompresiranje podatkov ter preprosto komunikacijo z modemom na osnovi predpisanih ukazov.

Vsebina:

1	Uvod	5
2	Modemsko okolje	6
2.1	Podatkovne komunikacije	6
2.1.1	Izvor digitalnih podatkov	7
2.1.2	Oblikovanje signala v DTE za prenos preko modema	9
2.1.3	Asinhron prenos	10
2.1.4	Sinhron prenos	11
2.2	Vmesnik RS-232C / V.24	11
2.2.1	Karakteristike signala v RS 232 vmesniku	12
2.2.2	Asinhrono delovanje	12
2.2.3	Kontrolni signali	14
2.2.4	Sinhrono delovanje	15
2.3	Oblikovanje signala v modemu	16
2.3.1	Kodirnik	17
2.3.2	Premešalnik / Odmešalnik	18
2.3.3	Izenačevalnik	19
2.3.4	Izločanje oddajnega signala in odboja	21
2.3.5	Modulator, ojačevalnik in filter	21
2.3.6	Moč signala	22
2.4	Komunikacijski kanal	23
2.4.1	Vrste prenosnih poti	23
2.4.2	Osnovni parametri komunikacijskega kanala	24
2.4.3	Lastnosti komunikacijskega kanala	26
2.4.4	Načini prenosa signala med modemi	30
3.	Modemi	32
3.1	Delitev modemov	32
3.1.1	Akustični modemi	32
3.1.2	Direktno vezani modemi	33
3.1.3	Standardi za modeme	33
3.2	Modulacijske tehnike	34
3.2.1	AM	35
3.2.2	FSK	35
3.2.3	PSK	37
3.2.4	QAM in TCM	39

3.2.5	Nestandardne modemske tehnike	42
3.3	Standardi razdeljeni po hitrosti in načinu modulacije	44
3.3.1	Počasni modemi (V.21, V.22, V.23, V.26).....	44
3.3.2	Modemi srednjih hitrosti (V.27)	49
3.3.3	Hitri modemi (V.29, V.32, V.32bis, V.33, V.fast, V.34) ...	50
3.4	Inteligentni modemi	54
3.4.1	Kontrola in korekcija napak.....	55
3.4.2	Kompresija podatkov	57
4	Sklep	59
5	Literatura	60

1 Uvod

Temeljne osnove modema segajo skoraj stoletje v preteklost. Okoli leta 1919 so že izvajali poskuse prenosa digitalnega telegrafskega signala po analognih telefonskih vodih. Med eksperimentiranjem so spoznali da je hitrost prenosa podatkov zelo omejena s popačitvijo signala. Popačitve izvirajo iz nelinearnih fazno-amplitudnih karakteristik telefonskega kanala. Ti efekti so prisotni tudi pri govornih komunikacijah, vendar človeško uho ni občutljivo na ta popačenja.

Spoznanje teh problemov je vodilo do raziskave osnovnih teorij pri prenosu digitalnih telegrafskih podatkov po telefonski liniji v letih med 1919 in 1928. Iz teh raziskav so se pojavile tehnike za merjenje faznega popačenja in izenačevanja linij s takimi popačenji, ki so bile objavljene okoli leta 1930. Do začetka 50-tih let so izpopolnjevali tehniko.

S prihodom digitalnih računalnikov v 50-tih letih in kot posledica vojaških interesov po množični obdelavi podatkov na daljavo, se je pokazal velik interes uporabe telefonskih linij za prenos digitalnih podatkov. Največje raziskave so opravljali v Bell System Data Communication Products, ki je razvijal prve modeme. Kmalu se je pokazal interes na komercialnem področju in v začetku 60-tih let se je začela množična proizvodnja modemov za telefonske kanale.

Problem je nastal, ker so proizvajalci uporabljali različne tehnike modulacije in ostalih elementov. Dva modema lahko komunicirata med seboj samo z enakimi tehnikami, zato je bilo potrebno vpeljati standarde, ki so zmešnjavo nekoliko uredili. Standarde je začela sprejemati leta 1960 mednarodna organizacija CCITT (Commite Consultatif International Telecommunication Union), ki je del mednarodne zveze za telekomunikacije ITU (International Telecommunication Union). CCITT je pred nekaj leti prevzela ime ITU, katere del je. ITU razvija priporočila ali standarde za vmesnike, modeme in podatkovna omrežja.

Razvoj tehnologije je nato skokovito naraščal in uporabniki so zahtevali vse večje hitrosti, ki pa je pri analognih kanalih omejena, kot smo omenili. Proizvajalci so razvijali nove modulacijske tehnike za hitrejši prenos, ki pa velikokrat niso dale najboljših rezultatov, zaradi popačenj na linijah. Razvoj je izboljševal predvsem karakteristike linij, najprej z ročnimi izenačevalniki, nato z adaptivnimi. Veliko truda so vložili tudi v

primerno oblikovanje razporeditve točk signala. Pokazalo se je, da so nekatere razporeditve manj občutljive na popačenja.

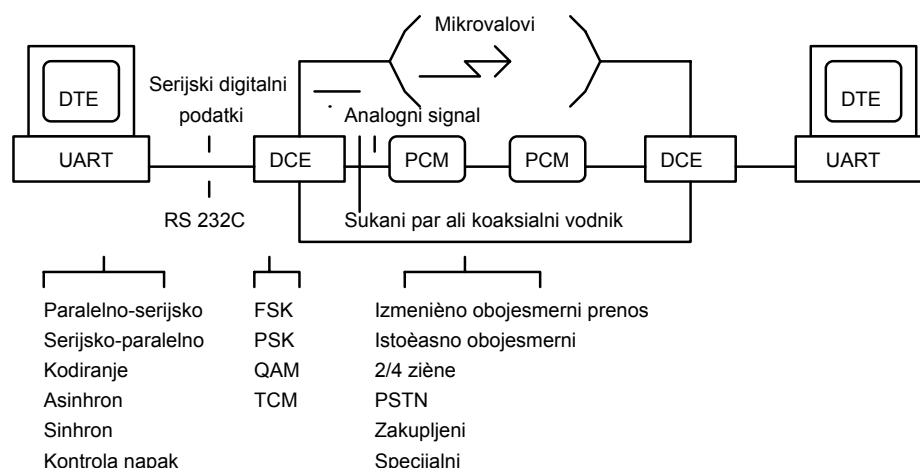
Na koncu 60-tih let so hitrost prenosa povečali na 9600 bps. V 70-tih letih se hitrost ni povečala zaradi zmanjšanja povpraševanja po njih. Uporabili so prve tehnike kodiranja, ki so ločeno izvajale kodiranje in modulacijo. Dosegli so samo kvaliteto nekodiranih modemov zato niso bili zanimivi. V 80-tih letih so razvili prve praktične tehnike kodiranja, ki združuje kodiranje in modulacijo. Dodali so kompleksne tehnike mehkega odločanja pri dekodiranju, kar je zmanjšalo napačno decezijo pri sprejemu in omogočalo povečanje hitrosti prenosa do 19. 2 kbps. V 90-tih letih pa so izpopolnili tehniko več dimenzionalnega Trellis kodiranja in dekodiranja ter dosegli hitrost celo do 28. 8 kbps po dvožični telefonski liniji z modемом V.34.

2 Modemsko okolje

2.1 Podatkovne komunikacije

Modem se uporablja pri podatkovnih komunikacijah. Njihov izvor informacije je v digitalni obliki, prenašajo pa se z digitalnim ali analognim signalom. Zaradi vse večjega razvoja računalništva so se razširile podatkovne komunikacije, ki uporabljajo največje omrežje na svetu PSTN. Javno komutirano telefonsko omrežje PSTN (Publik Switched Telephone Network) je bilo postavljeno analogno in se počasi digitalizira. Za neposredni prenos diskretnih digitalnih signalov, takih ki prihajajo iz računalnikov, vodi za prenos analognih signalov običajno niso primerni. Frekvenčni spekter digitalnih signalov je namreč različen od nič okoli frekvence 0 Hz. Vodi za prenos analognih signalov niso sposobni prenašati signala v tem frekvenčnem območju. Poleg tega se pri kovinskih vodih pojavi slabljenje frekvenc, ki oblikujejo pravokotni digitalni signal (poglavje 2.4.3). Prenos digitalnega signala preko vodov za analogne signale je torej možen le na tak način, da z diskretnim digitalnim signalom moduliramo enega ali več analognih, frekvenčno čistih signalov. Z modulacijo digitalni signal prestavimo v višje frekvenčno območje, kjer ga lahko tudi analogno prenašamo. Na sprejemni strani signal demoduliramo in pretvorimo nazaj v diskretni digitalni signal.

Napravo, ki ustrezno modulira digitalni signal, za prenos po analognemvodu imenujemo MODEM (modulator / demodulator). Takoj lahko opazimo, da za prenos digitalnih signalov po analognih vodih potrebujemo modem tako na oddajni kot tudi na sprejemni strani. Pri tem morata oba modema podpirati enak način modulacije, enako hitrost prenosa informacije in še kaj. Podrobnejši opis si bomo ogledali kasneje, zdaj si oglejmo še nekaj stvari, ki se navezujejo na sistem podatkovnih komunikacij. Sistem je lahko preprosta povezava med računalnikom in oddaljenim terminalom, lahko pa je povezava med centralnim računalnikom (host computer) in več terminali, kot so npr. omrežja. Banke in Pošta so lep primer, kjer so vse podružnice v mestu povezane z glavnim računalnikom. Najprej raziščimo kako poteka prenos podatkov med dvema računalnikoma.



Slika 2-1 Preprost prikaz povezave dveh DTE pri podatkovnih komunikacijah

Kjer je:

DTE (Data Terminal Equipment) je računalnik ali terminal. Predstavlja izvor in ponor informacije.

DCE (Data Communication Equipment) je modem in pripadajoča oprema, ki omogoča povezave.

FSK, PSK, QAM, TCM so modulaijske tehnike razložene v poglavju 3.3

PCM je impulzno kodni modulator, ki pretvarja analogni signal v 64 kb/s digitalni zapis.

2.1.1 Izvor digitalnih podatkov

Razvoj osebnih računalnikov je pripomogel k izboljššanemu shranjevanju, prenosu in obdelovanju podatkov v DTE. Bistvo računalnika pa se ni spremenilo. Izvor podatkov je v digitalni obliki, ki zaradi svoje preprostosti nudi različne možnosti delovanja. Predvsem omogoča hitrejše, lažje, boljše in zmogljivejše delo. Z besedo digitalni podatki ali digitalna oblika imamo v mislih binarne podatke ali obliko. Podatkovni znaki so predstavljeni z nizom binarnih digitov (bitov). Bit je predstavljen z logično 1 ali logično 0. Tako kot so desetiška števila predstavljena z števili od 0 do 9, so binarni znaki (črke, števila, kontrolni znaki) predstavljeni z binarnimi števili. Binarna števila imajo na najnižji stopnji vrednost 1 in potem mnogokratnik števila 2. Večinoma uporabljajo računalniki za predstavljanje posameznih znakov ASCII kodo.

Z uporabo enake kode v različnih vrstah računalnikov zagotovimo pravilno razumevanje znaka pri prenosu ali obdelavi podatkov. Poglejmo si nekaj osnov o tej kodi.

ASCII koda

Znaki, črke in števila v računalniku so predstavljeni z ASCII (American Standard Code for Information Interchange) kodo. Za določitev vsakega znaka se uporablja binarno število s 7 biti. Predstavimo lahko 128 znakov. Pri nekaterih novejših računalnikih uporabljajo razširjeno 8 bitno ASCII kodo, ki omogoča 256 znakov. Vsi računalniki ne prepoznajo teh znakov. V računalniku se prenašajo znaki v obliki binarnega signala, sestavljenega iz osmih bitov ali zloga (byte). Sedmim podatkovnim bitom se doda namreč še paritetni bit (glej binarni signal). Za ASCII kodo se pri asinhronem prenosu priporoča soda pariteta. Pri razširjeni 256 znakovni ASCII kodi se paritetni bit ne

uporablja, saj je znakovnih bitov 8. Računalnik obdeluje znake kot binarna števila. Velika črka A je predstavljena v ASCII kodi z binarno številko 1000001 (desetiško 65). Vsak računalnik na ta način lahko prepozna binarni signal kot črko A, naj jo sprejme iz modema ali tipkovnice. Od skupnih 128 znakov se jih uporablja 32 za krmiljenje in 96 za same informacijske znake. Informacijski znaki vsebujejo 52 znakov za male in velike črke mednarodne abecede, 32 za številke in ločila (med njimi je nekaj takih, ki jih lahko zamenjamo s specifičnimi črkami nekaterih narodov). Med krmilnimi znaki naj omenim 10 znakov za krmiljenje prenosa: SYN, ACK, NAK, EOT, STX, ETX, SOH, ETB, DLE, ENQ.

Poleg ASCII kode se v računalnikih uporablja tudi razširjena 8 bitna IBM-ova EBCDIC (Extended Binary Coded Decimal Interchange Code). Srečevali jih bomo pri sinhronem prenosu in potrjevanju pravilnosti prenosa.

Bitna in simbolna hitrost

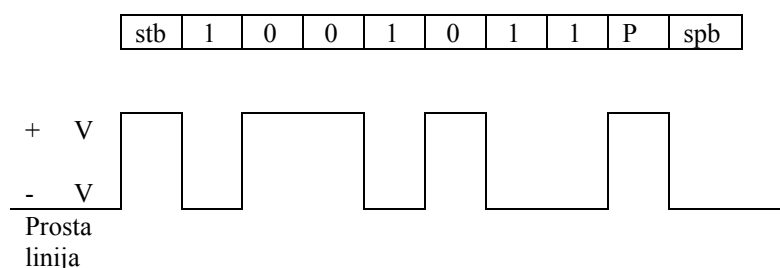
Bitna hitrost se meri v bps (bits per second) in predstavlja količino bitov prenešenih v vsaki sekundi. Hitrost prenosa podatkov neke naprave se meri v bps.

Simbolna hitrost (baud rate) predstavlja število sprememb stanj signala. Če se signal, ki ga oddaja modem spreminja za vsak vhodni bit, potem je $1 \text{ bps} = 1 \text{ baud}$. Kadar pa ena sprememba stanja signala predstavlja tri bite, je bitna hitrost trikrat večja od simbolne.

Binarni signal

Znotraj računalnika vsak niz bitov predstavlja samostojen znak, ki je sestavljen iz 8 bitov, torej iz zloga. Pri prenosu podatkov se vsak zlog pošilja kot binarni signal. Sestavljen je iz pozitivnih in negativnih napetostnih nivojev, ki predstavljajo logično 0 in 1, torej posamezen bit (slika 2-2). Negativni nivo predstavlja binarno 1 in pozitivni binarno 0.

Poleg podatkovnih in paritetnega bita (P) se pri serijskem prenosu, kakršen je podatkovni, doda še start (stb) in stop (spb) bita. Služita za določanje začetka in konca znaka v sprejemniku. Paritetni, start in stop bit bomo opisali v naslednjem poglavju 2.1.2, saj so povezani z načinom prenosa signala.



Slika 2-2. Binarni signal in pripadajoči napetostni nivo

2.1.2 Oblikovanje signala v DTE za prenos preko modema

Najprej se vprašamo za računalnikova vrata (port) prek katerih poteka oddaja ali sprejem podatkov prek modema in v kakšni obliki so podatki na njih, saj zagotavljajo električno povezavo z modemom. Vrata vsebujejo konektorje v obliki nožic (moški konektor) ali lukenj (ženski). Za priklop na računalnik rabimo ženski konektor. Imamo paralelna in serijska vrata, kot je prenos podatkov. Za podatkovni prenos prek modema se uporabljajo serijska vrata.

V računalniku se znaki prenašajo paralelno, vseh osem bitov naenkrat, kar omogoča nedvoumno razumevanje znaka in veliko hitrejšo obdelavo. Tak prenos se koristi tudi pri delu z nekaterimi perifernimi enotami kot je ekran, tipkovnica, printer. Z paralelnimi vratmi računalnika prenaša in sprejema podatke preko najmanj osmih žic, saj mora prenašati vseh 8 bitov naenkrat. Paralelna vrata se redko uporabljajo pri podatkovnih komunikacijah, saj je telefonsko omrežje dvo ali štiri žično. Zato mora računalnik poskrbeti za pretvarjanje signala iz paralelne v serijsko obliko in obratno pri sprejemu. Integrirano vezje vgrajeno v računalniku za pretvarjanje se imenuje UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter).

Splošni asinhroni sprejemnik in oddajnik UART

Za razumevanje delovanja UART-a se moramo ustaviti pri največjem problemu, ki nastane pri serijskem prenosu podatkov, to je pri sinhronizaciji. Pri paralelnem prenosu se vseh osem bitov prenese naenkrat in ni nejasnosti glede začetka ter konca znaka. Vendar se težava pojavi pri serijskem prenosu v sprejemniku, saj se vsak bit prenaša posamezno. Nejasnost uredimo s sinhronizacijo, ki poskrbi, da sprejemnik gleda vrednost bita v istih trenutkih kot oddajnik. Sinhronizacijo lahko dosežemo na dva načina: z asinhronim in sinhronim prenosom, ki ju bomo razložili v naslednjem podpoglavju.

Vrnimo se k UART-u za katerega sedaj lahko povemo, da je asinhron serijski adapter. Omogoča asinhron prenos podatkov med DTE in DCE (modemom), kjer se vsak znak prenaša posebej in se mu doda start in stop bit poleg paritetnega bita, ki je del znaka. Poleg tega mora UART pretvoriti tudi napetostne nivoje signala, ki so določeni za RS-232C vmesnik med DTE in DCE. Če bi napetostni nivoji ostali isti, kot so v računalniku obstaja nevarnost popačitve signala. Zato se napetostni nivo dvigne kot ga predpisuje RS-232C ali V.24 standard (poglavje 2.2).

Pri hitrih komunikacijah prek modema lahko UART predstavlja oviro, če modemu ne dovaja podatkov dovolj hitro. Modem ima zato vgrajene vmesne pomnilnike (buffer). Pri prenosu s hitrostjo 9600 bps in kompresijo podatkov lahko prenašamo z 19.2, 28.4, 38.4 in 57.6 kbps. Da modem lahko uspešno opravlja kompresijo zahteva dovajanje podatkov s hitrostjo 19.2 kbps, ki ga lahko omogoči le izboljšani UART 16550, UART 8520 pa ne. Novejši 16550 UART uporablja 16 zlogovne FIFO (first-in, first-out) medpomnilnike in je vgrajen v večino IBM PS /2, 3 in 80486 računalnikov. Vendar po možnosti, preverimo kateri tip je vgrajen.

Paritetni bit

Paritetni bit je najenostavnejši način za odkrivanje napak, s tem pa ni najbolj varen, saj opazi samo eno napako. Če se zgodita dve napaki se to ne opazi in sprejmemo napačen znak. Ker si pri podatkovnem prenosu prek modema prizadevamo za prenos brez napak,

v modemu uporabimo dodatno kvalitetnejšo kontrolo napak (glej kontrola in korekcija napak poglavje 3.5.1). Med sabo sta metodi neodvisni. Poznamo sodo (even) in liho (odd) pariteto ter mark in space, ki pa se zelo malo uporablja in ju ne bomo omenjali. V skoraj vsakem programu se da določiti vrsto paritete.

Paritetni bit se določa na osnovi seštevka enic v znaku po modulu 2. Seštevka mora biti pri sodi pariteti sodo, pri lihi pa liho število. Drugače računalnik doda enico da izpolni pogoj. Kot primer vzemimo veliko črko C, ki ima ASCII znak 1000011P. Seštevka enic je liho število, zato pri sodi pariteti dodamo enico $P=1$, pri lihi pariteti pa je $P=0$.

Sprejemnik sešteje enice in preveri paritetni bit. Če se ne ujemata, sporoči oddajniku naj ponovi prenos tega znaka. Sporazumevanje mora podpirati programska oprema z ACK in NAK kontrolnimi znaki. Večina sistemov, ki uporabljajo 7 bitov za znak, uporablja sodo pariteto. Pri 8 bitni (razširjena 256 znakovna ASCII in EBCDIC koda) predstavitvi znaka se paritetni bit ne uporablja.

Start in Stop bita

Pri asinhronem prenosu je čas med pošiljanjem posameznih znakov različen. Zaradi tega sprejemnik ne ve, kdaj naj gleda nek znak. To se reši s postavitvijo posebnih start in stop bitov.

Start bit označuje začetek novega znaka. Ker je mirovno stanje na liniji, ko modem ne oddaja, ekvivalentno logični "1" ali negativni napetosti, mora biti začetni start bit logična "0" ali pozitivna napetost (slika 2-2). Ko pride signal pozitivne napetosti do modema pomeni, da se je začel prenos znaka. Da bi modem vedel, kdaj je konec, računalnik doda stop bit na konec znaka ali za paritetnim bitom, če je uporabljena paritetna kontrola. Stop bit je enak prosti liniji in je negativnega napetostnega nivoja. Večina sistemov uporablja en stop bit, nekateri tudi dva.

2.1.3 Asinhron prenos

Asinhron prenos je nepovezan prenos posameznih znakov, ki jih opremimo z start, stop in po možnosti še z paritetnim bitom.

Njihove naloge smo že opisali in jih ne bomo ponavljali. Start bit vsakič znova požene sprejemnikovo uro in zato ni pomembno kdaj je oddajnik ta znak oddal. Sinhronizacijo dosežemo tako, da obe interni uri delata v predpisanih tolerancah (3% trajanja bita), vendar neodvisno druga od druge. Obe uri startata z start bitom z istega mesta in končata pri stop bitu. Če pride do zamika med urama, se pri naslednjem znaku izravna, saj obe pričneta zopet z start bitom. Tako se napaka ne prenaša naprej. Asinhron prenos izgubi približno 20% bitov za sinhronizacijo in je primeren za počasnejši prenos podatkov.



Kratice:

STB - start bit

STP - stop bit

Slika 2-3 a) Asinhron prenos b) Sinhron prenos

SYN - sinhronizacijski ASCII znak

2.1.4 Sinhron prenos

Sinhroni prenos zahteva nepretrgan prenos bitov. Posamezne znake ne prenašamo ločeno, ampak jih oblikujemo v okvir po npr. 128 zlogov, ki jim dodamo še sinhronizacijske, krmilne znake, in bite za kontrolo napak. Oblikovanje okvirjev določajo protokoli kot so BSC, SDLC, HDLC in drugi. Znakom se ne dodaja start in stop bitov, saj se zberejo v skupino, okvir. Nastopi problem sinhronizacije oddajnega in sprejemnega modema ali računalnika.

Asinhronem prenos doseže sinhronizacijo z start/stop bitoma. V času, ko na liniji ni znaka, ni potrebe sinhronizacije interne ure. Takrat sta uri oddajnika in sprejemnika povsem neodvisni med seboj.

Pri sinhronem prenosu imamo nepretrgan bitni prenos in če oddajnik ter sprejemnik ne bi sinhronizirala svoji interni uri, bi sprejemnik vse pomešal. Za pravilen pretok podatkov moramo uporabljati tudi primeren protokol, ki predpisuje hitrost, način prenosa, kontrolo napak in še marsikaj. Poznamo znakovno in bitno orientiran sinhron prenos. Znakovno orijentiran prenos je starejši in uporablja ASCII krmilne znake (SYN) za omogočanje sinhronizacije. Novejši bitno orientiran prenos uporablja zastavice (flag). Na začetku pred prenosom podatkov oddajnik odda sinhronizacijske znake, na podlagi katerih se sprejemna interna ura naravna na hitrost, ki je določena. Če med prenosom zmanjka podatkov se prazen prostor zapolni s sinhronizacijskimi SYN znaki.

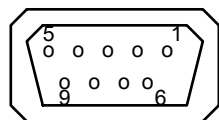
Omenili smo, da večina računalnikov uporablja UART integrirana vezja za pretvarjanje iz paralelnega v serijski prenos po žici. UART je asinhron pretvornik in podatkovnim bitom doda start/stop bita. DTE ne more komunicirati sinhrono prek tega vezja. Za sinhron prenos mora imeti vgrajeno posebno vezje, ki omogoča sinhrona vrata. Poleg tega moramo imeti tudi sinhrone (BSC) vmesnike. Imajo pa nekateri modemi realiziran sinhron prenos med seboj, medtem ko iz DTE sprejemajo asinhrone podatke prek UART-a in vmesnika RS-232C. Asinhronim podatkom odvzamejo start/stop bita, oblikujejo okvir in dodajo pripadajoče kontrolne znake.

2.2 Vmesnik RS-232C / V.24

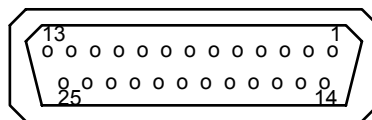
DTE/DCE vmesnik omogoča prenos podatkov med računalnikom in modemom. Povezava med DTE in DCE je nekakšna osnova komunikacije pri vseh tipih naprav. Zato je interes vseh proizvajalcev izenačitev fizične oblike vmesnikov pripeljal do standarda RS-232, ki ga je sprejelo ameriško združenje EIA (Electronics Industries Association) leta 1969. Zelo podoben je evropski standard V.24, ki ga je sprejel CCITT.

RS (Recommended Standard) je kratica za priporočen standard, 232 je številka posameznega standarda in C pomeni popravljena izdaja standarda. Uradno ime standarda je zelo dolgo (Interface between Data Terminal Equipment and Data Communication Equipment Employing Serijal Binary Data Interchange) in se ga v praksi ne uporablja. Priporočilo predpisuje električne in mehanske karakteristike vmesnika. Uporablja priključek s 25 (DB-25) ali z 9 (DB-9) nožicami. Take oblike morajo biti tudi vrata v DTE in DCE (slika 2-4). V dodatku se določa da DCE (modem) uporablja ženski in DTE moški konektor. Problem nastopi, če ima DTE DB-25 konektor DCE pa DB-9. Takrat uporabimo pretvornik, ki ga vsi proizvajalci ne dajo zraven modema. Kabel med konektorji je lahko zvit ali trakast (ribbon).

Priporočilo določa tudi funkcijo vsake nožice (pina) na konektorju in v katerem tokokrogu (v DTE ali DCE) se zaključuje. To pomeni, da določa ali teče signal v modem ali iz njega. Modem potem preverja nožice, kjer sprejema ukaze in podatke. Za povezavo usklajenega delovanja med DTE in DCE se uporabljajo kontrolni signali.



DB - 9 konektor



DB - 25 konektor

Slika 2-4 9 in 25 polna vtičenica za vmesnik RS-232C.

Standard RS-232C se lahko uporablja za asinhron in sinhron prenos. Asinhron prenos zahteva 9 do 12 nožic ali povezav, sinhron pa od 12 do 16 nožic.

2.2.1 Karakteristike signala v RS 232 vmesniku

V tabeli 2-1 so predstavljeni napetostni nivoji za pripadajoče funkcije podatkovnih in usklajevalnih (kontrolnih) signalov na liniji.

Podatkovna linija		kontrolna linija	
logična 1	logična 0	OFF	ON
znak (mark)	presledek (space)	nizek nivo	visok nivo
Napetost:			
- 3V -15V	+3V +15V	-3V -15V	+3V +15V

Tabela 2-1 Napetostni nivoji za podatkovne in kontrolne signale.

Omeniti velja, da uporablja vrednosti 25V razširjen RS-232D standard, ki je bil sprejet leta 1987 (RS-530) za hitrejši prenos. Uporablja 25 nožični (DB-25) konektor. Vendar so razlike majhne tako, da bomo opisali samo enega.

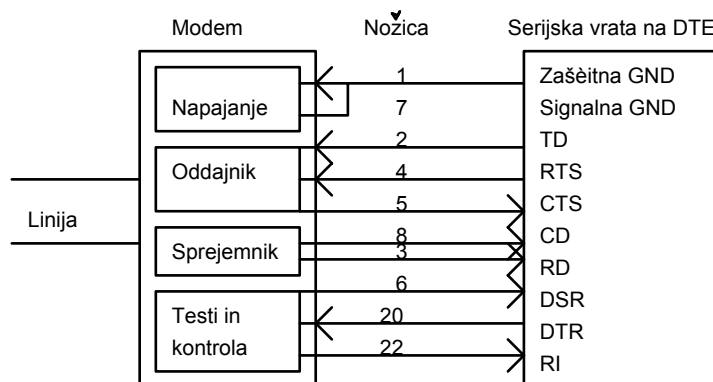
Signal je aktiven v ON položaju z napetostjo med +3V in +15V in neaktiven v položaju OFF z napetostjo med -3V in -15V. Prav tako je s prvo vrednostjo napetosti predstavljena logična "1" in z drugo logična "0". V praksi nekateri proizvajalci uporabljajo vrednosti 5V in drugi 12V. Vendar se priporoča, da pri razdalji nad 6m uporabljamo vmesnik, ki uporablja napetostni nivo 12V. Predvsem zaradi možnih popačenj signala, kot smo omenili pri UART vezju, ki prav zato dvigne napetostni nivo signala. Najdaljša dolžina RS-232 kabla je omejena na 15.25 m (50 foot) zaradi kvalitete signala. Pri prenosu okoli 20000 bps pa je priporočena največja dolžina DTE/DCE vmesnika med 1.83 m (6 feet) in 3.66 m (12 feet).

Tabela, kjer so prikazane oznake in smeri signalov na posameznih nožicah, je predstavljena v literaturi [2].

Za lažje razumevanje vmesnika in tabele si oglejmo povezavo asinhronnega DTE (računalnika ali terminala) z asinhronim modemom. Pozneje bomo lažje razumeli sinhrono delovanje.

2.2.2 Asinhrono delovanje

Povezave potrebne za asinhrono delovanje so prikazane na sliki 2-5. Asinhron prenos je počasnejši in se zanj uporablja počasnejše (low-speed) modeme. Za tak prenos je potrebnih 9 žic, če povežemo signalno in zaščitno maso skupaj (slika 2-5), drugače 10 žic. Zato 25 žični vmesnik pri asinhronem prenosu ni nujno potreben. Pri množični DTE/DCE povezavi je tudi cenejši 9 žični vmesnik.



Slika 2-5 Primer DTE/DCE vmesnika za asinhron prenos

Poglejmo delovanje in namen posameznih tokokrogov:

št. nožice, kratica signala, prevod

01 GND (Protective Ground): Zaščitna ozemljitev

Ta tokokrog varuje ohišje nepričakovanih napetostnih sunkov in šuma.

07 SG (Signal Ground): Signalna ozemljitev

Vod signalne mase mora biti povsod prisoten. Napetost na njemu je 0V in je osnova vsem ostalim vrednostim napetosti podatkovnih ali kontrolnih signalov. GND in SG pri modemu povežemo skupaj.

02 TD (Transmitted Data): Prenos podatkov

Služi za prenos podatkov iz serijskega asinhronnega izhoda na DTE do modema. Ko se podatki ne prenašajo, je v stanju znaka (logične 1) in zato je na negativnem napetostnem nivoju. Za začetek prenosa prek te nožice morajo biti vključeni RTS, CTS, DSR in DTR signali.

04 RTS (Request To Send): Zahteva za prenos

Ko želi DTE poslati podatke vključi s pozitivno napetostjo RTS signal. To je zahteva za pošiljanje. Pred prenosom mora od modema sprejeti CTS signal na nožici 5. Pri asinhronem delovanju modema program ohranja RTS signal ves čas aktiven, da se lahko podatki prenašajo nepovezano. Signal lahko služi tudi za kontrolo pretoka podatkov med modemom in DTE. Vendar mora komunikacijski program uporabljati strojno kontrolo pretoka "hardware flow control". Modemi uporabljajo tudi programsko kontrolo (xon/xoff). Če modem pošilja podatke DTE napravi hitreje kot jih le ta lahko obdela, potem program začasno "ugasne" RTS signal. Modem preneha s prenosom dokler se RTS ne vključi. zopet

05 CTS (Clear To Send): Pripravljen za prenos

S tem signalom modem sporoči računalniku, da je vklopil svoj analogni nosilni signal (carrier) in je pripravljen za prenos. Pri asinhronem prenosu je neprestano vklopljen. Prav tako kot RTS se CTS uporablja pri strojni kontroli pretoka. Če DTE prehitro pošilja podatke se signal CTS začasno izklopi (zniža na negativni nap. nivo).

08 CD (Carrier Detect): Zaznavanje nosilnega signala

Z njim modem sporoči, da je vzpostavil zvezo z oddaljenim modemom, ki je sprejel oddajni nosilni signal. Označuje se tudi z kraticami DCD, RLSD. Signal nam pove ali je zveza vzpostavljena, zato je tudi prisoten na displayu ali led diodi, na sprednji strani modema. Če med prenosom neha svetiti, pomeni, da se je zveza prekinila.

03 RD (Receive Data): Sprejem podatkov

Po opravljeni demodulaciji modem pošlje podatke prek te nožice ali tokokroga. Napetosti za vrednosti logične 1 ali 0 sta prikazane v tabeli 2-1

Če podatkov ne pošilja, je tokokrog na negativni napetosti (-12V).

06 DSR (Dataset Ready): DCE (modem) pripravljen

Signal sporoča DTE, da je modem priključen na napajanje in telefonsko linijo in da je pripravljen za delo.

20 DTR (Data Terminal Ready): DTE (računalnik ali terminal) pripravljen

DTE potrjuje da je vklopljen in pripravljen za delo. S tem tudi zahteva avtomatično povezavo modema s telefonsko linijo.

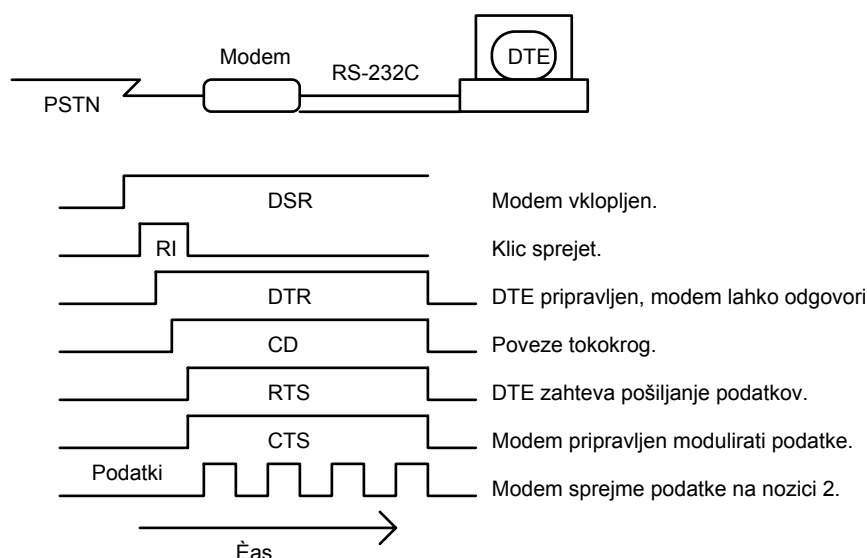
22 RI (Ring Indicator): kazalec zvonjenja

Uporablja se pri modemih z avtomatskim odzivom (autoanswer), da "zbudi" DTE, ko zazna klic. Po nožici 22 pošlje modem DTE signal RI, ki vključi DTR. Po sprejemu aktivnega DTR modem potem odgovori na klic, da je sprejel nosilec. Signal je 1 s aktiven in 4 s čaka.

2.2.3 Kontrolni signali

Signali na nožicah 4, 5, 6 in 20 so znani kot kontrolni ali usklajevalni (Handshaking) signali. Določajo potek komunikacije med modemom in DTE, prav tako pa tudi med oddajnim in sprejemnim modemom. Slika 2-6 prikazuje zaporedje kontrolnih signalov med sprejemnim modemom in DTE. Po vključitvi DCE in DTE ter opravljenemu klicu sledi:

1. Modem pošlje DSR signal DTE napravi in sporoči da je pripravljen.
2. Ponavljajoči klic vključi pri modemu napetost na nožici 22 (RI). DTE odgovori z DTR signalom. Nekateri računalniki imajo aktiven DTR takoj po priključitvi na napajanje, drugi pa šele po sprejemu RI signala. Sprejemni modem sporoči oddajnemu, da je pripravljen.
3. Klicni modem pošlje nosilni ton in tako poveže tokokrog z sprejemnim modemom preko PSTN.
4. Ob sprejemu nosilca modem vključi signal CD in sporoči DTE da je veza vzpostavljena.
5. DTE odda neko vrsto "pozdrava" oddaljeni napravi, ki začenja komunikacijo.
6. Začetek prenosa podatkov zahteva računalnik z RTS signalom, ki pa ga mora modem potrditi z CTS. Z njim modem sporoči da je pripravljen modulirati.
7. Sedaj lahko DTE oddaja podatke modemu prek nožice 2 in sprejema demodulirane podatke na nožici 3 računalnikovega vhoda.



Slika 2-6 Kontrolni signali med sprejemnim modemom in DTE.

2.2.4 Sinhrono delovanje

Za sinhrono komunikacijo potrebujemo sinhron DTE (računalnik ali terminal) z vgrajenim sinhronim komunikacijskim adapterjem. Izjema so "auto-sync" modemi, ki sprejemajo asinhrono podatke, jih zberejo v okvirje in prenašajo sinhrono. Najstarejši sinhron adapter je IBM-ov znakovno orijentirani BSC (Binary Synchronous Control), ki je pogosto vgrajen v računalnike. Nato mu sledijo novejši bitno orientirani:

- SDLC (Synchronous Data Link Control), IBM 1970
- HDLC (High Density Link Control), ISO 1977
- LAPB (Link Access Procedure Balanced), CCITT 1978
- LAPD (LAP za D kanal pri ISDN), CCITT 1984

Glavna razlika med asinhronim in sinhronim modemom je ura, ki jo zahteva sinhron prenos. Pri oddaji sinhron modem pošilja na nožici 15 pravokotni niz signalov s frekvenco, ki je enaka bitni hitrosti. Pravokotni niz predstavlja uro. Nekateri proizvajalci sinhronih modemov izločajo uro iz bočnega pasu sprejetega signala, vendar način ni določen z standardom. Uporablja se več metod, kar pripelje tudi do nezdržljivosti.

Kadar sinhroni modem sprejema signal, prek nožice 17 pošilja pravokotni niz svojemu DTE pri frekvenci, ki je enaka bitni hitrosti. Medtem se podatki prenašajo prek nožice 3. Lahko pa DTE določa uro in jo v tem primeru pošlje modemu po nožici 24. Pri sinhronem načinu lahko s tremi tokokrogi vplivamo na delovanje modema. Prvi tokokrog preverja kvaliteto linije, druga dva glede na kvaliteto uravnavata hitrost prenosa podatkov. Poglejmo si delovanje teh tokokrogov:

nožica 21 QD (Quality Detector): Detektor kvalitete

Tokokrog izključi (off) modem, kadar zazna verjetnost napake pri sprejemu signala, takrat pade kvaliteta pod določen nivo.

nožica 23 DSRS (Data Signal Rate Selector): Izbirnik hitrosti prenosa signala

Kadar inteligen DTE (osebni ali glavni rač.) zazna, da je nožica 21 daljši čas izključena lahko sam s pomočjo programa zmanjša prenosno hitrost modema.

Seveda, če modem lahko dela pri manjši hitrosti. Lahko pa tudi poveča hitrost prek nožice 23.

DTE zahteva prenos z vklopom RTS signala. Modem mu prenos odobri z CTS signalom. Med tem dogovarjanjem je časovna zakasnitev (20ms) in takrat oddajni modem generira

poseben niz bitov, ki se v sprejemnem modemu uporabi za sinhronizacijo. V odvisnosti od tipa modulacije, prenosne bitne hitrosti in kompleksnosti modema ura v sprejemnem modemu opravi sledeče:

1. omogoči nepretrgano povezavo in s tem vklop CD signala (CDC, RLSD)
2. vključi odmešalnik, ki se uporablja za izločanje ure
3. vključi avtomatski adaptivni izenačevalnik, ki kompenzira linijska popačenja
4. sinhronizira oddajni in sprejemni oscilator nosilne frekvence
5. sinhronizira oddajni in sprejemni oscilator ure
6. omogoči avtomatično kontrolo ojačanja AGC v vezju

Počasni modemi so ponavadi asinhroni in uporabljajo nezvezno FSK. Oddajni nosilec in ura sta neodvisna. Prav tako oddajna in sprejemna ura. Premešalnika in odmešalnika zato tu ne potrebujemo. Izenačevalniki niso adaptivni, ampak so kar ročno nastavljivi. Šele z razvojem adaptivnih avtomatskih izenačevalnikov in premešalnikov so lahko dosegali večje hitrosti. Že pri modemih s hitrostjo prenosa 2400 bps je pogoj sinhronizacija zaradi pravilnega določanja frekvence in faze nosilca. Zato je nujno potrebno izločanje ure v sprejemnem modemu. Sinhronizacija zahteva premešalnike/odmešalnike in avtomatske adaptivne izenačevalnike, ki si jih bomo ogledali pri oblikovanju signala v modemu za prenos po analogni telefonski liniji.

2.3 Oblikovanje signala v modemu

Osnovna naloga modema je oblikovanje binarnega ali digitalnega signala za prenos po frekvenčno omejenih analognih telefonskih linijah. Zato je bistvenega pomena, da poznamo vpliv analognih linij na digitalni signal in analogni signal moduliran z digitalnimi podatki. Komunikacijski kanal in linije so opisane v naslednjem poglavju zaradi vrstnega reda, ki smo ga prilagodili vrstnemu redu pretoka signala. Vendar je za razumevanje nekaterih komponent potrebno razumevanje same linije. Razna popačenja na liniji (slabljenje, zakasnitev - amplitudna in fazna popačenja ter drhtenje faze) vplivajo pri sprejemu signala in demodulaciji.

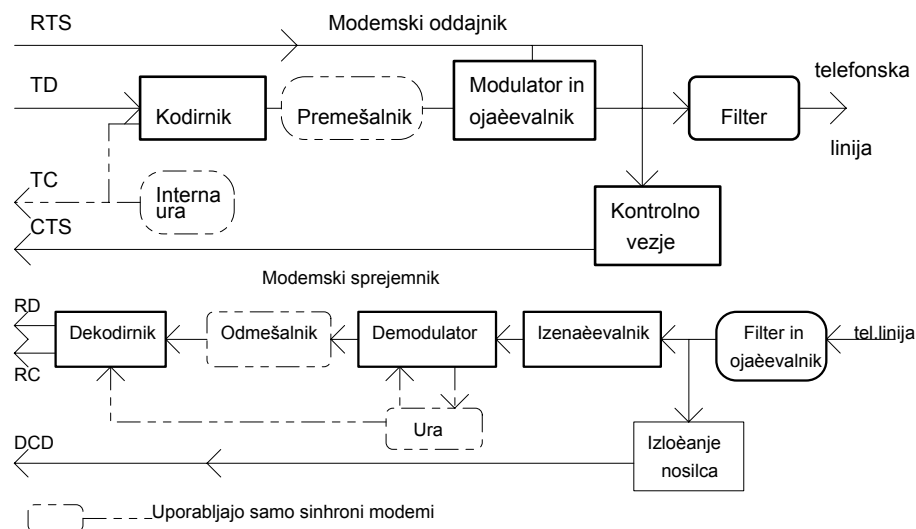
Kot smo že omenili je pri prenosu digitalnih signalov napaka veliko usodnejša kot pri analognem prenosu govora. Zato se v modemu predvsem poskuša odpraviti te napake na liniji. Več desetletij so se strokovnjaki ukvarjali z razvojem adaptivnih izenačevalnikov in ustreznih modulacijskih ter kodirnih tehnik, ki odpravljajo slabosti linije, s tem pa omogočajo kvalitetnejši in hitrejši prenos.

Osnovni sestavni deli modema

V najosnovnejšem pregledu je modem sestavljen iz napajalne enote (interni modem uporablja računalnikovo napajanje), oddajnika in sprejemnika. Napajalna enota pretvori izmenični tok iz omrežja v enosmeren, ki ji priskrbi napetost potrebno za delovanje modema. Enosmerni napetostni nivoji določajo vrednost bita, pri kodiranju pa potrebujemo tudi več različnih napetostnih nivojev, ki določajo amplitudo prenašanega nosilca v modulatorju. Na sliki 2-7 so predstavljeni osnovni sestavni elementi modema.

Modemski oddajnik sestavljajo kodirnik podatkov, premešalnik, modulator, ojačevalnik, filter, časovna enota in kontrolno vezje. Lahko že na začetku omenimo, da tip

modulacijske tehnike odločilno vpliva na izbiro ostalih elementov. Premešalnik in časovna enota, ki določa oddajno uro, se uporabljata le pri sinhronih modemih.



Slika 2-7 Osnovni elementi modema

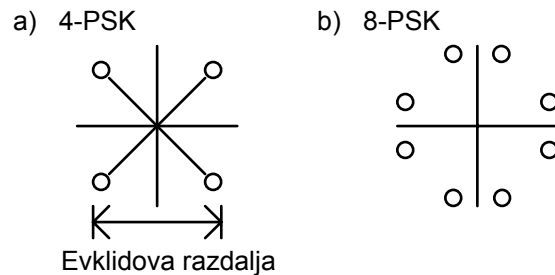
2.3.1 Kodirnik

Kodirnik se pri modemih uporablja kadar je stanje signala določeno z več kot enim bitom (dibit, tribit, quadbit). Pri modulaciji s frekvenčnim pomikom FSK bomo na primer videli, da neko stanje v katerem je signal določa samo en bit. Zato ga pri tej modulaciji ne rabimo, kar nam potrjuje, da tip modulacije določa izbiro elementov. Kodirnik v signal vnaša redundanco, ki jo uporabljamo za kontrolne (redundantne) bite.

Pri modemih so v začetku 70-tyh let uporabljali klasično kodiranje. Kodirnik je vnašal redundanco za kontrolo napak tako, da je generiral n izhodnih binarnih simbolov, ki so vsebovali m bitov vhodne informacije. Modulator je vsako n -torko binarnih signalov preslikal v eno od $M=2^n$ točk analognega signala. Taka modulacija se imenuje M -nivojska fazna ali amplitudna modulacija.

Posamezne točke signala v prostoru so izbrane tako, da je minimalna Evklidova razdalja čim večja. S tem je zagotovljena največja odpornost proti napakami pri prenosu preko linije. Evklidova razdalja je razdalja med sosednjima točkama v konstelacijskem prostoru signala (slika 2-8a). Pri sprejemu demodulator na osnovi sprejetega signala $y(t)$ izbere najbližjo točko izmed M možnih točk signala. Tak način odločanja točke signala imenujemo trdo odločanje (hard decision). Posledica tega načina prenosa signala je izgubljen del podatkov, ki ga sprejeti signal vsekakor vsebuje, le mi smo ga napačno določili.

Za lažjo predstavljanje si pogledjmo primerjavo z nekodiranim 4-PSK in kodiranim 8-PSK modulatorjem, ki so natančneje opisani pri standardih. Vsak imed 4 signalov v nekodiranem oddajniku nosi 2 bita informacije, kar pa velja tudi za kodirani 8-PSK, ki pa vsebuje tudi 1 kontrolni (redundantni) bit. Oba sistema nosita torej 2 bita informacije pri eni spremembi stanja signala.



Slika 2-8 Primer razporeditve signalnih točk za a) 4-PSK b) 8-PSK

Kot lahko vidimo na sliki 2-8 je pri 8-PSK večja gostota točk signala, zaradi česar je bolj občutljiv na popačenje. Pri istem razmerju S/N 4-PSK zagotavlja verjetnost napake reda 10^{-5} , nekodirani 8-PSK pa le 10^{-2} . Iz tega lahko izločimo, da bi kodirani 8-PSK sistem moral omogočiti korekcijo vsaj treh napak, da bi dosegel kvaliteto 4-PSK. Klasično kodiranje tega ne omogoča. Posledica kompleksnosti takega kodiranja je izločila modeme v 70-tih letih, ki so ločeno obravnavali kodiranje in modulacijo. Modemi so bili predragi, nerodni, poleg tega so dosegli le kvaliteto nekodiranih modemov. Nekonkurenčnost in previsoka cena je te modeme izrinila s tržišča.

Rešitev problema se ponuja sama po sebi z uporabo mehkega odločanja (soft decision) pri določanju stanja sprejetega signala. Dekodirnik na osnovi sprejetega signala izbere iz skupnega števila vseh možnih kodnih sekvenc tisto, ki odgovarja minimalni kvadratni Evklidovi razdalji in s tem minimalni vsoti kvadratov napak.

Če je sprejeti niz vsota oddajnega niza in šuma $y_k = x_k + u_k$ dekodirnik izbere tisti niz $\{x_k\}$, ki zadovoljuje pogoj:

$$\|y_k - \bar{x}_k\|^2 = \min_{\{x_k\}} \|y_k - x_k\|^2 \quad (2.1)$$

Za izvajanje tega pogoja se uporablja Viterbijev algoritem, ki se uporablja pri dekodiranju konvolucijskega kodiranja in je precej kompleksen. Za omejevanje števila možnih nizov se oddajnemu nizu doda redundantni bit. Ker je povečanje pasovne širine omejeno, je potrebno povečati osnovni nabor niza. Za tako kodiranje se uporabljajo konvolucijski trellis (mrežni) kodirniki, ki jih bomo omenili še pri modulaciji in standardih.

2.3.2 Premešalnik / Odmešalnik

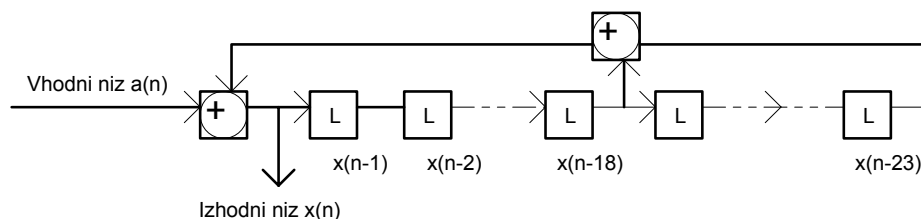
Premešalnik (Scrambler) se uporablja kot smo omenili pri sinhronih modemih, za omogočanje pridobivanja ure in uvažanja nekoreliranosti signala. Uro se lahko ločeno prenaša, ali pa se jo izloči kar iz takta samega signala. Zaradi gospodarnosti in različnih zakasnitev pri različnih frekvencah, kar lahko privede do razlike med urinim in podatkovnim signalom, se uro najpogosteje izloča iz samega signala. Postopek zahteva zadostno število prehodov med stanjema 0 in 1. Dolga zaporedja istega logičnega stanja (0 ali 1) so torej kritična za zanesljivo izločanje ure. Zato uporabimo premešalnik, ki zagotovi približno enako verjetnost pojavljanja vseh možnih stanj v kratkem časovnem intervalu.

Premešavanje binarnega signala izvedemo tako, da ga seštejemo po modulu 2 s psevdonaključnim nizom ali sekvenco. Izhodni podatkovni niz prevzame nato lastnosti psevdonaključnega niza, ne glede na statistične lastnosti vhodnega podatkovnega niza, ki

se lahko časovno zelo spreminjajo. V sprejemniku uporabimo odmešalnik, ki premešani niz ponovno sešteje po modulu 2 z istim psevdonaključnim nizom in dobimo:

$$a(i) \oplus b(i) \oplus b(i) = a(i) \oplus 0 = a(i) \quad (2.2)$$

Prvotni podatkovni niz dobimo nespremenjen nazaj. Generator psevdonaključnega niza je zaporedje pomičnih L celic s povratno vezavo. Povratna vezava je izvedena tako, da izhod posamezne celice preko ekskluzivnih ali (XOR) vrat pripeljemo na vhod prve celice. Izhodni signal dobimo iz katere koli celice, če pomikalni register vzbujamo s časovnim signalom. V našem primeru ga vzbujamo kar z samim podatkovnim signalom.



Slika 2-9 Premešalnik za standard V.32

Izhodni psevdonaključni niz je odvisen od začetnega stanja in povratne vezave. Povratna vezava določa dolžino niza. Vseh možnih stanj je 2^n , ker pa se prvo stanje preslika samo vase, je najdaljša dolžina niza $2^n - 1$ bitov.

Na sliki 2-9 je premešalnik določen s standardom V.32, ki poleg ostalega določa psevdonaključni generator relacije:

$$x_n = x_{n-18} \oplus x_{n-23} \quad (2.3)$$

Standard določa pomični register s 23 stanj, ki lahko generira $2^{23} - 1 = 8388607$ bitov. Izhodni niz pa dobimo z relacijo:

$$x_n = a_n \oplus x_{n-18} \oplus x_{n-23} \quad (2.4)$$

kjer so a_n vhodni podatkovni biti.

Premešalniki se ne uporabljajo samo za zagotavljanje ure pri sinhronem delovanju. Pri istočasno obojesmernem prenosu se v modemih uporablja izločevalnik odmeva, ki pri sprejemu izloči lasten oddajni signal. Težava nastopi, ko sta si oddajni in sprejemni signal podobna. Do izraza pride ponovno premešalnik, ki izloči podobnost (korelacijo) med oddajnim in sprejemnim signalom. Poleg opisanih nalog lahko premešalnik služi tudi za šifriranje podatkov. V tem primeru razvlečemo informacijo v mnogo širši frekvenčni prostor, kjer se informacija manifestira podobno kot šum. Razpozna jo lahko le uporabnik z inverznim postopkom odmešavanja.

2.3.3 Izenačevalnik

Izenačevalnik je izrazito povezan z lastnostmi prenosnega medija in ga opisujemo tudi pri izravnavi linijskih popačenj v naslednjem poglavju 2.4. Nazorno je prikazano kako odpravi popačenja z izravnavo le-teh. Do prepletanja signala, kar imenujemo tudi nastop intersimbolne interference - ISI, lahko pride zaradi prehitre simbolne frekvence. Stanje signala torej prehitro spreminjamo in na liniji pride do prekrivanja posameznih stanj, kar se v sprejemniku odraža v napačni detekciji signala. Popačenje je odkril Nyquist že leta

1927 pri proučevanju lastnosti kanala. Problem je reševal z omejevanjem simbolne hitrosti, kar bomo videli v naslednjem poglavju.

Do pojava intersimbolne interference lahko pride tudi zaradi nekonstantne frekvenčne karakteristike in zakasnitve komunikacijske linije. Pri prenašaju dveh tonov, ki predstavljata binarni znak, lahko zaradi različne zakasnitve med njima, drugi znak prehití prvega in napaka je tu. To se pozna predvsem pri modulaciji s frekvenčnim pomikom FSK (Frequency Shift Keying), ki se uporablja pri digitalnih komunikacijah. Pri fazni PSK (Phase Shift Keying) in kvadraturni QAM (Quadrature Amplitude Modulation) modulaciji so problematična amplitudna in fazna popačenja ter drhtenje faze (jitter) pri gostejšem konstelacijskem prostoru.

Prva oblika izenačevalnikov je vgrajena v kvalitetnejše linije že v samem telefonskem omrežju. Dodatno izenačevanje imajo modemi vgrajeno v napravi, saj prenašajo podatke po linijah z zelo različno kvaliteto, ki je odvisna tudi od dolžine povezave. Signal je pri bolj oddaljenih naročnikih vedno slabotnejši. Čeprav je na sliki izenačevalnik prisoten v sprejemniku, imamo dva možna načina uporabe izenačevanja:

- izenačevanje pri oddaji (pre-equalization)
- izenačevanje pri sprejemu (post-equalization)

Slabost izenačevalnika v oddajniku je neprilagodljivost razmeram na liniji, saj je ročno nastavljen (starejši). Nastavimo lahko izenačevanje:

- amplitude
- zakasnitve
- amplitude in zakasnitve

Učinkovitost nastavitve se kaže predvsem v verjetnosti pojavljanja napak BER (Bit Error Rate) pri sprejemu, ki naj bi bila dovolj majhna. Pri taki nastavitvi izenačevalnika je kvaliteta prenosa odvisna od dolžine prenosa. Pri majhni razdalji opravi izenačevalnik delo zelo učinkovito. Pri daljših zvezah prek več central pa seveda ne more predvideti vseh možnih popačenj.

Zato se največkrat izenačevalnike vgrajuje v sprejemnik, kjer avtomatično prilagajajo moč, zakasnitev in ostala popačenja na liniji. Uporabljajo se adaptivni izenačevalniki s povratnim odločanjem DFE (Decision Feedback Equalization), ki odpravljajo ISI in nam poleg tega ne ojačujejo šuma. Zaradi povratne vezave obstaja možnost ponavljanja napake, če se pojavi. Slabost so poskušali reševati s ponovnim vgrajevanjem izenačevalnika v oddajnik in ustreznim predkodiranjem, vendar zaradi presluha in nepredvidljivih popačenj na liniji ta sistem ni dal veliko boljših rezultatov.

Za nastavljanje adaptivnega izenačevalnika oddajni modem vedno pošlje poseben testni (training) signal pred spremembo smeri ali začetkom prenosa. Kvaliteta adaptivnega izenačevalnika se meri v hitrosti nastavitve izenačevalnika in nato vzpostavljanja sinhronizacije.

Razvoj izenačevalnikov je bistveno pripomogel k povečanju hitrosti prenosa podatkov. Za povečanje hitrosti prenosa je potrebno, kot bomo videli, povečati osnovni nabor bitov, ki predstavljajo stanje signala. Poveča se število možnih točk v prostoru signala in zgosti konstelacijski prostor. Večja gostota pomeni večjo občutljivost na popačenja tako, da pri 14400 bps že drhtenje faze povzroča napačno določanje vrednosti podatkov. Tako je za omogočanje čim večje hitrosti potrebno zelo kvalitetno izravnavanje linijskih popačenj.

V 50-tih letih so dosegli hitrost 300 in 1200 bps z asinhronim FSK modenom (Bell 103, 202) brez izenačevalnika. V 60-tih so razvili sistem z fiksnim izenačevalnikom in hitrostjo 2400 bps (Bell 201). Z ročno nastavljivim izenačevalnikom so izločili amplitudna in fazna popačenja ter dvignili hitrost prenosa na 4800 bps. Z adaptivnim

izenačevalnikom so uspeli priti do 9600 bps, vendar pa se je zaradi drhtenja faze pojavljalo preveč napak in so se lotili še tega problema.

Z uporabo premešalnika, adaptivnega izenačevalnika, avtomatske kontrole ojačanja AGC (Automatic Gain Control), hitre fazno ujete zanke PLL za odpravo drhtenja faze in uporabe 16 QAM modulacije so dosegli zanesljiv prenos na 9600 bps.

Naslednja stopnja razvoja se pokaže v 80-tih letih, ko se je povečala tudi kvaliteta telefonskih linij. Napredek je bil dosežen s povezavo trellis kodiranja in QAM modulacije. Uporabili so 64 QAM in uspeli razviti modem s hitrostjo 14400 bps. Pri nadaljnjem razvoju do hitrosti 19.2 kbps so uporabili ortogonalno multipleksirano QAM. Celotno pasovno širino telefonskega kanala so razdelili na podkanale. Izkazalo se je, da postanejo amplitudna in fazna popačenja v podkanalih linearna. Uporablja se sistem z večimi nosilci.

2.3.4 Izločanje oddajnega signala in odboja

Pred letom 1984 se je omogočil istočasno obojesmerni prenos podatkov v PSTN z razdeljevanjem pasovne širine v dva podkanala, ki sta oddajala in sprejemala podatke istočasno. Vendar je to omejevalo hitrost prenosa na maksimalno vrednost 2400 bps. Za premagovanje nastale ovire so razvili tehniko za izločanje lastnega oddajnega signala, ki jo uporabljajo modemi V.32, V.32bis, V.32terbo, V.34 za istočasno obojesmerni prenos po PSTN (poglavje 3.4).

Problem so rešili preprosto z invertiranjem oddajnega signala, v sprejemniku se invertirani in lastni oddajni signal seštejeta ter tako izničita. V sprejemniku ostane samo signal, ki ga je oddal oddaljeni modem. Pomembno je, da oddajni in sprejemni modem ne oddajata koreliranih signalov. Podobnost med signaloma bi onemogočila izločanje lastnega oddajnega signala. Uvedba premešalnika je rešila problem s generiranjem psevdonaključnega signala, ki zagotovi povsem nekorelirana signala. Istočasno obojesmerni prenos pri modemih omogočajo tudi nekatere nestandardne tehnike, kot so asimetrični in ping-pong prenos, opisane v poglavju 3.3. Pri standardnih modemih se uporablja opisana tehnika.

Poleg izločanja lastnega oddajnega signala se pri medkrajevnih komunikacijah srečujemo z odbojem in presluhom lastnega signala. Po medkrajevnih centralah se prenaša signal štirizično, kar omogoča prenos odbitega signala, ki nastane na sprejemni strani zaradi neidealne zaključitve, nazaj do oddajne centrale. Potrebno uporabiti tehniko za izločanje odbitega signala (echo suppressor). Odbiti signal ni povsem podoben oddajnemu, saj se med potjo zakasni in popači. Izločavalnik mora upoštevati zakasnitev odboja, njegova zahtevnost se povečuje sorazmerno z večanjem zakasnilnih časov.

2.3.5 Modulator, ojačevalnik in filter

Modulator vtisne binarno informacijo v nosilni ton, tako da spreminja amplitudo, frekvenco ali fazo tega analognega frekvenčnega nosilca (tona). Ko se vzpostavi povezava med dvema modemoma, oddajni modem vključi svojo nosilno frekvenco in jo pošlje sprejemnemu. Nosilec še ne vsebuje informacije in samo preverja, ali je oddaljeni modem sprejel nosilec. Šele nato dovoli DTE, da mu pošlje podatke in začne modulirati začetni nosilni ton. Delovanje modulatorja je podrobneje razloženo v poglavju 3.3 in 3.4.

Ojačevalnik dvigne modulacijski signal za prenos preko telefonske linije. Filter pa omeji frekvence na govorni frekvenčni pas. Filtri, ki so vgrajeni v telefonskem omrežju, niso povsem idealni in stranske robove popačujejo. Nosilni toni so zato pri modemih v sredini

(1800, 1700, 1600 Hz), kjer je najidealnejše frekvenčno področje. Na sprejemni strani filter izloči šum, ki se doda na poti, ojačevalnik pa ojači oslavljen signal.

2.3.6 Moč signala

Moč nosilnega oddajnega signala mora biti prilagojena predpisom, ki veljajo za telefonski promet v neki državi. Prevelika moč oddajnega signala lahko poškoduje naprave v omrežju ali pa popači druge komunikacije, ki potekajo po PSTN. Na splošno izgubo moči (a) nastalo na prenosni poti izražamo z razmerjem oddajne in sprejete moči, ki jo podamo v dB (decibel):

$$a = 10 \log_{10} \frac{P_o}{P_i} [dB] \quad (2.5)$$

Kjer je:

a = slabljenje moči signala v dB

P_o = izhodna moč signala v sprejemniku

P_i = oddajna moč

Kot primer vzemimo, da je na vhodu signal z močjo 100 mW, sprejmemo pa le 1 mW.

$$a = 10 \log_{10} \frac{1}{100} = -10 \log_{10} 100 = -20 [dB]$$

Predznak minus pomeni izgubo moči signala za 20 dB.

V Evropi je predpisan testni ton z močjo 1 mW pri frekvenci 800 Hz, v ZDA pa s frekvenco 1004 Hz. Testni ton predstavlja povprečno vrednost moči generirane v telefonskem oddajniku med komunikacijo. Oddajna moč je torej normirana na 1 mW, kar predstavlja enota dBm (decibel milliwatts), ki predstavlja logaritemsko razmerje moči signala v mW proti 1 mW:

$$a = 10 \log_{10} \frac{P[mW]}{1mW} [dBm] \quad (2.6)$$

$$P[mW] = \text{Moč signala v mW}$$

Večina modemov izdelanih za delo v ZDA je prilagodila oddajno moč predpisu zvezne komisije za komunikacije FCC (Federal Communications Commission) in oddaja nosilec pri -9 dBm ali 800 mV napetosti. Maksimalen dopusten nivo na telefonski liniji je 2.2 V p.p. (peak to peak) in predstavlja referenčno točko signala z vrednostjo 0 dBm. Vsi ostali nivoji so manjši in zato predstavljeni z negativno vrednostjo dBm. Pri kratkih razdaljah med modemoma sprejemnik dobi premočan signal, zato se doda upornost FLL (Fixed Loos Loop).

Pri največjih razdaljah so izgube lahko največ 1/40 vrednosti signala, torej 16 dB. Na sprejemniku je takrat -25 dBm oziroma 45 mV, v oddajniku pa 800 mV. Modemi so izdelani za sprejem tudi do -45 dBm ali -50 dBm, vendar linije ne smejo imeti veliko šuma.

2.4 Komunikacijski kanal

Končno smo prišli do penosnega medija, ki pravzaprav omejuje, pogojuje in predpisuje delovanje modema. Modem je naprava, ki prilagaja digitalno obliko signala, za prenos po starih nekvalitetnih analognih linijah. Vendar smo najprej predstavili izvor podatkov in povezavo prek modema do linije.

Komunikacijski kanal je sredstvo, s katerim se opravlja prenos podatkov v obliki električnih signalov med oddajnikom in sprejemnikom. Večkrat uporabljamo izraze prenosna pot, linija ali vod. Komunikacijski kanal je lahko tudi brezžičen ali kabelski (2/4 žični kabel, koaksialni kabel).

Na prenosni poti se signalu doda šum, ki je skupno ime za vsa popačenja dodana na poti. Pri kablilih nastopa termični šum zaradi izgub in repetitorjev, ki so postavljeni za ojačitev telefonskega signala. Med šum štejemo tudi vse presluhe, ki se dodajo signalu. Pri brezžičnih komunikacijah je izvor šuma sevanje Zemlje, sončne motnje in šum v prenosnih napravah. Signal v sprejemniku torej ni enak vstopnemu oddajnemu signalu.

Poleg dodajanja šuma signal na prenosni poti slabi in se zakasni. Zakasnitev pa ni enaka na celem frekvenčnem področju, zato pride tudi do faznih zamikov. Posledica slabljenja in zakasnitev so amplitudna in fazna popačenja signala, ki rezultirajo v napačni detekciji signala, kar je pri podatkovnih komunikacijah zelo moteče. Vse te neprijetnosti in odpravljanje le teh si bomo ogledali v naslednjih odstavkih.

Najvažnejše tehnične karakteristike komunikacijskega kanala so pasovna širina, kapaciteta kanala, smer prenosa, verjetnost pojavljanja napake BER. Pri analognem prenosu se meri kvaliteta z razmerjem moči signala in šuma S/N , pri digitalnem prenosu pa z verjetnostjo pojavljanja napake BER.

2.4.1 Vrste prenosnih poti

Na začetku smo razdelili komunikacijski kanal na žične in brezžične linije. Žične linije lahko delimo glede na uporabo, lastništvo in tehnične realizacije.

Po uporabi jih delimo na:

- teleprinterske in telegrafske (lahko prenašajo nemoduliran digitalni signal vendar le od 50 do 200 bps)
- telefonske linije (omogočijo z uporabo primerne tehnike hitrost do kbps nekompresiranih podatkov)
- javna mreža za prenos podatkovnih signalov

Glede lastništva delimo:

- javne komutirane linije
- najete ali zakupljene linije
- specialne (vojska, policija, banke)

Najete in specialne linije omogočajo večje hitrosti prenosa z manj napak in motenj. Seveda so te linije stalne in se ne preklapljajo (komutirajo) med uporabniki. Javno komutirano telefonsko omrežje PSTN je sestavljeno iz različno dolgih linij in central z različno stopnjo kvalitete. Zato se kvaliteta preklonih linij zelo razlikuje.

Tehnične realizacije:

Žične linije so lahko zračne ali zemeljske. Kabel je lahko žična parica ali pa koaksialni vodnik. Koaksialni vodnik je manj občutljiv na zunanje motnje, saj je izoliran s prepleteno mrežo. Ima širok frekvenčni spekter in omogoča visoko kvaliteto prenosa digitalnih signalov. Je drag in se uporablja za krajše povezave, na primer v omrežjih.

Podobni žičnim kablom, toda izdelani s posebnimi vlakni, so svetlovodi ali optična vlakna. Omogočajo izredno hiter in kvaliteten prenos analogne in digitalne informacije s pomočjo laserske tehnike. Nekateri proizvajalci razvijajo povezavo računalnikov celo brez vodnikov, samo z odboji laserskih žarkov.

2.4.2 Osnovni parametri komunikacijskega kanala

Omenili smo, da so tehnične karakteristike ali parametri komunikacijskega kanala predvsem pasovna širina in z njo prek Nyquista povezana realna simbolna hitrost ter teoretično izračunana Shannonova kapaciteta kanala.

Pasovna širina

Pasovna širina (Bandwith) je uporabno frekvenčno področje prenosnega sistema ali naprave. Definirana je z razliko med zgornjo fzg in spodnjo fsp mejno frekvenco v Hz, kjer ojačanje naprave pade za 3 dB glede na referenčno frekvenco. Pasovna širina je mera zmogljivosti prenosa informacije. Za simbolno hitrost je to dokazal Nyquist in za bitno Shannon. Čim večja je širina pasu, večjo količino informacije lahko prenesemo. Pasovna širina je merilo količine prenosa informacije pri analognih povezavah, medtem ko za digitalne omenjamo propustnost (throughput).

$$B = f_{zg} - f_{sp} \quad (2.7)$$

kjer je:

B = pasovna širina

f_{zg} = zgornja frekvenčna meja

f_{sp} = spodnja frekvenčna meja

Pasovna širina telefonskega kanala je pri nas med 300 Hz in 3400 Hz, v tuji literaturi omenjajo 3300 Hz. Hitrost prenosa podatkov preko telefonske linije je omejena s pasovno širino 3000 Hz in ima zato končne meje.

Prepustni pas ponavadi imenujemo pas frekvenc, ki ga telefonski kanal prepusti skozi filtre. Ostale preprosto odreže, da ne motijo prenosa ali povzročajo intersimbolno interferenco. S poskusi so ugotovili da ta frekvenčni pas omogoča povsem zadovoljivo razumljivost tako tihih kot glasnih govornikov. Tako lahko v slišnem področju okoli 20 kHz prenašamo kar 5 telefonskih kanalov, kar dosežejo z multipleksiranjem (2.4.4). Omejevanje kanala je urejeno z nizkoprepustnimi in visokoprepustnimi filtri, ki niso povsem idealni. Slabijo namreč frekvence okoli mejnih, ki jih določimo za prepustni pas. Zato se pri modemih postavi nosilno frekvenco na sredino prenosnega pasu (1700 Hz, 1800 Hz), ker je tam najmanj dušen prostor.

Nyquist

Že leta 1928 je Nyquist opisal razmerje med pasovno širino kanala in maksimalno simbolno hitrostjo, ki se jo lahko doseže v nekem kanalu. Svoj teorem je Nyquist dokazal s praktičnimi raziskavami in eksperimentiranjem, ki je trajalo dalj časa. Z raziskavo so ugotovili, da največji problem povzročajo nelinearne fazne karakteristike telefonskega kanala. Na podlagi teh raziskav so se okoli leta 1930 razvile tehnike za merjenje faznega

popačenja in izenačevanje linij s takimi popačenji. Po drugi svetovni vojni so vojaške potrebe narekivale razvoj podatkovnih komunikacij.

Simbolna hitrost je maksimalno število sprememb stanja signala v eni sekundi in se jo meri v baud-ih. Določena je z enačbo:

$$R = 2 B \quad (2.8)$$

kjer je :

R = hitrost v baud-ih ali število simbolov v sekundi

B = pasovna širina v Hz

Nyquistov teorem določa, da mora biti hitrost, pri kateri se lahko prenašajo podatki brez pojava ISI, manjša ali enaka dvakratni pasovni širini v Hz. Analogen telefonski kanal s pasovno širino 3000 Hz lahko prenaša največ 6000 simbolov v sekundi ali manj. Vendar digitalni signal vtisnemo v analogni nosilec s pomočjo oscilatorjev v modulatorjih, ki še dodatno razpolovijo dosegljivo simbolno hitrost ($f_{\text{mod}} = 1/2 f_b$) na 3000 baud-ov.

Z modemom prenašamo ponavadi 2400 baud-ov (nove verzije tudi več) ali 2400 bit/s, če sprememba stanja signala nosi samo en bit informacije. Tipičen primer je modulacija s frekvenčnim pomikom FSK, kjer frekvenčno stanje signala nosi le en bit informacije in lahko dosežemo največ 2400 bps, vendar še to samo v eno smer. Torej ne moremo omogočiti istočasno obojesmernega prenosa. Potem se nam pasovna širina zoži, ker jo razdelimo v dva podkanala in lahko prenašamo le 300 bps. Vse to se lepo vidi pri standardih v poglavju 3.4.

Za povečanje prenosne hitrosti so zato pri modemu v vsako spremembo stanja signala vrinili več bitov informacije s primerno modulačijsko tehniko. Te modulačijske tehnike vsebujejo kodirnike, ki več bitov (2 ali 3 bite) zberejo skupaj in na podlagi teh določijo stanje signala. Pri zahtevnejših tehnikah (4 bite in več) jih razdelijo v dva ortogonalna kanala, modulirajo in na koncu spet seštejejo.

S takim načinom moduliranja povečujemo bitno hitrost, medtem ko signalna ostaja ista, 2400 baudov. Bitna je tolikokrat večja, kolikor bitov zberemo v eno signalno stanje. Če zberemo dva bitna v eno fazno stanje je bitna hitrost dvakrat večja od simbolne. Pri štirih bitih za eno fazno stanje imamo $4 \times 2400 = 9600$ bps. Ker se z večanjem bitov povečuje tudi gostota točk signalnih stanj v njegovem prostoru, se večja možnost pojavljanja napačnih detekcij. Potem se doda redundantne bite, ki sicer še bolj zgostijo prostor, vendar tudi pripomorejo k boljši kontroli in popravljanju napak. Naredi se nek kompromis, ki daje boljše rezultate. Poleg tega z izenačevalniki in ostalimi možnostmi izboljšujemo karakteristike in jih poskušamo linearizirati. Potem je veliko več možnosti za gostejšo razporeditev točk signala.

Shannonov zakon

Nyquist je ugotovil, koliko je maksimalna simbolna hitrost v omejeni pasovni širini, Shannon pa je razvil teorijo, ki določa maksimalno dopustno hitrost prenosa neodvisnih pravilno prenešenih podatkovnih simbolov v eni sekundi (bit/s) skozi določen kanal in jo imenujemo kapaciteta kanala.

Že leta 1928 (v času Nyquistovih raziskav) je R.Hartley v Bell-ovih laboratorijih odkril koristno zvezo med pasovno širino, prenosnim časom in kapaciteto kanala:

$$C \propto B \times T \quad (2.9)$$

kjer je:

C = kapaciteta kanala

B = pasovna širina
T = prenosni čas

Torej je že Hartley leta 1928 odkril, da je kapaciteta kanala sorazmerna pasovni ali frekvenčni širini in prenosnemu času. Vendar je tu zanemarjen zelo pomemben dejavnik pri prenosu signala prek linije. To je šum, kateri vključuje vse nezaželjene signale, ki pačijo prenašani signal. Šum se lahko doda na poti ali ga povzročajo elektronski sestavni deli (oddajnik, regeneratorji signala).

Kapaciteta kanala je sorazmerna pasovni širini in razmerju moči šuma ter signala, ki prenaša samo sporočilo. Matematično je izražena v Shannonovem zakonu (Shannon: Mathematical theory of communication, Bell System Technical Journal, julij/october 1948, str.401), ki se glasi:

$$C = B \log_2 (1 + S/N) \quad (2.10)$$

kjer je:

C = kapaciteta kanala
B = pasovna širina
S/N = razmerje moči signala in šuma

Recimo, da je razmerje med močjo signala in šuma 30 dB, kar je zelo močan signal. Ponavadi je to razmerje malo nad 20 dB (med 23 dB in 26 dB), odvisno tudi od vrste linij (najete, specialne imajo več).

Razmerje 30 dB pomeni, da je moč signala 1000 večja od moči šuma:

$$\frac{S}{N} = 1000 \Rightarrow \Rightarrow C = 3000 \log_2 [1 + 1000] = 29901.678 [\text{bit} / \text{s}]$$

Vendar je formula teoretična in jo je zelo težko doseči. Za približevanje tej formuli bi moral vsak simbol (baud) nositi vsaj 12 bitov informacije ($2400 \times 12 = 28800$ bps). V zadnjih letih so dosegli pri V.34 s zahtevnejšim več dimenzionalnim (4D) Trellis kodiranjem in Viterbi dekodiranjem dokaj opazno približevanje Shannonovi meji.

2.4.3 Lastnosti komunikacijskega kanala

V prejšnjem poglavju smo spoznali praktične in teoretične zmožljivosti frekvenčno omejenih analognih kanalov, kamor spada telefonska linija. Sedaj pogledajmo še njegove negativne lastnosti in vplive pri prenosu prek teh linij. Slabosti analognih linij nam zelo onemogočajo kvaliteten in obenem hiter prenos. Projektirane so pač bile za prenos nezahtevnih analognih signalov, kot je govor. V tem primeru popačenja niso drastično vplivala na kvaliteto prenosa.

Pri prenosu signala preko linije se lahko popači njegova amplituda, faza in frekvenca. To so tudi osnovni parametri signala, v katere vtisnemo informacijo pri modulaciji na oddajni strani. Posledica popačenj je napačno izločanje informacije iz sprejetega signala, česar na noben način ne smemo dopustiti.

Vsa popačenja se pojavljajo zaradi slabljenja, zakasnitve in drhtenja signala na liniji ter šuma, ki se doda na poti. Popačenja povrh vsega niso enakomerno porazdeljena po celem frekvenčnem področju telefonskega kanala. Nelinearnost zakasnitve povzroča nadaljna fazna popačenja. Poleg tega se med linijami pojavlja presluh, ki tudi ni zaželen.

Vzemimo primer neskončno dolge linije s parametri L , R , G in C , za katero izračunamo karakteristično impedanco Z_k tako, da predpostavimo kot vhodno impedanco v linijo. Potem v diferencialno majhnem delu vodnika zapišemo diferencialne enačbe za napetost in tok v liniji. Rešitev vsebuje valovno konstanto γ , ki opisuje vplive linije na napetost in tok signala. Valovna konstanta predstavlja slabljenje in zakasnitev linije. Potem linijo "idealno" zaključimo z Z_k in gledamo slabljenje in zakasnitev v odvisnosti od frekvence, kar nas zanima.

$$Z_k(\omega) = \sqrt{\frac{Z}{Y}} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$$

$$\gamma(\omega) = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)}$$

$$\alpha(\omega) = \text{slabljenje} \Rightarrow \alpha(\omega)x = \text{slabljenje} / \text{dolžino}$$

$$\beta(\omega) = \text{zakasnitev}$$

$$A(x) = 20 \log_{10} e^{-\alpha(\omega)x} = -8.68\alpha(\omega)x [\text{dB}]$$
(2.11)

Slabljenje

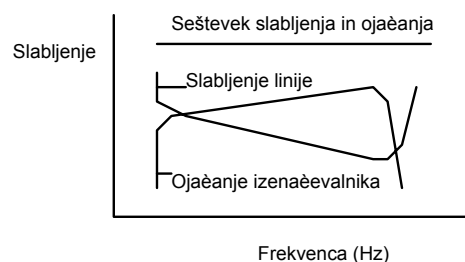
Slabljenje je izguba moči signala z večanjem razdalje med oddajnikom in sprejemnikom. Električni signal, ki nosi informacijo, je oblikovan v frekvenčnem pasu s točno določeno amplitudo pri določeni frekvenci.

Idealno bi bilo, da bi linija enakomerno slabila signal po celém frekvenčnem področju. Na žalost smo pri izpeljavi videli sorazmerno odvisnost slabljenja od frekvence. Signale z višjo frekvenco bolj slabi, popači. Sedaj lahko razložimo zakaj digitalnega signala ne moremo prenašati v osnovni pravokotni obliki na daljše razdalje. Pravokotni digitalni signal je sestavljen iz vsote osnovne frekvence in višjih lihih mnogokratnikov frekvenc. Lihe, torej višje frekvence, sestavljajo robove pravokotnega signala in najvišje frekvence dokončno oblikujejo pravokotnik. Ker linija visoke frekvence bolj slabi se najprej popačijo robovi pravokotnega signala.

Signal se ne slabi samo pri višjih frekvencah, ampak tudi z večanjem razdalje, kot smo videli v enačbi 2.11. Večanje razdalje med dvema napravama pri neki točki pripelje do take popačitve signala, da sprejemnik ne more več razločiti sprejeti signal.

Izenačevanje slabljenja

Za izravnavanje popačenj nastalih zaradi slabljenja uporabljamo v modernih izenačevalnik. Oblikovan je tako, da vpelje prilagodljivo (adaptivno) ojačanje frekvenc znotraj pasovnega območja. Če linija slabi neke frekvence, jih izenačevalnik ojači in s tem izravna popačenje. Popačenja linearizira, jih naredi konstantna.



Slika 2-10 Uporaba izenačevalnika za odpravo popačenj zaradi slabljenja

Slika 2-10 prikazuje postopek izenačevanja popačenja zaradi slabljenja. Način nastavitve izenačevalnika je odvisen od vrste linije (najeti, komutirani vod). Na PSTN, torej komutiranih vodih, se ne more uporabljati neadaptiven-fiksen izenačevalnik, saj se lastnosti linije spreminjajo. Pri večini modemov se uporablja avtomatski adaptivni izenačevalnik, ki najprej pošlje nek testni, poskusni signal, na katerega se izenačevalnik nastavi in modem sinhronizira.

Zakasnilno popačenje

Druga vrsta popačenj pri izločanju informacije iz sprejetega signala povzroča zakasnitev signala. Pri idealnem nepopačenem kanalu se vse frekvence prenašajo z enako hitrostjo, zato imata frekvenca in faza v takem kanalu linearno razmerje. V nelinearnih telefonskih in ostalih kanalih so med prenosom posamezne frekvence bolj zakasnjene kot ostale. Pojavi se popačenje signala, ki povzroči zamik faze pri določenih frekvencah. Človeško uho za ta popačenja ni občutljivo, pri podatkovnem prenosu pa je drugače.

Kadar se pojavi dovolj veliko zakasnilno popačenje pride do prekrivanja med posameznimi oddajnimi impulzi in posledica je ISI. Fazno zakasnitev se meri s spremembo faze proti frekvenci:

- fazna zakasnitev : $\tau(\phi) = \theta/f = \beta(\omega)/\omega$ (2.12)

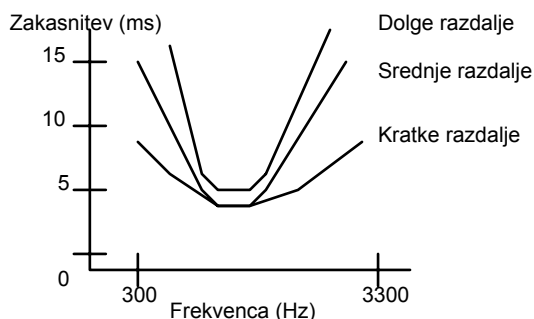
Direktno merjenje fazne zakasnitve ni praktično, zato se uporablja ovojnična ali skupinska zakasnitev.

Ovojnična ali skupinska zakasnitev

Ovojnična zakasnitev je velika pri nizkih frekvencah, pri višjih frekvencah pa se zmanjšuje. Velika je torej ravno v prenosnem telefonskem frekvenčnem pasu. Matematično je ovojnična zakasnitev prvi odvod fazne zakasnitve:

- zakasnitev ovojnice: $\tau(o) = d\theta/df = d\beta(\omega) / d(\omega)$ (2.13)

Nanjo vpliva prenosna razdalja, pa tudi tip kabla, ki se uporablja za prenos. Slika 2-11 prikazuje zakasnitve treh govornih kanalov z različnimi dolžinami.



Slika 2-11 Primer skupinske zakasnitve za različne dolžine kanalov

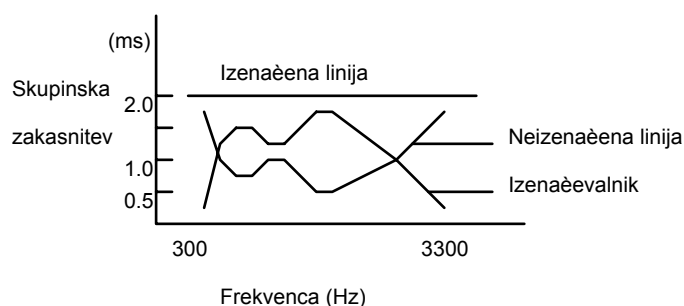
Eden izmed večjih izvorov popačenja zaradi ovojnične zakasnitve so filtri, ki jih uporabljajo telefonska podjetja za omejevanje prepustnega govornega pasu. Filtri zakasnijo signale okoli mejne frekvence, rezultat pa se kaže v zakasnitvi ovojnice. Kot

primer vzemimo FSK modem, kjer višja frekvenca predstavlja logično 1 in nižja 0. V primeru signalne hitrosti 1000 baudov je trajanje vsakega tona 1ms. Če se zakasnitev ene od frekvenc razlikuje za 1ms se lahko ti dve frekvenci superponirata in sprejmemo napačno vrednost.

Izenačevanje zakasnitve

Zakasnitve v realnih prenosnih poteh so precej nelinearne. Torej moramo najprej odpraviti nelinearnost tako, da zakasnitev izenačimo po celi pasovni širini. Že samo ime izenačevalnik pove, da se vsa popačenja nastala na liniji izenačuje ali linearizira. Potem za fazo, amplitudo in frekvenco veljajo enake vrednosti popačenj po celém frekvenčnem pasu, kar omogoča pravičen sprejem.

Na sliki 2-12 vidimo, da izenačevalnik vpelje inverzno funkcijo zakasnitve kot jo ima kanal. Potek je dokaj nelinearen in so verjetno veliko težje dosegli izenačevanje zakasnitve kot slabljenja (primerjaj sliki 2-10 in 2-12).



Slika 2-12 Uporaba izenačevalnika zakasnitve

Fazno drhtenje

Drhtenje faze se rezultira v malenkostnem zamiku prenosnega signala po času in fazi. To lahko poveča bitno napako BER in pri hitrih sinhronih komunikacijah povzroči izgubo sinhronizacije.

Drhtenje je lahko posledica šuma ali ostalih nezaželenih motenj signala. Pri zelo hitrih modemih z gostim konstelacijskim diagramom je drhtenje faze zelo moteče. Prva realizacija 9600 bps modema z ortogonalnim konstelacijskim diagramom je zaradi drhtenja faze prihajalo do preveč napak in se ni uveljavil. Potem so razvili tehnike za odpravo drhtenja in spremenili razdelitev točk signala iz ortogonalne v šesterokotno razdelitev.

Šum

Tretji pomemben izvor popačenj je kanalski šum, ki vsebuje naključno motnjo, kot je termični in impulzni šum ter presluh. Pri govornih komunikacijah ni nepopravljiv, tako kot večina popačenj. Pri podatkovnem prenosu pa je dovolj da popači es sam bit in moramo ponavljati recimo 1000 bitov.

Nivo šuma v liniji določa nivo oddajnega signala, ki mora biti tolikšen, da zagotovi minimalno zadovoljivo razmerje moči S/N na sprejemni strani prenosne poti. Če se pri hitrejših prenosih poveča nivo šuma proti signalu, se prepustnost kanala občutno zmanjša zaradi povečanja verjetnosti pojavljanja napak.

- Povečanje šuma pripelje do več napak.
- Zaradi napak se zahteva ponovitev prenosa
- Ponovitve zmanjšujejo propustnost, torej število pravilno prenešenih bitov

Impulzni šum

Impulzni šum povzročajo neenake sunkovite konice impulzov s kratkim trajanjem in visokimi amplitudami. Pojavlja se nezvezno 1 do 5-krat na minuto z naključnimi intervali med impulzi.

Izvor impulznega šuma so stare elektromehanske centrale, kjer se opravlja komutacija linij s pomočjo preklonnih relejev. Vpliv tega šuma na govor je zanemarljiv, saj je njegovo trajanje kratko (okoli 100 μ s). Prav tako manj vpliva tudi pri počasnejših prenosih podatkov, kjer je trajanje podatkovnega signala daljše. Lahko pa moti pri zelo hitrih komunikacijah, kjer so podatkovni impulzi tudi kratki.

Termični (beli) šum

Termični šum je prisoten pri vseh prenosnih sistemih kot posledica termičnega gibanja elektronov. Ne povzroča večjih popačenj, ki bi pripeljala do napačnega določanja sprejemnega signala.

2.4.4 Načini prenosa signala med modemi

Med oddajnikom in sprejemnikom lahko poteka prenos podatkov na naslednje načine :

- enosmerno
Pri podatkovnih komunikacijah je potrebno preveriti ali so podatki pravilno prispeli na cilj. Modemi enosmernega prenosa zato ne uporabljajo.
- izmenično obojesmerno HDX (Half-DupleX)
Tak način prenosa omogočajo modemi s preklapljanjem med oddajnikom in sprejemnikom. Na začetku so ti modemi spadali med hitrejše, saj so uporabljali en širok frekvenčni pas. Za zmanjšanje številnih preklapljanj so uporabili počasen povratni kanal. Več o teh modemih pri opisu standardov V.23, V.26, V.27.
- istočasno obojesmerno FDX (Full-DupleX)
Modemi za FDX prenos uporabljajo najeto štirizično linijo. Pri dvožični povezavi v javnem komutiranem telefonskem omrežju- PSTN pa uporabijo frekvenčni multipleks FDM (Frequency Division Multiplexing). FDM razdeli pasovno širino govornega kanala na dva podkanala. Preko teh dveh podkanalov pa je signalna hitrost omejena z Nyquistovim teoremom, zato je ta prenos počasen. Za omogočanje hitrejšega FDX prenosa po PSTN so razvili izločevalnik odboja in oddajnega signala.

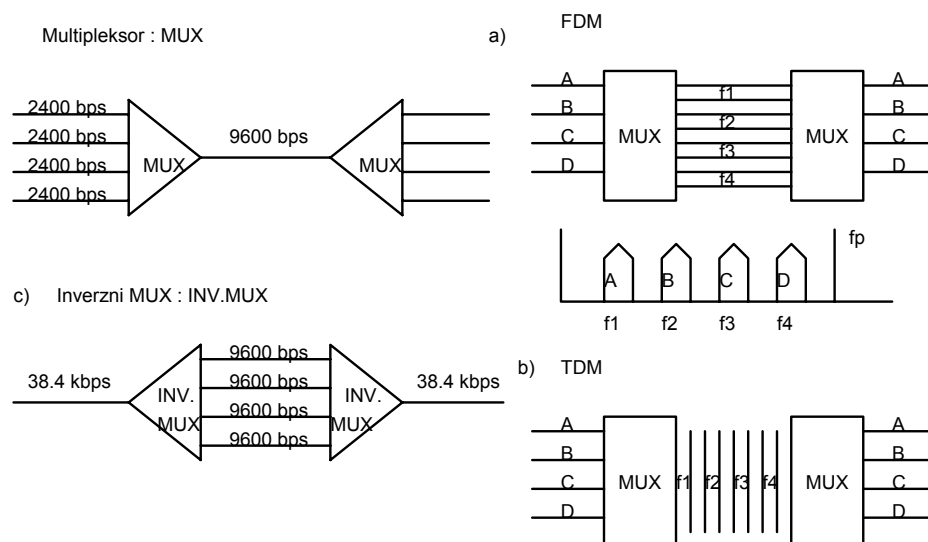
Imamo tudi F/FDX (full/full duplex) prenos, kjer računalnik komunicira s terminalom sinhrono FDX, medtem pa nudi podatke še nekemu tretjemu računalniku. Uporablja se

pri omrežjih. Modemi delujejo samo izmenično obojesmerno ali obojesmerno. Na BBS (Bulletin Board System) delajo modemi ponavadi HDX, modemi na zakupljenih vodih seveda FDX. BBS je kratica za najrazličnejše informacijske servise, od krajevnega servisa do mednarodnih sistemov, kot je Compuserve. Zadnje čase vlada rahel preplah pri nas zaradi virusov, ki so pogosti člani na teh servisih. Tudi najnovejši virusi domače proizvodnje so se najprej pojavili na teh "oglasnih deskah" kot tudi imenujemo BBS-e.

Multipleksiranje (razdeljevanje)

V primeru FDX prenosa smo opazili, da se podatki prenašajo v nasprotnih smereh po isti fizični poti istočasno ali v hitrem zaporedju. Prenosno pot na ta način maksimalno izkoristimo in postane za uporabnike cenejša in dostopnejša. Naprave, ki omogočijo tak prenos, imenujemo multiplekserje in prenosno pot nekako razdelijo po: frekvenci, času, fazi, statistično in na druge načine. Na sliki 2-13 so primeri frekvenčnega FDM (Frequency Division Multiplex), časovnega TDM (Time Division Multiplex) in invertiranega multipleksorja INV. MUX.

Invertirani multipleksor poveča hitrost prenosa z uporabo več najetih telefonskih vodov. Uporabljamo ga kadar nam počasna zakupljena linija ne omogoča željene prepustnosti kanala. Na spodnji sliki je primer ko dosežemo 38.4 kbps s štirimi zakupljenimi vodi s po 9600 bps. INV.MUX ima ponavadi že vgrajene modeme.



Slika 2-13 Slikovna predstavitev :

- a) Frekvenčni multipleksor FDM
- b) Časovni multipleksor TDM
- c) Invertirani multipleksor INV.MUX

3. Modemi

Že ves čas obravnavamo modeme za prenos po telefonskem vodu, čeprav uporabljamo modeme povsod, kjer prenašamo digitalne podatke po frekvenčno omejenih kanalih. Vendar se bomo omejili na telefonski frekvenčni pas, ker je PSTN največje omrežje.

3.1 Delitev modemov

Modeme bomo kasneje razdelili po hitrostih in v skladu z ustreznimi standardi. Na začetku naj omenimo še "fizično" delitev. Po načinu povezave modema s telefonsko linijo ločimo na direktno vezane (direct-connect) in akustične (acoustic coupler) modeme. Akustični modem ustvari zvočno povezavo s telefonsko linijo preko slušalke in mikrofona telefonskega aparata. Direktno vezani modemi pa so povezani s telefonsko linijo preko vtičnice, ki ustreza standardu RJ-11. Pri nas so ponavadi tripolni priključki. Lahko kupimo pretvornik, ki omogoči dve RJ-11 vtičnici in eno tripolno.

3.1.1 Akustični modemi

Je preprostejši model modema, ki se ga malo uporablja. Akustični modem (Acoustic coupler) se na telefonsko linijo ne poveže z električnimi prevodniki, ampak je povezava zgolj zvočna preko zvočnika in mikrofona. Akustični modemi so lahko zunanji ali notranji, imajo pa posebno enoto, ki je s standardom prilagojena običajni telefonski slušalki. Prek slušalke je modem zvočno povezan s telefonskim aparatom in naprej s telefonsko linijo. Pri tem modemu moramo seveda imeti telefon s standardno slušalko, ne kak prenosni ali drug telefon.

Akustični modem modulira računalniški digitalni signal, ki ga dobi prek RS-232C vmesnika in ga s pomočjo zvočnika v oddajniku oblikuje v zvočni signal. Le-ta se prek mikrofona v slušalki prenaša kot analogen signal do telefonskega aparata in naprej do linije. Na sprejemni strani se analogen signal v slušalkinem zvočniku pretvori v zvok. V modemu pa je na sprejemni strani vgrajen mikrofona, ki zvok pretvarja v analogen signal. Analogen signal se potem demodulira in oblikuje digitalne podatke. Pomembna je pravilna nastavitvev slušalke, saj drugače pride do napak.

Akustični modemi so cenejši. Uporabljajo se lahko povsod, kjer so standardne slušalke, zato se je priročen tudi kot prenosni modem. Pri direktnih modemih potrebujemo RJ-11 vtičnico za priklop na telefonsko linijo. Negativna stran je, da zahtevajo ročno delo, saj moramo izbrano številko najprej klicati prek telefona in šele nato preklopiti na modem. Preplavili so ga boljši direktno vezani modemi, ki so zelo inteligentni. Z raznimi izboljšavami direktno vezani modemi ponujajo veliko več, zato se akustični modemi tudi ne pojavljajo več na trgu, saj niso konkurenčni. (Tudi mi jih zato nismo podrobneje opisali).

3.1.2 Direktno vezani modemi

Direktno vezani modemi (v nadaljevanju modemi) so lahko vgrajeni v računalnik v obliki kartice (internal), lahko pa so samostojni, zunanji modemi, ki imajo lastno napajanje. Poleg tega lahko modeme delimo še po obliki prenašanega signala na:

- osnovnopolasovne modeme (baseband)
- konvencionalne modeme

Osnovnopolasovni modemi prenašajo signale v osnovnem pasu, torej od 0 Hz naprej. Pomeni, da prenašajo osnovni digitalni signal in ne modulirajo podatkov v nosilni analogni signal. Zato jih niti ne štejemo pod modeme saj ne opravljajo modulacije in demodulacije, ki pa je značilna za modem. Pravzaprav so to vodovni ojačevalniki, ki podaljšajo serijske vmesnike V.24 do nekaj deset kilometrov, s hitrostjo prenosa 19.2 kbps. Vendar uporabljajo kakovostne zasebne vode v širokem frekvenčnem obsegu in ne morejo koristiti večkanalnih telefonskih linij. Zato jih tudi ne bomo podrobneje obravnavali.

Notranji (internal) modemi:

Izdelani so na tiskani ploščici, ki jo imenujemo kartica. Računalnik ima v notranjosti sistemsko zbiralnico z 8 (IBM) konektorji-slotti, ki jih uporabljamo za različne razširitve delovanja z PC karticami. V enega od teh konektorjev vstavimo modemsko kartico. Ker je modem prek notranje sistemske zbiralnice povezan z DTE, ne potrebujemo RS-232 vmesnika in ne zasedemo serijskega porta. Na zunanji strani ima dve RJ-11 vtičnici za linijo in telefon, nastavitev glasnosti in preklopnik za nastavitev mesta, kjer bo postavljen modem. Pri notranjih modemih ne potrebujemo kablov in nimamo težav s prostorom, zato so primerni za prenosne računalnike. Osvobodijo nam serijski port, ki ga lahko uporabimo za druge aplikacije. Slaba lastnost je, da ga lahko uporabljamo samo na vgrajenemu DTE, razen če ga demontiramo. Poleg tega ne moremo spremljati poteka delovanja, kot pri zunanjih modemih na led diodah

Zunanji modemi:

Zunanji modemi imajo različna ohišja. Vsi ne posvečajo pozornosti zunanjemu izgledu, vendar lahko opazimo, da se v zadnjem času prilagajajo tudi temu. Na zadnji strani modema je prisotno je stikalo za vklop modema, priključek za napajanje, konektor za RS-232 vmesnik in dve RJ-11 vtičnici za telefon in linijo. Na sprednji strani ima večina modemov vgrajene led diode ali zaslon, ki signalizirajo delovanje modema in kontrolirajo pravilnost poteka. Dioda so označene s črkami, ki so lahko različne. Naštejmo nekaj od njih:

- CD (Carrier Detect): sveti ko modem detektira nosilni ton od sprejemnega modema in se prenos lahko začne
- AA (Auto Answer) : modem odgovarja na klic avtomatsko
- HS (High Speed) : modem dela pri visokih hitrostih
- MR (Modem Ready) : modem je vklopljen in pripravljen za delo
- RD (Receive Data) : sveti za vsak sprejeti bit
- SD (Send Data) :sveti pri vsakem oddajnem bitu (tipkanje se opazi)
- TR (Terminal Ready):terminal ali DTE je vklopljen in pripravljen

3.1.3 Standardi za modeme

Kot smo že na začetku omenili, dva modema lahko komunicirata med seboj samo če sta združljiva ali kompatibilna. Uporabljati morata enake tehnike modulacije in načine prenosa, ki omogočajo medsebojno razumljivost. Da na trgu ne bi prihajalo do

nezdružljivosti modemov, kar bi onemogočalo komunikacijo, je CCITT, sedanji ITU, uvedel standarde ali priporočila za prenos podatkov preko javnega komutiranega telefonskega omrežja- PSTN, imenovana priporočila V ali priporočila za modeme.

Standardi določajo nosilno frekvenco, način modulacije, korekcijo napak in kompresijo podatkov. Vsi standardi, ki jih bomo opisovali so vgrajeni v modeme. Skrbijo predvsem za pretvarjanje digitalnih signalov v analogne za prenos po liniji. Teh standardov ne smemo pomešati s komunikacijskimi standardi ali protokoli za prenos datotek (file transfer protocol), ki so izvedeni s programskim delom opreme in omogočajo prenos datoteke z diska ali diskete do modema in naprej do oddaljenega DTE.

Razvoj podatkovnih komunikacij in osebnih računalnikov je narekoval izboljšavo modemov. Prišlo je do ponovne nevsklajenosti med proizvajalci, česar si ravno pri modemih ne smemo dovoliti. Boljša in kvalitetnejša podjetja, ki so veliko vlagala v razvoj, so izdelovala inteligentne modeme s povsem svojimi tehnikami za kompresijo podatkov, korekcijo napak (MNP5, MNP4). Ti modemi so bili sicer zanesljivi in kvalitetni, vendar nezdružljivi z ostalimi modemi. Tak primer so podjetja Hayes, Microcom, US Robotics in druga.

Glede na to je potem večina proizvajalcev povzela njihove lastne "standarde", nekatere pa je sprejel tudi CCITT kot standarde serije V. Najbolj značilni so MNP (Microcom Network Protocol) protokoli za korekcijo napak MNP 4 in kompresijo podatkov MNP 5, ki ju uporablja večina modemov. Podobna standarda je sprejel CCITT s priporočiloma V.42 in V.42bis. Naj takoj omenim, da se MNP standardi nadgrajujejo, kar pomeni, da MNP 5 podpira vse standarde od 1-5. Vsega skupaj jih je sicer 10 in jih bomo opisali pri inteligentnih modemih v poglavju 3.5.

Tega vsekakor ne moremo trditi za standarde serije V, kjer nam številka standarda prav ničesar ne pove. Tako je npr. V.24 priporočilo za DTE/DCE vmesnik, V.42 je priporočilo za kontrolo napak, V.42 bis pa priporočilo za kompresijo podatkov. Prav tako je tudi pri priporočilih za same modeme. Modem V.22 bis dela istočasno obojesmerno-FDX pri hitrosti 2400 bps, V.23 pa lahko prenaša le pri 1200 bps in še to samo v eno smer, v nasprotno smer samo 75 bps. Seveda je to zaradi različne modulacijske tehnike, ki jo standard predpisuje in si jo bomo pogledali v naslednjih dveh poglavjih. V priporočilih serije V je zbrano vse, kar je povezano s podatkovnimi komunikacijami prek modema.

V tabeli 3-2 je zbranih del priporočil, ki določajo modulacijske tehnike za modeme. Z izbiro modulacijske tehnike je določen način prenosa (izmenično obojesmeren HDX, istočasno obojesmeren FDX, sinhron-S, asinhron-A) in hitrost prenosa podatkov. Ker tip modulacije določa ostale dejavnike prenosa si najprej pogledjmo vrste modulacij, tabelo bomo zaradi preglednosti predstavili v poglavju 3.3.

3.2 Modulacijske tehnike

Modulacija oblikuje izvorni digitalni signal tako, da ga je mogoče prenašati preko analognih vodov. Opravimo jo z generiranjem analognih nosilcev, ki jim vtisnemo digitalno informacijo v amplitudo, frekvenco ali fazo. Nosilec je ponavljajoč signal sinusne oblike, ki ne vsebuje informacije in ga lahko predstavimo z naslednjo enačbo:

$$a = A \sin (2\pi f t + \theta) \quad (3.1)$$

kjer je:

a = trenutna vrednost napetosti v času t
 A = maksimalna amplituda
 f = frekvenca
 θ = faza

Modulacije ločimo glede na parametre, ki jih spreminjamo signalu. Poznamo amplitudno modulacijo AM, frekvenčno modulacijo FM, fazno modulacijo PM in kombinirane modulacije, kot so QAM, TCM. Seveda FM in PM modulaciji, ki ju uporabljamo pri modemu imenujemo primerno načinu dela. FM se imenuje modulacija s frekvenčnim pomikom FSK (Frequency Shift Keying), PM pa modulacija s faznim pomikom PSK (Phase Shift Keying). Hitri modemi uporabljajo kombinirane modulacijske tehnike QAM (Quadrature Amplitude Modulation) in TCM (Trellis Coded Modulation).

3.2.1 AM

Amplitudna modulacija je najstarejši tip modulacije, kjer se amplituda nosilnega signala spreminja glede na binarno vrednost podatkovnega signala. Najenostavnejša metoda amplitudne modulacije predstavlja logično vrednost 1 z maksimalno vrednostjo nosilnega signala, logično 0 pa z zmanjšano amplitudo.

Vendar šum prav tako modulira nosilni signal, zato AM ni primerna za linije s popačenji in se je pri modemih ne uporablja. Uporablja se pri kombiniranih tehnikah kvadrature amplitudne modulacije QAM in TCM, kjer kvaliteto linije izboljšamo z DFE izenačevalniki.

3.2.2 FSK

Frekvenčno modulacijo lahko najpreprosteje opišemo z gostoto ponovitve signala z določeno amplitudo. Signali z manjšo frekvenco so bolj razvlečeni in z višjo frekvenco so gostejši. Uporabljala se je pri prvih modemih z majhnimi hitrostmi. Oddajnik v modemu frekvenco nosilnega signala spreminja-modulira glede na vrednost binarnega podatkovnega signala. Binarna logična 1 je predstavljena z eno frekvenco, 0 pa z drugo (slika 3-1). Za vsako frekvenco imamo svoj oscilator. Oddajnik potem frekvenco nosilnega signala pomika glede na vrednost vhodnih binarnih podatkov. Zaradi takega delovanja izvira tudi ime, modulacija s frekvenčnim pomikom FSK. Pomiki so lahko zvezni ali pa nezvezni. Nezveznost povzroča napake pri sprejemu in je nezanesljiva. Zvezna FSK zahteva sinhronizacijsko vezje in je dražja.

Sinhronizacijo dosežemo tako, da je f_z -frekvenca znaka (logična 1) in f_p -presledka (logična 0) sinhronizirana z vhodno bitno frekvenco f_b . In sicer sta f_z in f_p izbrani kot lihi mnogokratnik f modulacijske, ki je enaka polovici bitne frekvence $f_b/2$.

FSK se uporablja pri asinhronih modemih z majhnimi hitrostmi prenosa 300 bps pri FDX prenosu in 1200 bps pri HDX prenosu na dvožičnem PSTN. Pri sinhronem modemu mora modulacijska tehnika omogočiti izločitev informacije o uri. Uro lahko izločimo pri tehnikah, ki imajo informacijo vtisnjeno v nosilec, pri FSK pa je informacija vtisnjena v spreminjanju frekvence.

Slika 3-1 Primer FSK

Slika 3-2 a) nezvezna FSK b) zvezna FSK

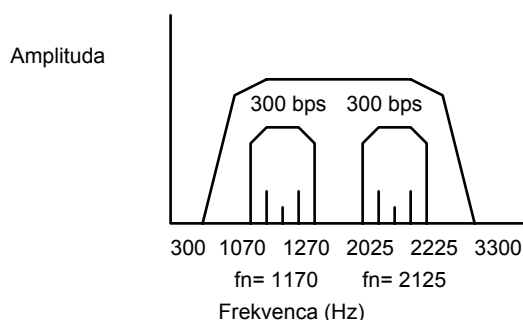
Eden prvih FSK modemov je bil Bell 103. Bell je okrajšava za Bell System Data Communication Products in predstavlja delovne karakteristike modemov, ki jih je izdeloval Western Electric za uporabo na ameriškem telefonskem omrežju AT&T (American

Telephone and Telegraph). AT&T so od ustanovitve privatna podjetja telekomunikacijskih storitev, ker država ni želela financirati postavitve omrežja. Bell System je najprej razvijal modeme za lastne potrebe. V šestdesetih letih so modemi postali komercialni in takrat je tudi CCITT začel sprejemati standarde, ki so v marsičem podobni Bell-ovim. V večini primerov, kjer razlagajo modeme opisujejo Bell-ove modele, zato bomo tudi mi naredili primerjavo med Bellovimi modemi in V standardi.

Za primer vzemimo modem Bell 103, ki ga je prevzel modem V.21 z rahlimi spremembami. Je 300 bps asinhron modem projektiran za FDX prenos po dvožičnem vodu PSTN. FDX prenos omogoči z razdeljevanjem frekvenčnega pasu na dva dela - frekvenčni multipleks. Zgornji frekvenčni pas obsega frekvence od 1650 Hz do 3000 Hz, spodnji od 300 Hz do 1650 Hz. Frekvence v spodnjem kanalu se imenujejo klicne (originate), v zgornjem pa odzivne (answer). Za vsak kanal imamo nosilec, kateremu pomikamo frekvenco gor in dol. Za logično 1 (mark ali znak) jo dvignemo za 100 Hz in za logično 0 (space ali presledek) znižamo za 100 Hz. Spodnji kanal ima nosilec $f_n = 1170$ Hz, zgornji pa $f_n = 2125$ Hz (slika 3-3).

		klic (originate)	odgovor (answer)
Oddajnik:	znak	1270	2225
	presledek	1070	2025
Sprejemnik:	znak	2225	1270
	presledek	2025	1070

Tabela 3-1 Delovne frekvence za modem Bell 103 v (Hz)



Slika 3-3 Frekvenčni spekter modema Bell 103

Poudariti moramo, da imajo ti modemi dva načina delovanja, klicni in odzivni ali odgovorni način (tabela 3-1). Kadar so nastavljeni na klicni način oddajajo znak pri frekvenci 1270 Hz, presledek pri 1070 Hz. Sprejemajo znak pri 2225 Hz in presledek 2025 Hz. Seveda modem na sprejemni strani ne sme biti nastavljen na isti klicni način delovanja, saj se ne bi razumela. Sprejemni modem se mora nastaviti v načinu odgovor, kjer sprejema znak pri 1270 Hz in presledek pri 1070 Hz, oddaja pa znak pri 2225 Hz in presledek pri 2025 Hz.

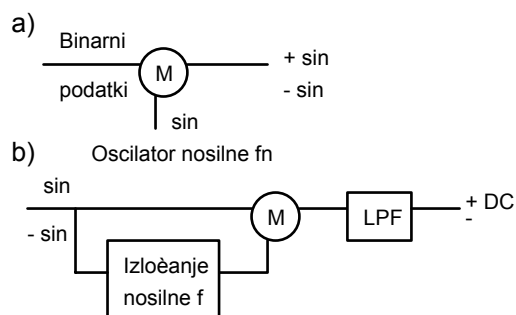
Modemi povezani s terminali ali PC so nastavljeni v klicnem načinu, saj začenjajo komunikacijo, modemi pri večjih (mainframe) računalnikih odgovorjajo na klic in delajo v načinu odgovor. Posamezni modemi imao možnost preklapljanja načina delovanja in nastavitve frekvenc.

3.2.3 PSK

Fazna modulacija je tehnika, kjer spreminjamo začetek analognega nosilca in s tem fazo signala, kot je prikazano na sliki 3-3. Fazo ali "začetek" generiranja signala spreminjajo vhodni binarni signali. Zaradi generiranja signala z različnimi fazami in pomiki med fazami glede na vhodni digitalni, signal imenujemo to tehniko modulacija s frekvenčnim pomikom PSK(Phase Shift Keying).

Slika 3-3 Sinusna oblika predstavitev faznega pomika

Pri modemih uporabljamo več oblik fazne modulacije. Najpreprostejša je dvo fazna PSK ali BPSK (Binary PSK), kjer oddajnik za vsak posamezni bit premakne nosilec v predpisano fazo (slika 3-6). Izhod modulatorja ima samo dve fazi, je ali v fazi ali 180° premaknjen z ozirom na fazo nosilne frekvence. Odvisno od vhoda, ki je lahko logična 1 ali 0. Če je logična 1 predstavljena z negativnim napetostnim nivojem nam obročni modulator premakne nosilec za 180° in dobimo $-\sin \omega t$, za logično 0 pozitivnega nivoja pa $+\sin \omega t$ (slika 3-5), kar nam da na izhodu obročni modulator M.



Slika 3-5

a) BPSK modulator b) BPSK demodulator

Slika 3-6 Sinusna predstavitev BPSK

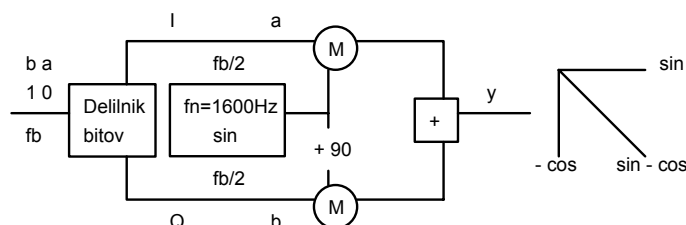
S to tehniko bi dosegli zelo majhne hitrosti. Pri liniji smo omenili omejitve simbolne hitrosti, ki jo je raziskal Nyquist in je povzročila raziskovanje novih modulacijskih tehnik, ki bi več bitov združile v eno stanje (faze ali amplitude) signala. Simbolna hitrost ostane ista, poveča pa se bitna hitrost. Take tehnike imenujemo večbitne in večnivojske modulacije, odvisno koliko nivojev in bitov vsebuje simbol.

Za združevanje n bitov v stanje simbola potrebujemo 2^n različnih stanj. Pri dvobitnem kodiranju, kjer 1 baud nosi 2 bita informacije potrebujemo 4 različne faze 4-PSK (slika 3-9), pri trobitnem kodiranju pa 8 faz 8-PSK (slika 3-11). V.26 modem za delo pri 2400 bps uporablja štiri fazno, dvo bitno in eno nivojsko tehniko, V.27 pri 4800 bps osem fazno, tri bitno in eno nivojsko.

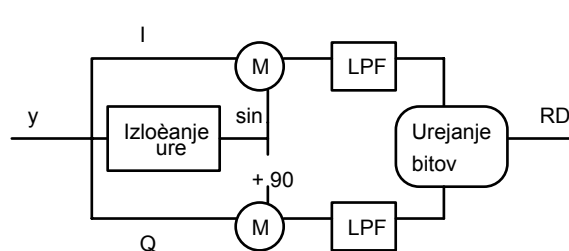
4-PSK ali QPSK (Quadrature PSK)

Pri 4-PSK modulaciji ima izhodni signal lahko eno izmed štirih možnih faz. Izhodna faza je določena na podlagi dveh vhodnih bitov, imenovanih dibit. Na sliki je prikazan bločni diagram 4-PSK modulatorja. Štiri faze so 90° narazen, kot vidimo na sliki 3-9. Bitni razdelilec izmenično razdeli vhodne binarne podatke v dva kanala: eden je v fazi I (IC-In phase Channel), drugi je za 90° zamaknjen Q (QC-Quadrature Channel). Ortogonalnost med kanaloma je potrebna, da lahko seštetu signala na sprejemni strani ločimo.

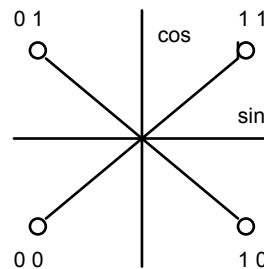
Biti, ki vstopajo v I kanal modulirajo z nosilno frekvenco, ki je v fazi z referenčnim nosilcem $\sin \omega t$. Izhod iz modulatorja je $+\sin \omega t$ ali $-\sin \omega t$ (odvisno ali je 1 ali 0). Biti, ki vstopajo v Q kanal modulirajo nosilno frekvenco, ki je 90° iz faze (v kvadraturi) z referenčnim nosilcem. Torej je sin zamaknjen za 90 stopinj in izhod iz modulatorja je $\pm \cos \omega t$.



Slika 3-7 4-PSK Modulator



Slika 3-8 4-PSK Demodulator



Slika 3-9 Izhodne faze 4-PSK

Na koncu oba izhoda iz modulatorja seštejemo in dobimo 4 možne faze, ki so prikazane na sliki 3-9. V sprejemniku demodulator izloči začetno oddajno nosilno frekvenco in jo modulira z vsakim kanalom posebej.

Na izhodu modulatorja v I kanalu dobimo:

$$(\sin \omega_n t)(\cos \omega_n t) - \sin^2 \omega_n t = \frac{1}{2} \sin 2\omega_n t + \frac{1}{2} \sin(\omega_n t - \omega_n t) - \frac{1}{2}(1 - \cos 2\omega_n t)$$

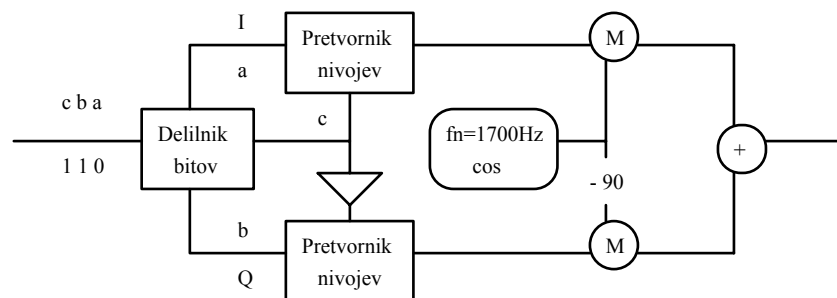
Na izhodu modulatorja v Q kanalu dobimo:

$$\cos^2 \omega_n t - (\sin \omega_n t)(\cos \omega_n t) = \frac{1}{2}(1 + \cos 2\omega_n t) - \frac{1}{2} \sin 2\omega_n t - \frac{1}{2} \sin(\omega_n t - \omega_n t)$$

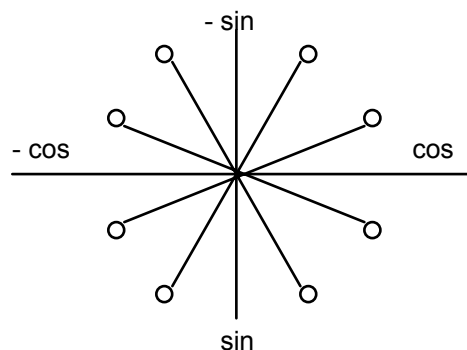
Nizkopasovni filter LPF odreže drugo harmonsko komponento signala in ven dobimo enosmerno napetost, ki pripada določenemu bitu. Na koncu bite zvrstimo po pravilnem vrstnem redu in pošljemo v DTE.

8-PSK

Pri 8-PSK je faza izhodnega signala modema določena z nizom treh bitov, imenovanih tribit in ima osem stanj. Bitni razdelilec razdeli tribit na tri kanale (slika 3-10). Bit a in b določata polariteto napetosti na izhodu nivojskega pretvornika, ki pretvori dva nap. nivoja v štiri (2-4 pretvornik). Bit c določa velikost. Velikosti sta samo dve, 0.34V in 0.82V. Ko sta a ali b logični 1 so izhodi pretvornikov pozitivne napetosti, pri logični 0 pa negativne napetosti. Ko je c logična 1 je določena velikost 0.82V, pri 0 pa 0.34 V. Da se ne pojavi težava, ko sta a in b bita enaka, je drugi pretvornik negiran in tako ne zavzameta iste vrednosti ob istem času. Nivoje potem moduliramo isto kot smo videli pri 4-PSK in na izhodu iz modulatorja v I kanalu dobimo $\pm 0.34 \cos \omega t$ in $\pm 0.82 \cos \omega t$. Možni izhod iz modulatorja v Q kanalu je $\pm 0.34 \sin \omega t$ in $\pm 0.82 \sin \omega t$. Linearni seštevalnik sešteje oba kanala in dobimo konstelacijski diagram na sliki 3-11. Omenimo naj, da to ni kodirana 8-PSK, ki je omenjena pri kodirniku, saj tam kodirnik sam doda 3 redundantni bit.



Slika 3-10 8-PSK Modulator



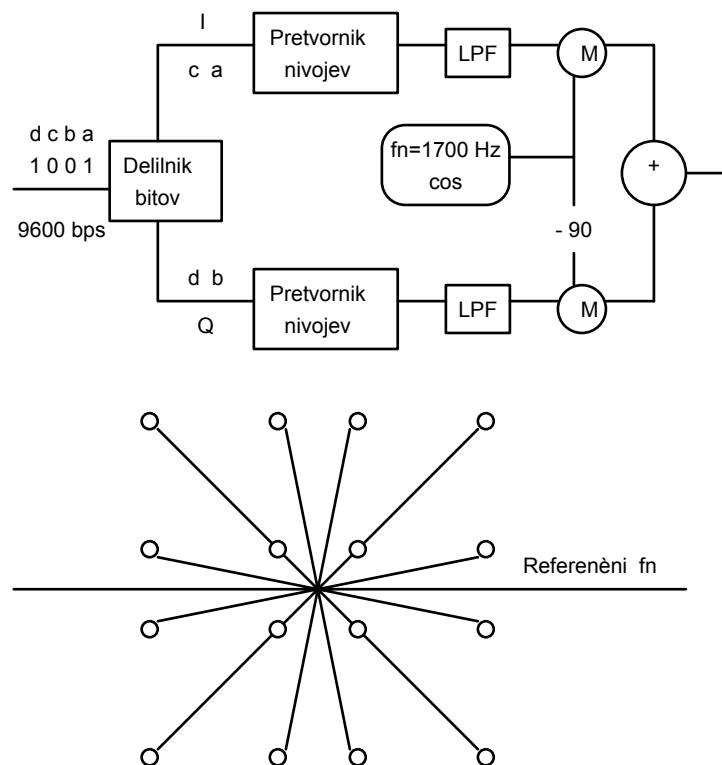
Slika 3-11 Fazna razporeditev 8-PSK modema

3.2.4 QAM in TCM

Za nadaljno povečevanje hitrosti prenosa so proizvajalci uporabljali kombinacijo obstoječih tehnik. Že pri 8 PSK smo opazili uporabo dveh napetostnih nivojev za doseganje 8 različnih faz. Samoumevno se je pokazalo koristno združevanje amplitudne in fazne modulacije v kvadraturno amplitudno modulacijo QAM. Dobimo več fazno, več nivojsko modulacijsko tehniko, z veliko možnimi stanji tako faze kot amplitude.

QAM

Pri QAM vhodni niz podatkov prav tako razdelimo v dva ortogonalna kanala I in Q. V teh dveh kanalih se hitrost prenosa prepolovi, saj se v času trajanja dveh bitov prenaša en sam bit. Pri 8-QAM vhodna bita a in b določata polariteto, kot pri 8-PSK. Bit c krmili oba pretvornika, če je 1 bosta oba pretvornika oddajala višji nivo, drugače nižji. Pri 8-PSK izhodni napetosti pretvornikov nista nikoli enaki, pri 8-QAM sta vedno enaki. Možni sta dve amplitudi in štiri faze.



Slika 3-12 Modulator 16 QAM in pripadajoči konstelacijski diagram

16 QAM se uporablja pri modemih s hitrostmi 9600 bps (V.29). Modulator je prikazan na sliki 3-12. Bitni razdelilec razdeli vhodni niz štirih bitov v dva kanala, kjer je hitrost 4800 bps. Nivojski pretvornik na podlagi dveh bitov določi enega od štirih možnih izhodnih nivojev. Bit a in b določata polariteto, c in d pa velikost. Vhoda v pretvornika sta neodvisna, zato lahko vsak oddaja $\pm 0.22\text{V}$ ali $\pm 0.82\text{V}$. Namen nizkopasovnega filtra je da, ne prepusti višjih frekvenc od osnovne na izhod pretvornika. Če vsak nivo na izhodu pretvornika obravnavamo kot en simbol, ki je določen z dvema vhodnima bitoma sledi:

$$f_s = f_b/2 = 4800 \text{ bps} / 2 = 2400 \text{ simbolov/sek.}$$

$$f_z(\text{LPF}) = f_s/2 = 1200 \text{ Hz}$$

Zaporna frekvenca LPF filtra f_z je določena z opazovanjem najhitrejši spremembe na izhodu pretvornika. Ker sta potrebna dva vhodna bita, da se producira en izhodni nivo, so potrebni štirje biti, da se producira en izhodni val. Osnovna frekvenca pravokotnega vala je s tem $f_s/2 = 1200$ Hz. Vse frekvence, ki se pojavijo na izhodu LPF in modulirajo nosilec, ustvarijo frekvenčno področje med 500 in 2900 Hz:

$$\begin{array}{ll} 500 \text{ Hz} & (f_n - f_z = 1700 - 1200 = 500 \text{ Hz}) \\ 2900 \text{ Hz} & (f_n + f_z = 1700 + 1200 = 2900 \text{ Hz}) \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{Širina frekvenčnega} \\ \text{pasu je } 2400 \text{ Hz.} \end{array}$$

16-QAM je manj občutljiva na šum kot 16-PSK. Pri razmerju $S/N = 16$ dB je pogostost napake za 16-QAM 10^{-8} , pri 16-PSK pa je 10^{-4} . QAM modemi dajejo boljšo izkoriščenost širine frekvenčnega pasu.

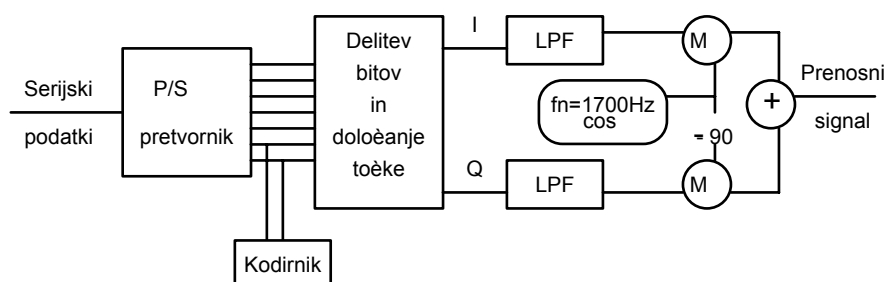
Omenimo še enkrat nekaj najosnovnejših karakteristik 16 QAM modulatorja za V.29 modem s hitrostjo 9600 bps. Uporablja nosilec s frekvenco 1700 Hz. Signalna hitrost je 2400 baudov, vsako stanje signala nosi 4 bite informacije. Imamo 12 faznih in 4 amplitudna stanja, kar nam da 16 točk v konstelacijskem diagramu, kot prikazuje slika 3-12. S pregledom konstelacijskega vzorca modema lahko napovemo občutljivost na določena popačenja. Pri zelo gostih konstelacijskih diagramih fazno drhtenje povzroča napake in s tem zmanjša propustnost. Pri 16 QAM imamo 12 faznih kotov. Sledi, da je med vsakim kotom 30 stopinj ($360^\circ / 12 = 30^\circ$) razlike in to zadostuje za prenos brez večjih popačenj.

Drugače je bilo, ko so želeli povečati hitrost prenosa na 14400 bps s 64 QAM. Simbolna hitrost je 2400 baudov, vsak simbol vsebuje 6 bitov informacije, kar ustvari 64 točk v konstelacijskem diagramu. Takšna gostota je že povzročala tako pogoste napake, da se je zaradi ponavljanja prenosa podatkov prepustnost zmanjšala v določenem primeru celo pod 9600 bps. Zato so proizvajalci raziskovali novo tehniko modulacije za hitrejši prenos po PSTN.

TCM

Najprej so odkrili, da je pravokoten konstelacijski diagram, ki se ga uporablja pri neredundančnem kodiranju za 9600 bps, pri danem razmerju S/N bolj občutljiv od šesterokotne oblike. To so verjetno ugotovili s poskušanjem, saj so zelo veliko dela vložili v preučevanje konstelacijskega diagrama. Šesterokotna oblika je pravzaprav še bolj zgoščena od pravokotne in je pri trdem določanju stanja signala povzročala preveč napak, kot smo omenili pri kodiranju, zato je bilo potrebno uporabiti mehko določanje stanja signala v sprejemniku, kar so dosegli s kompleksnim trellis kodiranjem in Viterbi dekodirnikom.

Trellis kodirnik vnaša redundanco v prostor signala in sicer v povezavi s QAM modulatorjem, ki mora delati kot sistem s spominom. Kodiranje je izvedeno na osnovi konvolucijskega kodiranja, ki redundančni bit določi na osnovi prejšnjih in sedanjih vrednosti posameznih bitov. Ustvari se največja minimalna Evklidova razdalja (slika 2-8) med točkami v konstelacijskem diagramu, kar tudi želimo doseči.



Kjer je: P/S = paralelno - serijski pretvornik

Slika 3-13 Primer 14.4 kbps TCM modulatorja (V.32bis, V.33)

Pri 14.4 kbps modemu oddajnik preoblikuje serijski podatkovni niz v 6 bitni simbol, kodira 2 od 6 bitov in doda en redundantni bit z uporabo binarnega konvolucijskega kodiranja (slika 3-13). Dobimo 3 kodirane in 4 nespremenjene bite skupaj, ki jih peljemo v I in Q kanal QAM modulatorja. Trellis kodiranje je razloženo še pri V.32 standardu, kjer je predstavljena razlika med redundantnim in neredundantnim kodiranjem. Prva dva bita zakodira na podlagi prejšnjih dveh zakodiranih bitov in na podlagi novih dveh bitov zakodira redundantni bit. Za delovanje je potreben sistem s spominom. QAM modulator nato na podlagi dveh kodiranih, enega redundantnega in dveh prvotnih bitov določi eno izmed 32 stanj signala.

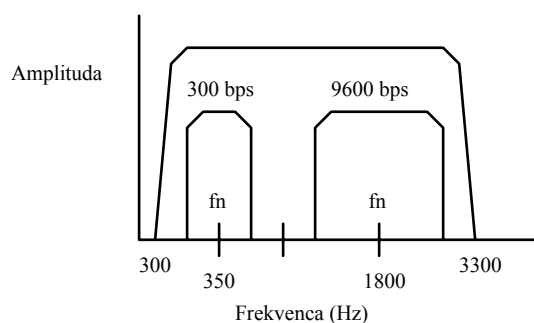
Dekodiranje točke signala izvajamo z Viterbi dekodirnikom, ki gleda več točk v signalnem prostoru in določi najverjetnejši niz, to je tisti niz, ki ima najmanjšo Evklidovo razdaljo do sprejetega niza. Vse se vrti okoli izračunavanja najverjetnejše minimalne razdalje do niza, ki je bil lahko poslan. Viterbijev algoritem je podrobneje obdelan v literaturi [6].

3.2.5 Nestandardne modemske tehnike

Uporabniki modemov zahtevajo hitrejšo prenosno prepustnost za podporo prenosa datotek in ostalih storitev. Več proizvajalcev je zato oblikovalo lastne tehnike za povečanje hitrosti in omogočanje FDX prenosa po PSTN. Za omogočanje FDX prenosa so uporabili izločanje odboja pri V.32, V.32bis, V.32terbo in asimetrične modeme ter ping-pong način, ki ju bomo še opisali. Prepustnost so povečali s kompresijskimi tehnikami razloženimi v poglavju 3.4.

Asimetrični modemi

Nekaj proizvajalcev je uporabilo starejšo zamisel za dosego FDX prenosa pri višjih hitrostih po PSTN z uporabo asimetričnih modemov. Ti modemi uporabljajo dva kanala, ki pa nista enako široka in ne omogočata istih hitrosti (slika 3-14). Primarni oddajni kanal obsega širši prenosni pas in dosega večje hitrosti. Sekundarni pa služi za kontrolo prenosa in počasen prenosni kanal. S tem načinom se približamo FDX načinu prenosa, oziroma simuliramo tak prenos.



Slika 3-14 Asimetrični modemi z dvema nosilcema:

- 1800 Hz za hiter 9600 bps podatkovni kanal
- 350 Hz za počasen 300 bps podatkovni kanal

V 80-tih letih so proizvajalci izdelali modeme z 9600 bps kanalom in nosilcem 1800 Hz ter 300 bps kanalom, nosilec je 350 Hz. Razvili so jih zaradi prilagajanja delu. Pri omrežnih povezavah potrebujemo samo en hiter kanal, kjer prenašamo datoteke in podatke iz glavnega računalnika. Od terminala do glavnega DTE pa tipkamo le ukaze. Lahko je tudi obratno.

Za te modeme zaenkrat ne obstajajo standardi, čeprav si je več proizvajalcev prizadevalo, da bi sprejeli standard za dodelitev teh pasov. Modema morata namreč podpirati enako tehniko in uporabniki PC kupujejo od različnih proizvajalcev. Asimetrični modemi so cenejši in zato popularni.

Ping-pong delovanje

Drugi način simulacije FDX prenosa je ping-pong ali hitro preklapanje med oddajnikom in sprejemnikom. Pri tej prenosni tehniki oddajni modem, ko neha oddajati, sporoči sprejemniku, da lahko on začne oddajati, sam pa se preklopi v sprejemni način delovanja. Čim hitreje lahko modema preklapljata tem bolj se približujeta FDX načinu. Večina modemov, ki uporablja to tehniko, vsebuje RAM vmesne pomnilnike, da zadržijo podatke dokler se smer prenosa ne spremeni.

PEP (Packetized Ensemble Protocol) modemi

Okoli leta 1986 so na trg prišli PEP modemi, ki so pomenili velik razvoj tehnike. Na modemske plošče so vgrajevali hitre mikroprocesorje in ROM integrirana vezja v katere so vpisovali po 70000 ukazov za delovanje. Na podlagi tega protokola oddajni modem istočasno odda na linijo 512 tonov. Sprejemni modem pregleda vse tone, določi vpliv šuma na celi pasovni širini in sporoči oddajnemu modemu katere frekvence so najbolj popačene. Oddajni modem izbere najprimernejšo obliko prenosa (2, 4 ali 6 bitna QAM) in vhodne podatke temu primerno pakira.

Prednosti PEP modema so, da avtomatično poišče uporabne frekvence, kar zelo poveča uporabnost posovne širine. Poleg tega ima možnost zmanjšanja povratne hitrosti, če so tam popačenja, medtem ko oddajna hitrost ostane ista. Izviren PEP modem je razvil Telebit Corporation s TrailBlazer modemom. Nekaj drugih proizvajalcev je po licenci izdelalo podobne modeme. Poleg te tehnike je na začetku podpiral V.22bis, danes še V.32 in V.32bis, tako da je združljiv z ostalimi modemi. Pri povezavi z enakim PEP modemom dosega velike hitrosti. Pri kvalitetnih linijah z malo šuma dosega do 19.2 kbps. Uvršča se ga med ping - pong modeme.

3.3 Standardi razdeljeni po hitrosti in načinu modulacije

Opisali bomo standarde, ki predpisujejo modulačijsko tehniko in vse kar zraven spada. Standardi so predstavljeni v tabeli 3-2 in jih bomo opisovali po hitrosti. Velikokrat se za opisovanje mednarodnih CCITT standardov za modeme uporablja predstavitev Bell-ovih modemov, ki so se pojavili prvi in je večino standardov CCITT prevzel od njih. Naredili bomo primerjavo med obema vrstama modemov.

CCITT priporočila	Hitrost prenosa	Prenosna tehnika	Modulacija	Način prenosa	Uporabljena linija
V.21	300	A	FSK	HDX/FDX	PSTN
V.22	600	A	PSK	HDX/FDX	PSTN/najeta
	1200	A/S	PSK	HDX/FDX	PSTN/najeta
V.22bis	2400	A	QAM	HDX/FDX	PSTN
V.23	600	A/S	FSK	HDX/FDX	PSTN
	1200	A/S	FSK	HDX/FDX	PSTN
V.26	2400	S	PSK	HDX/FDX	najeta
	1200	S	PSK	HDX	PSTN
V.26bis	2400	S	PSK	HDX	PSTN
V.26ter	2400	S	PSK	HDX/FDX	PSTN
V.27	4800	S	PSK	FDX	najeta
V.27bis	4800	S	PSK	HDX/FDX	PSTN/najeta
V.27ter	4800	S	PSK	HDX/FDX	PSTN/najeta
V.29	9600	S	QAM	HDX/FDX	najeta
V.32	9600	A	QAM/TCM	HDX/FDX	PSTN
V.32bis	14400	A	QAM/TCM	HDX/FDX	PSTN/najeta
V.33	14400	S	TCM	HDX/FDX	najeta
V.34	28800	S	TCM	HDX/FDX	PSTN

Tabela 3-2 CCITT priporočila za modeme

3.3.1 Počasni modemi (V.21, V.22, V.23, V.26)

Obravnavali bomo modeme s hitrostjo med 300 in 2400 bps. Za današnje razmere so zelo počasni modemi, vendar so še v uporabi. Pri nezahtevni in nepogosti obdelavi podatkov mogoče še zadostujejo, vendar lahko rečemo, da so prepočasni in je zamudno npr. s temi modemi listati po BBS-u..

V.21 (300 bps modemi)

Počasni 300 bps modemi uporabljajo FSK modulacijo in pri njej smo že opisali tipičnega predstavnika Bell 103 (slika 3-4). Pri delovni hitrosti 300 bps je trajanje bita $t_b = 1/300$ s ali 0.00333s. Toliko časa modem prenaša določeno frekvenco (1180 Hz za log.1). Če je naslednji bit enak predhodnemu, se isti ton prenaša še eno trajanje bita t_b . Če se naslednji bit spremeni, oddajnik pomakne signal na drugi oscilator in pošilja ta ton čas t_b .

Pri FSK je modulačijska hitrost enaka podatkovni signalni hitrosti. Dva važnejša predstavnika za delo pri 300 bps sta modema Bell 103 in V.21. Dodelitev frekvenc zanju je podana v tabeli 3-3, delovanje pa je delno opisano v poglavju 3.2.1.

Tip modema		Klic	Odgovor
Bell 103	Znak	1270	2225
	Presledek	1070	2025
V.21	Znak	980	1650
	Presledek	1180	1850

Tabela 3-3 Dodelitev frekvenc v (Hz) za 300 bps modeme V.21 in Bell 103

Oba modema se lahko uporabljata na najetih linijah in PSTN. Z uporabo frekvenčnega multipleksa razdelimo telefonsko pasovno širino v dva kanala in omogočimo FDX prenos po PSTN. Seveda podpirajo tudi HDX prenos. Omenili smo že, da ti modemi delujejo v dveh načinih: klicnem in odgovornem. Bell-ovi modemi 103 A, E, F, G in J imajo možnost preklapanja, ki je označena z "originate" in "answer". Model Bell 113A lahko dela samo v klicnem načinu, 113 B pa le v odgovornem načinu. Kot vidimo v tabeli 3-3 modemi V.21 uporabljajo enako modulačijsko tehniko kot Bell-ovi, le drugo vrednost frekvenc za posamezen znak, kar onemogoča komunikacijo med njimi. Bell 103 se uporablja v Severni Ameriki, V.21 v Evropi. Problem nastane pri prenosnih modemih, če pride uporabnik iz ZDA v Evropo.

V.22, V.23 (1200bps modemi)

Na tem področju imamo kar nekaj Bell-ovih modemov in tudi V serije. Bell 212A in V.21 modemi delajo pri 300 bps in 1200 bps. Bell 202 in V.23 pa le pri eni hitrosti. Poglejmo si podrobnosti in razlike teh dveh parov modemov.

V.22 in Bell 212A modemi

V poznih 70-tih in v začetku 80-tih let so bili ti modemi eni izmed najuporabnejših in jih je bilo tudi veliko postavljenih na PSTN omrežju. Do 90-tih so jih nadomestili V.22 bis in V.32 modemi. Zaradi široke uporabe v preteklosti so današnji hitri modemi izdelani tako, da so združljivi s tema dvema tipoma modemov.

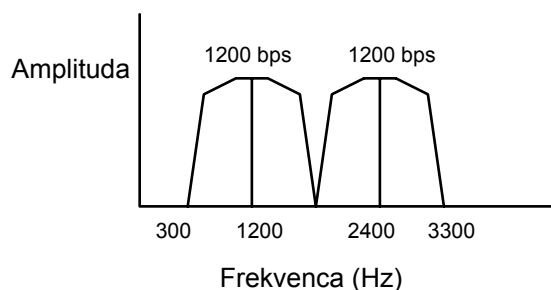
Bell 212A omogoča asinhron in sinhron prenos po PSTN. Vgrajen ima Bell 103 model modema za asinhron FDX prenos pri hitrosti do 300 bps. Prenos podatkov s hitrostjo 1200 bps doseže z diferencijalno PSK modulacijo, ki omogoči sinhrono in asinhrono delovanje. V tabeli 3-4 je prikazano kodiranje faznega pomika glede na vrednost dibita. Fazni pomik se zgodi z upoštevanjem predhodnih stanj in sedanjih stanj.

Dibit	fazni pomik(°)
00	90
01	0
10	180
11	270

Tabela 3-4 Fazni pomik kodiran pri Bell 212A

Poleg tega je model 212A izdelan za sprejem asinhronih podatkov od DTE, ki se med dvema enakima modemoma prenašajo sinhrono pri 1200 bps. S takim delovanjem modem ne prepušča daljši niz podatkov, kot je nepretrgan bitni prenos podatkov, ampak sprejema le znak s točno določeno bitno dolžino (8-10 bitov). Pri 1200 bps lahko sprejema 9 in 10 bitne znake. Ker znak vsebuje start in stop bit, lahko pri 10 bitnem znaku prenaša 7 bitni ASCII znak z P, 8 bitni razširjeni ASCII znak ali EBCDIC znak brez P.

Za delo pri 1200 bps uporablja dva podkanala s 1200 Hz klicno in 2400 Hz odgovorno nosilno frekvenco (slika 3-15), kar mu omogoča FDX prenos po PSTN. Na sliki 3-15 je prikazano razmerje nosilnih frekvenc glede na pasovno širino. Kot prednost pri uporabi lahko omenimo delovanje pri dveh prenosnih hitrostih.



Slika 3-15 Nosilni frekvenci pri 1200 bps za 212A

Če je modem "neumen"(dumb), uporabnik izbere višjo delovno hitrost s pritiskom na gumb HS (High Speed) na sprednji plošči modema. Pri "inteligentnih" modemih lahko uporabnik določi delovno hitrost prek komunikacijskega programa in AT ukazov. Na sprejemni strani se modem avtomatično preklopi na delovno hitrost, ki jo določa klicni modem. Med prenosom se hitrosti ne da spreminjati, potrebno je ponovno vzpostaviti zvezo.

V.22

Modemi V.22 delajo pri 1200 bps na PSTN ali najetih linijah in imajo povratni kanal s hitrostjo 600 bps. Uporablja se DPSK za 1200 bps in BPSK za 600 bps s petimi načini delovanja. V tabeli 3-5 je prikazan fazni pomik glede na vhodno vrednost dibita in bita. Po načinu delovanja ločimo:

1. in 2. - uporablja sinhron in asinhron prenos podatkov pri 1200 bps
3. - sinhron prenos pri 600 bps
4. - asinhron prenos pri 600 bps
5. - asinhron prenos pri 1200 bps

Vrednost dibita pri 1200 bps	Vrednost bita pri 600 bps	Vrednost kotov(°) 1,2,3 in 4 način	Vrednost kotov(°) 5 način
0 0	0	90	270
0 1	-	0	180
1 1	1	270	90
1 0	-	180	0

Tabela 3-5 Fazni pomiki za modem V.22

Pri primerjavi V.22 in Bell 212A modemov opazimo, da so pri 300 bps nezdružljivi, saj uporabljajo drugačno modulacijsko tehniko. Za 1200 bps uporabljajo enako tehniko, le 5. način V.22 modema se razlikuje. Tudi frekvenčni nosilci so isti 1200 Hz in 2400 Hz. V.22 modem pri 1200 bps sprejema 8, 9, 10 ali 11 bitne asinhronne znake in je na ta način tudi združljiv z Bell 212A modemom. Pri komunikaciji med tema dvema modemoma nastane problem pri zgornjem nosilcu 2400 Hz. Bell uporablja ton pri 2225 Hz zaradi boljše kvalitete linij v ZDA pri tej frekvenci, V.22 pa pri 2100 Hz zaradi evropskih linij.

Če pri tej frekvenci ni odziva pošlje 2400 Hz, nato pa še ≈ 2250 Hz, ki je blizu 2225 Hz in takrat se mogoče sporazumeta.

Bell 202

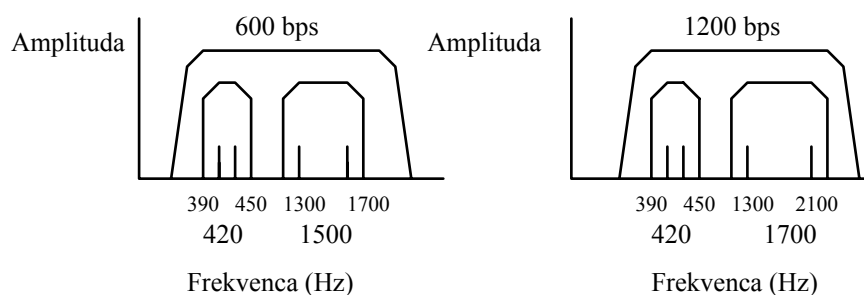
Modemi Bell 202 so bili predstavljeni v začetku 60-tih let in so pomenili največje hitrosti prenosa. Oblikovani so za hitrosti 1200 ali 1800 bps. Model 202C dela na PSTN in najetih linijah v HDX in FDX načinu. Večina modelov 202 uporablja FSK modulacijo in nosilec 1700 Hz, ki doseže maksimalno 1200 pomikov na sekundo. Ko se pojavi logična 1 na modulatorju se nosilec pomakne za 500 Hz nižje na 1200 Hz, za logično 0 pa za 500 Hz višje na 2200 Hz. S tem sta tudi določeni frekvenci za znak in presledek.

Pasovne širine ne razdelimo na dva frekvenčna podkanala za omogočanje FDX prenosa, kot pri modelu 103, zato se poveča hitrost prenosa na 1200 bps. S povečanjem hitrosti se je povečal tudi uporabljen frekvenčni pas, tako da lahko uporabljamo le en hiter podatkovni pas. Onemogočen je FDX prenos po PSTN in realiziran je HDX prenos. FDX prenos dosežemo s preklapljanjem med oddajnikom in sprejemnikom. Modema namreč izmenično oddajata in sprejemata. Čas potreben za preklapljanje imenujemo preklopni zakasnilni čas. Preklapljanje povzroča popačenje na delu podatkov, ki se takrat prenašajo in je moteče.

Vgrajen imajo povratni kanal s hitrostjo prenosa 5 bps in nosilcem 387 Hz, ki uporablja AM modulacijo. Kanal služi za potrditev pravilnosti prenosa z ACK in NAK znaki ter ostalimi znaki. Na ta način se izognemo preklapljanju in možnim nastalim napakam v tem času. Uporabljajo ga vsi HDX modemi, saj se z njim zmanjša in celo odpravi preklopne zakasnitve. Vendar pa po zelo počasnem kanalu kot je 5 bps pri modelu 202 lahko pošiljamo le statusne informacije (pripravljen za sprejem). Obsežnejše kontrolne ASCII znake (ACK, NAK) modem hitreje prenese če se preklopi. Zato nekateri modemi (V.23) uporabljajo povratni kanal s 75 bps ali celo 150 bps, s katerimi lahko prenašajo kontrolne znake. Od tu izhaja tudi oznaka za hitrost prenosa, ki jo nekateri označujejo s 1200/75 bps, kar pomeni, da v glavnem podatkovnem kanalu prenašajo informacijo s 1200 bps, v povratnem pa s 75 bps. Hitrost 1800 bps dosežemo z modemi tipa 202D, ki zahtevajo posebne najete vode, modemi 202 S in 202 T pa delajo s hitrostjo 1200 bps na PSTN, oziroma pri 1800 bps na najetih vodih.

V.23 modemi

V.23 standard predstavlja modeme za prenos pri 600 ali 1200 bps preko PSTN. Asinhron in sinhron prenos podpiramo z uporabo FSK modulacijske tehnike. Uporablja 75 bps povratni kanal za kontrolo napak, ki ne uporablja AM kot model 202, ampak FSK. Na sliki 3-16 je predstavljena razporeditev frekvenc za V.23 modem. Povratni kanal uporablja ton s 390 Hz za binarno 1 in 450 Hz za binarno 0. V prvem načinu, kjer dela pri 600 bps, je v klicnem kanalu "1" predstavljena s 1300 Hz, "0" pa s 1700 Hz toni. Nosilec je pri 1500 Hz. Pri prenosu s 1200 bps je "1" določena s 1300 Hz in "0" z 2100 Hz. Nosilec je 1700 Hz.



Slika 3-16 Frekvenčna in pasovna predstavitev V.23 modema

Modema V.23 in 202 nista združljiva. Uporabljata sicer isti nosilec za podatkovni pas 1700 Hz, vendar druge frekvence za znak in presledek. V.23 je ohranil povratni kanal s 75 bps in FSK, ki ga v Evropi uporabljajo za več aplikacij, saj je koristen.

V.26, V.22 bis (2400 bps modemi)

Osnovni modeli modemov za prenos pri 2400 bps so V.26, V.22 bis in Bell 201. Bell 201 in V.26 modemi so izdelani za sinhron prenos, V.22 bis pa opravlja asinhron prenos.

V.26 modem

Priporočilo določa 2400 bps sinhron modem za prenos po štirizičnih najetih vodih. Uporablja DPSK tehniko in dve priporočili za način kodiranja faznega pomika glede na vhodni dibit (tabela 3-6). Modulacijska hitrost je 1200 baud-ov in ker vsak pomik faze prenese 2 bita dobimo 2400 bps. Lahko se uporablja povratni kanal in je enako določen kot pri V.23 modemu. Nosilna frekvenca je 1800 Hz.

	Fazni pomik stopinjah	
	v	
dibit	primer A	primer B
00	0	45
01	90	135
11	180	225
10	270	315

Tabela 3-6 Fazni pomik za modem V.26

Slika 3-18 Primer PSK za V.26

V.26bis in V.26ter

Omeniti velja, da imamo dve različici V.26 standarda, V.26 bis in V.26 ter. Izraza bis in ter izvirata iz latinščine in predstavljata drugo in tretjo ispeljanko nekega standarda.

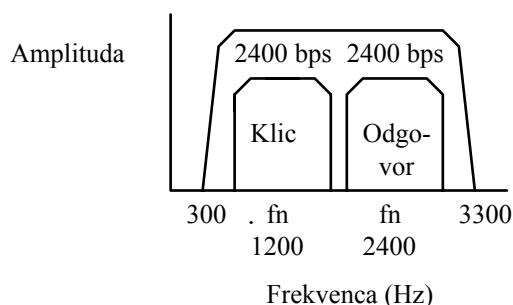
V.26bis priporočilo določa modem za delo pri dveh hitrostih 1200 in 2400 bps na PSTN. Pri 2400 bps je modulacija in kodirna metoda ista kot pri V.26 (primer B v tabeli 3-6). Pri 1200 bps uporablja BPSK, kjer je "0" določena z 90° faznim pomikom in "1" z 270° pomikom. Uporablja tudi povratni kanal s 75 bps.

V.26ter uporablja isto fazno metodo kot V.26, dodali so mu izločevalnik oddajnega signala in odboja, zaradi česar lahko dela v FDX načinu na PSTN pri 2400 bps. Modem je bil razširjen v Franciji, zamenjal ga je V.22 bis modem.

V.22 bis modem

Izdelan je za FDX prenos s hitrostjo 2400 bps na PSTN in dvožičnih najetih linijah. Pri prenosu lahko sprejema podatke asinhrono ali sinhrono, vendar prenos med modemoma

poteka sinhrono z uporabo QAM modulacijske tehnike pri 600 baud-ih. Vsak baud predstavlja 4 bite in na njihovi podlagi se določi točka v 16 točkovnem konstelacijskem diagramu.



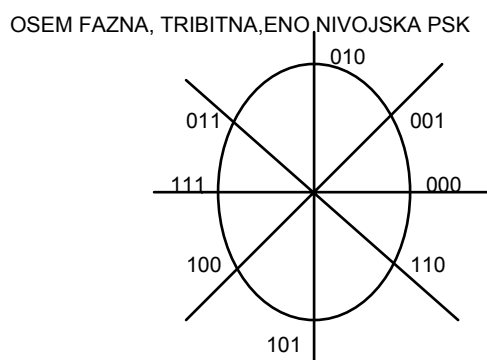
Slika 3-18 Modem V.22 bis

Podobno kot V.22 uporablja dva frekvenčna podkanala z nosilcema 1200 Hz in 2400 Hz. Delovanje 16 QAM smo že opisali pri modulaciji. Modem lahko dela tudi pri 1200 bps in uporablja DPSK ter iste frekvence kot V.22 modem. V.22 bis modemi izdelani za ZDA pri 1200 bps niso združljivi z evropskimi, ker uporabljajo druge tone zaradi kvalitete omrežja, kot smo že omenili. Pri hitrosti 2400 bps sta združljiva zaradi omogočanja svetovne povezave za prenos podatkov preko PSTN. V.22 bis modem predstavlja "de facto" standard pri komunikaciji s PC preko PSTN.

3.3.2 Modemi srednjih hitrosti (V.27)

Med srednje hitre modeme danes uvrščamo hitrosti 4800 bps, čeprav so do 90-tih let veljali za hitre. Na začetku 70-tih let sta se na tržišču pojavila modema Bell 208 in V.27, ki sta predstavnika sinhronega prenosa podatkov pri 4800 bps. Bell-ovi modemi uporabljajo QAM modulacijo. Model 208A omogoča HDX in FDX prenos na najetih vodih, 208B pa HDX prenos na PSTN. Naj ponovimo, da je v tem času še vedno povzročalo probleme drhtenje faze, manjša kvaliteta linij in izenačevalnikov, kar je onemogočalo uporabo QAM pri 9600 bps.

V.27 modem uporablja PSK z nosilno frekvenco 1800 Hz in omogoča FDX prenos pri 4800 bps na najetih štirizičnih linijah. Fazni pomiki so prikazani na sliki 3-19. V.27 modem uporablja različne kote kot Bell 208 in zato modema nista združljiva.



Slika 3-19 Fazni pomiki glede na vhodni tribit pri modemu V.27

V 70-tih letih so se uporabljali za komunikacijo med oddaljenimi sinhronimi terminali in glavnim računalnikom. Model V.27 je bil razširjen tudi na V.27 bis in V.27 ter s hitrostjo 4800 / 75 bps, torej za HDX prenos pri 4800 bps po PSTN in 75 bps povratnim kanalom. V začetku 80-tih let so namesto sinhronih terminalov v omrežjih začeli uporabljati osebne

računalnike, ki so jim vgradili kartico za sinhrono komunikacijo. Sedaj lahko dobimo tudi notranji modem in omogočamo sinhrono komunikacijo.

3.3.3 Hitri modemi (V.29, V.32, V.32bis, V.33, V.fast, V.34)

Med hitre modeme še vedno uvrščamo tudi 9600 bps modeme (V.29, V.32), poleg znanih 14400 bps (V.32bis, V.33) modemov. Leta 1991 je CCITT osnoval skupino za raziskavo hitrejšega V.fast standarda, ki je razvoj razdelila v dva načina in ju bomo na koncu opisali. Najhitrejši standard V.34 je bil sprejet leta 1994 in omogoča sinhron FDX prenos na PSTN od 24.4 kbps do 28.8 kbps.

Med začetkom sprejemanja in končnim sprejetjem V.34 standarda leta 1994 so proizvajalci tekmovali, kdo bo izdelal hitrejši in boljši modem. U.S. Robotics, ki je znan po razvoju hitrih modemov, je predstavil V.32 terbo s hitrostjo 19.2 kbps. Zyxel je ponudil svoje modeme s 16.8 kbps in 19.2 kbps. Codex je že sredi leta 1993 ponudil kvaliteten V.fast modem s 24.4 kbps. Seveda so med naštetimi najboljši modemi izdelovalci, vendar to niso standardi in kar nekaj težav je nastalo v zvezi s vprašanjem, katera tehnika bo sprejeta kot standard, saj proizvajalcu prinese veliko priznanje in uveljavitev njegovih tehnik. Tisti, katerih modemi niso sprejeti, so deležni grajanja, ker njihovi modemi niso združljivi z novimi tehnikami.

V.29

Modemi V.29 prenašajo podatke sinhrono v FDX ali HDX načinu, s hitrostjo 9600 bps na najetih štirižičnih linijah. Za tak prenos uporabljajo QAM modulačijsko tehniko in nosilec z frekvenco 1600 Hz. Pri kodiranju imamo niz štirih bitov - quadbit, ki določijo:

- ♦ prvi bit določi amplitudo pri kateri bo potekal prenos
- ♦ ostali trije biti zakodirajo fazni pomik, ki je enak priporočilu V.27

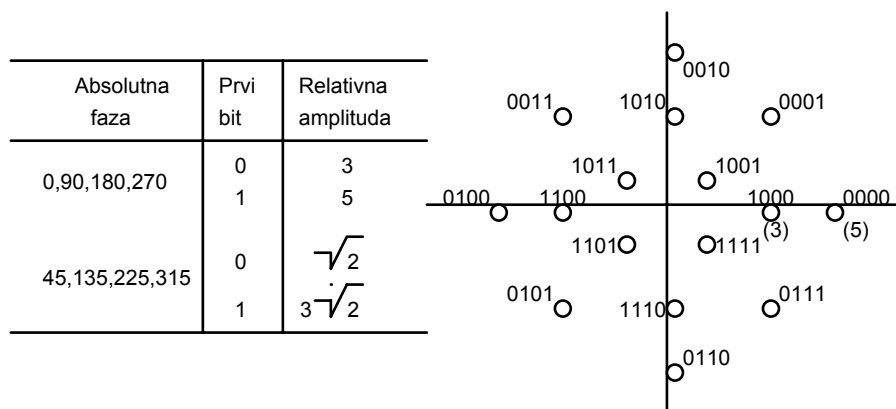


Tabela 3-7 Kodiranje točke signala V.29 Slika 3-20 Konstelacijski diagram za V.29

V tabeli 3-7 je opisana amplituda, ki jo določa prvi bit v kombinaciji z absolutno fazo. Fazo določajo biti 2, 3 in 4.

Dodatne izvedbe V.29

Različni proizvajalci s pomočjo integriranih vezij (ROM, RAM, procesorjev) izdelujejo nestandardne modeme, ki omogočajo simuliran FDX prenos po PSTN. FDX dosežejo z oblikovanjem nesimetričnih kanalov ali uporabe ping-pong metode (poglavje 3.2.5). Pri nesimetričnem razdeljevanju uporabljajo povratni kanal z FSK modulacijo in hitrostjo

300 bps. S tem načinom dosežemo ekonomičen prenos podatkov z osebnimi računalniki preko PSTN.

Poleg tega v nove verzije V.29 modemov vgrajujejo pretvornike iz asinhronnega v sinhron prenos podatkov, saj ima večina osebnih računalnikov vgrajena asinhrona serijska vrata na izhodu UART integriranega vezja. Modem nato sinhrono prenaša asinhrone znake. Proti koncu 80-tih let so bili ti modemi trikrat cenejši (995-1295\$) od standardnega V.32 modema (3500\$), ki je omogočal 9600 bps FDX prenos po PSTN. Danes je V.32 modem cenejši od teh nestandardnih izvedb, ki poleg vsega niso združljivi s hitrejšimi V.33, V.34 modemi, saj na koncu njihova hitrost pade zaradi neprilagojene tehnike na 2400 bps ali celo 1200 bps. Kupci se jih zaradi tega izogibajo. Tak primer je Hayes-ov 9600bps Smart modem, izdelan leta 1987, ki je še vedno na tržišču in uporablja nesimetrično ping-pong prenosno tehniko.

V.32

Standard V.32 se je uveljavil pred približno desetimi leti (1986) in je zelo razširjen. Uporabljajo ga v podjetjih in odkar je cenovno konkurenčen tudi uporabniki osebnih računalnikov. V letu 1992 je bil najbolje prodajan modem, leta 1993 mu je cena padla pod 400\$.

Uporablja novejšo QAM tehniko in omogoča FDX asinhron prenos pri 9600 bps. Modema med seboj komunicirata sinhrono preko PSTN. Modem V.32 oblikuje oblikuje dva hitra kanala v nasprotnih smereh in na istem celotnem frekvenčnem področju. Za oddajo in sprejem signala v isti pasovni širini uporablja izločevalnik oddajnega signala in odboja. Modemski sprejemnik mora izločiti lasten oddajni signal in pravilno detektirati sprejemni signal.

V.32 modem omogoči sinhrono komunikacijo pri 2400, 4800 in 9600 bps pri vstopu asinhronih podatkov v modem. To je narejeno z asinhrono/sinhronim pretvornikom, ki asinhrone znake ustrezno oblikuje za sinhron prenos. Odvzame jim start/stop bite (če je uporabljena paritetna kontrola tudi paritetni bit) in oblikuje sinhron okvir. Uporablja nosilno frekvenco 1800 Hz, simbolno hitrost 2400 baudov, 4 bite kodira v en simbol, kar omogoči 9600 bps. Priporočilo določa dve možni modulaijski shemi, QAM modulacija z neredundančnim kodiranjem in TCM. Predstavitev razlike se ponavlja označuje QAM/TCM ali QAM/TC. Z uporabo neredundančnega kodiranja dobimo 16 točk v konstelacijskem diagramu, pri TC dodamo en redundantni bit in dobimo 32 točk. Vsi V.32 modemi ne uporabljajo TC, vendar dosegajo veliko slabšo kvaliteto.

Neredundančno kodiranje

Vhodne podatke zberemo v quadbit. Na podlagi kombinacije prvih dveh vhodnih bitov $Q1n$, $Q2n$ s predhodnima kodiranimi bitoma $Y1(n-1)$, $Y2(n-1)$ generiramo nova dva kodirana bita $Y1n$, $Y2n$. Nova dva bita določata kvadrant, kjer bo točka, v kombinaciji s tretjim in četrtim vhodnim bitom $Q3$, $Q4$, določata točko signala v kvadrantu (tabela 3-8). Na sliki 3-21 je predstavljen konstelacijski diagram za neredundančno kodiranje, točke A, B, C in D prikazujejo fazno stanje za hitrost 4800 bps.

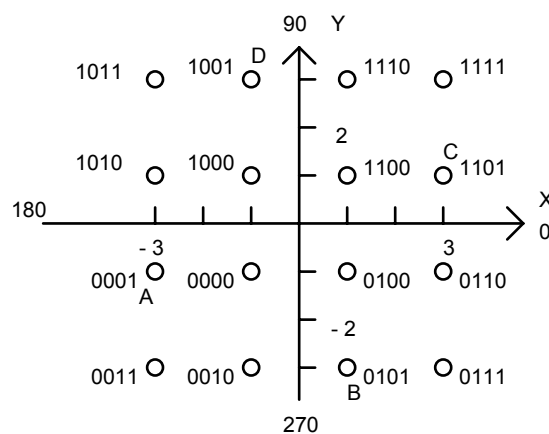
Vhodna bita	Predhodna bita	Fazno stanje(°)	Kodirana bita	Kodirana vhoda	Tretji in četrti bit	Točka signala
$Q1n$ $Q2n$	$Y1n$ $Y2n$		$Y1n$ $Y2n$	$Y1$ $Y2$	$Q3$ $Q4$	X Y
0 0	0 0	+90	0 1	0 0	0 0	-1 -1
0 0	0 1		1 1	0 0	0 1	-3 -1
0 0	1 0		0 0	0 0	1 0	-1 -3

0 0	1 1		1 0	0 0	1 1	- 3 - 3
0 1	0 0	0	0 0	0 1	0 0	1 - 1
0 1	0 1		0 1	0 1	0 1	1 - 3
0 1	1 0		1 0	0 1	1 0	3 - 1
0 1	1 1		1 1	0 1	1 1	3 - 3
1 0	0 0	+180	1 1	1 0	0 0	- 1 1
1 0	0 1		1 0	1 0	0 1	- 1 3
1 0	1 0		0 1	1 0	1 0	- 3 1
1 0	1 1		0 0	1 0	1 1	- 3 3
1 1	0 0	+270	1 0	1 1	0 0	1 1
1 1	0 1		0 0	1 1	0 1	3 1
1 1	1 0		1 1	1 1	1 0	1 3
1 1	1 1		0 1	1 1	1 1	3 3

Tabela 3-8 Neredundančno kodiranje kvadranta in točke signala za modem V.32

Primer:

Imamo vhodni niz 0101 in predhodna zakodirana bita 11,
 kombinacija 0111 nam da kvadrant 0° in nova dva zakodirana bita 11,
 kombinacija novi dveh in 3, 4 bita 1101 nam da točko v konstelacijskem
 diagramu $X=3, Y=1$



Slika 3-21 Konstelacijski diagram neredundančno kodiranega modema V.32

Trellis kodiran modem V.32

Pri trellis kodiranju modem V.32 zbere vhodne podatke v skupino štirih bitov-quadbit. Prva dva bita tudi kodiramo glede na predhodna dva bita, le z drugimi vrednostmi. Nova dva bita peljemo na konvolucijski koder, ki na podlagi dibita generira redundantni bit, dibit pa pusti nespremenjen. Na podlagi novega dibita Y1, Y2, redundantnega bita Y0, tretjega in četrtega bita Q3, Q4, se potem določi ena izmed 32 točk v konstelacijskem prostoru signala (tabela 3-9).

Kodiran dibit	Vhodna bita 3,4	Trellis		bit	
		Y0= 0		Y0= 1	
Y1 Y2	Q3 Q4	Re	Im	Re	Im
0 0	0 0	- 4	1	- 3	- 2
0 0	0 1	0	- 3	1	- 2
0 0	1 0	0	1	- 3	2
0 0	1 1	4	1	1	2
0 1	0 0	4	- 1	3	2
0 1	0 1	0	3	- 1	2
0 1	1 0	0	- 1	3	- 2

0	1	1	1	-4	-1	-1	-2
1	0	0	0	-2	3	1	4
1	0	0	1	-2	-1	-3	0
1	0	1	0	2	3	1	0
1	0	1	1	2	-1	1	-4
1	1	0	0	2	-3	-1	-4
1	1	0	1	2	1	3	0
1	1	1	0	-2	-3	-1	0
1	1	1	1	-2	1	-1	4

Tabela 3-9 Trellis kodiran modem V.32

Slika 3-22 Konstelacijski diagram TCM

Če dela modem pri 4800 bps, namesto štirih bitov vzame 2 bita in na njuni osnovi določi 4 točke A, B, C in D v konstelacijskem prostoru na sliki 3-22. Proizvajalci so V.32 modem z uporabo DSP procesorja in LSI integriranih vezij razširili s kontrolo napak V.42, kompresijo podatkov V.42bis, avtomatskim ponavljanjem klica, nasploh z vsem, kar premorejo današnji inteligentni modemi.

V.32 bis

Predlagan je bil leta 1986 in predstavlja standard za modeme na PSTN pri hitrosti 14.4 kbps. Do 90-tih let je bil široko v uporabi, nato je po letu 1992 postal cenovno nekonkurenčen, saj je obdržal ceno nad 1000\$. Danes so naprodaj izpod 500\$, kar je povečalo interes pri podjetjih, Univerzah in uporabnikih osebnih računalnikov. Čeprav se je na trgu pojavil nov hiter modem V.34 z 28.8 kbps, ki je trikrat dražji, je za pričakovati, da bo V.32bis ostal dokaj popularen.

V več področjih je V.32bis standard podoben V.32. Uporablja izločevalnik lasnega signala in odboja za omogočanje FDX prenosa. Pri TCM uporablja 6 vhodnih bitov in en redundantni bit, kar nam da 128 točk v konstelacijskem prostoru. Z uporabo V.42 bis podatkovne kompresije v razmerju 4 : 1, omogoči V.32 propustnost 38.4 kbps, V.32 bis pa 57.6 kbps. Dodatna razlika med V.32 in V.32 bis je opazna pri aplikacijah za boljši prenos. Tak primer je sposobnost modema, da avtomatično zniža delovno hitrost (Fall-back), kadar naleti na preveliko popačenje in je opazno v zmanjšanju razmerja S/N. V.32 modem potem ne more povečati hitrosti, če se kvaliteta linije izboljša, V.32 bis pa jo avtomatično poviša.

V.33 standard

Modem V.33 je manj zapletena razširitev V.32 standarda, saj ne uporablja izločevalnika odboja za doseganje FDX prenosa po PSTN, ampak je projektiran za štirižično najeto linijo. Delajo pri 14.4 kbps, 12 kbps in 9.6 kbps. Za prenos pri 14.4 kbps modem zbere 6 vhodnih podatkovnih bitov in en redundantni bit iz TC, kar predstavlja 128 točk v konstelacijskem diagramu. Nekaj proizvajalcev je na trg ponudilo V.33 modem s HDX prenosom na PSTN, vendar se ni uveljavil.

V.32 terbo

To je 19.2 kbps modem. Nekateri menijo, da je bil stranpot zaradi še ne sprejetega, a že objavljenega V.34 standarda in je ubiral svojo pot k višjim hitrostim. V.32 terbo uporablja dvodimenzionalno trellis kodiranje in izločevalnik signala in odboja. Podpira delovne hitrosti 19.2, 16.8 in 14.4 kbps. Združljiv je z V.32 bis in je izboljšana verzija tega modema, ki podpira dve višji hitrosti 16.8 in 19.2 kbps.

Skupino 6, 7 ali 8 bitov (za 19.2 kbps uporablja 8 bitov) na vhodu oblikuje v eno signalno stanje. In sicer, prva dva bita zakodira in doda redundančni bit, na izhodu da torej tri zakodirane bite. S tremi zakodiranimi biti (eden je redundančni) in preostalimi šestimi biti (vsega skupaj 9 bitov) določi eno izmed 512 točk v kostelacijskem diagramu.

V.fast, V.34

Predstavljen je bil v začetku leta 1991, standard pa je postal leta 1994. Prvotno so se oblikovale dve smeri razvoja tega standarda.

1. Prva smer je temeljila na uporabi enojnega nosilca in je pomenila nadaljevanje ter izpopolnjevanje V.32 in V.32 bis standardov.
2. Druga razvojna usmeritev pa je predvidevala večnosilčno modulacijo in TCM.

V 2. primeru so pasovno širino razdelili na več ozkih frekvenčnih podkanalov v katerih so popačenja linearnejša in je prenos kvalitetnejši. Poleg tega za vsak kanal velja Shannonov in Nyquistov zakon. Z več kanali obstaja večja teoretična meja hitrosti prenosa neodvisnih podatkovnih simbolov-bitov. Zaradi zmanjšanja simbolne hitrosti v kanalih se zmanjša

vpliv impulznega šuma, ki pride do izraza pri velikih hitrosti v kanalu, kot smo opisali v poglavju 2.4.3. Vhodne podatke razvrstimo na podnize in z njimi moduliramo neodvisne s pomočjo QAM modulacijske tehnike.

Kot primer vzemimo Codex, podjetje z dolgoletno razvojno usmeritvijo in njihov V.fast modem z imenom **326 XFAST**, ki je na trgu od maja 1992. Uporablja enojni nosilec z nastavljivo signalno hitrostjo. Omogoča signalno hitrost 2400, 2743, 2954 in 3200 baudov. Signalno hitrost in nosilec nastavi na podlagi preiskovanja linije (line probing), kjer modem pošilja po celi pasovni širini preiskusne frekvence (512 tonov) in razišče frekvenčno stanje v kanalu. Nato se uporablja predkodiranje v oddajniku, kjer modem določi tip popačenj na liniji, predoblikovanje signala (signal preshaping) in štiridimenzionalno trellis kodiranje. S tem doseže sinhron FDX prenos od 24.4 kbps vse do 28.8 kbps po PSTN in asinhronimi vhodnimi podatki. S kompresijo podatkov v razmerju 4 : 1 lahko prenaša asinhronne podatke vse do 115.2 kbps. To tehniko so sprejeli za V.34 standard.

Nekatere literature omenjajo da so V.fast standard preimenovali v V.34 leta 1994, kar pa ni res. V.fast se je pojavil pred sprejetjem standarda V.34 leta 94 in je kupcem ponujal isto hitrost 28.8 kbps. Vendar ni enakovreden sprejetemu standardu V.34, čeprav podpira isto hitrost. Ne jamči namreč združljivosti s podobnimi modeli drugih proizvajalcev. Danes zato številni proizvajalci nudijo nadgrajevanje teh modemov na poln standard V.34. Najelegantnejšo rešitev ponujajo tisti s softversko nadgradnjo, ki jo omogočajo vgrajeni Flash RAM pomnilniki namesto ROM pomnilnikov.

3.4 Inteligentni modemi

V tem poglavju si bomo ogledali, kako hitri mikroprocesorji, ROM, RAM in EPROM integrirana vezja dodajo modemom inteligenco. Pametni modemi nam marsikaj omogočijo s pomočjo komunikacijskih programov. Komunikacijski programi so programsko izdelani in morajo podpirati osnovne protokole, npr. za prenos datotek (file transfer protocol), kot so Kermit, XModem, YModem, ZModem, JModem, HS Link in ostali.

Komunikacijski programi in dodatni programski protokoli, ki niso vgrajeni v modem nas ne zanimajo, zato si pogledajmo kaj imajo modemi lahko vgrajeno v sklopu naprave. Tri najpomembnejša področja so kontrola in korekcija napak, kompresija podatkov ter nabor ukaznih komand.

Pri kontroli in korekciji napak dodamo posameznemu podatkovnemu bloku posebno glavo (header), ki je določena na podlagi algoritma. Na sprejemni strani modem z enakim algoritmom preveri, če je rezultat pravilen. Pravilen prenos potrdi s kontrolnim ASCII znakom ACK, pri nepravilnem prenosu pa zahteva ponovitev prenosa z znakom NAK.

Kompresija podatkov se omogoča z iskanjem ponavljajočih znakov, ki jih nadomesti z manj zakodiranimi biti. Z enim kodiranim znakom lahko prenesemo več podatkovnih znakov naenkrat. Kompresija podatkov zelo poveča prepustnost modema in je odvisna od kompresijskega razmerja, ki ga omogoča algoritem.

Nabor ukazov pri modemu zelo poveča sposobnost za delo. V osnovi nam omogoča izbiro delovne hitrosti, avtomatsko klicanje, ponavljanje klica, opravljanje več klicev zapovrstjo, dokler ne dobi prostega naročnika in dodatne storitve.

3.4.1 Kontrola in korekcija napak

Za kontrolo in korekcijo napak se uporablja več tehnik, ki morajo v osnovi zagotoviti:

1. Podatki se zberejo v blok večih znakov.
2. V odvisnosti od uporabljenega algoritma se generira en ali več kontrolnih znakov, ki jih doda bloku pri prenosu.
3. Sprejemni modem izvede enak algoritem in pozitivno ali negativno potrdi sprejem.

Korekcija napak se opravlja s ponovitvijo prenosa, zato morajo vsi modemi imeti vmesne pomnilnike. Podatki se v njih spravijo za toliko časa, da sprejemni modem potrdi pravilni prenos. Vmesni pomnilniki imajo omejen spomin in pri prehitrem dotoku podatkov v modem se pojavi težava. Uporabimo tehniko kontrole pretoka (flow control) podatkov, ki je lahko izvedena programsko ali strojno. Protokoli za nadzor pretoka so različni. Med najboljše uvrščajo strojni nadzor s CTS/RTS signali, ki smo jih opisali v poglavju 2.2. Poleg njega se uporablja tudi hardverski nadzor DSR/DTR in programski XON/XOFF. Zelo pomembno je, da imamo modem in komunikacijski program nastavljen na isti tip nadzora pretoka, drugače se lahko pojavijo težave pri prenosu datotek z modемом.

MNP 4, V.42

Pred letom 1989 ni bilo sprejetega nobenega standarda za kontrolo in korekcijo napak. Razvitih pa je bilo več tehnik z uporabo cikličnih polinomskih algoritmov, ki vzamejo podatkovni blok kot polinom $D(x)$ in ga delijo z predpisanim polinomom $G(x)$. Rezultat je kvocientni polinom $Q(x)$ in ostanek $R(x)$.

$$D(x) / G(x) = Q(x) + R(x) \quad (3.2)$$

Ostanek $R(x)$ je znan pod imenom CRC (Cyclic Redundancy Check) in je dolg 16 bitov ali 2 zloga. CRC se doda podatkovnemu prenosnemu bloku. Sprejemni modem izvede enak algoritem in ugotovi, ali je nastala napaka pri prenosu. Večina proizvajalcev uporablja CRC polinom:

$$x^{16} + x^{15} + x^5 + 1 \Rightarrow 110000000010001$$

Konec zmede zaradi uporabe različnih tehnik kontrole in korekcije napak je napravil protokol MNP (Microcom Networking Protocol), ki ga je razvil Microcom, uporablja pa ga veliko proizvajalcev. Leta 1989 je CCITT končno sprejel standard V.42, ki uporablja za kontrolo in korekcijo napak dva protokola LAP M in MNP 4.

Najprej si razložimo praktično izvedbo kontrole napak, ki večkrat zbega modemske uporabnike. Protokoli za prenos datotek (ZModem) namreč prav tako omogočajo kontrolo in korekcijo napak. Razlika je v tem, da so ti protokoli softverski in niso vgrajeni v modem. Kontrolo napak opravljajo samo pri prenosu datotek, ne pa pri ostalih komunikacijah. Protokoli za prenos datotek izvajajo kontrolo napak od oddajnega do sprejemnega DTE, modemi samo pri prenosu podatkov med modemoma. Opravlja se dvakratna kontrola napak, kar povzroča zakasnitve in zmanjšuje delovno hitrost prenosa podatkov. Nekatere tehnike zato uporabljajo samo negativno potrjevanje, kadar se pojavi napaka. Novejši protokoli za prenos datotek (Y, G, I Modem) ne izvajajo kontrole napak, zato jo morajo obvezno opraviti modemi.

MNP

MNP so med najpopularnejšimi protokoli za kontrolo napak in kompresijo podatkov. Delajo v povezavi eden - eden (point to point) in niso primerni za omrežja. Razviti so bili namenoma, za zagotavljanje čim večje združljivosti. V osnovni vsak nivo ali razred MNP protokola lahko komunicira z ostalimi razredi. Uporabnik z najnižjim MNP razredom lahko komunicira z najvišjim in obratno, kar zelo poveča kompatibilnost. MNP zbere podatke v okvirje in omogoča lažjo kontrolo napak.

MNP 4 podpira vse razrede od 1 do 4. Modema z MNP protokoli najprej določita kateri najvišji nivo podpirata oba. Kadar MNP modem naleti na modem, ki ne podpira teh protokolov, se vrne v osnoven "neumen" (dumb) način delovanja in potem najdeta hitrost ter modulacijsko tehniko, ki jo oba podpirata.

MNP sestavlja 10 razredov, mi si jih bomo pogledali 7.

MNP razredi	Opis delovanja
1	Uporablja asinhron zlogovno orientiran HDX prenos podatkov. Glavna naloga je kontrola napak, ki upočasni prenos za 30 %. Z 2400 bps modemom omogočimo 1690 bps prepustnost.
2	Asinhron zlogovno orientiran FDX prenos podatkov. Prenos upočasni za 16 %. Skoraj vsi mikroprocesorji lahko podpirajo ta razred.
3	Sinhron bitno orientiran FDX prenos, ki je v osnovi učinkovitejši od asinhronnega prenosa. Za sinhron prenos odstrani start in stop bita. Uporabnik lahko pošilja asinhrone znake, modema pa komunicirata med seboj sinhrono. Prenos poveča za okoli 8 %, iz 2400 na 2600 bps. Nekaj zamude je zaradi odstranjevanja in dodajanja STB in STP bitov na sprejemni strani, vendar se hitrost dodatno poveča zaradi odvzetih STB/STP bitov.

- 4 Doda dve novi tehniki:
Adaptivno oblikovanje paketov (Adaptive Packet Assembly), ki zbira manjše okvirje, če ima linija veliko šuma in večje okvirje pri kvalitetnejših linijah. Manjši okvirji sicer zmanjšajo propustnost, vendar jih manjkrat ponavljamo. Druga tehnika opazuje okvir in ugotovi kateri podatki se ne spreminjajo med prenosom - se ponavljajo. Ponavadi so to administrativni podatki. Tehnika je znana pod imenom "Data Phase Optimization". MNP 4 poveča prepustnost za 20 %, iz 2400 na 2900 bps.
- 5 Opravlja kompresijo podatkov, ki uporablja adaptiven algoritem. Adaptivna oblika algoritma omogoča nepretrgano analiziranje podatkov in prilaganje kompresijskih parametrov. Stiskanje ali kompresija podatkov zelo poveča prepustnost. Odvisno od kompresijskega razmerja. Razmerje za MNP 5 je 2:1, kar poveča prepustnost na 200%. Učinkovitost kompresijskega algoritma je odvisna od oblike podatkov. Problem nastane prižkompresiranih podatkih, kjer MNP 5 ne uporabljamo, saj celo upočasni prenos.
- 6 S tem razredom dodamo modemu V.29 z 9600 bps univerzalno linijsko pogajanje ULN (Universal Link Negotiation) in SD (Statistical Duplexing). Tehnika ULN dovoli dvema neenakima modemoma, ki podpirata MNP 6, najti največjo delovno hitrost med 300 in 9600 bps. Začneta se pogovarjati pri najmanjši hitrosti in jo med prenosom avtomatično dvigujeta. SD tehnika FDX prenos s HDX modulacijskimi tehnikami. Ko vzpostavi zvezo, uporabi V.22 FDX modulacijsko tehniko, podatke pa pošilja po zmogljivem nosilcu v HDX tehniki. Modem kontrolira pretok podatkov in dodeli hiter kanal tistemu, ki ga bolj potrebuje. V.29 modem z 9600 bps HDX prenosno modulacijsko tehniko lahko prek MNP 6 prenaša z 19.2 kbps po PSTN.
- 7 Izvaja kompresijo podatkov na podlagi Huffman-ovega kodiranja imenovano tudi "Enhanced Data Compression". Podpira vse spodnje razrede, kar pomeni, da izvaja tudi kompresijo podatkov MNP 5. Doda izračunano verjetnost pojavljanja najpogostejših znakov in na ta način zmanjša vrednost informacije za 42 %, nato jih še kompresira.

V.42

Na začetku smo omenili, da V.42 uporablja za kontrolo napak protokol LAP-M (Link Access Protocol for Modem) in MNP 4, ki služi le kot alternativa. Pri povezavi dveh V.42 modemov najprej poskušata z LAP-M protokolom in če ne uspe, se uporabi MNP 4. Na koncu se prepusti kontrola napak softverskim izvedbam in serijskim vratom.

Z vgrajenim V.42 standardom klicni modem odda poseben niz bitov in čaka odgovor. Če sprejemni modem odda dogovorjeni odgovorni niz se sporazumeta, če pa po 750 ms ni odgovora, klicni modem preklopi na MNP 4 protokol in tako naprej. LAP-M uporablja drugačno obliko okvirja kot MNP. Ne uporablja CRC, saj uporablja drugačen polinom, zato sta MNP in LAP-M nezdržljiva. V.42 modem lahko komunicira z MNP 4, saj po neuspelem poskusu vzpostavitve LAP-M, preklopi na MNP4. V skrajni sili prenašata modema brez kontrole napak. Vsi proizvajalci v V.42 modeme ne vgrajujejo LAP-M.

3.4.2 Kompresija podatkov

Do leta 1989 je tudi pri kompresiji podatkov vladala zmešnjava z uporabo različnih algoritmov. Pri prizvajalcih so se kot de facto standardi uveljavili MNP 5, MNP 7 in CommPressor podjetja ACT (Adaptive Computer Technologies). Največ se uporablja MNP 5 protokol, ki smo ga omenili pri opisu MNP razredov. Za svoje delovanje potrebuje malo spomina in dosega dobre rezultate. ACT CommPressor je počasnejši in ga uporablja manj proizvajalcev.

CCITT je leta 1990 sprejel V.42bis priporočilo, ki predpisuje novo metodo kompresije podatkov. Najprej so primerjali algoritme ACT CommPressor, MNP 5, MNP 7 in Lempel-Ziv. Iz raziskav so ugotovili, da glede na odvisnost med delovanjem algoritma in zahtevane količine spomina ter hitrosti procesiranja CPU-ja poda najboljše rezultate algoritem Lempel-Ziv. Sodelavca Lempel in Ziv sta leta 1977 predstavila algoritem podatkovne kompresije, ki spada med najboljše tehnike podatkovnih kompresij. Izdelan je bil na podlagi primerjav večih algoritmov. Kompresijo Lempel-Ziv uporabljata tudi ARJ in ZIP.

Danes vsi hitri modemi podpirajo kompresijo podatkov, vendar so tehnike lahko različne. V.42bis podpira samo Lempel-Ziv in nobene druge tehnike. Modem, ki uporablja kompresijo podatkov, mora nujno vsebovati kontrolo in korekcijo napak.

4 Sklep

V zaključni nalogi so predstavljeni klicni modemi, pripadajoči standardi in protokoli za prenos digitalnih podatkov po obstoječih analognih vodih telefonskega omrežja. V zadnjih petih letih so modemske komunikacije doživele velik uspeh tudi v Sloveniji. V preteklosti so modeme večinoma uporabljala podjetja za prenos podatkov med oddaljenimi poslovnimi enotami ali za terminalsko delo z oddaljenim osrednjim računalnikom. Veliko modemov danes kupijo posamezniki ali manjša podjetja, ki želijo svoj računalnik povezati z informacijskimi servisi, mu dodati računalniško faksiranje in uporabljati daljinski dostop (remote access).

Razvoj modemskih komunikacij omogočajo cenejši modemi in zahtevne tehnike, ki delujejo s precej višjo hitrostjo, kot so nekoč pričakovali. Pri generacijah 2400, 9600, 14400 bps modemov so strokovnjaki zatrjevali, da je tedanja generacija modemov največ, kar lahko pričakujemo. Lani sprejeti standard V.34 omogoča prenos vse do 28.8 kbps brez stiskanja podatkov in dokaj zanesljivo.

Napredka očitno ni mogoče ustaviti in v prihodnosti lahko doživimo še kakšno presenečenje. S standardom V.34 so strokovnjaki prejšnjo najvišjo standardno hitrost 14.4 kbps povečali kar za dvakrat. V kombinaciji s stiskanjem podatkov lahko dosežemo prepustnost 115.2 kbps. Z upoštevanjem tega dejstva lahko predpostavljamo, da zadnja generacija modemov predstavlja dober nadomestek komunikacijskih tehnologij prihodnosti, kot je ISDN, ki v osnovi zagotavlja hitrost 64 kbps. Seveda z večjo kvaliteto in zanesljivostjo prenosa. Vendar ga kljub obljubam Telecoma še ni, modemi V.34 pa so na voljo že nekaj časa.

Medtem, ko je mednarodna organizacija ITU standard potrdila oktobra 1994, mnogi proizvajalci razmišljajo že naprej. AT & T Paradyne je predstavil modeme z lastnim standardom in delajo s hitrostjo 33.6 kbps. Mnogi napovedujejo standard V.34bis, vendar to niso uradne izjave. Strokovnjaki ocenjujejo, da je praktična meja razvoja današnje tehnologije nekje pod 40 kbps.

5 Literatura

- [1] Michael A. Banks, The Modem Reference, 3rd Edition, Brady Publishing, 1992.
- [2] Gilbert Held, The Complet Modem Reference, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., 1994.
- [3] Gilbert Held, Data Communications Testing and Troubleshooting, Howard W. Sams & Company, 1989.
- [4] Wayne Tomasi, Vincent F. Alisouskas, Telecommunications: Voice/Data, with Fiber Optic Applications, Prentice - Hall, Inc., 1988.
- [5] Nikola Rožić, Informacije i komunikacije, kodiranje s primjenama, NIP "Alinea", 1992.
- [6] Shuzo Kato, Masahiro Marikura, Shuji Kubota, Implementation of Coded Modems, IEEE Communications Magazine, December 1991.
- [7] Forney, Jr. in M. V. Eyuboglu, Combined Equalization and Coding Using Precoding, IEEE Communications Magazine, December 1991.
- [8] Mery, J. P. Guyon, Data compression in synchronous mode on V.32 and V.32 bis modems, Commutation & Transmision, No. 1, 1993.

IZJAVA

Izjavljam, da sem zaključno delo samostojno izdelal pod vodstvom doc. dr. Saša Tomažiča. Izkazano pomoč drugih sodelavcev sem navedel v zahvali.