

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

Neslužbeni sažetak

## **Komunikacijski sustavi – pregled teorijskih pitanja**

krkan23 (ex gratakazha88)

Zagreb, siječanj 2011.

# Par uvodnih riječi

---

Ovo je neslužbeni dokument, podijeljen na cikluse i manje dijelove gradiva, namijenjen što boljem spremanju za ispite iz Komunikacijskih sustava. Pisan je principom više odgovora za jedno pitanje, tako da znate da ima više informacija u odgovorima na neka pitanja. Pokušao sam "dodirnuti" ono najvažnije od sveg teoretskog gradiva u ovim napornim slide-ovima. Naravno, sigurno ima grešaka manjih i određenog prostora za napredak i ne želim da se ovo slučajno shvati kao obvezno štivo za ispite, nego samo kao smjernica za ono bitni što se krije između redaka. Naravno, poželjno je proći i zadatke sa auditornih vježbi za prvi i za drugi ciklus. Pojedine dijelove gradiva nisam objašnjavao, ali sam dao napomenu u tekstu gdje se mogu pronaći traženi podaci. Nije zgorega ni preletjeti slajdove i uzdati se u vlastito fotografsko pamćenje jer dosta slika je uključeno i moguće da bude par pitanja sa slikom. Može se naravno i pokušati uhvatiti u koštac i sa pripremama za labose, u kojima također ima dosta dobro i sažeto objašnjen neki dio gradiva, naročito oni modulacijski postupci, OFDM te ADSL, tako da i to pogledate. Nadam se da će ovaj kratki manifest biti dosta dovoljan da se prijeđe prepreka zvana Komunikacijski sustavi. Sve najbolje vam želi autor



krkan23, za neke možda poznatiji kao



gratakazha88

# PRVI CIKLUS – TEORIJSKA PITANJA

---

1. **Pretvoriti npr. 1W u dBm.** –  $1W=30 \text{ dBm}$ .  $P[\text{dB}]=10\log(P[\text{W}]/1W)$ ,  $P[\text{dBm}]=P[\text{dB}]+30 \text{ dB}$ .
2. **Slušno i govorno područje.** – 20 Hz do 20 kHz slušno, govorno 100 Hz do 7 kHz.
3. **Telefon frekvencije.** – 300 Hz do 3400 Hz.
4. **Prvi Nyquistov teorem.** – Idealni granični filter frekvencije  $f_g$  može prenijeti maksimalno  $2f_g$  simbola u sekundi bez smetnje među njima.
5. **Drugi Nyquistov teorem.** – idealni granični filter širine pojasa  $f_g$  konvoluiran sa bil kojom simetričnom funkcijom s linearnom fazom oko  $f_g$  daje isti nulti ISI kao i idealni filter.
6. **Dijagram oka.** – procjena kvalitete digitalnog signala, preklapanje velikog broja bitova (simbola) jedan preko drugog. Period  $T_b$ , idealno pravokutni signal su dvije vodoravne crte. ISI smanjuje otvor oka.
7. **Gušenje signala.** – smanjenje razine električkog signala pri prijenosu komunikacijskim kanalom. Ovisi o vrsti prijenosnog medija i frekvenciji signala.  $L=10\log(P_{ul}/P_{izl})$ .
8. **Pojačalo.** – kompenzira gušenje signala.  $A=10\log(P_{izl}/P_{ul})$ .
9. **Šum.** – termički, intermodulacijski, preslušavanje, impulsni. Termički  $N=kTB$ ,  $k$ =Boltzmannova konstanta,  $T$ =temperatura u K,  $B$ =širina pojasa. Odnos signal/šum:  $S/N[\text{dB}]=10\log(S[\text{W}]/N[\text{W}])$ .
10. **BER.** – vjerojatnost pogreške u prepoznavanju bita. Učestalost pogreške bita.
11. **Kapacitet kanala.** – brzina prijenosa u bit/s. Ovisi o  $B$ .  $C=2B$  ili  $C=2B\log_2 M$ . Shannonova brzina:  $C=B\log_2(1+S/N)$ .
12. **Upletena parica.** – dva izolirana vodiča spiralno upletena jedan oko drugog – vodiči su upleteni jedan oko drugog radi smanjenja preslušavanja, debljina pojedinog vodiča je između 0,4 mm - 0,9 mm, više tako upletenih parova združuje se u kabel, duljina koja definira koliko gusto su vodiči upleteni jedan oko drugog (duljina ispreplitanja) se razlikuje za različite parice u kabelu kako bi se smanjilo preslušavanje između parica. kategorija 3 – brzine prijenosa u LAN do 16 Mbit/s, duljina ispreplitanja 7,5 do 10 cm, kategorija 5 – brzine prijenosa u LAN do 100 Mbit/s, duljina ispreplitanja 0,6 do 0,85 cm. Dobre

strane: jeftin i jednostavan za polaganje. Loše strane: ograničene brzine prijenosa, neotpornost na šum i EM smetnje.

13. **Koaksijani kabel.** – dva vodiča u istoj osi odvojena izolatorom, više kabela združeno.

14. **Svjetlovod.** – tanak i fleksibilan medij (2-125 mm), valovod od  $10^{14}$  do  $10^{15}$ , tri optička prozora 0,85 um, 1,3 um, 1,55 um. Jedan optički kabel sadrži više svjetlovoda. Višemodni svjetlovod – različiti putovi zraka, 50 um jezgra, jednomodni svjetlovod – samo aksijalna zraka prolazi, 8 do 12 um jezgra. Dobre strane: velike brzine, mala težina, gušenje, otpornost na EM smetnje, potreba sa upotrebom pojačala svakih 10 km ili više. Loše strane: osim optičkog kabela, svi ostali dijelovi su skupi, složena instalacija i održavanje.

15. **Radijski prijenos.** – 9 kHz do 3000 GHz. Sastoji se od odašiljača, prijemne i odašiljačke antene, prijenosnog medija te prijemnika. Usmjeren ili neusmjeren prijenos.

16. **Modulacija/demodulacija. Postupci demodulacije.** – modulacija je postupak prijelaza električkog signala, koji nosi informaciju, radi prilagodbe za prijenos. Demodulacija je postupak povratnog prijelaza signala u izvorni oblik. Postupci demodulacije: koherentni i nekoherentni. Koherentni postupak je kad je prijamnik sinkroniziran po fazi prijenosnog signala s odašiljačem, ostali su nekoherentni.

17. **Modulacijski/modulirani/prijenosni signal.** – Modulacijski signal nosi informaciju, upravlja promjenama parametara prijenosnog signala, modulirani signal je signal kojem se mijenjaju parametri ovisno o razini modulacijskog signala. Prijenosni signal je pomoćni signal kojem se mijenjaju parametri i on ne prenosi informaciju!

18. **AM (amplitudna modulacija)** – indeks modulacije amplitude ( $m_a$ ) je najveća promjena amplitudno moduliranog signala u odnosu na amplitudu prijenosnog signala  $U_{pm}$ . Za  $m_a \leq 1$  ovojnica moduliranog signala točno prati valni oblik modulacijskog signala, a za  $m_a > 1$  je ovojnica isprekidana.  $m_a = (A_{max} - A_{min}) / (A_{max} + A_{min})$ ,  $B_{am} = 2f_m$ . Snaga  $P_{am} = U_{pm}^2 / (2 \cdot R) \cdot (1 + m_a^2 / 2)$ . Demodulacija se provodi nekoherentno – detekcijom ovojnice (vršno ispravljanje), a može i koherentno množenjem sa pomoćnom signalom sličnim prijenosnom u modulatoru.

19. **PM (fazna modulacija)/FM (frekvencijska modulacija)** – promjenom faze nastaju trenutne promjene frekvencije i nastaje kosinusna devijacija frekvencije što je najveće odstupanje frekvencije moduliranog signala od frekvencije prijenosnog signala. Indeks modulacije faze (mp) može biti veći ili manji od 1. Pri modulaciji frekvencije nastaje trenutna promjena faze i to se zove sinusna devijacija faze. Indeks modulacije (mf) može biti veći ili manji od 1. Širina spektra se određuje Carsonovim pravilom:  $B=2f_m(m+1)$ . Snaga fazno ili frekvencijski moduliranog signala je jednaka snazi prvotnog signala, samo je drugačija raspodjela snage. Demodulacija se provodi posredno u dva koraka: pretvori se u AM signal u prvom koraku pa se nakon toga u drugom koraku se nekoheretno demodulira detekcijom ovojnice. Sve se to obavlja u frekvencijskom diskriminatoru.
20. **Akcentuacija/deakcentuacija.** – akcentuacijom se izobličuje modulacijski signal tako da mu se naglase komponente viših frekvencija prije modulacije, a deakcentuacijom se vraća u prvotni oblik nakon demodulacije. Karakteristika akcentuacije je 6 dB/oktavi ili 20 dB/dekadi.

# DRUGI CIKLUS – TEORIJSKA PITANJA

---

1. **Brzina prijenosa simbola.** –  $R_s = 1/T_s$ ,  $R_s = R_b \cdot \log_2 M$
2. **Kriteriji za odabir modulacijskog postupka.** – učinkovitost snage ( $E_b/N_0$ ), spektralna učinkovitost ( $R_b/B$ ), kompleksnost sustava.
3. **ASK (diskretna modulacija amplitude).** –  $f_m = 1/2T_b$ ,  $B_{ASK} = 1.6 \cdot 2 \cdot f_m = 1.6/T_b$  širina pojasa, snaga  $P_{ASK} = U_{pm}^2/4R$ . Demodulacija je nekoherentna detekcijom ovojnice i koherentna množenjem ASK s pomoćnim signalom nosioca na koju utječe kofazna komponenta.
4. **FSK (diskretna modulacija frekvencije).** –  $f_0 = f_p - \Delta f$ ,  $f_1 = f_p + \Delta f$  za BFSK. Indeks modulacije  $m_f = \Delta f / f_m = \Delta f \cdot T_m = 2 \Delta f \cdot T_b$ . Unutar jednog intervala faza se promijeni za  $\pm \pi \cdot m_f$ . Širina pojasa se određuje Carsonovim pravilom:  $B_{FSK} = 2 \cdot (\Delta f + f_m) = 2 \Delta f + 1/T_b$ . Filtriranjem se smanjuje  $B$ , a koriste se niskopropusni filtri sa kosinusno zaobljenom karakteristikom i Gaussovi filtri  $B \cdot T_s = 0.5$ . Simboli M-FSK su ortogonalni na  $1/T_s$ . Demodulira se nekoherentnim postupkom sa povezanošću s ASK – FSK je zbroj dva ASK signala prijenosnih frekvencija  $f_0$  i  $f_1$ , dakle invertirani međusobno. Koherentni postupak se rijetko koristi, a to je kad se jedinica za detekciju amplitude nadomjesti jedinicom za množenje i integriranje. Vjerojatnost pogreške je  $p_e = 1/2 \cdot e^{-(E_b/2 \cdot N_0)}$ . Nelinearan frekvencijski postupak je FSK.
5. **BPSK (binarna diskretna modulacija faze (PSK)).** – dva stanja: 0 na 180 stupnjeva, a 1 na 0 stupnjeva.  $T_s = T_b$ . Demodulira se koherentno kao i ASK. Ne može se demodulirati nekoherentnim postupkom.
6. **QPSK (kvaternarna PSK).** – četiri stanja i pridružuju se dva bita, dabit pravilom Grayeva koda.  $T_s = 2T_b$ . Koherentna demodulacija se provodi posebno demodulacijom kvadrature, a posebno kofazne komponente. Na još dva načina se može demodulirati: prvi način OQPSK (Offset QPSK) kojim se prelazi u prvoj polovici znaka u susjedno stanje,  $\pm 90$  stupnjeva, a u drugom u daljnje susjedno, a unosi se kašnjenje u kvadraturnu komponentu od  $T_s/2 = T_b$  pa koherentna demodulacija. Drugi način je preklapanje osnovne inačice QPSK i njene inačice sa pomakom  $\pi/4$  ili  $\pi/4$ -QPSK. On je isto koherentan, pa se ne koristi, nego se koriste diferencijalni postupci demodulacije.

7. **8-PSK (osam stanja faze).** –  $T_s=3T_b$ , pridružuju se tri bita, tribiti, po principu Grayeva koda.
8. **Diferencijalni postupci demodulacije PSK signala.** – slide 72 do slide 81 uključivo drugog predavanja.
9. **MSK (modulacijski postupak s minimalnom razlikom frekvencija).** – za  $m_f=0.5$  razmak diskretnih frekvencija je  $f_1-f_0=2\Delta f=1/2T_b=R_b/2$ . Diskretne frekvencije su  $f_0=f_p-1/4T_b$  i  $f_1=f_p+1/4T_b$ . Dobiva se kao i QPSK nadomjestkom I i Q kao kosinusnog i sinusnog signala. On je specijalni oblik OQPSK postupka. Dobiva se kvadraturnim modulatorom kao OQPSK.  $T_s=2T_b$ .  $B=1.5R_b=1.5/T_b$ . Koherentni postupak demodulacije je kao i demodulacija QPSK, a nekoherentni je diferencijalno kodiranje, temeljeno na detekciji promjene faze MSK signala unutar intervala jednog binarnog znaka. Uz pomoć Gaussovog filtra se smanjuje širina pojasa MSK i to se zove GMSK. Promjene faze su linearne i oblika  $\pm\pi/2T_b$ . GMSK unosi ISI pa je kompliciran proračun vjerojatnosti pogreške. To se može kompenzirati povećanjem  $E_b$  za oko 1dB.
10. **QAM (Kvadratura diskretna modulacija amplitude)** – I i Q moduliraju amplitude dviju kvadraturnih komponenti, tj. zbrajaju se dva ASK signala, to je linearni postupak. U pogledu šuma se pokušava poboljšati performansa QAM-a na način da se učini drugačija struktura, a time je manja snaga potrebna za istu vjerojatnost pogreške. Demodulira se sinkronim ili koherentnim postupkom – zasebna modulacija kofazne i kvadrature komponente kao i kod QPSK. QAM sa više simbola je osjetljiviji na šum.
11. **Kriteriji odabira modulacijskog postupka.** – dva su: ovisno o spektralnoj učinkovitosti i ovisno o učinkovitosti snage. Za spektralnu učinkovitost je po Shannonu bitna da ona ide u 0, pa vrijednost omjera  $E_b/N_0$  je tada 0.693 ili -1.59dB. Teorijski najviše ostvariva je  $C/B[\text{dB}]=\log_2(1+C/N)$ .
12. **Kvaliteta modulacije.** – Veličina verzora pogreške je EVM, ona predstavlja učestalost pogreške BER-a. Osim nje, postoji omjer pogreške modulacije ili MER koji je povezan s BER-om po pitanju definicije.
13. **Sinkronizacija i obnova nosioca.** – sinkronizacija prijemnika s odašiljačem se odvija na dva načina: procjena frekvencije i faze (jednake) i sinkronizacija simbola s obnovom takta (intervali početka i kraja simbola). Odvijaju se istodobno ili jedna iza druge. Dvije su vrste sinkronizacije: na početku



informacije se šalju podaci o nosiocima i vremenskim parametrima simbola i zadatak prijemnika je da uspostavi sinkronizam uz pomoć moduliranog signala. Obnova nosioca se provodi iz primljenih simbola moduliranih signala. Problem je neodređenost faze koja se rješava slanjem poznatog broja bitova. Druga mogućnost je Costasova zamka.

14. **Komunikacija s više nosilaca.** – modulirani signal zauzima velika frekvencijska područja pa su velike brzine prijenosa. Nastaju smetnje među simbolima zbog neidealne karakteristike komunikacijskog kanala i nejednolik je prijenos komponenti moduliranog signala. Velike relativne promjene komponenti moduliranog signala nastaju zbog višestaznog širenja vala.
15. **OFDM (Frekvencijski multipleks ortogonalnih podnosilaca).** – tehnika multipleksiranja, dobivena obradom simbola moduliranog signala i naknadnom modulacijom, dijeli se na veći broj kanala i podpojaseva. Mala je brzina u svakom potkanalu čime je produženo trajanje simbola. Razlika FDM i OFDM je u tome što se kod FDM-a ne smiju preklapati potkanali i što se koristi nekoherentna demodulacija, a kod OFDM-a se smiju preklapati i koristi se koherentna demodulacija potkanala. Za prijenos podataka se koriste PSK i QAM jer su linearnih osobina i velike spektralne učinkovitosti. Nule spektra se nalaze na višekratnicima od  $1/T_0$ , gdje je  $T_0$  trajanje simbola moduliranog signala u potkanalu. Dobiva se postupkom inverzne brze Fourierove transformacije (IFFT), kojim se kompleksni simboli prebacuju u vremensku domenu. Broj ulaznih podataka mora biti potencija broja 2, dakle  $2^n$ . Nepovoljni učinci kašnjenja se rješavaju dodavanjem zaštitnog intervala koji je u većini slučajeva jednak četvrtini  $T_0$ . Da bi se ispravile pogreške kodiranja, uveden je kodirani OFDM (COFDM) koji provodi postupce zaštitnog kodiranja (FEC), koji se provode blokovskim kodovima (Reed-Solomon npr.) ili konvolucijskim kodovima. Koristi 52 potkanala, od toga su 4 pilotska koji se moduliraju fiksnim slijedom bitova, a 48 za prijenos. Potkanal 0 se ne koristi.
16. **Modulacija impulsnog signala.** – obilježja vremenski diskretnih pojava, znači da se ne mogu modulirati vremenski kontinuiranim modulacijskim signalom. Dije se na modulacije: amplitude (PAM), trajanja i širine impulsa (PDM, PWM), položaja ili faze impulsa (PPM) i frekvencije impulsa (PFM). Modulacijski signal se diskretizira po vremenu pa se uzimaju uzorci u vremenski ekvidistantnim trenucima. Teorem uzoraka kaže da mora broj

uzoraka u jedinici vremena biti veći od dvostruke najviše frekvencije u spektru ili joj jednak. Modulacija amplitude impulsa (PAM) odgovara uzimanju uzoraka, dva su načina: prirodni i uniformni. Donja i gornja bočna komponenta su jednake i nalaze se oko višekratnika  $f_p$  pa se korigiraju za faktor  $\sin(n\pi f_p t)/(n\pi f_p t)$ . PAM se demodulira jednim niskopropusnim filtrom, ali se amplituda tog signala mora korigirati za faktor  $(\pi f t)/\sin(\pi f t)$ . Širina i trajanje impulsa (PDM/PWM) se modulira mijenjajući položaj bridova signala i uzimanja uzoraka u vremenski ekvidistantnim trenucima, ovisno radi li se o regularnom ili prirodnom načinu uzimanja uzoraka. Ta dva postupka su nelinearna. Demodulira se niskopropusnim filtrom. Modulacija položaja ili faze impulsa (PPM) je slična PM modulaciji gdje se uzorci uzimaju, ovisno o prirodnom ili regularnom postupku. U regularnom se uzimaju obično na početku intervala periode  $T_p$ , a u prirodnom postupku u trenutku pojave impulsa. PPM je nelinearni modulacijski postupak i ako se demodulira filtriranjem, onda se izobličuje pa je potrebno amplitudu korigirati za faktor  $\sin(\pi f_m t)/(\pi f_m t)$ . Modulacija frekvencije impulsa je dosta slična PPM, kao što je FM sličan PM modulacijskom postupku.

17. **Komunikacijske mreže.** – građena od čvorova (node) i veza (link). Prema načinu spajanja veze su: komutirane, zakupljenje i namjenske. Prema načinu prijenosa podataka su komutirane i veze s neusmjerenim odašiljanjem. U odnosu na namjenu javne i privatne. Izvedba: fiksne i pokretne. U odnosu na postupak komutacije: komutacija kanala i paketa. Topologija mreže je način povezivanja čvorova i uređaja u mreži. Standardne topologije: potpuna povezanost, stablo, sabirnica, prsten, zvijezda i kombinacija svih navedenih. Sve karakteristike su dane od slide-a 13 do uključujući 17 predavanja broj 5. U odnosu na smjer informacije: jednosmjerne (simplex), poludvosmjerne (half-duplex) i dvosmjerne (full-duplex). U odnosu na veličinu: osobne, lokalne, gradske i regionalne ili mreže širokih područja.
18. **Mreže s komutacijom kanala.** – tri faze komunikacije: uspostavljanje kanala, prijenos podataka i raskidanje veze. Prisutno je kašnjenje, zbog prijenosa informacije i širenja kroz prijenosni medij. Prednosti: kontinuiran prijenos s malim kašnjenjem i komunikacija u stvarnom vremenu. Nedostaci: kanal zauzima fiksni kapacitet tijekom cijelog vremena trajanja i neučinkovit je i skup ukoliko se mali kapacitet koristi za prijenos informacije. Za vrednovanje mreže

s komutacijom kanala rabi se vjerojatnost blokiranja da pozivajući ne dobije vezu, ovisi o broju kanala i ulaznom prometu, postavlja se vjerojatnost za blokiranje što predstavlja kriterij kvalitete.

**19. Mreže s komutacijom paketa.** – paket je oblikovani slijed bitova koji predstavlja informaciju, šalju se jedan za drugim od izvornog čvora ka odredišnom. Sastoji se od tri dijela: zaglavlje (header), podataka (data) i završnog dijela (trailer). Imaju dvije vrste: s komutacijom datagrama i komutacija paketa virtualnim kanalima. Datagrami su paketi s neovisnim usmjeravanjem i omogućavaju nespojnu uslugu. Zaglavlje sadrži adresu odredišta. Primjer je Internet. Uspostavljanje veze ne unosi kašnjenje, nego ga unosi čekanje paketa u spremnicima. U slučaju zagušenja kašnjenje raste, a i ovisi o propagaciji kroz prijenosni medij. Kašnjenje ovisi duljini paketa i kapacitetu grane: što je paket kraći kašnjenje je manje i što je kapacitet veći, kašnjenje je manje. Komutacija virtualnim kanalima je spoj komutacije kanala i komutacije paketa. Svi paketi koji pripadaju istom slijedu se šalju unaprijed uspostavljenim virtualnim kanalom, čime se jamči točno dostavljanje. Nakon komunikacije virtualni kanal se prekida. Prednosti: kapaciteti mreže su zauzeti samo tijekom prijenosa, broj i veličina paketa su prilagodljivi značajkama izvora informacije, a u slučaju da jedan izvor ne šalje pakete, drugi mogu slati. Nedostaci: zbog kašnjenja i promjenjivosti kašnjenja otežana komunikacija u stvarnom vremenu i dio kapaciteta se troši na prijenos upravljačkih informacija. Za vrjednovanje mreže se rabi kašnjenje paketa: srednje vrijeme zadržavanja paketa u mreži, ovisi o karakteristikama grane: ulazni promet, prosječna duljina paketa i kapacitet, odredi se srednja vrijednost kašnjenja što predstavlja kvalitetu mreže.

**20. Tehnike multipleksiranja.** – tehnika kojom se većem broju odredišta i izvora se omogućava upotreba istog čvora ili grane. Vršiti se po vremenu, frekvenciji, kodu, valnoj duljini, statistici,... načelo: u uređaj za multipleksiranje (MUX) ulazi N grana. MUX je povezan sa uređajem za demultipleksiranje (DEMUX) preko prijenosnog medija. MUX izdvaja ulazne podatke i prenosi ih prijenosnim medijom, iz kojega DEMUX izdvaja tražene podatke na izlazu. Multipleksiranjem po frekvenciji (FDM) se raspoloživi frekvencijski pojas B dijeli na kanale između kojih se postavlja zaštitni pojas koji je najčešći uzrok neučinkovitosti. Multipleksiranjem po vremenu (TDM) se raspoloživo vrijeme

dijeli na vremenske okvire  $T$ , a oni na vremenske odsječke jednakog trajanja koji se dodjeljuju paru ulazne i izlazne grane. Okviri se ponavljaju, a odsječki ciklički izmjenjuju. Fiksna dodjela odsječaka je uzrok neučinkovitosti TDM-a. Prijenosna brzina, tj. kapacitet zajedničkog prijenosnog puta je onoliko puta veća od brzine svakog ulaznog kanala, koliko ima ulaznih grana u MUX. Statističko multipleksiranje (SM) se primjenjuje za podatke organizirane u pakete, temeljeno na činjenici da izvori spojeni na ulaz MUX-a ne šalju podatke stalno, a različiti izvori rijetko šalju odatke istodobno. Vremenski odsječki se dodjeljuju pojedinom izvoru u skladu s količinom podataka koju izvor generira. Multipleksiranje po valnoj duljini (WDM) se provodi u optičkim komunikacijskim sustavima. Svakom paru ulazne i izlazne grane se dodjeljuje valna duljina koja se zove optički kanal. Više različitih valnih duljina se multipleksira i prenosi jednim svjetlovodom. Konceptijski je sličan FDM-u jer je valna duljina recipročna frekvenciji. Širina pojasa je nekoliko THz. Dva su sustava razvijena: rijetki (coarse, CWDM) koji koristi 2 do 10 kanala po svjetlovodu s razmakom od 5 do 50 nm te gusti (dense, DWDM) koji koristi 10 do 100 kanala po svjetlovodu s razmakom 0.1 do 5 nm.

# TREĆI CIKLUS – TEORIJSKA PITANJA

---

1. **Komunikacijski protokol.** – omogućava razmjenu informacija između uređaja. To je skup pravila za komunikacijom. Složenost zadataka se smanjuje podjelom u podzadatke. Protokol je skup pravila i dogovora koji se rabe pri komunikaciji entiteta različitih sustava. Entitet je aktivni dio sustava koji ima mogućnost slanja i prijma informacije. Ključni elementi protokola su sintaksa, semantika i vrijeme. Protokoli su složeni, pa se organizira vertikalna podjela u slojeve (layer).
2. **Slojevi mreže.** – sastoje se od jednog ili više entiteta. Entiteti na istom sloju, ali ravnopravnom uređaju se zovu ravnopravni entiteti. Svaki sloj provodi točno definirane funkcije – entitet sloja N provodi funkcije sloja N. Komunikacijom između ravnopravnih entiteta sloja N provodi protokol sloja N. Skup protokola koje rabi određeni sustav se naziva protokolarni sadržaj. Za svaki sloj su definirane: usluge sloja, sučelja sa susjednim slojevima te protokoli. Usluga sloja N je usluga koju sloj N pruža sloju N+1, a koristi usluge sloja N-1. Protokol sloja N određuje ponašanje dva entiteta koji se nalaze u istom sloju, ali različitim sustavima. Komunikacija se provodi izravno između sloja N prvog i sloja N drugog sustava. Arhitektura mreže je skup slojeva i protokola koji omogućavaju razmjenu informacija između entiteta. Slojevi se projektiraju prema funkcijama koje moraju i mogu obavljati. Funkcije koje moraju obavljati su: raspoznavanje pošiljatelja i primatelja i određivanje pravila prijenosa informacije. Funkcije koje može obavljati su: upravljanje pogreškama i tokom podataka, održavanje ispravnog redoslijeda paketa, upravljanje dužinom paketa te multipleksiranje i demultipleksiranje. Sloj može sloju iznad sebe ponuditi dvije različite vrste usluga: spojne i nespojne, a prema potvrdi prijma mogu biti s potvrdom ili bez potvrde prijma. Usluga je skup osnovnih operacija koju sloj pruža višem sloju unutar jednog sustava. Protokol je skup pravila i dogovora koji vrijede u komunikaciji između istih slojeva različitih sustava. Prednosti slojevitih arhitektura su olakšanja rekonstrukcija i projektiranje mreža. Nedostaci su nedjelotvornost (svaki sloj ima vlastite upravljačke informacije), ograničenost (nemogućnost pristupa sloju N-1) i redundancija (višak funkcija). Slojevitom arhitekturom mreže se definiraju koncepti i norme

te utvrđuju pravila povezivanja sustava u mrežu ili mreža međusobno. Dva su osnovna modela: referentni sustav OSI (povezivanje otvorenih sustava, norma ISO) i referentni sustav TCP/IP (internetski model, nazvan po protokolima TCP i IP).

3. **Referentni model OSI.** – ima sedam slojeva: fizički, podatkovna veza, mrežni, transportni, sjednični, prezentacijski i aplikacijski. Za svaki sloj je opisana funkcija od slide-a 73 uključujući slide 83 predavanja broj 5. Doprinosi modela: uspostavljanje granice između protokola, usluge i sučelja, općenit model za sve skupove protokola i jednostavno zamjenjiv novim protokolima. Kritike modela: složen i teško implementiranje protokola i nedjelotvornost u radu. Prekasno su se pojavili protokoli OSI kad su već TCP/IP protokoli postojali, neki slojevi su opterećeni, a neki prazni, u mrežnom sloju podržava i spojne i nespojne usluge, a u transportnom samo spojne usluge, neke funkcije se ponavljaju u svakom sloju.
4. **Referentni model TCP/IP.** – je model sa četiri sloja i podržava komutaciju paketa. Raspodjela slojeva je malo drugačija nego kod OSI-ja, ali su funkcije jednake. To se vidi u slide-ovima 87 do uključujući slide 91. Doprinosi modela: jednostavnost, protokoli TCP i IP pažljivo projektirani i prilagođeni modelu, u transportnom sloju pruža i spojne i nespojne usluge. Kritike modela: nema granice usluga, protokola i sučelja, nije općenit te je nepotpun.
5. **Javna komutirana telefonska mreža (PSTN).** – je mreža koja omogućava prijenos podataka i govora. Standardizirani brojevni plan izvodi uspostavljanje i usmjeravanje poziva. Uspostavlja se veza između dva kompatibilna uređaja preko telefonskih centrala (CO), a ta veza se zove linija ili petlja. Rabi komutaciju kanala i FDM u prijenosu analognog govornog signala i TDM u prijenosu digitalnog govornog signala. Dijelovi mreže: uređaji te pristupna i jezgrena mreža. Tri ili četiri razine hijerarhije su definirane za telefonsku mrežu: lokalne centrale, tranzitne (regionalne i nacionalne) centrale i međunarodne centrale. Veze lokalnih i tranzitnih centrala su regionalni vodovi, a između tranzitnih i sa međunarodnim centralama su povezane magistralnim vodovima. Vremensko multipleksiranje kanala (TDM) može biti asinkrono (plezinkrono) i sinkrono. Plezinkrono multipleksiranje je ono u kojem se događa devijacija frekvencije  $\Delta f$ , što je mjera odstupanja taktnih impulsa. Za vrijednosti manje od  $\Delta f$  se jamči prijenos bez pogrešaka, a za

vrijednosti veće od deltaf se javljaju pogreške u vidu izostavljanja ili ponavljanja bita (slip). To dovodi do gubitka sinkronizacije jer se kodna kombinacija ne pojavljuje u željenom okviru. Mehanizmom zaštite od klizanja se smanjuju odstupanja taktnih impulsa. Sinkrono multipleksiranje može biti zavisno i uzajamno. Zavisno je ono u kojem se svi taktni impulsi generiraju u glavnom oscilatoru visoke stabilnosti i na tu frekvenciju se sinkroniziraju ostali oscilatori. Pogodno za mreže u zvijezdi. Jednostavna je sinkronizacija, ali i nepouzdana jer prestanak rada glavnog oscilatora ili gubitak veze s njim dovodi do djelomičnog ili potpunog gubitka sinkronizacije u mreži. Uzajamna sinkronizacija je ona u kojoj svaki čvor ima svoj oscilator i generira svoje taktno impulse koji se mijenjaju regulacijskim procesom dok se ne izjednače vlastite i ostale frekvencije, na frekvenciju  $f_s$ . Primjenjiv je za različite topologije i jednostavan, ali je složena regulacija i veća je nestabilnost frekvencije.

6. **Pleziokrona digitalna hijerarhija (PDH).** – prijenos digitalnog govornog signala. Bolje iskorištenje kapaciteta i kvalitetniji prijenos. Vremensko multipleksiranje bit po bit. Istom linijom se prenose govor i podaci. Niže razine prijenosa su namijenjene za spajanje korisničke opreme, a više za prijenos podataka. Primarne brzine u Europi 2.048 Mbit/s, a u ostatku svijeta 1.544 Mbit/s. Karakteristike su na slide 20-26 predavanja broj 6. Nedostaci hijerarhije je što su različiti postupci, pa treba pretvarati hijerarhije jednu u drugu. Brzina više razine veća za oko 1% od niže, strukture okvira različite na prijenosnim razinama, multipleksiranje i multipleksiranje moguće samo između susjednih razina, nemogućnost preskakanja razina i brzine prijenosa ne više od 139.264 Mbit/s.
7. **Sinkrona digitalna hijerarhija (SDH).** – je ispravila nedostatke PDH. Prva optička mreža SONET uvedena u SAD-u 1985. godine. Ima dvije razine prijenosa: niska broj 1 od 55.840 Mbit/s i visoka broj 3 od 155.52 Mbit/s, što je u Europi prva razina. Tokovi podataka koji se multipleksiraju zovu se spremnici (C). Optički signal se zove optički nosilac. Više od slide-a 32 do uključivo slide-a 36 6. predavanja.
8. **Telefonske i modemske veze.** – modem (**mod**ualtor+**dem**odulator) je uređaj koji pretvara digitalne podatke iz računala u analogan oblik pogodan za slanje

telefonskom linijom. Rabi hibridne modulacijske postupke za povećanje brzine. Slide 40 do uključivo 44 predavanja 6, čisto informativno.

9. **Digitalne pretplatničke linije.** – istodobni prijenos govora i podataka, iznad 56 kbit/s. Vrste: ISDN, HDSL, HDSL2, MSDSL, ADSL, VDSL. Više o ISDN predavanje 6, slide 49-52.
10. **ADSL.** – je asimetrična digitalna pretplatnička linija, koja za prijenos koristi upletenu paricu. Na korisničkoj strani i centrali razdvaja govor od podataka razdjelnikom (splitter). Frekvencija u odlaznom smjeru od korisnika je manja od snage u dolaznom smjeru pa je podložnija šumu. Zbog toga se odlaznom smjeru dodjeljuje niže frekvencijsko područje jer je manje gušenje signala pri prijenosu upletenom paricom na nižim frekvencijama. Dvije su norme za ADSL: G.DMT i G.Lite. Razlika je u frekvencijskom području i što G.Lite ne koristi splitter nego mikrofilar, koji je na korisničkoj strani niskopropusni filtar koji guši frekvencije iznad 4 kHz, a na strani centrale je visokopropusni filtar koji guši frekvencije ispod 26 kHz. Slide-ovi od 59 do 73 predavanja 6 su čisto informativni, sve bitno je rečeno ode.
11. **Lokalne mreže (LAN).** – mreže koje pokrivaju malo područje: zgrade, urede, poslovne prostore i slično. U vlasništvu je jedne organizacije, obilježja su joj visoke brzine prijenosa, malo kašnjenje i mali BER. Načini prijenosa podataka su: jednosmjerni, istodobni do skupine mrežnih čvorova i istodobni do svih mrežnih čvorova. Prijenosni mediji su upletetne parice, tanki i debeli koaksijalni kabe i optički kabe i, a topologije sabirnica, zvijezda, prsten i stablo. Norme su iz skupine IEEE 802. Slična je arhitektura kao i kod OSI-ja, samo što podatkovni sloj ima dva dijela: podsloj za upravljanje pristupom prijenosnom mediju (MAC) i podsloj za upravljanje logičkom vezom (LLC). Pristup prijenosnom mediju rješava problem kada se trebaju odašiljati podaci s različitih postaja u isto vrijeme, dva su načina: višestruki pristup osluškivanjem nosioca i detekcijom sudara (CSMA/CD) i pomoću pristupne riječi (token). Za prvi način je karakterističan sudar, on može biti rani (postaja ga detektira za vrijeme odašiljanja okvira) i kasni (nakon prestanka odašiljanja, postaja ga ne može detektirati). Kod drugog načina je bitna pristupna riječ (token) koja kruži mrežom od jedne do druge postaje koja ide do one postaje koja treba odašiljati podatke, pa nastavi dalje kružiti, a ako ne treba odašiljati podatke, samo se proslijeđuje idućoj postaji. Za povezivanje se rabe zakupljeni kanali.



Korisniku se dodjeljuje jedan ili više kanala raspoređenih po frekvencijama i vremenu. Neučinkovito je ako korisnik ne koristi puni kapacitet kanala. Zajedno s mrežnim uređajima čini privatnu ili javnu WAN mrežu. Nedostaci su visoki troškovi izgradnje i održavanja, neučinkovita upotreba kanala i nemoguća dinamička promjena načina povezivanja uređaja u slučaju kvara ili opterećenja.

12. **Ethernet.** – je definiran normom IEEE 802.3. To je glavna LAN tehnologija. Mrežni uređaji se dijele u dvije klase: mrežne postaje ili krajni podatkovni uređaji (DTE) i uređaji za prijenos podataka (DCE). Inačice se razlikuju po brzini prijenosa, načinu prijenosa u prijenosnom mediju: BASE (osnovnopojasni) i BROAD (širokopojasni) te najvećoj dopuštenoj jedinici segmenta u jedinicama od 100m. Podsloj MAC IEEE 802.3 je specifičan za svaku od inačica i izvodi se na mrežnoj kartici krajnjeg uređaja ili priključku mrežnog uređaja. Obavlja funkcije pristupa prijenosnom mediju CSMA/CD, formiranje okvira s adresnim poljem i poljem za upravljanje pogreškama prije odašiljanja te rasformiranjem okvira, prepoznavanjem adrese i detekcijom pogrešaka tijekom i nakon prijma. Od slide-a 18 do uključivo 23 predavanja 7 se nalazi informativni tekst o okvirima Etherneta. Podsloj LLC je definiran normom IEEE 802.2 i jednak je za sve inačice lokalnih mreža. Usluge podsloja LLC su nespojne sa i bez potvrde primitka i spojne s potvrdom primitka. Uređaji Etherneta su mrežni i to: obnavljač (repetitor), parični obnavljač (koncentrator), LAN komutator (switch), most (bridge) i usmjerivač (router). Manje više informativni slide-ovi od 26 do 35 predavanja 7, s tim da se najviše pažnje obrati mostu i funkcijama mosta.
13. **Radijske lokalne mreže (WLAN).** – oblik bežičnog LAN-a, prijenos u radijskom ili infracrvenom području. Postoje licencirana i nelicencirana područja WLAN-a. Nelicencirana područja (ISM) su 2400 do 2483.5 MHz i 5725 do 5925 MHz, dok su licencirana od 5150 do 5350 MHz, 5470 do 5725 MHz te 17.1 do 17.3 GHz. Dvije su skupine normi: IEEE 802.11 i HiperLAN. Korisnici pristupaju WLAN mreži preko mrežnih kartica (NIC) i pristupnih točaka (AP). Pristupne točke imaju dvije funkcije: povezivanje WLAN-a sa fiksnom mrežom i komunikaciju s mrežnim postajama u dometu pokrivanja radijskim valovima. Dvije su strukture WLAN-a: sa i bez pristupne točke, o kojima je više rečeno na slide-ovima 48 i 49. Slide-ovi 50, 51 i 52 govore o kretanju unutar WLAN mreže te su informativne prirode.

14. **IEEE 802.11 i fizički sloj.** – pet vrsta fizičkog sloja: mrežne postaje moraju imati isti da bi komunicirale, svaka vrsta je popraćena vlastitim MAC podslojem, a LLC podsloj je zajednički za sve vrste. Prva norma je IEEE 802.11 iz 1997. godine. Karakteristične su tri tehnike: prijenos u infracrvenom području (IR), uz proširenje pojasa izravnim slijedom (DSSS) i uz proširenje skakanjem frekvencije (FHSS). Za dvije posljednje se rabi ISM frekvencijsko područje 2.4 GHz uz brzine prijenosa do 2 Mbit/s. 1999. godine su uvedena dva dodatka normi: 802.11a i 802.11b. Razlika je u frekvencijskom području i brzini, za a je 5 GHz i 54 Mbit/s, a za b je 2.4 GHz i 11 Mbit/s. 2001. je uvedena nova norma, 802.11g, koja je zadržala sve karakteristike a norme, ali je preuzela frekvencijsko područje norme b, te je kompatibilna s njom. Značajke proširenja pojasa se vrednuju procesnim dobrotkom, koji pokazuje koliko je manji odnos signal-šum uz ovu tehniku i inače. MAC podsloj određuje pravila za pristupanje zajedničkom prijenosnom mediju uključujući prioritete i određivanje kanala. Za mahohiste su tu slide-ovi od 53 do uključujući 79 predavanja 7, ali to je puno previše informacija. :D
15. **HiperLAN.** – ništa specijalno, od slide-a 80 do uključujući 85, predavanja 7. Informativno.
16. **Mobilne komunikacije.** – pristup je ostvaren bežično. Čelijske su vrste koje se sastoje od baznih stanica koja sadrži odašiljačku ili prijemnu opremu za odašiljanje ili primanje signala od ili do korisnika i uređaje koji omogućavaju povezivanje na jezgrenu mrežu. Za pokrivanje većih područja koristi se više baznih postaja. Rubna se područja susjednih ćelija preklapaju. U ćelijama se često javlja istokanalna interferencija između ćelija koje rabe istu frekvenciju. Radi povećanja kapaciteta ograničava se snaga baznih postaja čime ćelije postaju manje. Skup ćelija kod kojih su jednom iskorišteni svi raspoloživi kanali naziva se grozd ćelija (cell cluster). Zadatak ćelijskog planiranja je dodijeliti kanale ćelijama u grozdu te grozdovima pokriti određeno područje pazeći da razmak istokanalnih ćelija bude dovoljno velik i kako bi istokanalna interferencija ostala u prihvatljivim granicama.
17. **Dvosmjerni (dupleksni) prijenos i višestruki pristup.** – istodobna komunikacija u silaznoj i uzlaznoj vezi od korisnika do bazne postaje. Dva su pristupa: frekvencijski (FDD) i vremenski (TDD) dupleks. Višestruki pristup bi bio zajednički prijenos signala koji dolaze iz različitih izvora u dodijeljenom

bloku frekvencija uz mogućnost njihova razdvajanja na odredištu. Tri su temeljna postupka: frekvencijska (FDMA), vremenska (TDMA) i kodna raspodjela (CDMA). Koga interesira, ima na slide-ovima od 40 do uključivo 43 predavanja 8.

18. **Mobilni komunikacijski sustavi.** – prva generacija (1G), druga generacija (2G) i treća generacija (3G) u kojoj je zastupljen UMTS (2.5G) unutar GSM-a. GSM osigurava brzinu 10 Mbit/s, a GPRS 144 Mbit/s. Kod niske mobilnosti u EDGE sustavu brzina je 384 Mbit/s, dok je za veću mobilnost i pokrivanje manja brzina. Treća generacija osigurava brzine do 2 Mbit/s kod niskog stupnja mobilnosti.
19. **GSM.** – komunikacija između mobilnih telefona. Inačice su GSM-900, E-GSM, GSM/DCS1800 te PCS1900. Rabi modulacijski postupak GMSK uz širinu pojasa od 200MHz (mislim da nije kHz kako piše u slide-u). Radne frekvencije RF kanala u silaznoj vezi se određuju po n-tom kanalu, primjer je dan na slide-u 51 predavanja 8, dok se u uzlaznoj vezi određuju dodavanjem dupleksog razmaka, što je u biti razlika između početnih frekvencija silazne i uzlazne veze (za GSM 900 je to 45MHz, a za GSM 1800 95MHz). Broj istodobnih poziva:  $(\text{broj frekvencija u ćeliji}) \cdot (\text{broj vremenskih odsječaka} = \text{uvijek } 8) \cdot (\text{broj ćelija})$ . O UMTS-u su dani slide 58 i 59 predavanja 8 čisto informativno.
20. **Predavanje Emila Dumića.** – tu je najbitnije zapamtiti ove IP protokole, ostalo je neko ponavljanje gradiva i sumnjam da će dati IGMP i ICMP protokol, jedino ko hoće može to informativno pročitati. Znači imamo dvije vrste IP protokola: IPv4 i IPv6. Prvi protokol ima 32 bita i sastoji se od 4 dijela, svaki po 8 bitova. Općenito se protokol sastoji od dva dijela: vrsta i adresa mreže (network ID) i adrese računala (host ID). Kod drugog protokola je veći adresni prostor, gdje imamo 128 bitova. Danas se koristi IPv4.