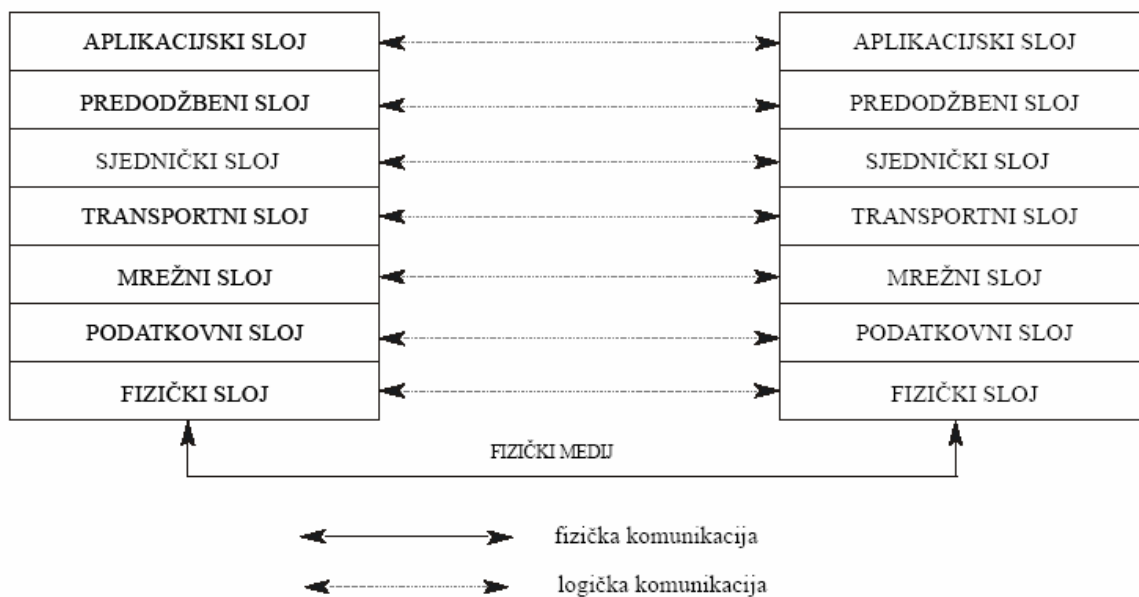


OSI referentni model

Komunikacija kod OSI modela uvijek ide sloj po sloj, pri čemu nije moguće preskakanje nijednog sloja. Veza između dva sloja naziva se interface (engl., sučelje).

Funkcija n-tog sloja u komunikacijskom sustavu odvija se u suradnji s procesom n-tog sloja uređaja s kojim komuniciramo. Način njihovog komuniciranja naziva se protokol n-tog sloja. Sučelje je između višeg i nižeg sloja, a protokol je između n-tih slojeva. Sučelje nije, a protokol jest predmet međunarodne standardizacije.



Slika 1. Fizička i logička komunikacija kod OSI modela

Komunikacija između dva krajnja uređaja teče ovako: aplikacijski sloj pozivajućeg uređaja započinje pozivom aplikacijskom sloju pozvanog uređaja s kojim uspostavlja ravnopravan odnos, koristeći protokol sloja 7. Protokol sloja 7 zahtijeva od sloja 6 potrebne usluge, pa ovaj sloj uspostavlja ravnopravan odnos s odgovarajućim slojem na drugoj strani uz pomoć protokola 6 sloja. Protokol 6 sloja zahtijeva potrebne usluge od sloja 5, itd. Komunikacija se odvija dalje po istom principu, sve do fizičkog nivoa, gdje dolazi do stvarne razmjene podataka. Dakle, svaki sloj predajne stanice uz pomoć pripadnog protokola šalje svoje podatke nižem sloju i tako sve do fizičkog sloja. Fizički sloj odašilje podatke odgovarajućem sloju prijemne stanice koji predaje podatke podatkovnom sloju, ovaj mrežnom, itd. sve do odredišnog sloja. Susjedni slojevi iste stanice međusobno komuniciraju preko sučelja kojima je osnovna zadaća da format poruke prilagode protokolu sljedećeg sloja.

Pojedini slojevi u OSI modelu ne definiraju jedan protokol, već definiraju funkciju prijenosa podataka koju može izvršavati proizvoljan broj protokola. Protokoli ne moraju strogo pratiti strukturu OSI modela (npr. TCP/IP protokol), ali moraju izvršavati sve funkcije koje definira OSI model. Odvajanjem funkcija smanjena je složenost u razvoju komunikacijskih sustava, ali i omogućena je primjena funkcija koje se razvijaju nezavisno od različitih proizvođača.

Fizički sloj

Fizički je sloj zadužen za prijenos podataka, bit po bit, preko fizičkog medija. To znači da na ovom sloju ne postoje jedinice podataka, niti zaglavlja. Za svaki fizički medij koristi se različita modulacija koja osigurava što točniji prijenos podataka. Kod bakrenih medija bitove se prenosi kao nizove različitih naponskih razina signala ili kao promjene naponskih razina, a kod optičkih medija prenose se nizovi impulsa *ima svjetla/nema svjetla*. Protokoli na ovome sloju ne detektiraju niti korigiraju pogreške, nego je to ostavljeno protokolima viših slojeva.

Standardi definirani na fizičkom sloju određuju električne i funkcionalne karakteristike signala, te mehanička svojstva sučelja. Standardi koji definiraju karakteristike signala dijele se na one koji se odnose na prijenos signala analognim linijama (modulacije: FSK, DPSK, QAM), digitalnim linijama (dio ISDN specifikacije, ADSL) te lokalnim mrežama (serija IEEE standarda 802). Mehanička svojstva sučelja definiraju vrste i oblik konektora, te raspored signala po kontaktima.

Na prvoj OSI razini bavimo se i fizičkom topologijom, tj. načinom na koji su računala fizički spojena u mrežu. Logičkim topologijama bave se protokoli drugog sloja. Prve lokalne mreže razvijale su se na sabirničkoj (Ethernet) i prstenastoj (Token Ring) topologiji. Fizička topologija današnjih lokalnih mreža najčešće je zvjezdasta.

Standardi IEEE 802

Standardi IEEE 802 definiraju sučelja i protokole lokalnih (LAN) i gradskih (MAN) mreža, integrirajući u sebi i drugi sloj OSI modela:

- 802.1** Arhitektura
- 802.2** Protokoli podatkovnog sloja
- 802.3** Fizička razina i način pristupa za asinkrone sabirničke (Ethernet) mreže
- 802.4** Fizička razina i način pristupa za sinkrone sabirničke (Token Bus) mreže
- 802.5** Fizička razina i način pristupa za sinkrone prstenaste (Token Ring) mreže
- 802.6** Fizička razina i način pristupa za gradske mreže s DQDB (Distributed Queue Dual Bus) tehnologijom
- 802.7** Fizička razina i način pristupa za širokopojasne mreže koje korištenjem radio modema omogućuju prijenos 802.3, 802.4 i video signala istovremeno
- 802.8** Fizička razina i način pristupa za optičke gradske mreže
- 802.10** Raspored ključeva za LAN/MAN sigurne mreže
- 802.11** Fizička razina i način pristupa za bežične mreže
- 802.12** Fizička razina i način pristupa za lokalne mreže s prioritetom
- 802.14** Fizička razina i način pristupa za širokopojasne mreže koje koriste tehnologiju kabela televizije
- 802.15** Fizička razina i način pristupa za bežične mreže vrlo malog dometa
- 802.16** Fizička razina i način pristupa za bežične mreže u području 10-60 GHz

Teorijske osnove prijenosa podataka

Fourierova analiza

Jean Baptiste Fourier (19 stoljeće) dokazao je da se svaku periodičku funkciju $g(t)$ sa periodom T , može prikazati kao zbroj sinus i kosinus funkcija.

$$g(t) = \frac{1}{2}c + \sum_{n=1} a_n \sin(2\pi nft) + \sum_{n=1} b_n \cos(2\pi nft)$$

gdje je $f=1/T$ frekvencija, a_n, b_n su amplitude n -tih harmonika. Ovakva dekompozicija zove se Fourierov red. Znači, ako znamo period T i amplitude harmonika možemo iz Fourierovog reda sumiranjem rekonstruirati funkciju.

Amplitude su dane izrazima:

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \sin(2\pi nft) dt \qquad b_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \cos(2\pi nft) dt$$

$$c = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) dt$$

Brzina prijenosa podataka na kanalu

Širina pojasa i kašnjenje dvije su mjere kojima se određuje rad mreže. Širina pojasa zapravo označava širinu frekvencijskog pojasa. Npr. širina pojasa analognog telefonskog kanala je 3000 Hz (od 300Hz do 3300Hz) i mjeri se u hertzima. Kada se radi o prijenosu podataka tada se pod širinom pojasa podrazumijeva broj bitova prenesenih u sekundi preko linije tj. brzina prijenosa. Npr. 10Mbps znači da se 10 milijuna bitova prenese svake sekunde tj. 0.1 μ s potrebno je za prijenos jednog bita. Druga mjera je kašnjenje i označava koliko je vremena potrebno da poruka dođe sa jednog kraja mreže na drugi. Npr. ako mreža ima kašnjenje od 12ms to znači da je potrebno 12 ms da poruka dođe od izvora ka odredištu. Često je važnije znati podatak koliko je vremena potrebno da se pošalje poruka na odredište i vrati ponovo nazad. To vrijeme se naziva *round-trip time* (RTT) mreže.

Brzina prijenosa i kašnjenje zajedno određuju karakteristike pojedinog kanala tj. veze.

Njihova relativna važnost zavisi o vrsti aplikacije koja se koristi. Npr. kod slanja malih poruka veličine recimo 1 byta kašnjenje će dominirati nad brzinom prijenosa, dok će kod slanja većih poruka od recimo 25MB brzina prijenosa biti puno važnija od kašnjenja.

Brzinu prijenosa podataka telefonskim linijama može se odrediti pomoću Shannonovog teorema:

$$\text{maksimalni broj bit/s} = f_b \log_2(1+S/N)$$

Širina pojasa telefonskog kanala f_g kreće se između 300 Hz i 3300 Hz ($f_g = 3000\text{Hz}$). U realnim uvjetima uvijek postoji šum na kanalu, koji se prikazuje omjerom snage signala i snage šuma S/N i mjeri se u decibelim dB ($\text{dB} = 10 \times \log_{10}(S/N)$). Tipična vrijednost omjera za analogni telefonski kanal je 30db tj. $S/N=1000$, što daje:

$$\text{maksimalni broj bit/s} = 3000 \log_2(1001) \approx 30 \text{ Kbit/s}$$

Znači, kod kanala širine 3kHz i s šumom od 30dB ne može se prenijeti više od ~30000 bitova u sekundi.

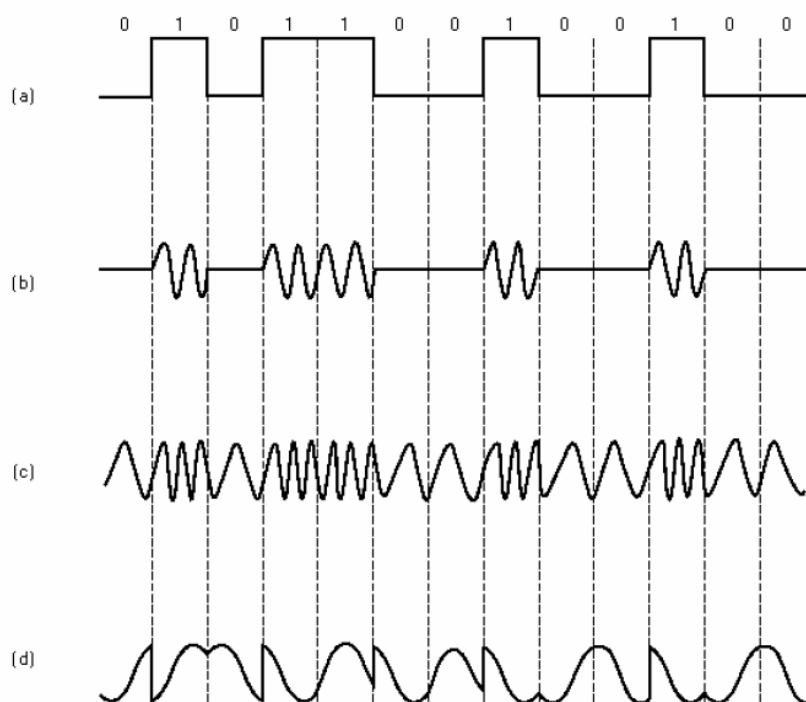
Osnovne modulacije (AM, FM, PM)

Kad bi prijenosni medij bio savršen, prijemnik bi primio isti signal kakav je poslan od predajnika. Nažalost, prijenosni mediji nisu savršeni te se signal izobličava. Kod digitalnih signala ta promjena uzrokuje greške. Kod propagacije signala dolazi do gušenja. Svaka Fourierova komponenta guši se za različiti iznos, pa na prijemnoj strani dobivamo različiti signal. Zbog toga je nepoželjno koristiti signale sa širokim spektrom frekvencija, a takvi su binarni signali.

Zbog toga se za prijenos podataka (posebno kod telefonskih linija) koriste analogni, a ne digitalni signali. Uvodi se signal nositelj i on se modulira u skladu s signalom podataka (binarnih).

Postoji mnogo modulacijskih tehnika, a tri osnovne su: amplitudna, frekvencijska i fazna. Signal nositelj (obično se koristi signal sinusnog oblika) određene amplitude i frekvencije se modulira. Modulira se njegova amplituda, frekvencija, faza (ili njihova kombinacija), kako bi se prenijela informacija (slika 2.). Osim toga frekvencija signala nosioca mora biti tako odabrana da odgovara prijenosnom mediju kroz koji se signal prenosi.

Na odredištu se odvija obrnuti proces tj. demodulacija (vraćanje signala u izvorni oblik).



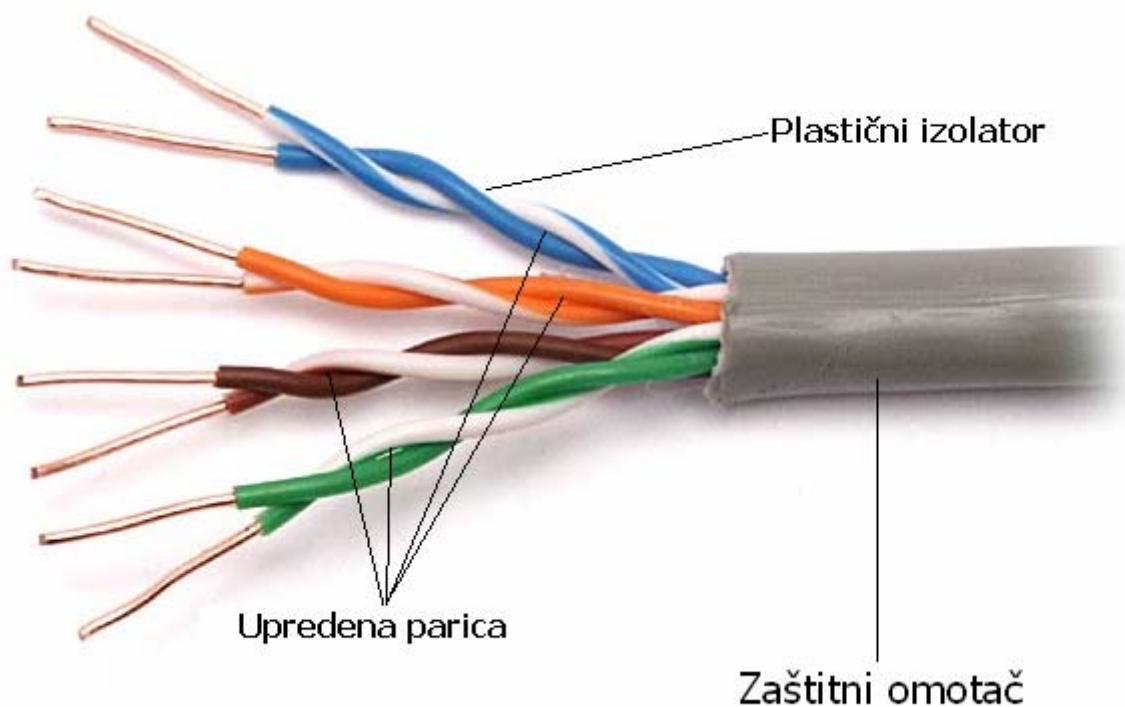
Slika 2. (a – originalni signal; modulirani signali: b – amplitudno, c – frekvencijski, d – fazno)

Prijenosni mediji

Pojam prijenosnog medija podrazumijeva fizičko sredstvo za prijenos signala (kabel, svjetlovod, radioval), kao i potrebne sklopove i uređaje za odašiljanje signala i prijem signala kroz ta sredstva.

Upredena parica (twisted pair)

Upredena parica (engl. *twisted pair*) je par upletenih žica (slika 3.). Žice su najčešće napravljene od bakrene žice i izolirane su PVC-om. Preklapanje žica je nužno zbog smanjenja električne interferencije koja nastaje kad se sličan par žica nalazi u blizini. To je uobičajeni medij za prijenos u telefonskoj mreži, a trenutno je najjeftiniji medij za prijenos podataka. Upredena parica se može koristiti za analogni i digitalni prijenos. Brzina koja se može postići ograničene su već postojećom telefonskom infrastrukturom. Opseg frekvencija koji je dovoljan za razumijevanje ljudskog govora je od 300Hz do 3300Hz, te su stoga sklopovi u analognim centralama bili prilagođeni tom opsegu. Kad se upotrebljavaju u lokalnoj mreži, na paricama se postižu brzine prijenosa od 10Mbit/s do 100Mbit/s.



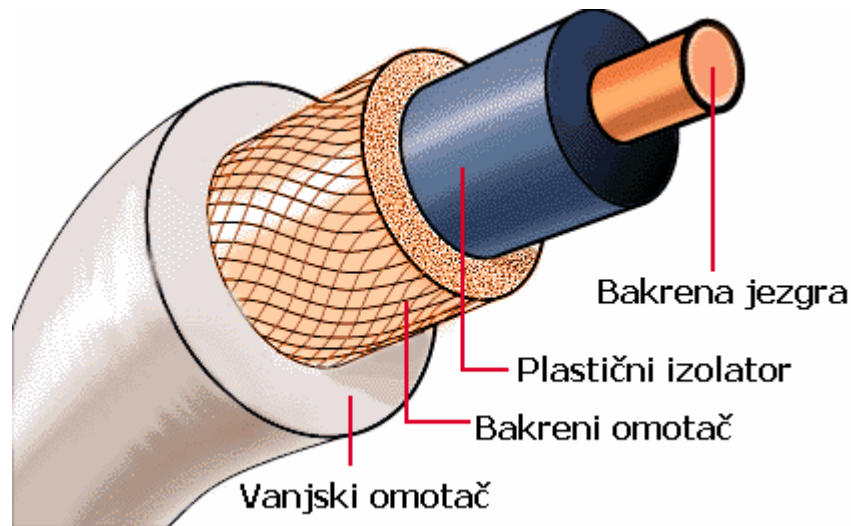
Slika 3. Twisted Pair (Upredena parica)

Koaksijalni kabel

Koaksijalni kabel (slika 4.) ima velik propusni opseg pa omogućava velike brzine prijenosa s velikom otpornošću na smetnje i greške. Upotrebljava se u telefonskim mrežama za vezu između centrala kao i kod kabelaške televizije za prijenos televizijskog signala u zgradama i naseljima. Koaksijalni kabel nešto je skuplji od

parice, ali još spada u relativno jeftine prijenosne medije. Postoje dva načina prijenosa kod koaksijalnog kabela: širokopolasni (broadband) i osnovno-polasni baseband).

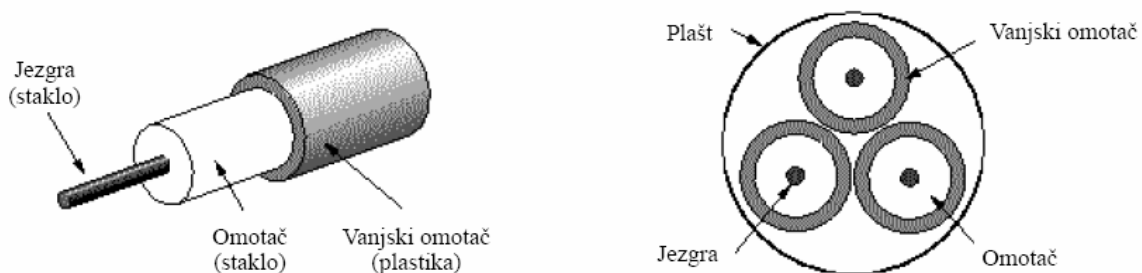
Kod prijenosa u osnovnom pojasu signal se prenosi u svom izvornom obliku i tako se obično prenose digitalni signali brzinama do 100Mbit/s. Veće brzine postižu se širokopolasnim prijenosom gdje se propisni kanal podijeli u više broj podkanala. Tim načinom bolje se iskorištava propusni opseg kabela, ali su sklopovi za transponiranje frekvencija (modulatori i demodulatori) te potrebni filtri složeni i skupi da bi njihova upotreba u lokalnim mrežama bila opravdana.



Slika 4. Koaksijalni kabel

Optičko vlakno

Optičko vlakno, svjetlovod (engl. *optical fiber*) je tanka staklena ili plastična nit sa svojstvom da vodi svjetlo (slika 5.). Propusni opseg optičkog vlakna je do 50000 Gbit/s, vrlo mala je mogućnost pogreške, na prijenos optičkim vlaknom ne djeluju smetnje od električnih i elektromehaničkih uređaja, optičko vlakno ne emitira smetnje u okolinu i tanko je i lagano. Kod upotrebe optičkog vlakna potrebno je električni signal pretvoriti u svjetlost, "unijeti" svjetlost u vlakno paralelno s uzdužnom osi, na suprotnoj strani svjetlost opet pretvoriti u električni signal.



Slika 4. Optički kabel

Zbog još nedovoljno razvijene popratne opreme još nije moguće iskoristiti čitav propusni opseg optičkog vlakna, tako da se brzine prijenosa kreću do 10Gbit/s. Jedna od najvećih prednosti optičkog vlakna osim brzine prijenosa je i to da se radi o

prijenosu signala kroz nemetal. Time se otklanjaju problemi oko razlike potencijala između prijemnog i predajnog kraja, oko struja izjednačenja, napona induciranih atmosferskim elektricitetom itd. Danas se smatra kako će optički kabel zbog svojih brojnih prednosti i potpunosti zamijeniti metalne medije.

Neomeđeni mediji

U neomeđene medije spadaju radijski valovi i infracrveno svjetlo koji se šire neograničeno u prostoru. Za infracrveno svjetlo problem predstavljaju neprozirne prepreke, tako da im se domet ograničava na jednu prostoriju. Korištenjem radio valova domet se povećava, ali za upotrebu odašiljača treba dobiti dozvole odgovarajućih ustanova (isključivo ukoliko se ne koriste tzv. slobodne frekvencije). Brzine prijenaosa kod neomeđenih medija kreću se od 1 Mbit/s do 100-tinjak Mbit/s (uz različite modifikacije). S obzirom na porast upotrebe prijenosnih računala i mobilnih sustava općenito sigurno će doći i do bržeg razvoja bežičnih lokalnih komunikacija.

Mrežni uređaji fizičke razine

Osnovna funkcija mrežnih uređaja fizičke razine je pojačavanje, te po potrebi, umnožavanje signala na više priključaka.

Kod mreža tipa sabirnica jedan segment mreže čine sva računala povezana na istu sabirnicu. Povezivanje više segmenata ostvaruje se **repeaterima** (engl., pojačalo) i **hubovima** (engl., koncentrator). Pojačalo se sastoji od dva priključka i funkcija mu je da signal koji primi na jednom priključku pojača, odnosno obnovi i proslijedi na drugi. Hub se može još nazvati i pojačalo s više priključaka. Signal koji primi na jednom priključku proslijedi na sve ostale. Hub je interno izveden kao sabirnica.

Ukoliko se stanice na mreži nalaze međusobno udaljene više nego je to dozvoljeno standardom, potrebno je koristiti aktivne mrežne uređaje. Repeateri i hubovi spajanjem više segmenata mreže povećavaju zonu kolizije. Dodavanjem više računala u mrežu i povećavanjem udaljenosti, vjerojatnost kolizije se znatno povećava, tako da postoji pravilo koje ograničava dodavanje proizvoljnog broja segmenata u mreži. Pravilo se naziva „5-4-3” i definira da signal između bilo koja dva računala na mreži ne smije proći kroz više od 5 segmenata, 4 pojačala i 3 višespojna segmenta. Višespojni segmenti su oni na kojima se spajaju računala. To znači da u mreži s maksimalnim dozvoljenim brojem segmenata moraju postojati bar dva segmenta bez spojenih računala, tj. segmenti koji međusobno povezuju dva mrežna uređaja.

Na fizičkom sloju nije moguće promet filtrirati, nego se to mora obavljati na podatkovnom sloju.

Podatkovni sloj

Funkcija podatkovnog sloja je pružanje usluga mrežnom sloju. Proces na mrežnom sloju prepušta podatke podatkovnom sloju, koji će prenijeti podatke ka određinom podatkovnom sloju koji će ih predati mrežnom sloju na toj strani.

Ovisno o prijenosnom mediju razlikujemo protokole na serijskim linijama i lokalnim mrežama.

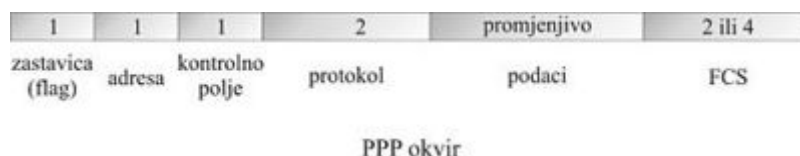
Protokoli na serijskim linijama

Najčešće korišteni protokoli podatkovnog sloja na serijskim linijama za modemske komunikacije su SLIP i PPP.

SLIP (engl. Serial Line Internet Protocol) veoma je jednostavan protokol definiran u RFC 1055. Protokol definira samo dva kontrolna znaka: END i ESC. END je oktalno 300, a ESC oktalno 333 i ne treba se miješati s ASCII ESC znakom. Na paket primljen od mrežnog sloja dodaju se samo dva END znaka, jedan na početku prijenosa, a drugi na kraju. Ukoliko u korisničkim podacima naiđe sekvenca koja odgovara END znaku šalju se dva znaka: ESC i oktalno 334, a ukoliko u korisničkim podacima naiđe sekvenca ESC, šalje se ESC i oktalno 335. SLIP nema mogućnost adresiranja niti razmjene informacije o adresama. Nema ni identifikaciju tipa paketa što znači da može podržavati samo jedan skup protokola koji mora biti istovjetan na obje strane. Ne može obavljati detekciju niti korekciju pogreške niti posjeduje mehanizme kompresije podataka.

PPP (eng. Point-to-Point Protocol) je definiran u RFC 1661. Protokol omogućava autentikaciju, kompresiju podataka, detekciju greške i balansiranje opterećenja preko više kanala. Sastoji se od dva dijela: protokola za nadzor veze, LCP (eng. Link Control Protocol) koji uspostavlja, konfigurira i testira vezu, te protokola za nadzor mreže NCP (eng. Network Control Protocol) koji dogovara prijenos različitih protokola mrežne razine.

Na slici je prikazan PPP okvir. Brojevi označavaju duljine pojedinih polja u bajtovima. U prvobitnoj verziji PPP protokola nisu postojala polja zastavice, adrese i kontrolnog polja.



Slika 5. PPP okvir

Opis polja PPP zaglavlja:

Zastavica označava početak ili kraj okvira. Polje se sastoji od binarne sekvence 01111110.

Adresa sadrži sekvencu 11111111 koja je standardna broadcast adresa. PPP ne dodjeljuje individualne adrese.

Kontrolno polje sadrži sekvencu 00000011.

U polju **protokol** je vrijednost koja označava protokol višeg sloja čiji su podaci enkapsulirani u zaglavlju.

Podaci su paket primljen od višeg sloja.

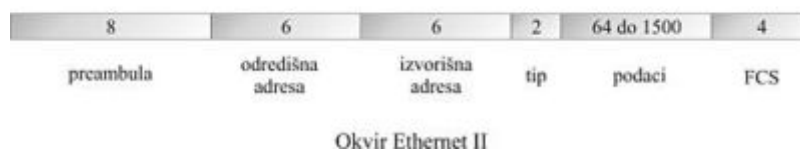
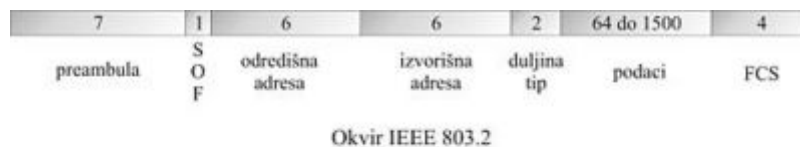
FCS (engl. Frame Check Sequence) je uobičajeno duljine 2 bajta i sadrži zaštitnu sumu okvira. Neke implementacije PPP koriste 4 bajta za poboljšanu detekciju pogreške.

Pri uspostavi veze, autentikacija je opcionalna. Može se obavljati preko PAP (engl. Password Authentication Protocol) i CHAP (engl. Challenge Handshake Authentication Protocol) protokola. PAP pruža jednostavan način autentikacije tako da preko kanala šalje korisničko ime i lozinku. PAP nije pouzdan protokol jer se lozinka šalje kao običan tekst i pri svakoj uspostavi veze je ista. CHAP pri autentikaciji nikad ne šalje samu lozinku. Strana koja uspostavlja vezu započinje slanjem niza znakova tzv. izazov (engl. challenge). Na osnovu pohranjene lozinke i primljenog izazova druga strana izračunava odgovor koristeći jednosmjernu hash funkciju (najčešće MD5) i šalje taj odgovor. Ukoliko strana koja je započela komunikaciju ustanovi da je primljeni odgovor ispravan (provjerava ga izračunavajući hash funkciju istim parametrima izazova i lozinke, te uspoređuje izračunatu i primljenu vrijednost), proces autentikacije završava. Izazov je uvijek jedinstven, pa tako i odgovor što omogućava veću razinu sigurnosti.

PPP je danas već gotovo istisnuo iz upotrebe SLIP.

Protokoli na lokalnim mrežama

Najčešće korišteni protokol podatkovnog sloja na lokalnim mrežama je Ethernet. Postoje dva formata Ethernet zaglavlja: IEEE 802.3 i Ethernet II. Okviri s oba zaglavlja prikazani su na slikama. Brojevi označavaju broj bajtova pojedinog polja.



Slika 6. Ethernet II okvir

Opis polja zaglavlja:

Preambula je izmjenjujući niz nula i jedinica koji se koristi za sinkronizaciju kod 10Mb/s i sporijih Ethernet verzija. Ethernet verzije koje rade na većim brzinama ne zahtijevaju sinkronizaciju, ali je polje zadržano radi kompatibilnosti.

SOF (engl. Start of Frame) polje označava kraj dijela za sinkronizaciju i sadrži sekvencu 10101011.

Odredišna adresa je MAC adresa odredišta. Može biti unicast, broadcast ili multicast adresa.

Izvorišna adresa je MAC adresa izvorišnog sučelja.

Polje **dužina/tip** ima dvostruku funkciju. Ukoliko je vrijednost ovog polja manja od 0x600 heksadecimalno (1536 decimalno) radi se o duljini, a ukoliko je vrijednost veća

od 0x600 radi se o tipu protokola mrežnog sloja koji koristi Ethernet protokol kao protokol podatkovnog sloja.

Podaci su cjelokupni paket prihvaćen od višeg sloja.

FCS je polje koje sadrži zaštitnu sumu cijelog okvira. Vrijednost ovog polja se nanovo izračunava pri svakom prolazu kroz neki mrežni uređaj.

Razlika između dvije verzije Ethernet zaglavlja je u polju preambule, te u polju duljina/tip. Danas je češće u upotrebi Ethernet II protokol.

Mrežna oprema podatkovnog sloja

Mrežni uređaji koji rade na podatkovnom sloju su bridgevi i switchevi. Koriste se kada je potrebno razdvajati mrežu na više manjih zona kolizije i za stvaranje virtualnih lanova.

Ponekad je potrebno razdvojiti jednu veliku mrežu na više dijelova kojima je lakše upravljati. U tu svrhu koriste se **bridgevi** (engl. premosnici) koji imaju dva sučelja preko kojih se povezuju dva segmenta mreže. Svaki segment čini zasebnu zonu kolizije. Osnovna funkcija bridgeva je donošenje odluke treba li okvir proslijediti na drugi segment ili ne. Da bi to mogli obavljati, u CAM (eng. Content Addressable Memory) memoriji održavaju premosnu tablicu (engl. bridging table) MAC adresa vezanih za svako sučelje. Kad bridge primi okvir s jednog segmenta mreže provjerava ima li u svojoj tablici zabilježenu odredišnu MAC adresu. Okvir prosljeđuje na drugi segment ukoliko je odredišna MAC adresa u tablici vezana uz drugi segment mreže ili ukoliko ta adresa još ne postoji u tablici, pa ne zna gdje se nalazi. Tablica se popunjava na osnovu izvorišnih MAC adresa u okvirima.

Switchevi (engl., preklopnici) se još nazivaju i višesučeljni premosnici. Ponekad ih još nazivaju i prespojnicima. Tipično se proizvode s 4, 8, 16, 24 ili 48 sučelja, od kojih svako čini zasebnu zonu kolizije. Za spajanje računala u današnjim lokalnim mrežama najčešće se koriste switchevi jer povećavaju brzinu prijenosa u mreži, propusnost i ukupne performanse mreže. Pojedini dijelovi mreže koji se sastoje od sučelja i spojenog računala nazivaju se mikrosegmenti.

Sva preklopna oprema izvodi dvije osnovne operacije. Prva operacija je prospajanje okvira. To je proces u kojem se okvir primi s ulaznog medija i prenese na izlazni medij. Druga je operacija izrada i održavanje tablice MAC adresa priključenih uređaja. U trenutku uključivanja u mrežu, switch radi kao obični hub, odnosno okvir primljen na jednom sučelju proslijedi na sva ostala sučelja. Pri tome u zaglavlju okvira dolaznog paketa pročita izvorišnu MAC adresu i zabilježi je u tablici prospajanja (eng. switching table) kao par sučelje - MAC adresa. Kad primi svaki sljedeći okvir, najprije provjerava je li izvorišna adresa zabilježena u tablici prospajanja, te ako nije, unosi je. Nakon toga čita odredišnu adresu i gleda postoji li ta adresa u tablici. Ukoliko je nađe, okvir prosljeđuje samo na odgovarajuće sučelje, a ukoliko ta adresa još nije zabilježena, okvir prosljeđuje na sva sučelja osim na onaj s kojeg je paket došao.

Svaki okvir koji se primi potrebno je zadržati u memoriji switcha dok se ne obradi. Switchevi koriste dva načina spremanja u memoriju: spremanje u memoriju sučelja (engl. port-based memory buffering) i spremanje u dijeljenu memoriju (engl. shared memory buffering). Kod *spremanja u memoriju sučelja* okvir se sprema u red koji je vezan uz pojedino dolazno sučelje i šalje se tek nakon što su poslani svi okviri primljeni prije njega na istom sučelju. Tako je moguće da jedan okvir zadrži sve ostale okvire u redu iza njega zbog zauzetog izlaznog sučelja. Kod *spremanja u dijeljenu memoriju* okviri se spremaju u zajedničku memoriju koju dijele sva sučelja, a količina memorije potrebna pojedinom sučelju dinamički se dodjeljuje. Okviri u memorije se dinamički vezuju na izlazno sučelje čime je omogućeno da se okvir prenese bez prebacivanja iz jednog reda u drugi.

Dvije su osnovne metode prosljeđivanja okvira: pohrani-i-proslijedi (eng. store-and-forward) i presijecanja (eng. cut-through). Kod *metode pohrani-i-proslijedi* primi se cjelokupni okvir prije nego se proslijedi. Pročitaju se i izvorišna i odredišna MAC adresa, te se provjerava cijeli okvir ima li greške. Ovakva obrada izaziva veće kašnjenje, ali je pouzdanija. Kod *metode presijecanja* okvir se počne prosljeđivati prije nego se cijeli primi. Dva oblika ove metode su: brzo-prosljeđivanje (eng. fast-forward) i slobodan-fragment (eng. fragment-free). *Brzo-prosljeđivanje* osigurava

najmanje kašnjenje. Okvir se prosljeđuje čim se pročita odredišna MAC adresa. Ovako se ponekad može proslijediti i okvir na kojem se dogodila pogreška, ali će protokoli višeg nivoa na odredišnom računalu zatražiti retransmisiju. Načinom prijenosa *slobodan-fragment* okvir se prosljeđuje nakon primljena prva 64 bajta. Ovaj način osigurava da na okviru nije nastala kolizija, odnosno okvir dulji od 64 bajta je valjan okvir.

Na podatkovnom sloju može se obavljati filtriranje prometa prema MAC adresama. Većina današnjih switcheva, analizirajući MAC adrese u zaglavlju, okvire mogu proslijediti ili ignorirati, odnosno filtrirati. Filtriranjem se može onemogućiti stanicu da šalje okvire na svoj lokalni LAN segment ili zaustaviti vanjske okvire namijenjene određenoj stanici, čime sprečavamo druge stanice da komuniciraju s njom. Oba načina filtriranja pružaju kontrolu nad mrežnim prometom i povećavaju sigurnost. Pojedini switchevi filtriranje mogu obavljati i na osnovu drugih polja u zaglavlju protokola drugog sloja, a ne samo izvorišne i odredišne MAC adrese.

Bridgevi i switchevi prosljeđuju broadcast okvire na sva sučelja osim onih s kojih dolaze. Da bi se ograničila veličina podmreže i smanjilo područje prostiranja broadcast prometa koriste se virtualne podmreže (VLANovi). Inteligentniji switchevi imaju mogućnost stvaranja VLANova. U tom slučaju, switchevi će okvire koje nemaju u MAC tablici proslijediti na samo ona sučelja koja pripadaju istom VLANu kao i sučelje s kojeg je okvir došao.

Mrežni sloj

Usluge koje pruža mrežni sloj

Zadatak mrežnog sloja je prijenos paketa između krajnjih stanica. Mrežni sloj je najniži sloj koji se brine za prijenos podataka sa kraja na kraj mreže. Njegov zadatak je da omogući uspostavljanje, održavanje i raskid veza. Najvažnija funkcija mrežnog sloja je usmjeravanje (engl. *routing*). Algoritmi za usmjeravanje dio su softvera mrežnog sloja i odgovorni su za donošenje odluke o putu kojim će se paketi prenositi. Usmjeravanje obavljaju uređaji koji se zovu routeri (engl. *usmjernici*).

Mrežni sloj mora voditi računa kako ne bi došlo do zagušenja koje se javlja kad je dolazni promet veći od kapaciteta izlaznih linija, pa je u podmreži (podmrežom se smatra prva tri sloja) previše paketa i neki se počinju gubiti. Kontrola zasićenja povezana je sa usmjeravanjem, jer je glavni razlog zasićenja loše usmjeravanje. Razlikuje se od kontrole toka u sloju prijenosa podataka. Kod podatkovnog sloja kontrola toka morala je riješiti problem brzog pošiljatelja koji zatrpava podacima sporijeg primatelja, kod mrežnog sloja gleda se ukupni promet na mreži. U slučaju da su izvorišna i odredišna stanica u različitim mrežama, mrežni sloj mora riješiti probleme koji zbog toga nastaju (npr. pretvaranje paketa koji prelaze iz mreže u mrežu).

Sučelje (engl. *interface*) između prijenosnog i mrežnog sloja predstavlja granicu podmreže, tj. to je sučelje između korisnika i prijenosnika (engl. *carrier*) i mora biti posebno dobro definirano.

Ciljevi pri kreiranju usluga mrežnog sloja su:

- usluge moraju biti neovisne o tehnologiji podmreže
- na prijenosni sloj ne smije utjecati broj, tip i topologija mreža
- mrežne adrese za prijenosni sloj moraju imati jedinstveni način označavanja i kroz LAN i kroz WAN

Postoje dva načina unutrašnje organizacije mrežnog sloja, jedna koristi veze sa spajanjem (engl. *connection-oriented*), a druga veze bez spajanja (engl. *connectionless*).

Virtualni kanal

Kod usluga sa spajanjem veza obično se koristi virtualni kanal.

Princip virtualnog kanala:

Kod uspostavljanja veze izabire se jedan put od pošiljaoca prema primaocu i on se koristi za cijelo vrijeme trajanja veze tj. svi paketi idu tim putem. Svaki router mora zapamtiti gdje treba predati pakete za svaki od trenutno otvorenih virtualnih kanala koji prolaze kroz njega. Svaki reouter održava tabelu sa podacima o svakom virtualnom kanalu koji prolazi kroz njega. Kad paket dođe na router, router pomoću broja virtualnog kanala (nalazi se u zaglavlju paketa) zna gdje treba proslijediti paket. Broj virtualnog kanala je logički jer ga svaka stanica bira nezavisno.

Korištenje privremenog virtualnog kanala podrazumijeva tri faze komunikacije: uspostavljanje veze, prijenos podataka i raskidanje veze. U slučaju stalne VC veze, prva faza nije potrebna.

Datagrami

Mreže sa vezama bez spajanja koriste datagrame i imaju sljedeće karakteristike:

- računalo koje šalje podatke može ih poslati bilo kada i bilo gdje, jer će router odmah proslijediti datagram
- kada računalo pošalje datagram ne zna je li mreža sposobna dostaviti ga do odredišta, te je li odredište aktivno
- svaki datagram se šalje neovisno tj. dva uzastopna datagrama mogu različitim putevima doći na odredište
- kvar routera ili veze ne utječe na komunikaciju ako je moguće naći drugi put do odredišta

Usporedba virtualnog kanala i datagrama

	Datagram	Virtualni kanal
Uspostava veze	Nije potrebna	Nužna je
Adresiranje	Adrese polazišta i izvorišta nalaze se u svakom datagramu	Brojevi virtualnih kanala zapisani su u tablici routera
Usmjeravanje	Datagrami se neovisno šalju	Put je određen kod uspostave kanala
Pad routera	Izgubljeni su samo oni datagrami koji su se nalazili u routeru	Prekidaju se svi virtualni kanali koji prolaze preko tog routera
Zagušenje	Teško je unaprijed utjecati	Mogu se unaprijed zauzeti resursi u routeru

Algoritmi za usmjeravanje

Bez obzira da li se ruta bira posebno za svaki paket ili samo jednom kod uspostavljanja veze, algoritam za usmjeravanje mora biti točan, jednostavan, stabilan, robustan (da izdrži sve promjene u topologiji i prometu), nepristran (da svi imaju priliku za slanje) i optimalan (da broj skokova paketa bude što manji jer se tako smanjuje kašnjenje i isto povećava i propusnost).

Algoritmi se dijele u dvije glavne grupe:

- Neadaptivni (engl. *nonadaptive*) algoritmi
 - Ne donose svoju odluku na osnovu mjerenja ili procjene trenutnog prometa i topologije, nego rutu biraju unaprijed (off-line) i šalju je svim routerima kod podizanja mreže (ove procedure se također zovu i statičko usmjeravanje).
- Adaptivni (engl. *adaptive*) algoritmi
 - Kod donošenja odluke o usmjeravanju prilagođavaju se promjenama u prometu i topologiji, a razlikuju se po tome gdje prikupljaju te informacije (od susjednih usmjernika ili od svih), kada mijenjaju rutu (svakih ΔT sekundi, kada se mijenja promet ili topologija) i koja mjera se uzima za optimizaciju (udaljenost, broj skokova, procijenjeno vrijeme prijenosa).

Neadaptivni (statički) algoritmi

- Usmjeravanje po najkraćem putu (engl. Shortest Path Routing)
- Preplavlivanje (engl. Flooding)
- Usmjeravanje na osnovu toka (engl. Flow-Based Routing)

Usmjeravanje po najkraćem putu

Kod ovog algoritma gradi se graf podmreže tako da čvorovi predstavljaju routere, a lukovi komunikacijske linije. Da bi se izabrao put između zadanog para routera, algoritam pronalazi najkraću stazu među njima u grafu. Mjera za najkraći put može biti broj skokova, udaljenost u km, procijenjeno vrijeme prijenosa i slično. Za odabranu mjeru se lukovi u grafu označavaju "težinama" tj. brojevima koji se izračunaju kao funkcija odabrane mjere (npr. prosječni zastoј).

Preplavlivanje

Kod algoritma preplavlivanja svaki dolazeći paket šalje se po svakoj izlazećoj liniji osim po onoj po kojoj je došao, tako je uvijek izabran i najkraći put, ali je veliki broj dupliciranih paketa. Naravno, treba uvesti način kako zaustaviti ovaj proces. Jedan od načina je da se broje skokovi. U zaglavlju paketa postavi se brojač, čiji se broj smanjuje sa svakim skokom. Paket se odbacuje kad brojač dođe do nule. Idealno, brojač bi trebao biti postavljen prema duljini puta između izvora i odredišta. Ako pošiljalac ne zna duljinu puta može postaviti brojač za najgori slučaj npr. na promjer mreže.

Jedna od varijacija ovog algoritma je *selektivno preplavlivanje*. Kod ovog algoritma paketi se ne šalju po svim linijama, nego samo po onima koje idu približno u pravom smjeru.

Algoritam preplavlivanja za većinu aplikacija nije praktičan. Može se koristiti npr. kod distribuiranih baza podataka kad je potrebno istodobno obnavljanje svih podataka.

Usmjeravanje na osnovu toka

Ovaj algoritam uzima u obzir topologiju mreže i promet u njoj, jer je u nekim mrežama prosječni tok podataka između svakog para čvorova relativno stalan i predvidiv. Osnovna ideja je da ako se zna kapacitet i prosječni tok linije, moguće je izračunati prosječni zastoј paketa na osnovu teorije stoga (engl. *queueing theory*). Na taj se način lako izračuna prosječni zastoј cijele podmreže i traži se usmjerivački algoritam koji daje minimalni prosječni zastoј.

Adaptivni algoritmi

U današnjim računalnim mrežama više se koriste dinamički algoritmi nego statički. Najčešće se koriste algoritam za usmjeravanje na osnovu vektora udaljenosti i algoritam za usmjeravanje na osnovu stanja veza.

Adaptivni algoritmi:

- Usmjeravanje na osnovu vektora udaljenosti (engl. *Distance Vector Routing*)
- Usmjeravanje na osnovu stanja veza (engl. *Link State Routing*)
- Hijerarhijsko usmjeravanje (engl. *Hierarchical Routing*)
- Usmjeravanje za pokretne hostove (engl. *Mobile Host Routing*)

Usmjeravanje na osnovu vektora udaljenosti

Svaki router održava tabelu usmjeravanja sa podacima o svim routerima u mreži. Tablica se sastoji od dva dijela: izlazne linije koja se preporuča za to odredište i procijenjeno vrijeme ili razmak do tog odredišta. Za procjenu "udaljenosti" odredišta može se koristiti: broj skokova, kašnjenje u msec, ukupan broj paketa na tom putu, itd.

Podrazumijeva se da router zna "udaljenost" do svakog svog susjeda. Svako T [ms] svaki router šalje listu procijenjenih kašnjenja za svako odredište. Također prima listu od svakog susjednog routera.

Usmjeravanje na osnovu stanja veza

ARPANET je 1979. zamijenila algoritam za usmjeravanje na osnovu vektora udaljenosti sa ovim algoritmom. Varijacije ovog algoritma su danas u širokoj upotrebi. Razlozi toj zamjeni su što su u početku sve linije bile istog kapaciteta (56 kbps), pa nije bilo potrebno uzeti u obzir propusnost, tj. širinu kanala. Također kod algoritma za usmjeravanje na osnovu vektora udaljenosti potrebno je dugo vrijeme za konvergenciju.

Kod ovog usmjeravanja svaki router mora:

- otkriti svoje susjede i naučiti njihove adrese
- izmjeriti zastoje do svakog susjeda
- kreirati paket sa stanjem veze (engl. *link state packet*) pomoću kojeg će reći ostalima što je saznao (vrši se periodički ili kad se pojavi neki značajni događaj (npr. pad nekog routera))
- poslati paket sa stanjem veze svim ostalim routerima (na kraju svaki router ima čitav skup paketa sa podacima o stanju mreže)
- izračunati najkraći put do svakog drugog routera (nekim od algoritama se računa najkraći put za sva moguća odredišta)

Hijerarhijsko usmjeravanje

Usmjeravanje se vrši hijerarhijski kada je mreža toliko velika da svaki router ne može imati podatke za svaki drugi router, pa se routeri grupiraju u regije. Svaki router zna kako proslijediti paket unutar svoje regije, ali ne zna unutrašnju strukturu drugih regija. Svaka takva regija promatra se kao jedan router, pa u tablici postoje reci koji odgovaraju drugim routerima u istoj grupi i drugim regijama. Za velike mreže vrši se hijerarhija na više nivoa.

Usmjeravanje za pokretne hostove

Danas postoje milijuni ljudi koji posjeduju prenosiva računala, te je potrebno pružiti usluge elektroničke pošte, pristupa drugim računalima, itd.. Kako bi se paket isporučio pokretnom računalu, mreža ga prvo mora naći. Pokretni korisnik ima svoju

stalnu kućnu lokaciju i adresu koja se koristi za slanje paketa. Zemljopisna podjela na područja od kojih svako područje ima jednog ili više vanjskih agenata, koji pazi na pokretne korisnike koji ulaze u to područje, te kućnog agenta koji pazi na korisnike koji inače pripadaju tom području, ali su trenutno van njega. Pokretni host se mora registrirati kod vanjskog agenta područja u kojem se nalazi, a on uspostavlja vezu sa kućnim agentom područja u kojem je kućna lokacija hosta.

Povezivanje različitih računalnih mreža

Router (engl., *usmjernik*) je uređaj mrežnog sloja čija namjena je prosljeđivanje paketa između različitih mreža. Router uzima dolazeće pakete sa jedne linije i prosljeđuje ih na drugu i pri tom te linije mogu pripadati mrežama sa različitim protokolima (npr. IPX, IP, OSI paketni protokol bez spajanja, itd.).

Mrežni sloj na Internetu

Sa stanovišta mrežnog sloja Internet se može promatrati kao skup međusobno povezanih podmreža. Sastoji se od veza velike pojasne širine (propusnosti) i brzih routera, na koji se nadovezuju regionalne mreže, lokalne mreže sveučilišta i firmi, davatelji Internet usluga itd. Ono što drži Internet na okupu je IP (engl. Internet Protocol), protokol mrežnog sloja. Zadatak mrežnog sloja je da na najbolji mogući način (engl. *best-effort*) prenese datagrame od izvora ka odredištu. Pri tome nije važno jesu li računala koja komuniciraju u istoj mreži i postoje li mreže između njih.

Prijenosni sloj

Prijenosni sloj OSI modela obavlja mnoge funkcije, uključujući nekoliko razina prepoznavanja grešaka, ponovne uspostave rada nakon ispadanja sustava (recovery), upravljanje prividnim krugovima i multipleksiranje. Prijenosni sloj je granica između korisnički orijentiranih (viših) slojeva i komunikacijski orijentiranih (nižih) slojeva. Oslobađa više slojeve od brige o učinkovitosti prijenosa podataka. Na najvišoj razini prijenosni sloj može otkriti (pa čak i ispraviti) greške, identificirati skupove podataka koji su poslani u ispravnom redoslijedu, te skupove podataka, ako su pristigli krivim redoslijedom, presložiti u ispravan poredak. Ovaj sloj također multipleksira nekoliko poruka na jedan komunikacijski krug, te nakon toga ispisuje zaglavlje kako bi naznačio koja poruka pripada kojem krugu. Podržava jednoznačan i pouzdan prijenos između dva krajnja čvora na komunikacijskoj mreži. Optimizira komunikacijske resurse osiguravajući zahtijevane performanse uz najmanje troškove. Komunikacija između dva entiteta unutar korisničkog sloja preslikava se prezentacijskim i sjedničkim slojevima na konekciju ostvarenu uslugama prijenosnog sloja. Prijenosni sloj također regulira tok informacije nadziranjem protoka poruka.

Sjednički sloj

Sjednički sloj je sloj kojem je osnovni zadatak upravljanje mrežom. Ovaj sloj posjeduje mogućnost raskida sjednice te nadzire ispravan završetak sjednice. Korisnik izravno komunicira s ovim slojem. Sjednički sloj može provjeriti lozinku korisnika prilikom njezinog unosa, te može omogućiti korisniku prebacivanje iz dvosmjernog načina prijenosa u istovremeni dvosmjerni način rada.

Sjednički sloj sinkronizira i upravlja dijalozima između korisničkih entiteta koji se izvode na različitim čvorovima komunikacijske mreže. Osigurava usluge potrebne podršci i održavanju sjednica između dva ili više korisničkih entiteta. Takve sjednice mogu trajati vrlo dugo i uključivati izmjenu velikog broja poruka ili vrlo kratko s malim brojem poruka. Tipične sjednice su terminal s editorom priključen na udaljeno računalo ili transakcija između bankovnog terminala i bankovnog računala. U većini distribuiranih sustava ovaj sloj je minimalan, obično je izveden kao sastavni dio prijenosnog ili korisničkog sloja. Ovaj sloj može odrediti tko komunicira, koliko često i koliko dugo. On nadzire prijenos podataka, pa čak sudjeluje i u ponovnoj uspostavi rada sustava nakon ispadanja. Naposljetku, sjednički sloj može nadzirati korištenje sustava i kreirati informaciju o troškovima koje su napravili pojedini korisnici mreže.

Prezentacijski sloj

Prezentacijski sloj OSI modela brine se o sigurnosti rada mreže, prijenosu datoteka i funkcijama formatiranja podataka.

Namjena je ovog sloja prevladavanje razlika u predočavanju informacija unutar različitih korisničkih entiteta. Omogućuje komunikaciju između korisničkih entiteta koji se izvode na različitim računalima i/ili su implementirani pomoću različitih programskih jezika. Ovaj je sloj zadužen za transformiranje, formatiranje, strukturiranje, šifriranje i komprimiranje podataka. Pretvara podatke iz standardiziranog formata na mreži u format specifičan za čvor i obratno. Tako omogućuje povezivanje uređaja koji koriste različite podatkovne formate. Na razini bita sloj predstavljanja kodira podatke koristeći različite kodove, kao što su ASCII i EBCDIC.

Američki standardni kod za razmjenu informacija (*American Standard Code for Information Interchange* – **ASCII**) jest kod koji svaki znak kodira sa sedam bita (oni prenose informaciju o dotičnom znaku) i dodatnim paritetnim bitom (njegova je namjena zaštita podataka od grešaka u prijenosu). ASCII kod gotovo je najčešće korišten kod iako mnogo velika računala tvrtke IBM koriste prošireni kod za razmjenu podataka s binarnim kodiranjem znamenaka (*Extended Binary Coded Decimal Interchange Code* – **EBCDIC**). Prezentacijski sloj mora podržavati oba navedena standarda.

Za pravu komunikaciju, prezentacijski sloj na oba računala koja međusobno komuniciraju, mora sadržavati iste protokole, tj. pravila po kojima računalo radi sa podacima. Prezentacijski sloj sudjeluje u pretvorbi protokola između različitih računala koja koriste različite formate podataka. Pored navedenoga, ovaj sloj upravlja velikim brojem funkcija za obradu teksta namijenjenih formatiranju teksta (uključujući paginaciju, broj linija po ekranu, kao i pomicanje kursora po ekranu).

Također je zadatak ovog sloja korištenje terminala s međusobno neusklađenim kodovima. Terminalski protokol razrješava te razlike time što terminalima za unos podataka omogućava mapiranje u prividni terminal. Zapravo ta se procedura zasniva na skupu translacijskih tablica koje postoje između lokalnog i udaljenog terminala. Lokalni terminal šalje posebne podatke koji definiraju koliko se znakova po liniji ekrana trenutno na njemu prikazuje (taj broj znakova po liniji ekrana može značajno varirati; mnogi terminali prikazuju 132 znaka po liniji, ali postoje i drugi formati ekranskog prikaza). Podaci o terminalu prenose se do odgovarajućeg kontrolnog objekta udaljenog terminala, koji pretvara podatke u kod što ga koristi udaljeni terminal. Ostali posebni podaci, osim spomenutog broja znakova po liniji ekrana, odnose se na masno otiskivanje teksta (boldface), podcrtavanje teksta (underline), grafiku i sl..

Aplikacijski sloj

Aplikacijski sloj je sloj OSI modela koji je najbliže krajnjem korisniku, što znači da aplikacijski sloj i korisnik imaju direktno međudjelovanje sa softverskom aplikacijom. To je najviši sloj definiran u modelu. Prema OSI referentnom modelu samo korisnički entiteti uključeni u međustaničnu komunikaciju dio su modela. Komunikacijski entiteti koji obavljaju lokalne aktivnosti nisu predmet razmatranja modela. Distribuirani sustav ne pravi razliku u mogućoj komunikaciji između lokalnih ili udaljenih partnerskih entiteta. Ovaj sloj pruža sve usluge koje se mogu izravno uključiti u korisničke programe kao što su:

- prijenos poruka,
- prijenos i pristup datotekama,
- komuniciranje sa terminalima,
- upravljanje mrežom i pristup direktorijima.

I sam sloj primjene može imati višeslojnu strukturu. Funkcije korisničkog sloja su obično identificiranje komunikacijskih partnera, određivanje pouzdanosti partnera i sinhronizacija komunikacije.

Ovom sloju pripadaju svi programi za upravljanje bazama podataka, programi za elektronsku poštu, programi poslužitelja datoteka i poslužitelja ispisa, kao i naredbe operativnih sustava. Najveći broj funkcija koje se izvode u ovom sloju specificiran je od korisnika. Budući da različiti korisnički programi imaju različite komunikacijske zahtjeve, teško je davati neke opće odredbe o protokolima ovog sloja.