

SKRIPTA: RAČUNARSKE MREŽE III – IT

LEKCIJA 1: Mrežni sloj

Mrežni sloj predstavlja treći sloj OSI i TCP/IP modela.

Zadatak mrežnog sloja je određivanje jedne ili više putanja kojima će poruka biti prosljeđena od izvorišta do odredišta. **Zadužen** je da u svakom čvoru mreže odredi koji je sljedeći računar ili čvor kome poruka treba biti prosljeđena.

Drugim riječima ovaj sloj podacima dobijenim od transportnog sloja pridružuje parametre na osnovu kojih će biti moguće određivanje jednog ili više mrežnih članova kojima podatke treba isporučiti.

Mrežni uređaj koji radi na ovom sloju je **router**.

Jedan od najkompleksnijih zadataka koji se stavlja pred protokole mrežnog sloja je adresiranje koje omogućava povezivanje više različitih računarskih mreža. Na nivou jedne LAN mreže, povezane sa switch uređajem, uloga protokola mrežnog sloja je minimalna i odnosi se na internu provjeru da li je adresa primaoca ustvari lokalna adresa. Za mreže sa većim brojem uređaja i čvorova, protokoli mrežnog sloja su neophodni.

Najvažniji protokoli mrežnog sloja su:

IP (Internet Protocol) – Osnovni protokol za adresiranje i usmjeravanje podataka u mreži. Postoje dvije verzije IPv4 i IPv6.

ICMP (Internet Control Message Protocol) – Koriste se za slanje kontrolnih poruka i obavijesti o greškama (npr. koristi ga ping naredba).

IGMP (Internet Group Management Protocol) – Koristi se za upravljanje multicast grupama.

ARP (Address Resolution Protocol) – Djeluje između slojeva 2 i 3 i koristi se za pronalaženje MAC adrese na osnovu IP adrese (IPv4).

RARP (Reverse ARP) – Koristi se za pronalaženje IP adrese na osnovu MAC adrese.

LEKCIJA 2: Funkcije mrežnog sloja

Sloj mreže odgovoran je za isporuku paketa od izvora do odredišta, koji se mogu nalaziti u različitim mrežama. Da bi omogućio uspješan prenos paketa između različitih mreža, sloj mreže obavlja veliki broj funkcija.

2.1 Logičko adresiranje

Fizičko adresiranje, koje se realizuje na drugom (podatkovnom) sloju, rješava problem adresiranja na nivou lokalne mreže. Složena mreža, formirana povezivanjem više različitih podmreža, koje koriste različite šeme fizičkog adresiranja, zahtjeva uvođenje jedinstvenih adresa na nivou cijele mreže. Mrežne (IP) adrese izvora i odredišta, sadržane su u zaglavlju sloja mreže.

2.2 Fragmentacija paketa

Podmreže povezane u internet nameću različita ograničenja u pogledu maksimalne veličine paketa koje mogu da prenose. Problem nastaje kada je paket prevelik za prolaz u podmrežu u jednom komadu. Problem je prevaziđen tako što je ruterima dozvoljeno da velike pakete dijele na više manjih numerisanih fragmenata i svaki fragment prenose dalje kao nezavisni paket. Na odredištu, fragmenti se prikupljaju i spajaju u prvobitne pakete.

2.3 Kontrola zagušenja

Ako se u mreži u isto vrijeme nalazi veliki broj paketa, koji se kroz rutere prenose prema svojim odredištima, performanse mreže mogu značajno da degradiraju. Ovakva situacija se zove zagušenje. Zagušenjem su obično pogođeni pojedini dijelovi mreže. Prijenos paketa kroz zagušene rutere se usporava, a u uslovima veoma intenzivnog saobraćaja, pojedini paketi mogu biti i izgubljeni. Kontrola zagušenja je odgovornost mrežnog sloja, koji treba da preusmjeri saobraćaj iz zagušenih dijelova mreže prema ruterima koji imaju manje posla.

2.4 Kvalitet servisa

Mrežu tipično, u isto vrijeme koristi veliki broj korisnika sa različitim zahtjevima u pogledu očekivanih performansi, odnosno kvaliteta servisa (QoS – Quality of Service). Mjere QoS-a su pouzdanost (procenat isporučenih paketa), kašnjenje (vrijeme prijena paketa od izvora do odredišta), propusnost (količina podataka koja se u jedinici vremena prenese između izvora i odredišta) i treperenje (jitter – fluktacije u kašnjenju pojedinačnih paketa između izvora i odredišta). Zadatak sloja mreže je da u uslovima intenzivnog saobraćaja obezbijedi prednost paketima koji zahtjevaju brzi prenos u odnosu na one kod kojih kašnjenje nije primarni zahtjev.

LEKCIJA 3: Protokoli mrežnog sloja

3.1. Internet protokol

Je komunikacijski protokol mrežnog sloja za prenos datagrama (paketa) između različitih mreža. Za prenos podataka Internet Protokol definiše strukturu paketa koja se sastoji od zaglavlja i podataka. Postoje dvije vrste Internet Protokola a to su:

IPv4 – Najčešće korištena verzija, koja koristi 32-bitne adrese. Postoji oko 4,3 milijarde jedinstvenih adresa. Format adrese je 192.168.1.1.

IPv6 – Novija verzija, koja koristi 128-bitne adrese. Ovo omogućava daleko veći broj adresa što je značajno zbog rasta interneta. Format adrese je: 2001: 0db8: 85a3: 0000: 0000: 8a2e: 0370: 7334 Odnosno 8 grupa po 16 bita (hexadecimalni brojevi).

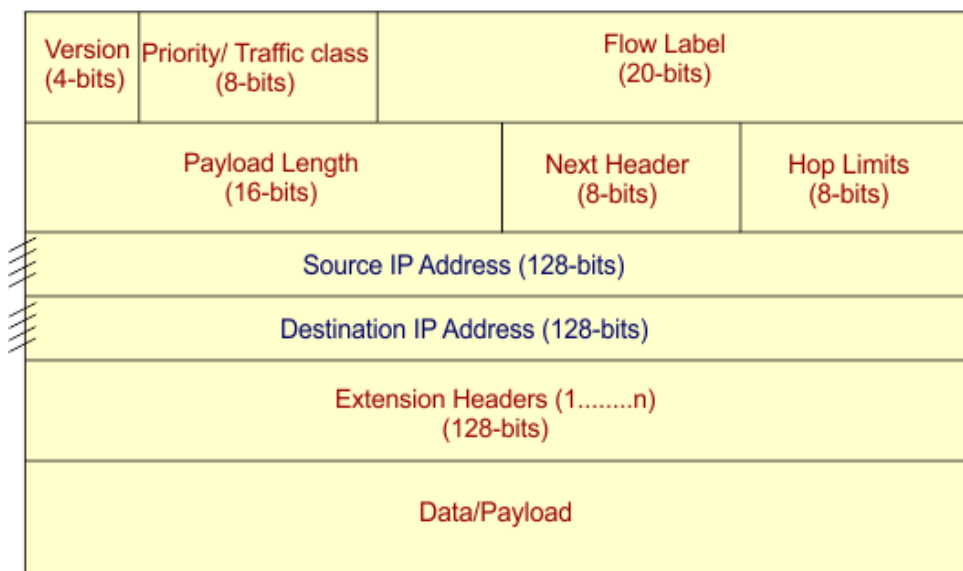
Izgled IPv4 paketa:

Version	Header Length	Type of Service	Total Length	
Identification			IP Flags	Fragment Offset
Time to Live	Protocol		Header Checksum	
Source Address				
Destination Address				
IP Option				
Data				

- **Version:** Verzija IP protokola (npr., 4 za IPv4).
- **Header Length:** Dužina zaglavlja u 32-bitnim rečima.
- **Type of Service (TOS):** Kvalitet usluge, koristi se za određivanje prioriteta paketa.
- **Total Length:** Ukupna dužina paketa (zaglavlje + podaci).
- **Identification:** Jedinstveni identifikator paketa, koristi se za fragmentaciju.
- **Flags:** Kontrole fragmentacije.

- **Fragment Offset:** Pozicija fragmenta u originalnom paketu.
- **Time to Live (TTL):** Maksimalan broj skokova paketa pre nego što bude odbijen.
- **Protocol:** Protokol iz višeg sloja (npr., TCP, UDP) koji koristi IP.
- **Header Checksum:** Provera ispravnosti zaglavlja paketa.
- **Source IP Address:** IP adresa izvorišta.
- **Destination IP Address:** IP adresa odredišta.

Izgled IPv6 paketa:



- **Version:** Verzija IP protokola (6 za IPv6).
- **Traffic Class:** Kvalitet usluge (slično TOS u IPv4).
- **Flow Label:** Oznaka toka podataka.
- **Payload Length:** Dužina podataka (bez zaglavlja).
- **Next Header:** Tip sljedećeg zaglavlja.
- **Hop Limit:** Ekvivalent TTL-u u IPv6.
- **Source IP Address:** IP adresa izvorišta.
- **Destination IP Address:** IP adresa odredišta.

LEKCIJA 4: Router

Router je mrežni uređaj koji povezuje više mreža i prosljeđuje pakete podataka između njih. Najčešće se koristi za povezivanje lokalne mreže (LAN) sa internetom (WAN) i omogućava povezivanje **većeg broja uređaja na istu** internet konekciju.

Router određuje **najbolju** putanju za slanje paketa podataka sa izvora prema odredištu, koristeći IP adrese.

Način funkcionisanja routera:

- Primi podatke (pakete) sa jednog uređaja ili mreže
- Analizira IP adresu odredišta
- Odlučuje kuda da pošalje podatke (routing tabela)
- Prosljeđuje pakete odabranom putanjom do krajnje tačke

Važne funkcije routera:

IP rutiranje – Određuje putanju za prenos podataka

NAT (Network Address Translation) – Omogućava više uređaja da dijele jednu javnu IP adresu

DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) server – Dodjeljuje IP adrese uređajima u mreži

Firewall – Osnovna zaštita od nepoželjenih saobraćaja sa internetom

LEKCIJA 4.1. FUNKCIJE ROUTERA

4.1.1. PORT FORWARDING

Prosljeđivanje portova stavlja uređaj van granica routera, kao da je spojen direktno na internet. To je vid prevođenja mrežnih adresa koji preusmjerava komunikacijski zahtjev sa jedne kombinacije adrese i broja porta, na drugu dok paketi prolaze kroz router. Ova tehnika se najčešće koristi kako bi se usluge na uređaju koji se nalazi na lokalnoj (zatvorenoj) mreži učinile dostupnim uređajima na vanjskoj mreži. Router usmjerava sav dolazeći saobraćaj (podatke) sa interneta, koji su namjenjeni određenom portu na odabrani uređaj (ili aplikaciju) na lokalnoj mreži. Nakon što se otvori/proslijedi port na vašem routeru, svi podaci koji idu prema tom portu, šalju se na odabrani uređaj.

Koraci a otvaranje porta na routeru:

- Pristup web interface-u routera – otvaranjem web pretraživača i kucanjem adrese routera kao npr. 192.168.0.1 ili 192.168.1.1
- Prijava na router kao administrator – kucanjem korisničkog imena i šifre
- Pronaći opciju za otvaranje portova – Često pod opcijama “Advanced Settings” ili “Applications and Gaming” tražimo opciju “Port Forwarding” ili “Port Mapping”
- Dodati novi port / pravilo za pristup portu – Sastoji se od interne adrese (uređaj koji pruža uslugu) i porta na tom uređaju, zatim port na routeru koji će biti namjenjen za pristup internom pod nazivom eksterni port
- Omogućiti – Većinom checkbox sa natpisom “Enable”

4.1.2. NETWORK ADDRESS TRANSLATION (NAT)

Prevođenje mrežnih adresa je proces u kojem jedna ili više lokalnih IP adresa u jednu ili više globalnih IP adresa i obrnuto da bi se pružio pristup internetu lokalnom uređaju. Pod ovu funkciju često spada i prevođenje broja porta.

Uređaj kada želi komunicirati sa internetom, šalje zahtjev routeru koji uključuje svoju privatnu adresu i port za komunikaciju. Router zamjenjuje privatnu adresu i port sa svojom javnom IP adresom i dodjeljuje jedinstveni broj javnog porta prije prosljeđivanja zahjete na internet. kada se odgovor vrati, ruter pronalazi NAT tabelu i mjenja podatke odredišta nazad u lokalne.

Ova funkcija omogućava da više lokalnih uređaja dijele jednu javnu IP adresu za pristup internetu.

LEKCIJA 5: TRANSPORTNI SLOJ

Predstavlja četvrti sloj OSI modela, između mrežnog i sloja sesije.

Transportni sloj je odgovoran za **isporuku cjelokupne** poruke od izvora do odredišta. Mrežni sloj ne garantuje da će svaki paket biti isporučen. Ako neki paket bude izgubljen, mrežni sloj neće nikoga obavijestiti o tome. Transportni sloj rješava ovaj problem namećući **kontrolu grešaka** i **kontrolu protoka** na nivou izvora i odredišta.

Na primjer, fajl transfer aplikacija ima zadatak da fajl proizvoljne veličine prenese do fajl servera. U cilju prenosa, fajl se dijeli na pakete a svaki paket se prenosi nezavisno. Neki paketi mogu biti primljeni sa greškom a neki izgubljeni. Zadatak transportnog sloja je da uvede disciplinu u isporuci paketa, tako da bi fajl bio prenet u prvobitnom obliku do odredišta.

Suštinska razlika transportnog i slojeva nižeg nivoa je u tome što se niži nivoi bave komunikacijom između **stanice** i **susjednih čvorova**, dok transportni sloj podrazumjeva komunikaciju između **krajnjih stanica**, koje mogu biti razdvojene većim brojem rutera.

Osnovni protokoli ovog sloja su TCP i UDP.

TCP omogućuje pouzdanu full-duplex komunikaciju mehanizmom re-transmisije podataka kod kojih je došlo do greške u prenosu (mehanizmi detekcije i korekcije grešaka).

Kada korekcija grešaka nije neophodna, **UDP** pruža nepouzdanu komunikaciju koja daje veću mrežnu propusnost na transportnom sloju.

LEKCIJA 6: FUNKCIJE TRANSPORTNOG SLOJA

6.1. Uspostavljanje komunikacije između krajnjih tačaka

a) Komunikacija sa uspostavljanjem veze – TCP protokol

Trostruko rukovanje omogućava da su klijent i server spremni prije početka prenosa podataka:

- **Korak 1:**
Klijent šalje TCP segment sa SYN=1, uključujući ISN=X (Initial Sequence Number)
Označava zahtjev za početak komunikacije
- **Korak 2:**
Server odgovara sa SYN=1 & ACK=X+1, koji sadrži svoj ISN=Y
Potvrđuje prijem klijentovog zahtjeva i šalje vlastiti zahtjev za sinhronizaciju
- **Korak 3:**
Klijent šalje segment sa ACK=Y +1
Na ovaj način dovršava sinhronizaciju, veza ostvarena

Napomena: Potrebna su tri koraka da bi server znao da je klijent primio poruku!

Zatvaranje konekcije koristi 4 way handshake:

- **Korak 1:**
Klijent šalje TCP segment sa FIN=1 & SEQ=X
Označava zahtjev za kraj komunikacije
- **Korak 2:**
Server odgovara sa ACK=X+1
Potvrđuje prijem klijentovog zahtjeva i zna da klijent neće više slati podatke
- **Korak 3:**
Server šalje FIN=1 & SEQ=Y
Server šalje zahtjev za kraj slanja podataka
- **Korak 4:**
Klijent šalje ACK=Y+1
Sa ovim se veza u potpunosti zatvara

b) Komunikacija bez uspostavljanja konekcije – UDP protokol

Za razliku od TCP, UDP protokol omogućava slanje podataka bez prethodnog uspostavljanja veze. Aplikacija (npr. video streaming, online igrice) korištenjem UDP protokola dodaje zaglavlje i predaje paket mrežnom sloju koji ga šalje primaocu. Ako paket stigne, UDP ga predaje aplikaciji koja koristi odgovarajući port.

Prednost UDP protokola je što se podaci šalju brzo, bez kontrole i potvrda. Ovo je pogodno za aplikacije kao što su video igre, video stream, glasovni poziv itd.

6.2. Kontrola toka

TCP koristi sliding window mehanizam za kontrolu toka. Pimalac u svakom ACK paketu šalje vrijednost "window size", koja govori pošiljaocu koliko još bajtova može poslati prije nego što mora sačekati potvrdu. Ako je bafer pun, on smanjuje prozor i do nule, čime zaustavlja slanje novih podataka dok se bafer ne oslobodi.

Ako primalac javi da ima slobodno 1000 bajtova, pošiljalac može poslati do 1000 bajtova bez čekanja na potvrdu. Kada primi ACK za prvi dio podataka, prozor se pomjera i pošiljalac može slati dalje.

Napomena: Kontrolu toka je moguće realizirati kod UDP na aplikacijskom nivou!

6.3. Kontrola grešaka (ponovna transmisija)

Podaci se mogu oštetiti ili izgubiti tokom prenosa zbog grešaka u mreži. Kontrola grešaka ponovnom transmisijom omogućava da se takvi problemi isprave tako što se podaci šalju ponovno.

Osnovni princip:

- Pošiljaoc dijeli podatke na pakete
- Svakom paketu daje kontrolnu sumu (checksum) kako bi se mogla provjeriti ispravnost prijema
- Primalac ako primi paket šalje potvrdu (ACK)
- Ako pošiljaoc ne dobije potvrdu ili dobije negativnu potvrdu (NACK), segment se ponovo šalje

Tipične vrste ponovne transmisije uključuju:

Stop-and-Wait: pričekati potvrdu ili slati ponovno

Go-Back-N: vratiti se nazad do koraka gdje je nastala greška i ponovno slati

Selective Repeat: ponoviti slanje samo neuspjelih paketa

LEKCIJA 7: PROTOKOLI TRANSPORTNOG SLOJA

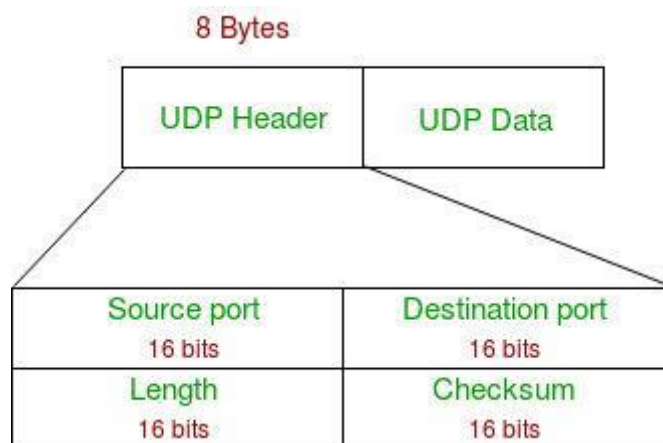
Dva glavna protokola na transportnom sloju su TCP i UDP. Sa obzirom da se danas veliki broj računara koristi u okruženju sa više istovremenih korisnika, adresa za pristup računaru često nije dovoljna za pristup uslugama, pa je potrebno definisati konkretan port kojem korisnik pristupa. Transportni sloj podatke od mrežnog sloja prosljeđuje na odgovarajući port.

7.1. UDP

User Datagram Protocol pruža nesekvencijalan prenos podataka koji radi bez ostvarivanja veze (sinhronizacije). Ovaj protokol se koristi u primjenama gdje brzina i veličina podataka imaju više značaja nego pouzdanost. Sa obzirom da UDP ne zahtjeva ostvarivanje veze, on može istovremeno posluživati više korisnika (broadcast i multicast).



Dok TCP zaglavlje može varirati od 20 do 60 bajta, UDP ima fiksno zaglavlje od 8 bajta. UDP radi sa brojevima porta koji su predstavljeni dužinom od 16 bita i vrijednosti od 0 do 65535, gdje je port nula rezervisan.

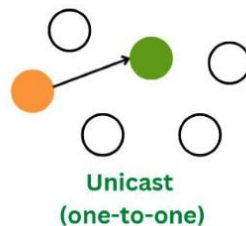


- **Source port:** Port sa kojeg poruka dolazi
- **Destination Port:** Port na koji se poruka šalje
- **Length:** Dužina cijelog UDP paketa uključujući podatke
- **Checksum:** Polje za detekciju grešaka.

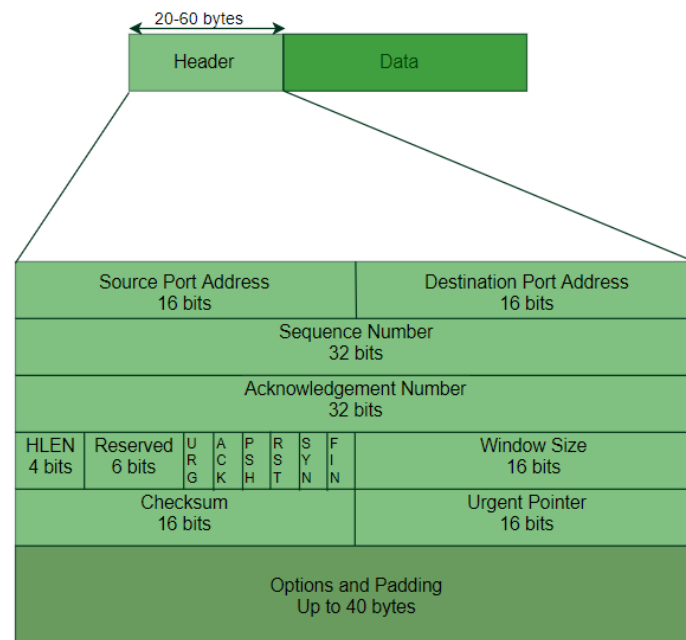
Ako je greška pronađena, paket se odbacuje.

7.2. TCP

Transmission Control Protocol pruža sekvencijalan prenos podataka koji radi ostvarivanjem veze (sinhronizacije). Većina funkcija transportnog sloja zahtjeva korištenje ovog protokola. Za povezan, siguran prenos, uspostavlja se virtualni kanal između uređaja. Svaki paket podataka označen je jedinstvenim brojem sekvence. Prijem paketa se potvrđuje sa ACK oznakom koja zahtjeva broj sekvence. Ako nakon nekog vremena prijem nije potvrđen, podaci se ponovno šalju.



Zaglavlje TCP segmenta može imati od 20 do 60 bajta.



- **Source port:** Port sa kojeg poruka dolazi
- **Destination Port:** Port na koji se poruka šalje
- **Header Length (HLEN):** Dužina TCP zaglavlja (u obliku $HLEN * 4$ bita)
- **Checksum:** Polje za detekciju grešaka (neophodno kod TCP)
- **Acknowledgement Number:** Broj idućeg paketa (potvrda trenutnog)
- **Flags (zastavice/oznake):**
 - **ACK** – Potvrda
 - **RST** – Restart
 - **SYN** – Sinhronizacija
 - **FIN** – Kraj komunikacije
 - **Window size** – Veličina sliding window međuspremnik

LEKCIJA 8. SLOJ SESIJE

Sloj sesije je peti sloj OSI modela i njegova glavna uloga je upravljanje komunikacionim sesijama između dvije aplikacije/uređaja na mreži. Zadužen za uspostavljanje, održavanje i prekid logičkih sesija (komunikacionih veza određenog vremenskog trajanja) između krajnjih tačaka. Funkcije sloja sesije također uključuju upravljanje dijalogom (ko i kada može slati podatke), kontrola pristupa zajedničkim resursima i sinhronizacija. Konekcija može da se nepredviđeno prekine, a zadatak sloja sesije je da konekciju ponovo otvori.

Svrha sesija jeste definisanje stanja svake od trenutno aktivnih konekcija radi signaliziranja početka i kraja, te vrste konekcije (simplex, half-duplex, full-duplex) između računara. Na osnovu toga se vrši upravljanje transportnim slojem i provjera povratnih podataka.

Primjer: Ako je mrežni resurs štampač, jasno je da u jednom vremenu servis štampanja može da opslužuje samo jednog klijenta. Odnosno uvijek može biti otvorena samo jedna sesija printanja.

1. Simplex

- Komunikacija ide **samo u jednom smjeru**.
- Primjer: TV signal, radio-stanica (emitovanje)

2. Half-duplex

- Komunikacija ide **u oba smjera, ali ne istovremeno**.
- Uređaji moraju naizmjenično slati i primati.
- Primjer: vokitoki

3. Full-duplex

- Komunikacija ide **u oba smjera istovremeno**.
- Povećava protok i smanjuje kašnjenje.
- Primjer: moderni Ethernet, telefon, optičke veze.

LEKCIJA 9. PREZENTACIJSKI SLOJ

Prezentacijski sloj je 6. sloj OSI modela, koji ima ulogu mrežnog prevoditelja. Tokom razmjene podataka između sistema, podaci se moraju nalaziti u formatu koji svi sistemi u mreži razumiju. Pretvaranje podataka u odgovarajući format je zadatak prezentacijskog sloja.

Kad aplikacijski sloj generiše podatke, prezentacijski sloj ih pretvara u oblik pogodan za prenos mrežom. Analogno tome, po primanju podataka, pretvara ih nazad u odgovarajući format.

Funkcije prezentacijskog sloja uključuju:

- Prevođenje podataka – Pretvara podatke specifične za neku aplikaciju u standardni format
Primjer: JSON <> XML ; ASCII <> Unicode
- Kompresija podataka – Smanjuje veličinu podataka
Primjer: ZIP kompresija; Audio/Video kompresija
- Enkripcija podataka – Štiti podatke od neovlaštenog pristupa
Primjer: SSL/TLS enkripcija
- Kompatibilnost – Osigurava komunikaciju između različitih sistema (uređaja)

Protokoli i standardi ovog sloja:

- SSL/TLS (Secure Socket Layer / Transport Layer Security) – Pruža sigurnu komunikaciju preko mreže
Primjer: <https://www.etsbi.ba> (ovo s na kraju https označva da je prenos enkriptovan)
- MIME (Multipurpose internet Mail Extensions) – Definiira formate za priložene datoteke na e-mailovima i web sadržaju
- Standardi za kompresiju – Razni algoritmi i formati korišteni za smanjivanje veličine podataka
JPG, GZIP, MP3
- Standardni formati podataka – Opće prihvaćeni formati koji rade na različitim sistemima
XML (Extended Markup Language)
JSON (JavaScript Object Notation)
XDR (External Data Representation)

LEKCIJA 10: APLIKACIJSKI SLOJ

Aplikacijski sloj je najviši (7.) sloj OSI modela čija je uloga pružanje većeg broja mrežnih funkcija korisnicima. Korisnici aplikacija na mreži mogu biti ljudi ili druge aplikacije. Sloj aplikacije obezbijuje interfejs i podršku za standardne servise kao što su elektronska pošta, pristup i prenos udaljenih fajlova, web stranice i mnogi drugi.

10.1. Funkcije aplikacijskog sloja

Sve funkcije aplikacijskog sloja možemo podijeliti na nekoliko vrsta, a to su:

1. Virtualni pristup mreži

Aplikacijski sloj dozvoljava korisniku da poveže svoj uređaj sa udaljenim uređajem radi pristupa funkcijama i uslugama (servisima). Da bi se uspostavio udaljeni pristup, aplikacijski sloj emulira terminal na udaljenom uređaju, omogućavajući korisniku da radi kao da je direktno povezan sa tim sistemom. Tipični protokoli koji pružaju ovu funkciju su **Telnet** i **SSH**.

2. Prenos i upravljanje datotekama

Aplikacijski sloj, omogućava prenos i upravljanje datotekama (fajlovima) na udaljenom računaru. Ovo uključuje kreiranje, brisanje, preimenovanje, čitanje i zapisivanje datoteka. Protokoli poput **FTP** i **NFS** koriste se za ove operacije.

3. Adresiranje

Za uspostavljanje veze između mrežnih uređaja, aplikacijski sloj zahtijeva adresu servera ili servisa kojem se pristupa. Klijent najčešće koristi razumljivu adresu (npr. naziv domene), a server odgovara korištenjem sistema za razrješavanje imena – **DNS** servisa – koji prevodi imena domena u IP adrese potrebne za komunikaciju.

4. Elektronska pošta

Ova funkcija aplikacijskog sloja zadužena je za upravljanje, skladištenje i slanje poruka elektronske pošte (e-mail). Aplikacijski sloj koristi različite protokole, kao što su **SMTP** za slanje poruka, te **POP3** i **IMAP** za preuzimanje i upravljanje pristiglom poštom.

5. Usluge mrežne komunikacije i prezentacije podataka

Aplikacijski sloj omogućava da aplikacije razmjenjuju podatke u standardizovanom formatu. Ovo uključuje i dogovor o formatima podataka, kompresiji i enkripciji. Primjeri uključuju **HTTP/HTTPS** za web komunikaciju, **MIME** tipove podataka, te API servise bazirane na **REST** ili **SOAP** standardima.

10.2. Protokoli aplikacijskog sloja

- HTTP/HTTPS (HyperText Transfer Protocol / Secure) – Korišten za mrežnu komunikaciju (port 80)
- FTP (File Transfer Protocol) – Uspostavlja prenos fajlova između uređaja (Port 20 i 21)
- SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) – Upravlja slanjem e-maila (port 25 i 587)
- NFS (Network File System) – Dozvoljava udaljeni pristup fajlovima, kao da su na lokalnom računaru (port 2049)
- DNS (Domain Name System) – Prevodi imena domena u IP adrese (port 53)
- DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) – Dodjeljuje IP adrese uređajima dinamički (port 67 i 68)
- TELNET – Pruža udaljeni pristup uređaju (port 23)