

Arhitektura telekomunikacionih mreža



Uvod



- Prenos informacija
 - Izvor mora započeti komunikaciju. Da bi se uspostavila komunikacija potrebno je pronaći put do destinacije.
 - Prije nego što izvor pošalje informacije mora biti provjerena prisutnost i dostupnost odredišta.
 - Možda je potrebno dodatno zaštititi informaciju od greške ili neovlašćenog pristupa
 - ...
- Ove funkcije se dijele u podskupove koji su organizovani u više hijerarhijski raspoređenih nivoa.
- Hijerarhijska arhitektura se implementira na svim sistemima u mreži.
- Zavisno od funkcije sistema u mreži zavisiće obim implementiranih funkcija.
- Međusobno komuniciraju samo isti nivoi.
- Najpoznatije su arhitekture sa 5 i 7 nivoa

Arhitekture računarskih mreža



- skup pravila za upravljanje i ostvarivanje interakcije (komunikacije) između sistema mreže
- sastoji se od:
 - formata podataka koji se prenose,
 - protokola i
 - logičkih struktura.
- osnovni pojmovi
 - **Entitet** predstavlja sve što može da šalje ili prima podatke (korisnički program, kontroleri baza podataka, i sl.).
 - **Sistem** je fizički određen objekat koji sadrži više entiteta (računar, terminal, upravljački senzori itd.).
 - **Protokol** je skup konvencija koje regulišu razmjenu podataka između entiteta.
 - Blok (segment, datagram ili frejm) podataka koji se razmjenjuje između dva entiteta preko protokola se naziva **protokolska jedinica podataka** (Protocol Data Unit).

Ključni elementi protokola

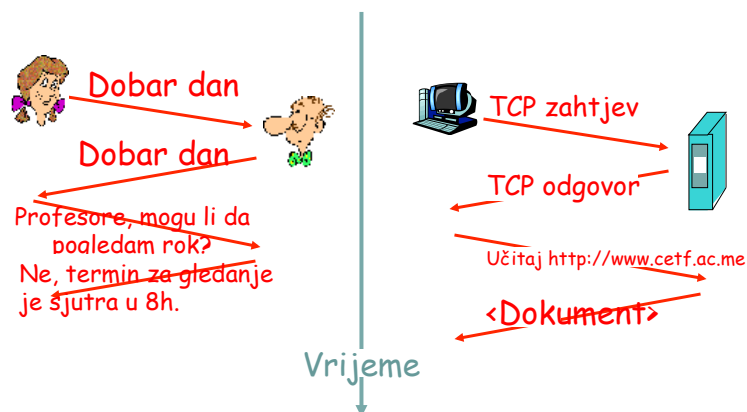


- **Sintaksa** koja definiše format podataka, tip kodiranja i osobine signalizacionih nivoa,
- **Semantika** koja definiše sadržaj pojedinih polja u PDU koji se recimo odnose na kontrolu protoka, otkrivanje i uklanjanje grešaka,
- **Vremenska usklađenost** brzina prenosa podataka (usaglašavanje brzine slanja izvorišta i brzine obrade informacija na odredištu) i sekvencionalnost (prijem podataka po redosledu po kome su poslati).
- **Akcije**

Protokoli definišu format, redosled poslatih i primljenih poruka između mrežnih entiteta, i akcije koje se sprovode nakon prijema poslatih poruka

Šta je mrežni protokol?

Ljudski protokol i protokol računarske mreže:



Najvažnije funkcije protokola su:

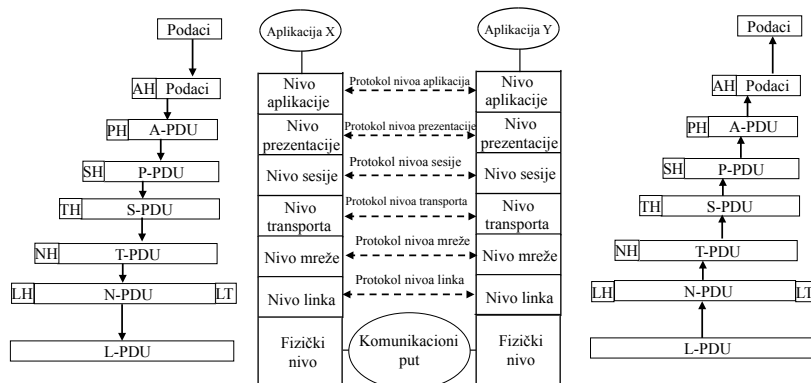
- **segmentiranje/ulančavanje** (osigurava da se sadržaj i veličina poruka koje entiteti razmjenjuju prilagode karakteristikama mreže),
- **formiranje protokolskih jedinica podataka PDU od podataka i potrebnih kontrolnih informacija** (adresa, kodova za detekciju greške i sinhronizaciju),
- **kontrola zagušenja** (podešavanje količine i brzine podataka koje šalje entitet zavisno od stanja odnosno saobraćajnog opterećenja u kojem se nalazi mreža),
- **kontrola protoka** (podešavanje količine i brzine podataka koje šalje entitet zavisno od stanja odnosno saobraćajnog opterećenja u kojem se nalazi entitet sa kojim komunicira),
- **kontrola greške** (zaštita podataka od greške ili oštećenja),
- **adresiranje** (jedinstvena globalna adresa za sve sisteme u mreži),
- **multipleksiranje** više sesija unutar jednog sistema,
- **transmisioni servisi** (prioritet, sigurnost podataka, itd.).

OSI (Open Systems Interconnection) referentni model



- ISO referentni model za arhitekturu telekomunikacione mreže.
- Objavljen je 1983. godine.
- OSI referentni model uspostavlja osnovni okvir za usaglašavanje standarda za međusobno povezivanje otvorenih sistema (sistemi koji koriste standardizovane postupke i metod iz OSI referentnog modela).
- Ovaj teorijski sistem je došao suviše kasno!
- Danas je TCP/IP de facto standard!
- Višenivovski model
- Svaki nivo obavlja dio funkcija telekomunikacione mreže
- Svaki nivo se “oslanja” na nivo ispod sebe
- Svaki nivo nudi servis nivou iznad sebe
- Promjene na jednom nivou u principu ne treba da znače promjene na drugim nivoima

OSI referentni model



OSI referentni model



Fizički nivo

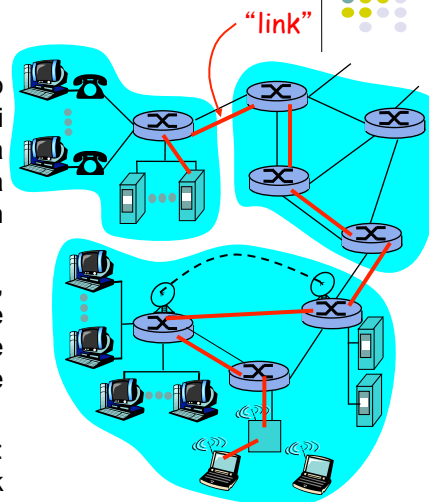
- Fizički nivo je zadužen za prenos toka bita između mrežnih sistema.
- Definiše nivoe napona, brzinu prenosa i karakteristike konektora.
- Primjeri standarda za ovaj nivo su RS-232-C, RS449, RS-422-A, RS-423-A i prvi nivoi ISDN i LAN standarda.

OSI referentni model



Nivo linka

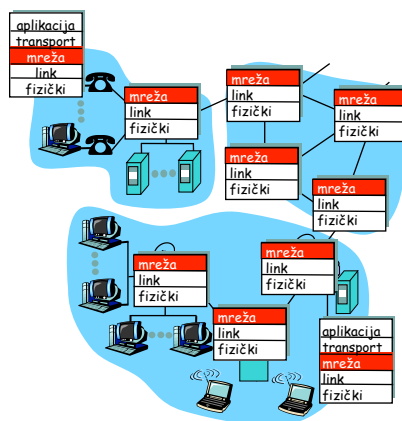
- kako fizički nivo obezbeđuje samo prenos toka bita, nivo linka čini fizičku vezu pouzdanom (kontrola protoka, detekcija greške, korekcija greške, retransmisija oštećenih informacija),
- daje mogućnosti za uspostavljanje, nadgledanje i deaktiviranje veze (kontrola pristupa), kombinujući bite u bajte, bajte u frejmove (formiranje frejmova i sinhronizacija).
- primjeri standarda ovog sloja su: HDLC (High-Level Data Link Control), LAPB (Link Access Protocol-Balanced) i LAPD (Link Access Protocol-Dchannel).



OSI referentni model

Nivo mreže

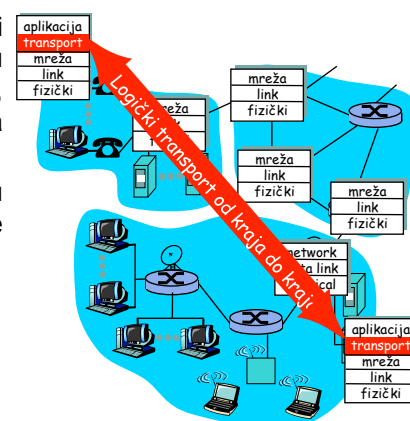
- obezbeđuje prenos informacije u vidu paketa preko različitih mreža izborom primarnog i sekundarnog (alternativnog) puta ili uspostavljanjem virtuelnog kola.
- na taj način slojevima iznad transportnog mreža je transparentna, odnosno oni ne moraju da imaju uvid u tehnologije prenosa i komutacije koje su primijenjene u mreži.
- primjeri standarda ovog sloja su: IP (Internet Protocol) ili ICMP (Internet Control Message Protocol).



OSI referentni model

Transportni nivo

- Transportni nivo može da pruži pouzdani mehanizam razmjene podataka između krajnjih sistema, oslobođenih greške, gubitka sekvence, gubitka i dupliranja podataka.
- Transportni nivo obavlja funkciju optimizacije mrežnog servisa i pružanje odgovarajućeg kvaliteta servisa.
- Kontrola protoka.
- Segmentacija.
- Multipleksiranje aplikacija.
- Kvalitet servisa
- Primjeri standarda ovog sloja su: TCP (Transmission Control Protocol) ili UDP (User Datagram Protocol).



OSI referentni model



Nivo sesije

- Nivo sesije obezbeđuje mehanizam za kontrolu dijaloga između dva sistema.
- Primjeri standarda ovog sloja su: RPC, SQL ili NFS.
- Na Internetu integrisan u nivo aplikacije.

OSI referentni model



Nivo prezentacije

- Nivo prezentacije omogućava definisanje formata podataka, način kodiranja i kompresije (ASCII, JPEG, TIFF ili MPEG).
- Ovaj nivo obavlja i ekripciju (zaštitu) podataka ako to od njega aplikativni nivo zahtijeva.
- Na Internetu integrisan u nivo aplikacije.

OSI referentni model



Nivo aplikacije

- Pruža komunikacione mogućnosti aplikacijama.
- Primjeri vezani za ovaj sloj su: Telnet, HTTP, FTP, WWW itd.
- Na Internetu u okviru njega su integrirani nivoi sesije i prezentacije.

TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) arhitektura

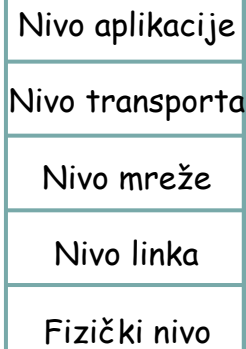


- Razvoj TCP/IP počinje ranih '70-tih godina kada je DARPA (The USA Department of Defense Advanced Research Projects Agency) prihvatila kao standard mrežnu arhitekturu prisutnu u američkim državnim mrežama (ARPANET).
- TCP/IP je bio prisutan u Berklijevoj UNIX verziji u 2. operativnog sistema za lokalne mreže.
- Tokom '80-tih godina TCP/IP je postao osnova razvoja Interneta, čija ekspanzija je TCP/IP dala značajno veću popularnost od OSI-ja.
- Zvanično usvojeni TCP/IP model protokola ne postoji. Razlog za to je što je TCP/IP nastao iz prakse a ne iz procesa standardizacije koji je započeo mnogo kasnije nego što je TCP/IP zaživio u praksi.
- Specifikacije pojedinih Internet protokola su javno dostupne u vidu RFC (Request For Comments) dokumenata koji se mogu naći na www.ietf.org/rfc.html.

TCP/IP arhitektura

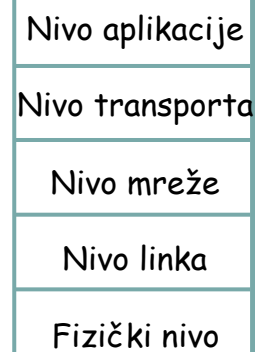
Najčešće se TCP/IP protokol razmatra kroz 5nivoa, i to:

1. fizički nivo, koji definiše karakteristike prenosnog medijuma, brzinu signalizacije i šemu kodiranja signala,
2. nivo linka ili nivo mrežnog pristupa, koji se bavi interfejsom između krajnjeg sistema i mreže, i omogućava prenos **okvira (frejmova)** na bazi odgovarajućih protokola nivoa linka između dva rutera (**Ethernet**, PPP, ATM,...)
3. internet nivo (IP) ili nivo mreže, koji izvršava rutiranje podataka u formi **datagrama** od izvorišnog do destinacionog hosta,
4. transportni (host-host) nivo (TCP ili UDP) koji obezbjeđuje prenos podataka u formi **segmenta** od kraja do kraja,
5. aplikacioni nivo (FTP, SMTP, TELNET,...), koji omogućava komunikaciju između procesa ili aplikacija na odvojenim hostovima.

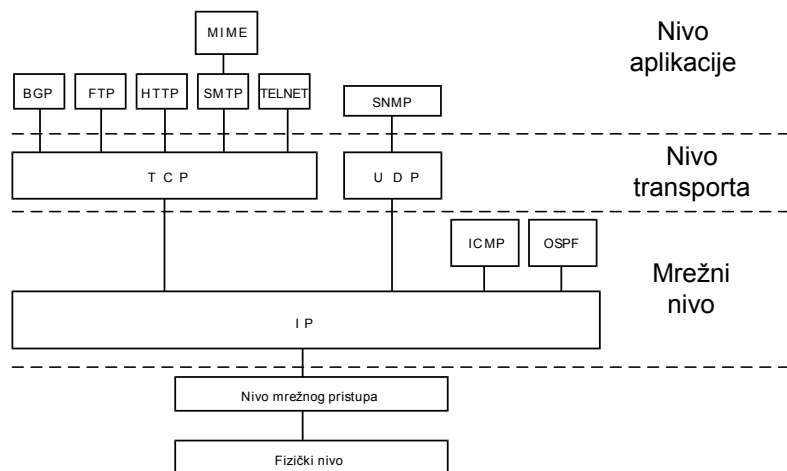


TCP/IP arhitektura

- Protokol određenog sloja može biti implementiran u softveru, hardveru ili kombinaciji ova dva okruženja.
- Protokoli sloja aplikacije, na primjer HTTP (HyperText Transfer Protocol) i SMTP (Simple Message Transfer Protocol), su uvijek implementirani u softveru krajnjih sistema,
- Isto važi i za slučaj protokola transportnog nivoa.
- Mrežni nivo se obično implementira kombinovano, i u hardveru i u softveru.
- Kako su fizički nivo i nivo linka odgovorni za komunikaciju preko konkretnog linka, oni se obično implementiraju u kartici mrežnog interfejsa (Ethernet ili WiFi NIC (*Network Interface Card*)), koja je povezana sa datim linkom.



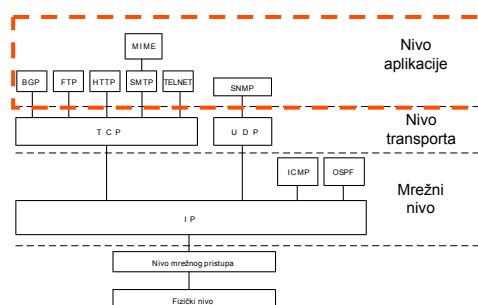
TCP/IP arhitektura



TCP/IP arhitektura

Nivo aplikacije

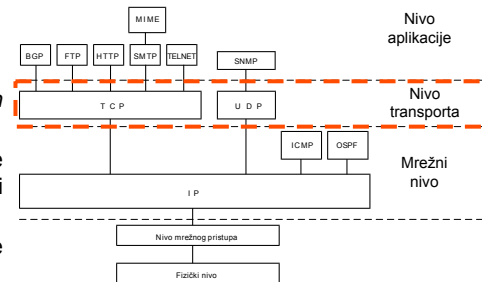
- mrežne aplikacije i njihovi protokoli nivoa aplikacije.
- Primjeri:
 - HTTP (podrška za zahtijevanje i transfer web strana),
 - SMTP (podrška za transfer elektronske pošte)
 - DNS (Domain Name System, prevođenje ljudima razumljivih Internet imena krajnjih sistema u 32 bitne mrežne adrese).
- veoma lako napraviti i implementirati sopstvene nove protokole nivoa aplikacije.



TCP/IP arhitektura

Nivo transporta

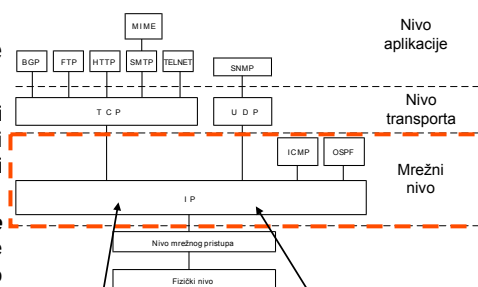
- Na usluzi protokolima nivoa aplikacije
- Dva transportna protokola:
 - TCP (Transmission Control Protocol)
 - UDP (User Datagram Protocol)
- TCP svojim aplikacijama nudi
 - konektivni servis (*connection oriented*).
 - kontrolu protoka (usaglašavanje brzina komuniciranja pošiljaoca i primaoca).
 - segmentaciju dugih poruke na kraće segmente
 - mehanizme za kontrolu zagušenja
- UDP svojim aplikacijama obezbeđuje
 - nekonektivni servis (*connectionless*) bez ikakvih garancija.
- Paketi transportnog nivoa se zovu **segmenti**.



Arhitekture računarskih mreža

Nivo mreže

- zadužen za rutiranje paketa mrežnog nivoa (**datagrama**) od jednog računara do drugog.
- Mrežni sloj Interneta ima dvije osnovne komponente.
 - IP (*Internet Protocol*) protokol koji definiše polja u **datagramima**, kao i način reagovanja krajnjih sistema i rutera na sadržaj ovih polja.
 - Mrežni nivo takođe sadrži **protokole rutiranja**, koji određuju rute kojima se datagrami kreću od izvora do odredišta. Na Internetu postoji veliki broj protokola za rutiranje, jer administrator mreže ima slobodu korišćenja bilo kojeg od njih.
- Internet mrežni nivo se često naziva IP nivo.



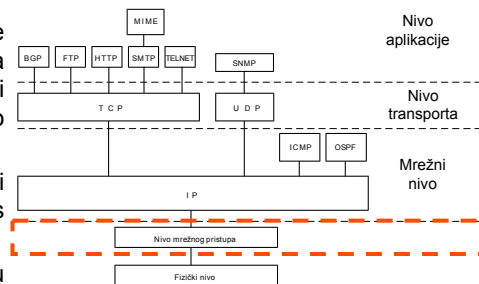
Postoji samo jedan IP i svi sistemi na Internetu moraju da ga koriste.

IP protokol cijelu Internet familiju protokola drži na okupu.

TCP/IP arhitektura

Nivo linka

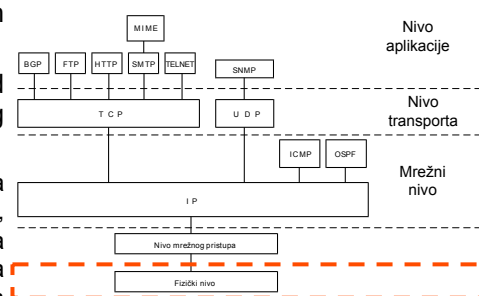
- Usluge koje obezbeđuje nivo linka zavise od konkretnog protokola koji je primijenjen na datom linku.
- Primjera radi, neki protokoli nude pouzdan prenos od izvorišnog čvora do odredišnog čvora. Ovaj pouzdani prenos se odvija između direktno povezanih uređaja.
- Treba ga razlikovati od onoga koji nudi TCP, a koji se odnosi na prenos od kraja do kraja.
- U primjere nivoa linka spadaju Ethernet, PPP, WiFi,...
- datagramima u različitim linkovima mogu da se bave različiti protokoli nivoa linka. Mrežni nivo od svakog od njih može dobiti različite usluge.
- Paketi ovog nivoa se zovu **okvirima** ili **frejmovima (frame)**.



TCP/IP arhitektura

Fizički nivo

- „posao“ fizičkog nivoa jeste prenošenje pojedinačnih bita istih tih okvira između susjednih čvorova.
- protokoli ovog nivoa zavise od nivoa linka, ali i od samog prenosnog medijuma.
 - Primjera radi Ethernet ima mnogo protokola fizičkog sloja, jedan za bakarne kablove sa upredenim paricama, drugi za koaksijalne kablove, treći za optičke kablove. U svakom konkretnom slučaju pojedinačni bit se prenosi kroz link na drugačiji način.



Struktura TCP segmenta



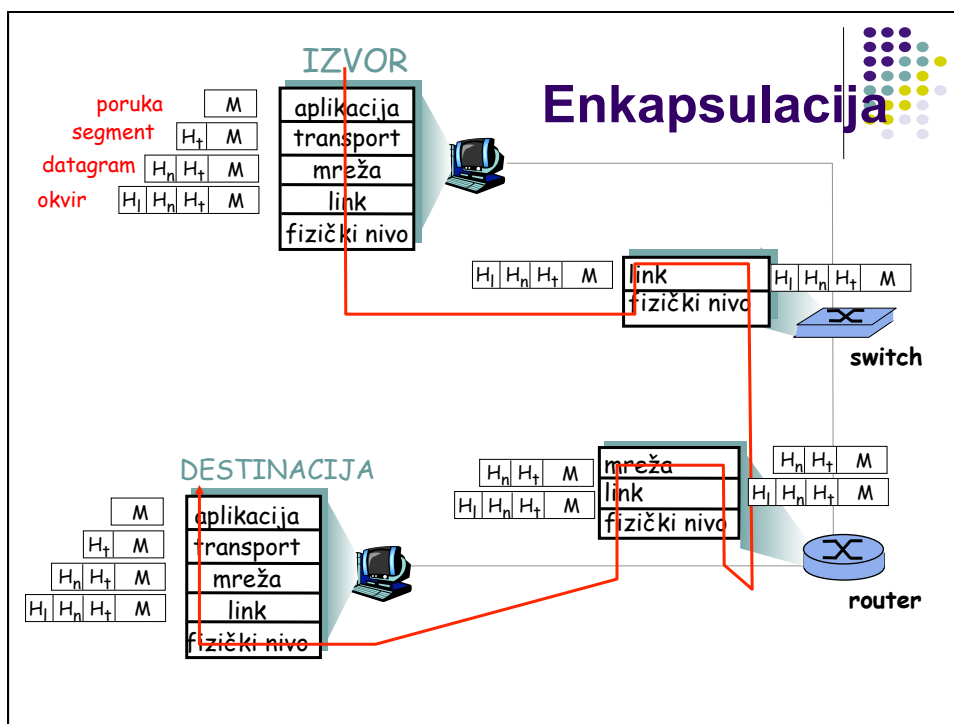
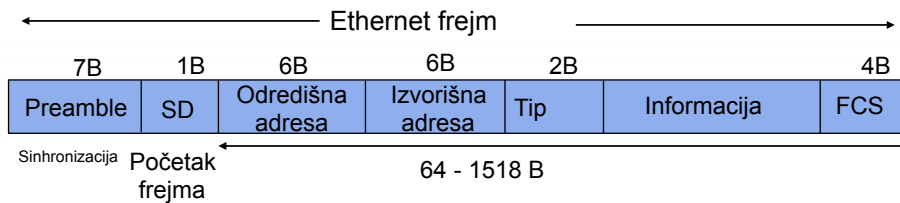
Biti	Biti 0–3	4–7	8–15								16–31			
0	Broj izvorišnog porta										Broj destinacionog porta			
32	Broj u sekvenci													
64	Broj potvrde													
96	Data offset	Rezervisano	CWR	ECE	URG	ACK	PSH	RST	SYN	FIN	Veličina prozora			
128	Suma za provjeru										Pointer urgentnih podataka			
160	Opcije													
160/192+	Podaci													

Struktura IPv4 datagram



+	Biti 0–3	4–7	8–15	16–18	19–31
0	Verzija	Veličina zaglavlja	Tip servisa (DiffServ i ECN)	Ukupna veličina	
32	Identifikacija			Flags	Fragment Offset
64	Time to Live	Protokol		Polje za provjera sume zaglavlja	
96	Izvorišna adresa				
128	Odredišna adresa				
160	Opcije				
160 ili 192+	Podaci				

Struktura Ethernet frejma (tip II)



Cross layer pristup (dizajn)



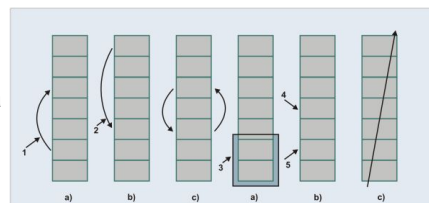
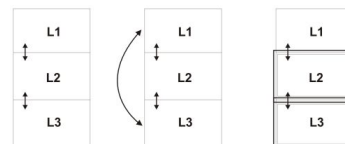
- Pristup aktuelan nekoliko poslednjih godina
- Vezan je prvenstveno za bežične komunikacije
- Performanse mreže su ograničene karakteristikama radio kanala (fading, interferencija, multipath, mobilnost,...)
- Bilo bi veoma dobro kada bi se protokoli višeg nivoa (protokoli nivoa aplikacije, transporta i mreže) mogli prilagoditi stanju na radio kanalu!!!
- Problem TCP/IP je da njegova hijerarhijska priroda koja onemogućava recimo da TCP posjeduje informacije sa nivoa linka ili fizičkog nivoa.

Cross layer pristup



- Narušavanje slojevite hijerarhijske arhitekture obuhvata:
 - kreiranje novih interfejsa između nivoa,
 - redefinisane granice nivoa,
 - dizajniranje protokola određenog nivoa na bazi informacija o dizajnu drugih nivoa,
 - zajednička sinhronizacija parametara kroz nivoe...
- Narušavanje podrazumijeva odustajanje od luksuza nezavisnog dizajniranja protokola na nivoima.
- vrste narušavanja postojeće slojevite arhitekture:
 - kreiranje novih interfejsa između nivoa
 - integracija susjednih nivoa
 - spajanje bez novih interfejsa
 - vertikalno podešavanje kroz nivoe

Moguća narušavanja hijerarhijske arhitekture

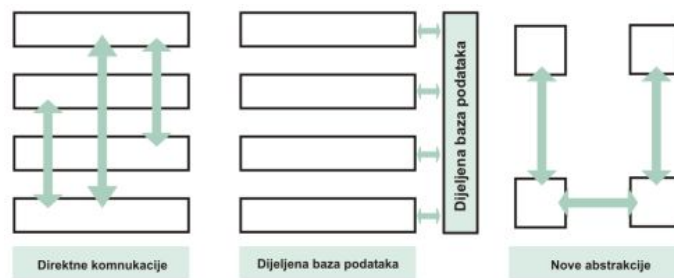


Cross layer pristup



Početni predlozi o tome kako treba implementirati *cross-layer* interakcije mogu se podijeliti u tri kategorije :

- direktna komunikacija između nivoa (a)
- zajednička baza podataka (b)
- potpuno novi model komunikacije (c)



Cross layer pristup



Primjeri cross layer pristupa: Fizički nivo

- Informacije koje su dostupne fizičkom nivou su: predajna snaga, BER, vrsta kodiranja ili vrsta modulacije koja se koristi. Za informaciju o BER-u mora postojati i povratna sprega od predajnika koju obezbjeđuje prijemnik.
- Interakcije sa višim nivoima:
 - Nivo aplikacije ili korisnik: Nivo aplikacije ili korisnik mogu da podešavaju parametre fizičkog nivoa da bi se poboljšala propusnost ili smanjilo kašnjenje.
 - Nivo mreže: Informacija o BER-u na interfejsu može se koristiti kao uputstvo nivou mreže da odabere odgovarajući interfejs.
 - Nivo linka: Optimalna predajna snaga je proporcionalna veličini frejma. Takođe, i informacije o varijacijama u veličini fejma pomažu u redukovanoj potrošnje energije. Pokazuje se da fragmentacija u frejmove veličine 500b za $BER > 10^{-5}$ vodi ka najvećoj redukciji potrošnje energije.

Cross layer pristup



Primjeri cross layer pristupa: Nivo linka

- Informacije dostupne nivou linka su: tekuća FEC šema (kontrola greške), broj ponovo poslatih frejmova, veličina frejma, trenutak u vremenu kada je bežični medijum dostupan za prenos i informacije o događajima vezanim za *hand-off*.
- Interakcija sa nižim nivoima:
 - Fizički nivo: Mehanizmi za kontrolu greške na nivou linka mogu biti adaptirani tako da redukuju prenos pogrešnih bita na osnovu informacije o trenutnom stanju u kanalu.
- Interakcije sa višim nivoima:
 - Korisnik: Propusnost informacija na nivou linka može pokazati korisniku koja se vrsta performansi aplikacije može očekivati. Korisnik tada može da odluči koje će aplikacije aktivirati.
 - Nivo aplikacije: Na nivou linka frejmovi iz različitih aplikacija se mogu različito obrađivati, npr. frejmovi aplikacija čiji je zahtjev – malo kašnjenje šalju se sa višim prioritetom.
 - Nivo transporta: Kada je slabo stanje u kanalu, retransmisija na nivou linka rezultira kašnjenjem koje može dovesti do TCP retransmisije i smanjenja propusnosti. Da bi se ovo izbjeglo TCP i nivo linka mogu da razmjenjuju informacije o retransmisiji tako da dodatno angažovanje retransmisije na nivou linka u cilju izbjegavanja retransmisije na TCP nivou, smanjuje potrošnju energije.
 - Nivo mreže: Mobilni IP koristi se za IP *hand-off* kad god mobilni uređaj promijeni podmrežu. *Hand-off* na mobilnom IP-u zavisi od detekcije promjena na mreži koju vrši IP nivo.

Cross layer pristup



Primjeri cross layer pristupa: Nivo mreže

- Informacije dostupne nivou mreže su početak/kraj mobilnog IP *hand-off*-a i mrežni interfejs koji se trenutno koristi.
- Interakcija sa nižim nivoima je već objašnjena.
- Interakcija sa višim nivoima:
 - Nivo aplikacije i korisnik: Aplikacija može da kontroliše brzinu slanja na osnovu indikacija mobilnog IP *hand-off*-a. Zavisno od potreba aplikacije ili korisnika nivo mreže može da odabere odgovarajući interfejs.
 - Nivo transporta: TCP može biti informisan o mobilnom IP *hand-off*-u u cilju redukcije kašnjenja uslijed retransmisije.

Cross layer pristup



Primjeri cross layer pristupa: Nivo transporta

- Informacije dostupne recimo TCP protokolu su: RTT (*Round-Trip Time*), RTO (*Retransmission Time-Out*), veličina prijemnog prozora, veličina prozora zagušenja, broj izgubljenih bajtova i aktualna propusnost.
- Interakcija sa nižim nivoima je već objašnjena.
- Interakcije sa višim nivoima:
 - Korisnik: Korisnik može da dodjeljuje prioritete aplikacijama koje se trenutno obrađuju. Korisnik može da obezbijedi informaciju o nadolazećem prekidu veze. Ovu informaciju može iskoristiti TCP da bi povećao svoje RTO vrijednosti.
 - Nivo aplikacije: Aplikacije mogu da ukažu TCP protokolu na svoje QoS zahtjeve. Na osnovu ove informacije TCP može da manipuliše prijemnim predajnim prozorima. Ali i TCP može da obezbijedi aplikaciji informaciju o gubitku paketa i dobroj propusnosti, što aplikacija može da iskoristi da podesi brzinu slanja.

Cross layer pristup



Primjeri cross layer pristupa: Nivo aplikacije

- Nivo aplikacije komunicira sa ostalim nivoima preko QoS zahtjeva: tolerancija kašnjenja, prihvatljiva varijacija kašnjenja, zahtijevana propusnost, prihvatljiva brzina gubitka paketa.
- Interakcija sa višim nivoima je u stvari interakcija sa korisnikom koja se svodi na to da aplikacija prima zahtjeve korisnika i prenosi ih nižim nivoima.
- Interakcija sa nižim nivoima je već objašnjena.

Cross layer pristup



Primjeri cross layer pristupa: Nivo korisnika

- Smatra se da korisnik predstavlja najviši nivo strukture protokola.
- Korisniku će biti potrebne informacije sa nižih nivoa da bi efektivno koristio mobilni uređaj.

Cross layer pristup



Loši aspekti cross layer pristupa (1)

- OSI referentni model se tokom vremena dokazao kao stabilan i uspješan. Čak je zaslužan i za uspjeh i razvoj Interneta. Ovakav dizajn ubrzava razvoj jer je moguć rad na različitim podsistemima sa sigurnošću da kad se ti podsistemi jednom sastave dobro funkcionišu kao cjelina. To nije slučaj sa cross-layer dizajnom.
- Priroda cross-layer dizajna je da kreira interakcije između različitih procesa i nivoa. Neke interakcije su namjerne, ali može doći i do stvaranja nenamjernih i neplaniranih interakcija. Na taj način cross-layer dizajn može kreirati petlje i pod ovakvim okolnostima dovodi se u pitanje stabilnost sistema. Ukoliko dođe do nepažnje može da prevlada "Zakon nenamjernih posljedica".

Cross layer pristup



Loši aspekti cross layer pristupa (2)

- Standardizacija omogućava da veliki broj aplikacija koristi podsisteme, što dovodi do smanjenja troškova i vremena implementacije, a zauzvrat povećava iskorišćenje. Nasuprot tome, CLD sistem će možda morati da se dodaje svakoj aplikaciji ponaosob što će znatno povećati troškove i vrijeme implementacije.
- Jednom kada se naruši slojevita struktura izgubljena je mogućnost pregleda i redizajniranja djelova sistema, zato što je sve međupovezano na ovaj ili onaj način.
- Sistem na bazi cross-layer dizajna može dovesti do "špageti" implementacije, što može da uguši sve buduće inovacije i da bude teška za održavanje. Unapređenje dizajna može postati nemoguće jer bi bilo jako teško predvidjeti kako će nova modifikacija uticati na sistem.