

Aleksandra Smiljanić

# OSNOVE I PRIMENA INTERNETA

Unverzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet  
Akademska misao  
Beograd, 2015.

Prof. dr Aleksandra Smiljanić,  
Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu  
e-mail: aleksandra@etf.rs

## OSNOVE I PRIMENA INTERNETA

Recenzenti:  
Prof. dr Milan Bjelica  
Prof. dr Irini Reljin

Izdavač:  
Akademska misao

Štampa:  
Akademska misao, Beograd

Tiraž: 60 primeraka

ISBN 978-86-7466-536-7

NAPOMENA: Fotokopiranje ili umnožavanje na bilo koji način, ili ponovno objavljivanje ove knjige u celini ili delovima nije dozvoljeno bez izričite saglasnosti i pismenog odobrenja autora. Tekst ove knjige složen je u programskom paketu L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 2<sub>ε</sub>.

*Ova knjiga je posvećena profesorima  
Branku Kovačeviću i Grozdanu Petroviću,  
koji su inspirisali moj povratak u Srbiju.  
Takođe se zahvaljujem inženjerima  
Srđanu Dackoviću i Srđanu Popoviću  
na svesrdnoj pomoći i komentarima.*



# Sadržaj

<b>1</b>	<b>Uvod</b>	<b>1</b>
1.1	Primene Interneta . . . . .	2
1.1.1	Poslovne primene Interneta . . . . .	2
1.1.2	Kućne primene Interneta . . . . .	4
1.2	Slojevita struktura Interneta . . . . .	5
1.3	Mrežni uređaji (hardver) . . . . .	8
1.4	Istorija razvoja Interneta . . . . .	10
1.5	Podela mreža . . . . .	13
1.5.1	Podela mreža prema veličini . . . . .	13
1.5.2	Podela mreža prema topologiji . . . . .	13
1.5.3	Podela mreža prema nameni . . . . .	15
1.6	Tela za standardizaciju . . . . .	18
<b>2</b>	<b>Sloj Linka</b>	<b>21</b>
2.1	Fizički sloj . . . . .	21
2.1.1	Fizički medijumi . . . . .	21
2.1.2	Tehnike prenosa . . . . .	24
2.1.2.1	Odabiranje . . . . .	25

2.1.2.2	Modulacija . . . . .	26
2.1.2.3	Kodovanje . . . . .	28
2.1.2.4	Multipleksiranje . . . . .	33
2.2	Sloj veze . . . . .	35
2.2.1	MAC protokoli . . . . .	36
2.2.1.1	Protokoli sa kolizijama . . . . .	39
2.2.1.2	Protokoli bez kolizija odnosno sa rezervacijama . . . . .	42
2.2.2	Razgraničavanje okvira . . . . .	43
2.2.3	Protokoli za pouzdani prenos preko linka . . . . .	44
2.2.3.1	Protokol stani i čekaj . . . . .	45
2.2.3.2	Protokoli sa klizećim prozorom . . . . .	45
2.2.4	Primeri sloja veze . . . . .	47
2.2.4.1	HDLC i PPP . . . . .	48
2.2.4.2	Ethernet . . . . .	50
<b>3</b>	<b>Nešto između sloja linka i mrežnog sloja</b>	<b>55</b>
3.1	Paketski svičevi . . . . .	56
3.1.1	Paketski svičevi nižih kapaciteta . . . . .	57
3.1.2	Kvalitet servisa . . . . .	59
3.1.2.1	Garancije kapaciteta i kašnjenja . . . . .	60
3.1.2.2	Fer (pravičan) servis . . . . .	61
3.1.2.3	Definicija fer servisa . . . . .	62
3.1.2.4	Fer algoritmi za raspoređivanje . . . . .	63
3.1.3	Paketski svičevi sa visokim kapacitetom . . . . .	64

3.2	Mostovi . . . . .	68
3.2.1	Prosti mostovi . . . . .	68
3.2.2	Mostovi koji uče . . . . .	69
3.2.3	Kompletni mostovi . . . . .	72
3.2.3.1	Princip rada STA algoritma . . . . .	72
3.2.3.2	STA konfiguracione poruke . . . . .	74
3.2.3.3	Primeri funkcionisanja STA algoritma . . . . .	76
3.2.4	Virtuelni LAN-ovi . . . . .	78
<b>4</b>	<b>Mrežni sloj: Adresiranje</b>	<b>79</b>
4.1	Internet Protokol (IP) . . . . .	79
4.2	IP adresiranje . . . . .	81
4.2.1	Prvobitno IPv4 klasno adresiranje . . . . .	82
4.2.2	Beklasno IP adresiranje . . . . .	83
4.2.3	Specijalne IP adrese . . . . .	87
4.2.4	Raspodela IP adresa u mreži . . . . .	89
4.3	NAT . . . . .	91
4.4	ARP . . . . .	92
4.5	DHCP . . . . .	93
<b>5</b>	<b>Mrežni sloj: Rutiranje</b>	<b>97</b>
5.1	Protokoli za rutiranje na bazi vektora rastojanja . . . . .	98
5.2	Protokoli za rutiranje na bazi stanja linkova . . . . .	101
5.3	Upoređenje algoritama na bazi vektora rastojanja i stanja linka . . . . .	103
5.4	RIP . . . . .	103

5.4.1	Princip funkcionisanja RIP protokola . . . . .	104
5.4.2	Formati paketa RIP protokola . . . . .	104
5.4.3	Primer funkcionisanja RIP protokola . . . . .	106
5.5	OSPF . . . . .	106
5.5.1	Principi funkcionisanja OSPFv2 protokola . . . . .	107
5.5.2	Principi funkcionisanja OSPFv3 protokola . . . . .	109
5.5.3	Formati OSPFv2 paketa . . . . .	110
5.5.4	Formati OSPFv3 paketa . . . . .	118
5.5.5	Primer funkcionisanja OSPF protokola . . . . .	123
5.6	IS-IS . . . . .	126
5.6.1	Principi funkcionisanja IS-IS protokola . . . . .	126
5.6.2	Formati IS-IS kontrolnih paketa . . . . .	127
5.6.3	Primer funkcionisanja IS-IS protokola . . . . .	133
5.7	Upoređenje IS-IS i OSPF protokola . . . . .	135
5.8	BGP . . . . .	135
5.8.1	Principi funkcionisanja BGP protokola . . . . .	136
5.8.2	Formati BGP poruka . . . . .	139
5.8.3	Primer funkcionisanja BGP protokola . . . . .	142
5.9	Interakcija protokola za rutiranje . . . . .	142
5.10	Primeri konfiguracija protokola na Cisco ruterima . . . . .	145
<b>6</b>	<b>Transportni sloj</b>	<b>149</b>
6.1	UDP . . . . .	150
6.2	RTP . . . . .	151



6.3	TCP . . . . .	153
6.3.1	Uspostavljanje i raskidanje TCP veze . . . . .	153
6.3.2	TCP mehanizam za pouzdan prenos i kontrolu zagušenja . . . . .	156
6.3.2.1	Klizeći prozor . . . . .	156
6.3.2.2	Upravljanje veličinom kontrolnog prozora . . . . .	157
6.3.3	TCP zaglavlje . . . . .	161
6.3.4	Istorija razvoja TCP protokola . . . . .	162
<b>7</b>	<b>Sloj aplikacija</b>	<b>165</b>
7.1	DNS . . . . .	165
7.1.1	Princip rada DNS protokola . . . . .	165
7.1.2	DNS poruke i zapisi . . . . .	168
7.1.3	Raspodela DNS imena u praksi . . . . .	170
7.2	I-meil . . . . .	171
7.2.1	Principi funkcionisanja i-meil aplikacije . . . . .	172
7.2.2	Formiranje i-meila . . . . .	173
7.2.3	Slanje i-meila . . . . .	176
7.2.4	Primanje i-meila . . . . .	178
7.3	WWW . . . . .	180
7.3.1	Implementacija veb sajtova . . . . .	180
7.3.2	Principi rada HTTP protokola . . . . .	182
7.3.3	Unapređenje performansi veba . . . . .	184
7.4	Multimedijalne aplikacije . . . . .	186
7.4.1	Striming aplikacije . . . . .	186

7.4.2	VoIP . . . . .	189
7.4.2.1	Principi funkcionisanja Internet telefonije . . . . .	190
<b>8</b>	<b>Mrežna bezbednost</b>	<b>193</b>
8.1	Šifrovanje . . . . .	193
8.1.1	Šifrovanje pomoću simetričnih ključeva . . . . .	193
8.1.2	Šifrovanje pomoću asimetričnih ključeva . . . . .	195
8.1.3	Učenje simetričnih ključeva . . . . .	196
8.2	Autentičnost (integritet) podataka . . . . .	197
8.3	Autentifikacija . . . . .	198
8.3.1	Autentifikacija pomoću simetričnih ključeva . . . . .	198
8.3.2	Autentifikacija pomoću asimetričnih ključeva . . . . .	199
8.4	Organizacija javnih ključeva . . . . .	199
8.5	Mrežna bezbednost u praksi . . . . .	202
8.5.1	IPSec . . . . .	203
8.5.2	Mrežne barijere . . . . .	205
8.5.3	Virtuelne privatne mreže . . . . .	205
8.5.4	I-meil zaštita: PGP . . . . .	206
8.5.5	DNS zaštita: DNSSEC . . . . .	207
8.5.6	Veb zaštita: SSL i TLS . . . . .	208
<b>9</b>	<b>Skraćenice</b>	<b>211</b>
	<b>Literatura</b>	<b>217</b>

# Glava 1

## Uvod

Najkraće rečeno Internet je mreža mreža. Ova knjiga ima zadatak da pojasni šta to znači.

Mada čitaoci ove knjige verovatno već uveliko koriste Internet, ipak će u ovom uvodu biti opisani razni načini upotrebe Interneta radi kompletnosti i jasnoće granica oblasti koje pokriva štivo.

Biće opisana slojevita struktura Interneta, jer je ona osnova organizacije ove knjige. Jedan od razloga razvoja Interneta (i drugih mreža) u vidu slojevite strukture jeste pojednostavljenje učenja složenog sistema kao što je Internet. Iskoristićemo priliku da kroz slojeve naučimo funkcionisanje Interneta.

Zatim će biti opisani osnovni uređaji iz kojih se Internet sastoji: računari, serveri, svičevi (komutatori), mostovi, ruteri, gejtveji (engl. *gateway*).

Istorija Interneta će dati još jedan, drugačiji, pogled na ovu složenu strukturu i pružiti odgovore na pitanja tipa: kako je Internet nastao?

Pošto se Internet može posmatrati kao skup različitih, međusobno povezanih mreža, biće izvršena podela mreža i opisane karakteristike svake od njih. Takođe, Internet će biti upoređen sa mrežama koje su optimizovane za druge vrste primena, konkretno sa telefonskom mrežom i mrežama za TV difuziju.

Na kraju ćemo dati pregled tehničko-političkih tela koja učestvuju u određivanju pravila i smerova razvoja komunikacija. To su pre svega tela koja donose standarde, koje proizvođači treba da prate da bi njihova oprema bila kompatibilna sa opremom drugih proizvođača. Standardi takođe specificiraju funkcionalnost i kvalitet opreme.

## 1.1 Primene Interneta

### 1.1.1 Poslovne primene Interneta

U tehnološki razvijenijem svetu u kome je stvoren Internet, poslovne potrebe su osnovna pokretačka snaga tehnoloških i drugih inovacija. I-meil su napravili istraživači da bi olakšali komunikaciju između zaposlenih u raznim laboratorijama. WWW (engl. *World Wide Web*) je započeo u CERN laboratorijama u Švajcarskoj, gde je Tim Bernand Li (engl. *Tim Bernand Lee*) organizovao naučne podatke i rezultate od šireg značaja u okviru veb strana, kroz koje se moglo brauzovati onako kako danas brauzujemo veb.

Lokalne mreže su se prvobitno koristile da omoguće zajedničko korišćenje opreme koja je tada bila izuzetno skupa, npr. štampača, moćnih procesora, eksterne memorije itd. I danas se lokalne mreže koriste na ovaj način jer omogućavaju ekonomično korišćenje hardverskih resursa.

Važna uloga mreže je povezivanje zaposlenih sa raznim bazama podataka koje čuvaju informacije važne za poslovanje firme. Podaci koji se čuvaju u bazama su podaci o mušterijama, narudžbinama, inventaru firme. Veće firme imaju obično više geografski udaljenih filijala. U tom slučaju je neophodno obezbediti tajnost osetljivih informacija koje se prenose kroz globalni Internet. Razne metode mrežne zaštite omogućavaju tajnu i pouzdanu razmenu informacija, i o njima će biti reči u poslednjem poglavlju.

Video-konferencije su još jedna važna primena Interneta u poslovnoj sredini. Filijale jedne firme, odnosno različitih firmi koje saraduju, su često udaljeni. Da bi se među ljudima obezbedio stalan kontakt, a uštedelo na putnim troškovima i energiji koja se pri putovanjima troši, razvijene su informacione tehnologije koje omogućavaju konferencije čiji su akteri na različitim lokacijama. Učesnici mogu razgovarati sa ostalim učesnicima konferencije, kao i dati prezentaciju na svojim računarima koju svi mogu da posmatraju i eventualno menjaju. Ove tehnologije se trenutno razvijaju i još uvek nisu savršene. Međutim, prenos pokretne slike još uvek nije zadovoljavajući.

Video-konferencije postaju naročito popularne, jer je rad od kuće u porastu (engl. *telecommuting*). Npr. u SAD, Kanadi, Australiji, veliki broj ljudi živi u kućama i na malim imanjima, udaljenosti su velike, a gradski saobraćaj slabo razvijen ili nepostojeći. Puno ljudi živi daleko od mesta gde rade, putevi su zakrčeni, te vožnja do posla postaje neprihvatljivo dugačka, a takođe i skupa. U takvim okolnostima je jasna popularnost rada od kuće. Ovako se takođe štedi na skupom kancelarijskom prostoru, jer više ljudi koji rade od kuće dele kancelariju u koju dolaze samo ponekad. Dešava se u velikim globalnim firmama da se jedna radna organizacija nalazi u raznim zemljama. U ovakvoj globalnoj atmosferi Internet postaje nezamenljiv.

Interno, u velikim firmama Internet se koristi i za širenje informacija koje su od važnosti za sve zaposlene ili deo zaposlenih u firmi. U velikim firmama, direktori se obraćaju zaposlenim putem video tokova (engl. *video streaming*) koji se emituju (engl.

*broadcast*) na računarima zaposlenih.

Još jedan veoma koristan aspekt poslovne primene je e-kupoprodaja (engl. *e-commerce*). U tehnološki razvijenijim zemljama, značajan deo kupoprodaje se obavlja preko Interneta. Proizvođači, a još češće distributeri i prodavci na veliko (engl. *wholesale*) imaju svoje veb sajtove preko kojih prodaju robu. Kupac na veb sajtu može da nađe potreban proizvod, plati unošenjem broja svoje kreditne kartice ili preko treće kompanije kao što je Pejpal (engl. *Paypal*), i primi ga kasnije poštom. Internet omogućava neverovatno pojednostavljenje organizacije kupoprodaje i snižavanje troškova transporta i skladištenja.

Kako je tradicionalna kupoprodaja organizovana? Obično distributeri dobavljaju proizvode od jednog ili više, obično sličnih, proizvođača, dok prodavci na veliko dobavljaju proizvode razne namene. Prodavci na veliko imaju prodavnice sa skladištima robe, dok distributeri ili imaju prodavnice sa skladištima ili prodaju proizvode prodavcima na veliko. U svakom slučaju teško je predvideti potrebe i ponašanje krajnjih kupaca. Prodavnice, da bi bile posećene, moraju biti u gusto naseljenim mestima i dobro snabdevene. Međutim, nekretnine, a samim tim i skladišni prostor, su veoma skupi u gusto naseljenim mestima. Zato prodavnica može da drži samo mali broj komada svakog od artikala, i mora brzo da dobavi od proizvođača a preko distributera i prodavaca na veliko ove artikle kada se oni prodaju. Ovakva agilna nabavka je komplikovana i skupa.

Organizacija je značajno olakšana kada kupci naručuju proizvode preko Interneta, i distributeri i prodavci na veliko ne moraju da predviđaju ponašanje kupaca. Sva roba se drži u skladištima u jeftinijim regijama, i šalje tačno tamo gde je potrebna, krajnjem kupcu. Kupac takođe ceni pogodnost kupovine od kuće. Naravno, prodavnice se ipak ne mogu u potpunosti isključiti, jer je to mesto gde se proizvodi mogu opipati i uporediti, a i nisu loši za šetnju. Odeću je npr. još uvek teško kupovati preko Interneta jer nije razvijena narudžbina odeće po meri. U svakom slučaju u zemljama gde je e-kupoprodaja izuzetno popularna, kupljena roba se može vratiti ako iz bilo kojih razloga ne zadovoljava kupca. Proizvodi su često detaljno opisani, slikani i recenzirani od strane kupaca.

E-kupoprodaja se odvija ne samo između prodavaca i krajnjih kupaca, već između samih kompanija, odnosno biznisa. Tako proizvođač prodaje proizvode distributerima i prodavcima na veliko, i kupuje potrebne mašine i materijale od drugih proizvođača. Za prvu vrstu kupoprodaje se u engleskoj literaturi koristi skraćenica B2C što na engleskom znači *Business to Consumer*, za drugu vrstu kupoprodaje B2B što potiče od izraza *Business to Business*.

Napredni poslovni informacioni sistemi mogu da se koriste i pomoću mobilnih uređaja koji komuniciraju sa serverima preko Interneta. Na primer, putujući prodavci neke firme mogu da pristupaju centralnoj bazi podataka o inventaru gde god se nalaze. Prodavci su u stalnom pokretu i sastaju se sa potencijalnim kupcima na raznim lokacijama. Na sastanku, gde god da se nalaze, mogu preko mobilnih pametnih telefona, ili tableta, da proveraju raspoloživost određenog proizvoda i vreme isporuke. Ukoliko isti zadovoljava kupca, prodavac može odmah da naruči dotični proizvod, koji se zatim

uklanja iz liste raspoloživih proizvoda.

### 1.1.2 Kućne primene Interneta

Kućne primene Interneta su raznolike i osim što, kao i poslovne primene, doprinose efikasnosti naših privatnih života, takođe poboljšavaju i kvalitet našeg življenja i čine ga dinamičnijim.

Ne treba puno pričati o značaju i upotrebnoj vrednosti i-meila (engl. *e-mail*). Ne moramo da kupimo kovertu, marku, te da prežvrjavamo eventualne greške pri pisanju, ili bacamo papire. Papirnatom pismu trebaju dani da stigne do primaoca, ili nedelje ako je primaoc u drugoj zemlji. I-meilu trebaju najviše minuti da stigne do primaoca, pa čak ako je isti na drugom kontinentu. Isti i-meil se može jednim klikom poslati na više adresa ako je potrebno. Prednosti i-meila su više nego očigledne. Ako je potrebna nešto interaktivnija komunikacija tu je čet (engl. *chat*) u kome dva ili više udaljena korisnika razmenjuju poruke jednu za drugom u realnom vremenu. Moguće je takođe voditi i telefonski razgovor putem Interneta uz pomoć VoIP tehnologije (engl. *Voice over Internet Protocol*).

Druga korisna i zabavna Internet primena je naravno WWW. WWW je najveća distribuisana baza podataka. Korisnici Interneta mogu naći širok spektar informacija na vebu, kao i zabavne sadržaje: muziku, filmove, igrice. Svako lako može da objavi veb stranu i svoje informacije na njoj, ako ih smatra interesantnim i relevantnim, drugim Internet korisnicima. Korisnici mogu da objave svoje lične fotografije, slike, muziku, informacije, analize na vebu, i tako ih učine dostupnima javnosti ili svojim prijateljima i poznanicima. Ovakvu komunikaciju dodatno olakšavaju softveri kojim se implementiraju društvene mreže. Društvene mreže, kao što je fejsbuk (engl. *facebook*), zapravo omogućavaju korisnicima koji nisu upoznati sa veb tehnologijama da svoje sadržaje postavljaju na veb.

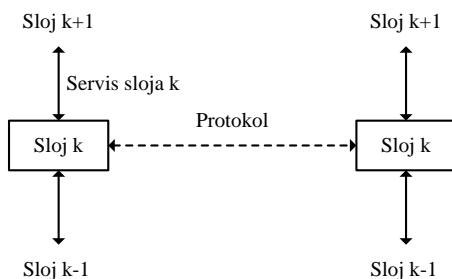
Internet takođe pruža nove mogućnosti i šansu umetnicima. Umetnici ne moraju da prolaze kroz audicije i konkurse da bi dobili posao od izdavačke, muzičke ili druge kuće, već mogu direktno da se obrate publici. Međutim, scenario „proizvođač/umetnik prodaje svoj proizvod krajnjem korisniku” je i dalje utopija, jer objaviti delo na vebu nije dovoljno, publika mora nekako da sazna za objavljeno delo. Naime, cenu troškova marketinga, koja je teško merljiva i generalno visoka, umetnici ne mogu izbeći. Drugi problem je prodaja umetničkih dela u elektronskoj formi, jer je ovakve proizvode lako ukrasti i zatim besplatno ili jeftino distribuisati. Teško je umetniku u Italiji da zakonski goni osobu u Kini koja distribuira njen/njegov proizvod preko Interneta. Naravno, dobro je da umetnička dela budu dostupna najširoj publici, ali društvo se ipak mora organizovati da nagradi zaslužne za lepa dela. Inače tih lepih dela neće biti jer zaslužni i talentovani neće moći da se prehrane, izgrade krov nad glavom, a ni da stvaraju nova dela.

Još jedna korisna primena Interneta, odnosno veba su e-buvljaci (engl. *e-flea*). Najveći

svetski e-buvljak je Ibej (engl. *eBay*, na [www.ebay.com](http://www.ebay.com)). Srpski najveći e-buvljak je Limundo ([www.limundo.com](http://www.limundo.com)). Kroz e-buvljake korisnici mogu prodati polovnu i novu robu, kroz aukcije. Na ovaj način korisnici mogu lako prodati polovne stvari iz svog domaćinstva koje im više ne trebaju, a možda nekome, negde u svetu, trebaju i taj neko je spreman da plati određenu sumu novca za njih.

Prihodi Ibeja su bili 14 milijardi dolara u 2012-toj, što znači da je u pitanju zaista ozbiljan centar trgovine. Pošto Ibej uzima samo mali procenat od svake transakcije, ovo znači da se kroz Ibej kupi i proda roba u vrednosti od preko trilion dolara godišnje. E-buvljaci otvaraju novi tip poslovanja koji bi se nazvao C2C (engl. *Consumer to Consumer*). Ibej je inače podigla Meg Vitman (engl. *Meg Whitman*), verovatno najuspešnija žena u svetskom biznisu. Meg Vitman je završila Princeton Univerzitet, i u nekom trenutku svoje uspešne karijere je poklonila oko 30 miliona dolara za novi studentski dom na Princetonu, što je primeren američki običaj.

## 1.2 Slojevita struktura Interneta



Slika 1.1: Odnos između susednih slojeva mreže.

Kao i većina drugih mreža Internet ima slojevitu strukturu prikazanu na slici 1.1. Slojevi obavljaju različite funkcije neophodne za komunikaciju kroz mrežu. Svaki sloj koristi servis nižeg sloja. Svaki sloj na predaji prima informaciju od višeg sloja, procesira informaciju prema svojim protokolima, dodaje deo zaglavlja i predaje modifikovanu informaciju nižem sloju. Na prijemu sloj prima informaciju od nižeg sloja, procesira je prema svojim protokolima, oduzima svoje zaglavlje, i predaje informaciju višem sloju. Svi slojevi imaju svoje adresiranje. Adrese sloja se nose u zaglavlju tog sloja. Ova komunikacija između slojeva je prikazana na slici 1.2.

Jedan razlog uvođenja slojevite strukture jeste lakše opisivanje i razumevanje mrežnih uređaja te stoga doprinosi i lakšoj edukaciji. Druga, jednako važna motivacija uvođenja slojevite strukture jeste efikasna organizacija implementacije kompleksnih uređaja. Mrežne uređaje razvijaju timovi inženjera. Razdvajanje dizajna na slojeve znatno olakšava raspodelu posla. Timovi koji razvijaju različite slojeve treba samo da se dogovore o interfejsima između slojeva koje razvijaju.