1

UVOD

Svakim od protekla tri stoleća vladala je po jedna nova tehnologija. Osamnaesti vek je bio era velikih mehaničkih sistema koji su doveli do Industrijske revolucije. Devetnaestim vekom je vladala parna mašina, a tokom 20. veka dominantna tehnologija je bila prikupljanje, obrada i distribuiranje podataka. Pored drugih dostignuća, bili smo svedoci uspostavljanja globalnog telefonskog sistema, pronalaska radija i televizije, nastanka i nezapamćenog razvoja računarske industrije, lansiranja telekomunikacionih satelita i, naravno, Interneta.

Zbog brzog napretka tehnologije, navedene oblasti su se u 21. veku stopile, praktično brišući razlike između prikupljanja, prenosa, skladištenja i obrade podataka. Organizacije sa stotinama kancelarija širom prostranog geografskog područja sada normalno očekuju da pritiskom na dugme budu u stanju da utvrde status i najzabačenije svoje filijale. Naša sposobnost prikupljanja, obrade i distribuiranja podataka svakim danom je sve veća, ali još brže rastu zahtevi za još složenijom obradom informacija.

Iako je računarska industrija još uvek mlada u poređenju s drugim industrijama (npr. sa automobilskom industrijom i vazdušnim transportom), računari su zabeležili neverovatan napredak za srazmerno kratko vreme. Tokom prve dve decenije svog postojanja računarski sistemi su bili strogo centralizovani, obično unutar jedne prostorije. Često je ta prostorija imala staklene zidove kroz koje su posetioci mogli da se dive velikom elektronskom čudu. Kompanije srednje veličine ili univerziteti mogli su

imati jedan do dva računara, dok su veoma velike institucije imale najviše par desetina. Pomisao da će za četrdesetak godina mnogo snažniji računari biti veličine poštanske marke i proizvoditi se u hiljadama miliona primeraka bila je čista naučna fantastika.

Stapanje računara s komunikacijama snažno je uticalo na način organizovanja računarskih sistema. Ideja „računskog centra“ – prostorije s velikim računarom u koju korisnici donose svoje podatke na obradu – potpuno je prevaziđena (mada centri za podatke s hiljadama Internet servera već postaju uobičajeni). Stari model po kome je jedan računar zadovoljavao sve potrebe organizacije zamenjen je modelom u kome posao obavlja veći broj zasebnih, ali međusobno povezanih računara. Takvi sistemi su nazvani **računarske mreže** (engl. *computer networks*). Konstrukcija i organizacija takvih mreža teme su ove knjige.

Izrazom „računarska mreža“ označavaćemo skup nezavisnih računara, međusobno povezanih jedinstvenom tehnologijom. Za dva računara se kaže da su povezana ako mogu međusobno razmenjivati podatke. Sama veza ne mora da bude izvedena bakarnom žicom; mogu se upotrebiti optičko vlakno, mikrotalasi, infracrveno zračenje i komunikacioni sateliti. Mreže se obično povezuju da bi se napravile veće mreže, a Internet je najpoznatiji primer mreže najrazličitijih računarskih mreža.

U literaturi se često mešaju izrazi računarska mreža i **distribuirani sistem** (engl. *distributed system*). Ključno je to što u distribuiranom sistemu, skup nezavisnih računara korisnici vide kao jedinstven, koherentan sistem. On se obično korisnicima prikazuje kao jedinstven model ili paradigma. Za ugradnju tog modela najčešće je odgovoran poseban sloj softvera (**posrednički softver**, **midlver** – engl. *middleware*) koji direktno komunicira sa operativnim sistemom. Najpoznatiji distribuirani sistem je **World Wide Web** u kojem sve liči na dokument (veb stranu).

U računarskoj mreži, pomenuta koherencija, model i softver ne postoje. Korisnici se sreću sa stvarnim računarima, a sistem ne pokušava da ujednači njihovu pojavu i način rada. Ako računari imaju različit hardver i različite operativne sisteme, korisnik će to videti. Ukoliko korisnik želi da izvršava program na udaljenom računaru, treba da se prijavi na njega i da na njemu pokrene program.

Distribuirani sistem je u stvari softverski sistem koji se izvršava u mreži, zaklanja je i daje joj visok stepen ujednačenosti. Prema tome, razliku između mreže i distribuiranog sistema treba tražiti pre u softveru (naročito u operativnom sistemu), nego u hardveru.

Pa ipak, ova dva pojma se poprilično preklapaju. Na primer, i distribuirani sistem i računarska mreža prenose datoteke s jednog mesta na drugo. Razlika je samo u tome ko pokreće prenošenje – sistem ili korisnik. Iako u ovoj knjizi pretežno govorimo o mrežama, mnoge teme se tiču i distribuiranih sistema. Više podataka o distribuiranim sistemima potražite kod Tanenbauma i Van Steena (2007).

1.1 UPOTREBA RAČUNARSKIH MREŽA

Pre nego što detaljno pretresemo tehničke pojedinosti, posvetimo malo vremena razlozima zbog kojih su računarske mreže zanimljive, i mogućnostima njihove upotrebe. U krajnjoj liniji, da nije bilo zainteresovanih za računarske mreže, malo bi ih bilo napravljeno. Počećemo od klasičnog korišćenja mreža u preduzećima, zatim preći na kućne mreže i novija zbivanja u vezi s mobilnim uređajima, i potom završiti s društvenim aspektima.

1.1.1 Poslovne mreže

Većina preduzeća ima znatan broj računara. Na primer, preduzeće može da ima posebne računare za svakog zaposlenog, koji ih upotrebljavaju za projektovanje proizvoda, pisanje brošura i obračunavanje plata. Na početku su možda neki od tih računara radili nezavisno od ostalih, ali je u jednom trenutku uprava odlučila da ih sve poveže kako bi mogla da prikuplja i distribuira podatke po čitavom preduzeću.

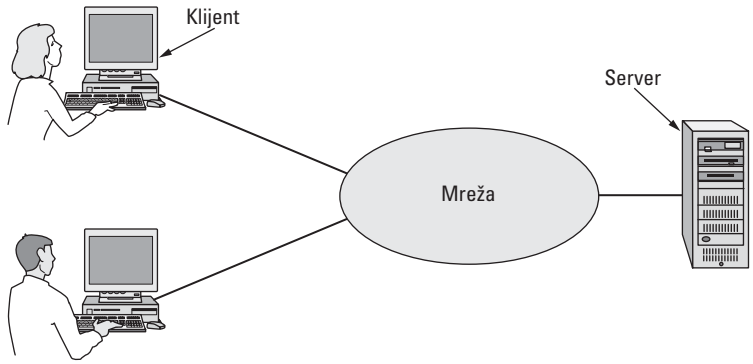
Ako to malo uopštimo, ovde se radi o **deljenju resursa** (engl. *resource sharing*), čiji je cilj da se svi programi, oprema, a naročito podaci učine dostupnim svima na mreži, bez obzira na stvarnu fizičku lokaciju resursa ili korisnika. Očigledan i često korišćen primer je štampač koji deli više službenika. Nijedan službenik nema stvarne potrebe za sopstvenim štampačem, a mrežni štampač visokog kapaciteta često je jeftiniji, brži i lakše se održava od velikog broja pojedinačnih štampača.

Međutim, od deljenja fizičkih resursa – kao što su štampači i sistemi za pravljenje rezervnih kopija na trakama – verovatno je važnije deljenje podataka. I velika i mala preduzeća životno zavise od podataka u elektronskom obliku. Većina preduzeća održava informacije o proizvodima, spiskove komintenata, inventara, obračune, finansije, poreze i još štošta drugo na sopstvenoj mreži. Kada bi svi njeni računari istovremeno otkazali, banka ne bi preživela ni pet minuta. Savremeni proizvodni pogon s kompjuterizovanom linijom sklapanja proizvoda ne bi izdržao ni pet sekundi. Čak i mala turistička agencija ili advokatska kancelarija s tri zaposlene osobe danas veoma zavise od računarske mreže koja im omogućava trenutan pristup relevantnim informacijama i dokumentima.

U malim preduzećima svi računari se verovatno nalaze u istoj prostoriji ili možda u istoj zgradi, ali u većim firmama računari i zaposleni mogu biti raštrkani po desetinama kancelarija i pogona u mnogim zemljama. Uprkos tome, prodavcu u Njujorku ponekad zatreba pristup bazi podataka s popisom proizvoda u Singapuru. Takozvane **virtuelne privatne mreže (VPN)** možemo upotrebiti za povezivanje pojedinačnih mreža na raznim mestima u jednu proširenu mrežu. Drugim rečima, činjenica da korisnika od podataka deli čak 15.000 kilometara, ne treba da ga spreči da podatke koristi baš kao da su lokalni. Taj cilj se može predstaviti kao pokušaj da se prekine „tiranija geografije“.

Informacioni sistem preduzeća u najjednostavnijem slučaju možemo da zamislimo kao jednu ili više baza podataka sa informacijama o preduzeću, i izvestan broj

službenika koji pokušavaju da im pristupe daljinski. Po ovom modelu, podaci su uskladišteni na moćnim računarima zvanim **serveri** (engl. *servers*). Oni su često smešteni na jednom mestu, pod budnim okom administratora sistema. Nasuprot tome, službenici na svojim stolovima imaju jednostavnije računare – **klijente** (engl. *clients*) – pomoću kojih pristupaju udaljenim podacima, da bi ih, na primer, uneli u tabelu na kojoj trenutno rade. (Ponekad ćemo i korisnika klijentskog računara nazivati „klijentom“, ali će iz konteksta biti jasno da li mislimo na računar ili na korisnika.) Klijentski i serverski računari povezani su preko mreže, kao na slici 1-1. Obratite pažnju na to da smo mrežu predstavili elipsom – bez ikakvih detalja. Koristićemo takvo označavanje kada o mreži govorimo u najapstraktnijem smislu. Kada bude potrebno više detalja, prikazaćemo i njih.



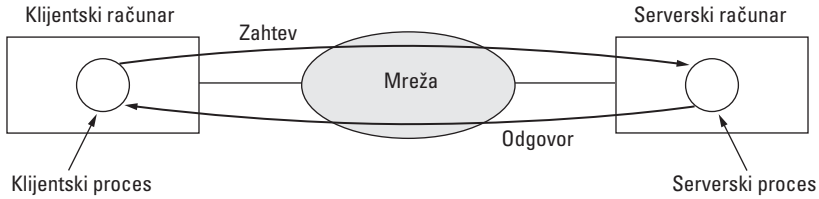
Slika 1-1. Mreža s dva klijenta i jednim serverom.

Opisani sklop se naziva **klijentsko-serverski model** (engl. *client-server model*). On se masovno koristi i predstavlja osnovu mnogih mreža. Najpopularnija realizacija je **veb aplikacija**, gde server generiše veb strane na osnovu svoje baze podataka kao odgovor na klijentske zahteve koji mogu ažurirati bazu. Klijentsko-serverski model može se primeniti kada se klijent i server nalaze u istoj zgradi (i pripadaju istom preduzeću), ali i onda kada su međusobno udaljeni. Na primer, kada od kuće pristupite nekoj strani na World Wide Webu, primenjuje se isti model, pri čemu je veb server – server, a vaš računar – klijent. U većini slučajeva isti server može da opsluži veliki broj klijenata.

Ako klijentsko-serverski model ispitamo detaljnije, utvrdićemo da se tu odvijaju dva procesa (npr. dva programa koji se izvršavaju), jedan na klijentskom, a drugi na serverskom računaru. Komunikacija teče tako što klijentski proces preko mreže pošalje poruku serverskom procesu. Klijentski proces zatim čeka odgovor. Kada serverski proces dobije zahtev, on izvršava zahtevani posao ili pronalazi zahtevane podatke i šalje odgovor. Te poruke su prikazane na slici 1-2.

Drugi motiv za uvođenje računarske mreže ima više veze s ljudima nego s informacijama ili čak s računarima. Računarska mreža može da postane moćno **sredstvo**

komunikacije (engl. *communication medium*) između zaposlenih. Danas skoro svako preduzeće s dva ili više računara ima **elektronsku** ili **e-poštu** (engl. *electronic mail*, *e-mail*), koju zaposleni obilato koriste za svakodnevno komuniciranje. U stvari, tokom zajedničke kafe, uglavnom se raspravlja o tome s koliko poruka e-pošte mora svako da se izbori u toku dana, pri čemu su mnoge od njih besmislene jer su šefovi otkrili da jednim pritiskom na dugme mogu da pošalju istu (često praznu) poruku svim svojim nameštenicima.



Slika 1-2. Klijentsko-serverski model obuhvata zahteve i odgovore na njih.

Telefonski razgovori između zaposlenih mogu se, umesto telefonskom, prenositi računarskom mrežom. Kada je pritom angažovan Internet, ta tehnologija se naziva **IP telefonija** ili **govor preko Interneta (VoIP)**. Mikrofon i zvučnik na svakom kraju mogu pripadati računarima zaposlenih ili telefonima opremljenim VoIP tehnologijom. Za preduzeća je to dobar način da smanje svoje telefonske račune.

Zvuku se može dodati i slika, tako da zaposleni na međusobno udaljenim lokacijama mogu da se i vide i čuju kada su na sastanku. Time se štede vreme i novac prethodno trošeni na putovanja. **Deljenje stonih računara** (engl. *desktop sharing*) omogućava da dve ili više osoba na različitim lokacijama zajedno čitaju i pišu na virtuelnoj tabli ili pišu izveštaj. Kada jedna od njih izmeni dokument koji se trenutno nalazi na mreži, svi ostali odmah vide izmenu, umesto da danima čekaju na odštampanu kopiju. Takvo ubrzanje omogućava saradnju između veoma udaljenih grupa, što je ranije bilo neizvodljivo. Još ambiciozniji oblici daljinske koordinacije kao što je telemedicina tek počinju da se koriste (npr. daljinski pregled pacijenta), ali imaju veliki potencijalan značaj. Ponekad se čuje da se komunikacije i transport međusobno utrkuju: onaj ko pobedi, gurnuće onog drugog u staro gvožđe.

Treći motiv za uvođenje računarskih mreža jeste to što sve više preduzeća obavlja poslovne transakcije s drugim preduzećima elektronskim putem, što naročito važi za dobavljače i kupce. To se zove **elektronska trgovina** ili **e-trgovina** (engl. *electronic commerce*, *e-commerce*) i naglo raste poslednjih godina. Avio-kompanije, knjižare i sva maloprodaja otkrile su da mnogi ljudi vole da kupuju ne ustajući iz fotelje u svom domu. Izlazeći im u susret, brojne kompanije sada drže kataloge svojih proizvoda i usluga na mreži i preko nje primaju narudžbine. Proizvođači automobila, aviona i računara (između ostalih) nabavljaju podsisteme od brojnih isporučilaca, a zatim sklapaju delove u celinu. Koristeći računarske mreže, proizvođači mogu da naručuju potrebne delove elektronskim putem. Time se smanjuje potreba za stvaranjem velikih zaliha i povećava efikasnost rada.

1.1.2 Kućne mreže

Ken Olsen je 1977. godine bio predsednik korporacije DEC (Digital Equipment Corporation), tada drugog svetskog prodavca računara (odmah iza IBM-a). Upitan zašto DEC ne ulazi velikim koracima na tržište personalnih računara, odgovorio je da nema nikakvog razloga da iko ima računar kod kuće. Istorija je demantovala njegove reči i korporacija DEC više ne postoji. Ljudi su u početku kupovali računare za kuću zbog obrade teksta i igranja, ali je danas verovatno najjači razlog pristup Internetu. Danas se u mnoge uređaje potrošačke elektronike, kao što su lokalni TV pretvarači, igračke konzole i radio-časovnici, ugrađuju računari i računarske mreže, naročito bežične, i kućne mreže se mnogo koriste za zabavne svrhe, među kojima su slušanje, gledanje i pravljenje muzike, fotografija i videa.

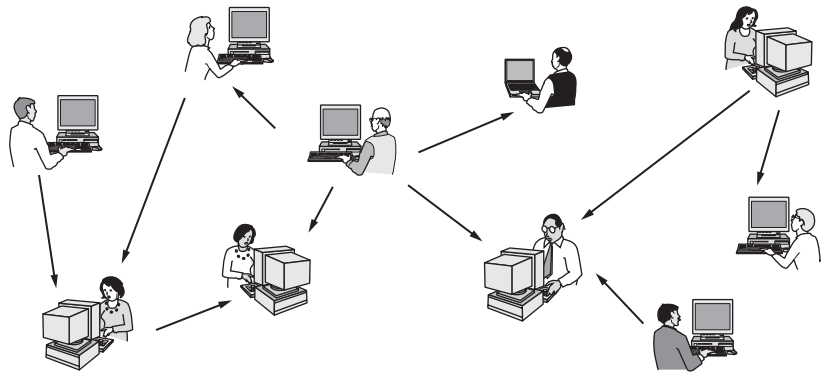
Kućnim korisnicima pristup Internetu pruža **mogućnost povezivanja** sa udaljenim računarima. Kao da je u pitanju preduzeće, kućni korisnici mogu da pristupaju informacijama, komuniciraju s drugim ljudima i kupuju proizvode i usluge putem e-trgovine. Glavna korist od računara sada potiče od povezivanja sa spoljnim svetom. Bob Metkalf, izumitelj Etherneta, tvorac je hipoteze da je vrednost neke mreže srazmerna kvadratu broja njenih korisnika, zato što je to približno broj različitih veza koje se njome mogu uspostaviti (Gilder, 1993). Ta hipoteza je poznata kao „Metkalfov zakon“. Ona pomaže da se shvati kako ogromna popularnost Interneta potiče od njegove veličine.

Pristupanje udaljenim informacijama ispoljava se kroz različite forme. To može da bude lutanje po vebu u potrazi za određenim informacijama ili samo radi zabave. Raspoložive informacije obuhvataju umetnost, poslove, kuvanje, državnu upravu, zdravlje, istoriju, hobije, rekreaciju, nauku, sport, putovanja i štošta drugo. Zabava se pojavljuje u toliko mnogo oblika da ih je nemoguće sve navesti, a i u oblicima koje radije ne bismo pominjali.

Mnogi dnevni listovi imaju svoja izdanja na mreži koja se mogu personalizovati. tj. podesiti prema ličnim potrebama korisnika. Na primer, ponekad je moguće zahtevati samo vesti o korumpiranim političarima, požarima, skandalima poznatih ličnosti i epidemijama, ali ne i o fudbalu, na primer. Ponekad je moguće da odabrane članke dobijete direktno na svoj disk dok se zasluženo odmarate, ili odštampane na štampaču – neposredno pre prve jutarnje kafe. Ako se ovakav trend nastavi, izazvaće masovno otpuštanje prodavaca novina, ali ga novinske kuće podržavaju jer je distribucija izdanja uvek bila najslabija karika u proizvodnom lancu. Naravno, najpre će morati da smisle kako da pritom zarade, što neće biti sasvim lako pošto su korisnici Interneta navikli da je na njemu sve besplatno.

Posle novinskih izdanja (uključujući opšte i naučne časopise), sledeći korak su mrežne digitalne biblioteke. Mnoge profesionalne organizacije, npr. ACM (*www.acm.org*) i IEEE Computer Society (*www.computer.org*), već imaju na mreži sve svoje časopise i zbornike radova sa održanih skupova. Možda će zbog elektronskih čitača knjiga i mrežnih biblioteka, štampana izdanja otići u zaborav. Oni koji sumnjaju treba da se sete efekta koji je prva štamparska presa imala na srednjevekovnu rukom pisanu literaturu.

Dobar deo tog pristupanja informacijama odvija se po klijentsko-serverskom modelu, ali postoji i drugačiji, takođe raširen način pristupanja informacijama, tzv. **mreža ravnopravnih korisnika (P2P)** (engl. *peer-to-peer*, Parameswaran et al., 2001). Po ovom modelu, korisnici koji čine labavu grupu mogu da komuniciraju s drugim članovima te grupe (slika 1-3). Svaki od njih u načelu može da komunicira s jednim ili više korisnika; nema fiksne podele na klijente i servere.



Slika 1-3. U sistemu ravnopravnih korisnika nema krute podele na klijente i servere.

Mnoge mreže ravnopravnih korisnika, kao što je BitTorrent (Cohen, 2003), uopšte nemaju centralnu bazu podataka sadržaja. Ona je zamenjena lokalnim bazama koje održava svaki korisnik, a obezbeđena je i lista okolnih korisnika – članova sistema. Nov korisnik tako može da se obrati bilo kom aktivnom korisniku, da pregleda šta on ima i da od njega dobije listu drugih članova koji će mu pomoći da proširi svoj spisak muzičkih numera i članova mreže. Taj postupak postupnog pretraživanja može da se ponavlja neograničen broj puta, a rezultat je ogromna lokalna baza podataka s muzičkim numerama, smeštena kod korisnika. Takva aktivnost bi za ljude bila mučna, ali računari u njoj briljiraju.

Komunikacija ravnopravnih korisnika često se upotrebljava za deljenje muzike i videa. Ona je imala svoje „zlatno doba“ oko 2000. godine, kada je pomoću usluge za deljenje muzike Napster, u međuvremenu zatvorene sudskom odlukom, preko 50 miliona ljubitelja muzike međusobno razmenjivalo datoteke kršeći autorska prava u do tada nezabeleženom stepenu (Lam i Tan, 2001; Macedonia, 2000). Postoje i legalne primene komuniciranja između ravnopravnih računara. Među njima su deljenje muzičkih numera i softverskih paketa u javnom vlasništvu, porodično deljenje fotografija i filmova, te učestvovanje u višekorisničkim igrama na mreži – što je prvenstveno zabava tinejdžera. U stvari, jedna od najpopularnijih primena Interneta, e-pošta, u suštini koristi sistem ravnopravnih računara. U budućnosti se očekuje znatan razvoj ove vrste komuniciranja.

Sve navedene primene podrazumevaju interakciju između korisnika i udaljene baze podataka. Druga široka kategorija je upotreba mreže za lično međusobno komuniciranje – odgovor 21. stoleća na telefon 19. veka. E-poštu već svakodnevno širom

sveta koriste milioni ljudi i njen promet je sve veći. Poruke e-pošte, pored teksta i slika, već uobičajeno sadrže audio i video priloge. Na mirise ćemo još malo pričekati.

Svaki tinejdžer koji drži do sebe upražnjava **trenutno razmenjivanje poruka** (engl. *instant messaging*). Ta mogućnost, izvedena od UNIX-ovog programa *talk* koji se koristio oko 1970. godine, nudi priliku da dvoje ljudi međusobno razmenjuju poruke u realnom vremenu. Višekorisnička verzija ovog koncepta je **pričaonica** (engl. *chat room*), u kojoj svako iz grupe korisnika može da šalje poruke čitavoj grupi. Takav je **Tviter** (**Twitter**), gde se kratka tekstualna poruka zove „tvit" i automatski šalje prijateljima, ali i ostalim zainteresovanim osobama.

Internet mogu upotrebljavati aplikacije za prenos audio (npr. Internet radio-stanice) i video (npr. YouTube) datoteka. Osim što omogućuju jeftine razgovore sa udaljenim prijateljima, te aplikacije daju priliku i za učenje na daljinu, što znači da možete prisustvovati času koji počinje u 8 sati ujutro, a da prethodno ne morate ustati iz postelje. Upotreba mreža za poboljšanje komunikacije među ljudima može se na duge staze pokazati kao najvažnija od svih primena. Računarske mreže mogu da postanu izuzetno važne ljudima koji se sticajem okolnosti nalaze u geografski izolovanim područjima, nudeći im pristup istim uslugama koje su na raspolaganju stanovniku metropole.

Između međuljudske komunikacije i pristupanja informacijama nalazi se područje primene **društvenih mreža**. Ovde tok informacija određuju odnosi koje ljudi objave između sebe. Jedna od najpopularnijih mrežnih lokacija je **Fejsbuk** (**Facebook**). Na njoj ljudi održavaju svoje lične „profile" i dele sve novosti o sebi s drugim osobama koje su proglasili prijateljima „na fejsu". U ostale primene društvenih mreža spadaju upoznavanje prijatelja svojih prijatelja, slanje poruka prijateljima koji su na Tviteru itd.

Još neobaveznija u pogledu ličnih odnosa jeste saradnja grupa ljudi na stvaranju sadržaja. Primera radi, **viki** je veb lokacija koju uređuju članovi neke zajednice. Najpoznatiji viki je **Vikipedija** (**Wikipedia**), enciklopedija koju svi mogu da uređuju, ali postoje i hiljade drugih vikija.

Naša treća kategorija je elektronska trgovina u svom najširem značenju. Kupovina od kuće je već postala popularna; ona omogućuje kupcima da na mreži pregledaju kataloge hiljada firmi. Neki od tih kataloga su interaktivni, proizvode prikazuju iz raznih uglova i u konfiguracijama koje se mogu personalizovati. Kada korisnik kupi proizvod elektronskim putem, pa onda shvati da ne zna kako ga treba koristiti, moći će preko mreže da se obrati odgovarajućoj službi za podršku.

Drugo područje u kome se elektronska trgovina već zahuktala jeste pristup finansijskim ustanovama. Mnogi ljudi već elektronskim putem plaćaju račune, upravljaju svojim bankovnim računima i prate svoje investicije. Ta primena će se sigurno proširiti kada mreže budu postale bezbednije.

Područje koje izgleda niko nije predvideo jeste elektronska buvlja pijaca (e-buvljak?). Mrežne rasprodaje (engl. *on-line auctions*) korišćene robe postale su masovna pojava. Za razliku od klasične e-trgovine, koja sledi klijentsko-serverski model, mrežne rasprodaje se više drže sistema ravnopravnih računara, međusobno povezujući potrošače koji se mogu pojaviti i kao kupci i kao prodavci.

Neki od oblika elektronske trgovine dobili su i posebne oznake zahvaljujući činjenici da se engleski predlog „to“ i broj 2 izgovaraju isto. Neki od najpopularnijih navedeni su na slici 1-4.

Oznaka	Puno ime	Primer
B2C	Business-to-consumer (između proizvođača i potrošača)	Naručivanje knjiga preko mreže
B2B	Bussines-to-bussiness (između više proizvođača)	Naručivanje delova za sklapanje automobila od kooperanata
G2C	Government-to-consumer (između državne uprave i potrošača)	Država distribuira poreske obrasce elektronskim putem
C2C	Consumer-to-consumer (između više potrošača)	Rasprodaja korišćene robe preko mreže
P2P	Peer-to-peer (između korisnika)	Razmena muzičkih datoteka

Slika 1-4. Neki oblici e-trgovine.

Naša četvrta kategorija je zabava. Kućna potrošnja ove industrije poslednjih je godina ogromno porasla, a distribuiranje muzičkih, radio i TV programa i filmova preko Interneta već ozbiljno konkuriše starijim mehanizmima. Korisnici na vebu pronalaze, kupuju i preuzimaju MP3 pesme i filmove DVD kvaliteta i pridodaju ih svojoj kolekciji. U mnoge kuće TV emisije sada dolaze preko **IPTV** (**IP televizija**) sistema zasnovanih na Internet protokolu (IP), a ne kablovski niti preko antene. Aplikacije za reprodukovanje multimedijskog sadržaja tokom preuzimanja omogućuju korisnicima da slušaju sve radio-stanice koje svoj program emituju preko Interneta i gledaju nove epizode omiljenih TV serija. Naravno, sav se taj sadržaj može premeštati po kući na razne aparate, ekrane i zvučnike, najčešće putem bežične mreže.

Uskoro ćete verovatno moći da odaberete bilo koji film ili TV emisiju koji su ikada napravljeni u bilo kojoj zemlji i da ih trenutno dobijete na monitoru svog računara. Novi filmovi će možda biti interaktivni u tom smislu da će se od korisnika povremeno zahtevati da usmeri radnju filma (da li da Magbet ubije Dankana ili da i dalje čeka priliku?), pri čemu će na raspolaganju biti različiti alternativni scenariji. Živi TV prenosi takođe mogu da postanu interaktivni: publika učestvuje u kvizu, bira takmičare itd.

Drugi oblik zabave su igrice. Već imamo višekorisničke simulacije u realnom vremenu, kao što su žmurke u virtuelnoj tamnici i simulatore leta u kojima jedan tim pokušava da upuca i obori igrače protivničkog tima. Virtuelni svetovi obezbeđuju trajno okruženje u kojem hiljade korisnika mogu doživeti neku zajedničku stvarnost u tri dimenzije.

Naša poslednja kategorija je **sveprisutno računarstvo**, tj. računarstvo ugrađeno u predmete svakodnevnog života, kao što je to predviđao Mark Weiser (1991). Mnoge kuće su već ožičene bezbednosnim sistemima koji obuhvataju senzore na vratima i prozorima. Na pametan kućni monitor može se priključiti još mnogo senzora, npr. za merenje potrošnje energije. Još jedno područje u kome bi bežični prenos doneo uštede jeste očitavanje brojila u domaćinstvima. Kada bi strujomer, vodomer, gasomer i drugi „satovi“ koje ljudi imaju po stanovima saopštavali svoje stanje bežičnim putem, ne

bi trebalo da postoji osoblje koje obilazi domaćinstva i to radi ručno. Slično tome, bežični javljači požara mogli bi odmah da zovu vatrogasce umesto da se oglašavaju zvučnim signalom (što je besmisleno ako nema nikoga kod kuće). Kako cene senzora, radio-uređaja i emitovanja budu opadale, sve će više rezultata takvih daljinskih merenja biti prenošeno bežičnim putem.

Raste broj elektronskih aparata široke potrošnje koji se umrežavaju. Na primer, neki od najboljih fotoaparata već imaju mogućnost bežičnog slanja fotografija obližnjim displejima radi prikazivanja. I profesionalni sportski fotografi mogu svoje fotografije slati uredništvu u realnom vremenu – prvo bežično do tačke pristupa, zatim dalje preko Interneta. Aparati poput televizora, koji se napajaju iz zidne električne utičnice, za slanje informacija po kući mogu da upotrebe **mreže elektro-energetskih vodova**, tj. žice kojima dobijaju struju. Možda ne iznenađuje kada se na informacionu mrežu priključe takvi aparati, ali izmeriti nešto i poslati informaciju o tome mogu i predmeti o kojima nismo navikli da mislimo kao o računarima. Primera radi, tuš bi mogao da prati potrošnju vode, vizuelno vam je predoči dok se sapunate i, kada završite, sve dojavi kućnoj aplikaciji za praćenje potrošnje da bi se smanjio račun za vodu.

Ubuduće će ovu ideju još više proširiti **identifikacija pomoću ugrađenog radio-odašiljača** (engl. *Radio Frequency IDentification*, *RFID*). RFID odašiljači su pasivni čipovi (bez baterije) veličine poštanske marke, koje je lako pričvrstiti na knjige, pasoše, kućne ljubimce (može i pod kožu), kreditne kartice i sve druge predmete u kući i izvan nje. Time je RFID čitačima omogućeno da lociraju tako čipovane objekte i komuniciraju s njima na udaljenosti od nekoliko metara, zavisno od vrste RFID. Prvobitno je RFID komercijalizovan da bi zamenio bar-kodove. To se još nije desilo zato što su bar-kodovi besplatni, a RFID čipovi koštaju nekoliko centi. Naravno, oni nude daleko više, a i cena im brzo opada. RFID čipovi bi svakodnevni svet mogli da pretvore u Internet za stvari (ITU, 2005).

1.1.3 Pokretni korisnici

Prenosni računari i lični digitalni asistenti (LDA), jedan su od segmenata računarske industrije koji najbrže raste. Njihova prodaja je već premašila prodaju stonih računara. Zašto bi neko uopšte poželeo takav računar? Oni koji stalno putuju često žele mogućnost da pomoću elektronske opreme koju nose sa sobom šalju i primaju e-poštu i trenutno razmenjuju poruke, gledaju filmove, skidaju muziku, igraju igrice ili prosto da lutaju vebom i pretražuju ga. Hoće da rade sve što i inače rade kod kuće i u kancelariji. Prirodno, oni žele da imaju takvu mogućnost dok su na zemlji, na vodi ili u vazduhu.

Mnoge od ovih aktivnosti ne bi postojale da ne postoji **mogućnost povezivanja** sa Internetom. Pošto je kablovsko povezivanje nemoguće iz automobila ili aviona, postoji veliko zanimanje za bežične mreže. Poznata vrsta bežičnih mreža su na ćelije izdeljene mreže telefonskih operatera, koje Zemlju pokrivaju signalom za mobilne telefone. Drugu vrstu bežičnih mreža za prenosne računare (bežični LAN, **WiFi**) prave

oko sebe bežične **pristupne tačke** (engl. *hotspots*) zasnovane na standardu 802.11. Iznikle su svuda gde se ljudi mnogo kreću, te sada imamo mestimičnu pokrivenost u nekim kafićima, hotelima, aerodromima, školama, vozovima i avionima. Svako ko ima prenosni računar i bežični modem može da ih uključi i da se poveže na Internet, baš kao pomoću računara u kablovskoj mreži.

Bežične mreže imaju veliki značaj za teretna vozila, taksi-službu, vozila za snabdevanje i majstore koji sve vreme treba da su u kontaktu sa svojom maticom (kućom). Na primer, iako postoje taksi-službe, u mnogim gradovima taksisti su najčešće privatna lica. U nekim gradovima, u taksiju postoji displej koji vozač može da vidi. Kada mušterija zatraži uslugu, centralni dispečer otkuca njenu trenutnu lokaciju i odredište. Ti podaci se prikazuju na displeju uz zvučni signal. Prvi taksista koji pritisne dugme na displeju, preuzima tu mušteriju.

Bežične mreže su važne i za vojsku. Ako želite da uspešno i pravovremeno izvedete vojnu akciju bilo gde na zemaljskoj kugli, verovatno se nećete oslanjati na lokalnu telekomunikacionu strukturu. Bolje je da takvu strukturu ponesete sa sobom.

Iako su rad u bežičnoj mreži i bežično umrežavanje prenosnih računara srodni sistemi, ipak nisu identični, kao što se vidi sa slike 1-5. Tu vidimo u čemu se razlikuju **fiksna bežična** (engl. *fixed wireless*) i **mobilna bežična** (engl. *mobile wireless*) mreža. Čak su i prenosni računari ponekad povezani kablom. Na primer, ako putnik uključi svoj prenosni računar u telefonski priključak u hotelskoj sobi, on je mobilan korisnik i bez bežične mreže.

Bežični	Mobilni	Primene
Ne	Ne	Stoni računari u kancelarijama
Ne	Da	Prenosni računar u hotelskoj sobi
Da	Ne	Mreže u starim zgradama, bez instalacija
Da	Da	Ručni računar za inventarisanje skladišta

Slika 1-5. Kombinacije bežičnih mreža i pokretnih računara.

S druge strane, neki bežično umreženi računari nisu pokretni. U stanovima, kućama, kancelarijama i hotelima smeštenim u starim zgradama bez mrežnih instalacija, često je stone računare i DVD plejere lakše povezati bežično nego instalirati žice. Instaliranje bežične mreže se svodi na kupovinu elektronskog aparata, raspakivanje i uključivanje „u struju“. Takvo rešenje može da bude mnogo jeftinije od ožičavanja zgrade.

Najzad, postoje i prave mobilne bežične primene, kao što je ona kada službenik hoda kroz skladište inventarišući robu. Na mnogim prometnim aerodromima, službenici rentakara koji rade na parkingu za vraćena vozila imaju bežične prenosne računare sa ugrađenim štampačem. Kada vozilo stigne na parking, službenik skenira njegov bar-kod ili RFID čip, a prenosni računar očitani broj bežično prenese centralnom računaru, odakle se šalju podaci o rentiranju na osnovu kojih se odmah na licu mesta štampa račun.

Mobilni telefon je verovatno glavni razlog širenja mobilnih bežičnih aplikacija. **Razmena kratkih tekstualnih poruka** ili **slanje SMS-ova** raširilo se do neverovatnih razmera; korisnik mobilnog telefona otkuca kratku poruku, koju mreža podeljena na ćelije potom dostavi drugom mobilnom pretplatniku. Malo ko je pre deset godina mogao zamisliti da će tinejdžeri ulagati toliki trud i vreme u mučno kucanje kratkih tekstualnih poruka na mobilnim telefonima, na čemu operateri zarađuju ogroman novac. Ali **usluga slanja kratkih tekstualnih poruka (SMS)** (ili **texting** kako se naziva u SAD) veoma je profitabilna pošto operatera košta samo delić jednog centa da prenese tekstualnu poruku, a to se naplaćuje mnogo više.

Najzad se desila dugo očekivana konvergencija telefona i Interneta, što će dodatno ubrzati rast mobilnih aplikacija. **Pametni telefoni**, kao što je popularni iPhone, jesu kombinacija mobilnih telefona i prenosnih računara. Oni se povezuju na 3G i 4G mreže podeljene na ćelije koje, pored telefonskih razgovora, omogućavaju i brz prenos podataka, neophodan za korišćenje Interneta. Mnogi bolji telefoni se povezuju i na bežične pristupne tačke i automatski prebacuju s jedne na drugu mrežu, birajući onu koja je najpovoljnija za korisnika.

I drugi elektronski aparati za široku potrošnju upotrebljavaju mreže podeljene na ćelije i bežične pristupne tačke da bi ostali povezani sa udaljenim računarima. Elektronski čitači knjiga mogu da preuzmu novokupljenu knjigu ili novi broj časopisa ili dnevnih novina, bez obzira na to gde lutaju. Elektronski okviri za slike osvežavaju sadržaj svojih ekrana novim slikama, na zahtev.

Pošto operater mreže zna gde se korisnik nalazi, često zato što su mobilni telefoni opremljeni prijemnicima **globalnog sistema za pozicioniranje** (**GPS**), neke usluge su namerno vezane za lokaciju. Očigledan kandidat za to su pokretne mape i traženje odredišta, pošto telefon i automobil opremljeni GPS-om verovatno bolje od korisnika znaju gde se nalaze. Takođe, moguće je tražiti adresu najbliže knjižare ili kineskog restorana, ili lokalnu vremensku prognozu. Druge usluge beleže lokaciju; npr. na fotografije i video-snimke beleže gde su snimljeni. To se naziva „geo-označavanje“.

Oblast u kojoj mobilni telefoni tek počinju da se koriste jeste **mobilna** ili **m-trgovina** (engl. *m-commerce*, *mobile commerce*) (Senn, 2000). Automatima za prodaju hrane i napitaka, bioskopskih ulaznica i ostalih sitnica korisnik plaća kratkom tekstualnom porukom poslatom s mobilnog telefona, umesto gotovinom ili kreditnim karticama. Iznos se onda pojavljuje na računu za mobilni telefon. Kada se opremi za **komunikaciju kratkog dometa (NFC)**, mobilni telefon ume da se ponaša kao pametna RFID kartica i obavi plaćanje sa obližnjim čitačem. Pogonska sila ove aktivnosti je udruživanje proizvođača bežičnih uređaja i mežnih operatera, koji pokušavaju da smisle način da iz elektronske trgovine i oni izvuku svoj deo. Sa stanovišta prodavnice, takva šema bi im uštedela troškove obrade kreditnih kartica, što može da iznese i nekoliko procenata. Naravno, ova šema može da ima i negativne posledice po prodavce, pošto kupac pomoću RFID odnosno bar-kod čitača na svom mobilnom telefonu može pre kupovine bilo kog artikla da dobije detaljan izveštaj o tome gde se još u blizini on može nabaviti i po kojoj ceni.

Značajan princip na koji se oslanja m-trgovina jeste činjenica da su korisnici mobilnih telefona navikli da plaćaju svaku uslugu (za razliku od korisnika Interneta koji očekuju da je sve besplatno). Kada bi neka veb lokacija objavila da će korisnici ubuduće moći da plaćaju robu i usluge svojim kreditnim karticama uz malu naknadu, korisnici bi podigli veliku galamu. S druge strane, kada bi operater mobilne telefonije omogućio korisnicima da u prodavnicama plaćaju pomoću telefona i za tu uslugu im zaračunao malu naknadu, to bi verovatno prošlo kao normalna stvar. Vreme će pokazati da li je tako.

Nema sumnje da će upotreba prenosnih i bežičnih računara brzo rasti kako se računari budu smanjivali, što sada niko ne može tačno da predvidi. Razmotrimo ukratko neke mogućnosti. **Senzorske mreže** čine senzori (davači), koji prikupljaju i bežično predaju informacije o stanju fizičkog sveta u svojoj okolini koje su izmerili. Senzori mogu biti ugrađeni u druge predmete kao što su automobili ili telefoni, ili raditi kao zasebni mali uređaji. Primera radi, vaš automobil bi od svog ugrađenog dijagnostičkog sistema mogao da prikuplja podatke o svojoj lokaciji, brzini, drmusanju i stepenu iskorišćenja goriva i da ih šalje nekoj bazi podataka (Hull et al., 2006). Ti podaci se mogu upotrebiti za pronalaženje rupa na putevima, planiranje putanje u slučaju zagušenja saobraćajnica i za to da vas obaveste da li vaš auto „guta benzin“ u poređenju sa ostalim vozilima na istom delu puta.

Senzorske mreže unose revoluciju u nauku dajući obilje podataka o ponašanju koji ranije nisu mogli da se izmere. Jedan primer je praćenje migracije svake zebre pojedinačno, tako što se na svaku životinju stavi mali senzor (Juang et al., 2002). Istraživači su spakovali bežični računar u kockicu veličine 1 mm (Warneke et al., 2001). Potencijalne primene takvih računara obuhvataju praćenje opreme, paketa, čak i malih ptica, glodara i insekata.

Čak i banalne primene, kao što je ona u parking-satovima, mogu postati značajne zato što koriste podatke koji prethodno nisu bili dostupni. Bežični parking-satovi mogu da prihvataju kreditne i platne kartice i da im odmah proveravaju stanje bežičnim putem. Takođe, bežičnoj mreži mogu da jave da li je njihovo mesto zauzeto. To znači da bi vozači mogli da bežično u automobil preuzimaju ažurne mape parkirališta i lako i brzo pronalaze najbliže slobodno mesto za parkiranje. Kada (plaćeno ili dozvoljeno) vreme parkiranja istekne, sat bi slanjem signala u pravcu kola mogao da proveri da li su još uvek tu i da – ukoliko jesu – obavesti službu za parkirališta o prekoračenju. Procenjeno je da bi gradske uprave samo u SAD mogle na ovaj način da sakupe dodatnih 10 milijardi dolara (Harte et al., 2000).

Još jedna primena koja obećava jesu **računari koji se nose kao deo odeće**. Inteligentne časovnike s radiom upoznali smo još 1946. u stripu Dik Trejsi; sada mogu da se kupe. Bežični računari se mogu usaditi u telo, recimo u obliku pejsmejkera i pumpe za insulin. Deo njih bi se mogao daljinski kontrolisati putem bežične mreže. Time bi lekari dobili mogućnost da ih lako podešavaju i proveravaju njihov rad. To bi dovelo do teških problema ako bi ti uređaji ostali nebezbedni kao što su to današnji prosečni PC računari, koje je lako „hakerisati“ (Halperin et al., 2008).

1.1.4 Društveni aspekti

Slično štamparskoj presi pre 500 godina, računarske mreže danas omogućavaju običnim ljudima da slobodno šire svoja gledišta i da sami biraju šta će čitati, slušati i gledati na načine na koje to nikada ranije nije bilo moguće. Uporedo s dobrim uvek ide i ono loše, kako to već u životu biva, pošto je ta novostečena sloboda sa sobom donela i mnoge nerazrešene društvene, političke i moralne probleme. Pomenimo ukratko samo nekoliko takvih problema, jer bi za njihovo detaljno razmatranje bila potrebna čitava knjiga.

Ljudi danas imaju društvene mreže, oglasne table, lokacije za deljenje multimedijskog sadržaja i mnoštvo drugih prilika da sa osobama sličnih interesovanja razmenjuju poruke. Sve dok se interesovanja kreću oko tehničkih tema ili hobija, kao što je baštovanstvo, nema problema.

Problemi nastaju kada se formiraju diskusione grupe na teme koje direktno pogađaju ljude, kao što su politika, religija ili seks. Gledišta izneta u takvim diskusionim grupama mogu duboko da vređaju osećanja nekih ljudi. Štaviše, ona često nisu politički korektna. Poruke nisu ograničene samo na tekst, jer se preko računarskih mreža mogu preneti i visokokvalitetne fotografije u boji i video-sekvence. Neki učesnici diskusija drže se pravila „živi i pusti druge da žive“, ali drugi smatraju da je isticanje određenog materijala (npr. pornografije, napada na određene zemlje ili religije itd.) neprihvatljivo i da se mora cenzurisati. Različite zemlje imaju različite, često suprotstavljene zakone u ovoj oblasti. Na taj način, rasprava se samo rasplamsava.

Ranije su netrpeljivi tužili operatere, smatrajući da su oni odgovorni za sadržaj na mreži, baš kao što su urednici odgovorni za sadržaj novina i časopisa, ali su neizbežno dobijali odgovor da mreža radi slično telefonskoj kompaniji ili pošti, i da ne može da ograničava ono što korisnici na nju iznesu.

Ne bi trebalo da vas mnogo iznenadi što neki operateri blokiraju prenos (kabastog) materijala iz sopstvenih razloga. Naime, nekim korisnicima aplikacija što ravnopravno umrežavaju računare, korišćenje mreže bilo je uskraćeno zato što se operateru nije isplatilo da prenosi velike količine podataka koje takve aplikacije razmenjuju. Korisnicima od kojih mogu da izvuku više novca, isti ti operateri prenose sve bez ikakvih ograničenja. Dakle, velike i bogate kompanije dobijaju dobru uslugu a mali igrači lošu. Protivnici takve prakse navode da mreža ne vidi razliku između bitova koje razmenjuju ravnopravno umreženi računari i bilo kojih drugih bitova i da bi zato svi trebalo da imaju jednak tretman. Ovaj argument u prilog komunikacije bez diskriminacije tj. jednakih uslova bez obzira na to šta se prenosi, odakle ili od koga potiče, naziva se **neutralnost mreže** (Wu, 2003). Nema sumnje da se ova rasprava neće završiti tako brzo.

U svađu oko prenosa različitih sadržaja uključeno je i mnogo drugih strana. Na primer, hrana za ogroman rast mreža ravnopravnih korisnika (P2P) bili su piratizovana muzika i filmovi, što se nije svidelo vlasnicima njihovih autorskih prava, koji su pretili sudom, a ponekad zaista i tužili. Danas postoje automatizovani sistemi koji pretražuju mreže ravnopravnih računara i ispaljuju preteća upozorenja operaterima i korisnicima za koje posumnjaju da krše autorska prava. U SAD, ta se upozorenja nazivaju **DMCA**

obaveštenja o uklanjanju spornog sadržaja ili blokadi veb lokacije koja je prekršila autorska prava, po **Zakonu o autorskim pravima u digitalnom milenijumu** (Digital Millennium Copyright Act, **DMCA**). Takvo pretraživanje liči na trku u naoružanju, zato što je teško pouzdano utvrditi da li se zaista radi o kršenju autorskih prava. Za krivca bi mogao da bude proglašen i vaš štampač (Piatek et al., 2008).

Računarske mreže znatno olakšavaju komunikaciju, a i špijuniranje saobraćaja od strane vlasnika mreže. Zato nastaju sukobi u vezi s pravima zaposlenih u odnosu na prava poslodavaca. Mnogi ljudi razmenjuju e-poštu na radnom mestu. Mnogi poslodavci su sebi uzeli pravo da čitaju i prema svom nahođenju cenzurišu poruke svojih zaposlenih, među kojima i poruke poslate s kućnih računara nakon završetka radnog vremena. Ne slažu se svi zaposleni sa ovakvom politikom firme, naročito ne s ovim drugim delom.

Sledeća vruća tema je odnos vlasti i građana. FBI je kod mnogih davalaca Internet usluga u SAD instalirao sistem pregledanja svih dolaznih i odlaznih poruka e-pošte u cilju traženja određenih reči koje su mogle ukazivati na nelegalnu aktivnost. Sistem je prvobitno nazvan **Carnivore** (mesožder), ali je zbog lošeg utiska koji je takvo ime ostavilo, promenio ime u mnogo nevinije, DCS1000 (Blaze i Bellovin, 2000; Sobel, 2001; i Zacks, 2001). Svrha sistema je i dalje ostala ista: da špijunira milione ljudi u nadi da će pronaći informacije o ilegalnoj aktivnosti. Na nesreću po FBI, 4. amandman Ustava Sjedinjenih Država zabranjuje takva istraživanja bez sudskog naloga, ali se vlada SAD ne uzbuđuje mnogo zbog toga.

Naravno, nema samo vlada monopol na ugrožavanje privatnosti građana – isto se ponaša i privatni sektor, koji pravi i održava **profile** svojih korisnika. Na primer, male datoteke zvane **kolačići** (engl. *cookies*), koje čitači veba deponuju u računarima korisnika, omogućavaju kompanijama da prate aktivnosti korisnika u kibernetskom prostoru, a mogu da izazovu i „curenje“ poverljivih podataka – kao što su brojevi kreditnih kartica – na Internet (Berghel, 2001). Kompanije koje pružaju usluge na vebu, održavaju velike količine ličnih informacija o svojim korisncima, pomoću kojih neposredno špijuniraju njihove aktivnosti. Na primer, ako koristite Googleovu e-poštu (**Gmail**), Google može da čita vašu poštu i prikazuje vam reklame izabrane na osnovu onoga što je saznao o vašim interesovanjima.

Nov aspekat u vezi s mobilnim uređajima jeste privatnost lokacije (Beresford i Stajano, 2003). Dok pružaju usluge vašem mobilnom uređaju, operateri saznaju gde se nalazite u koje doba dana. Time dobijaju priliku da prate vaše kretanje. Ako sa sobom nosite uključen mobilni telefon, oni znaju u koji noćni klub odlazite i gde se lečite.

Računarske mreže omogućuju i povećanje privatnosti slanjem anonimnih poruka. U izvesnim slučajevima, takva mogućnost je čak poželjna. Osim što sprečava kompanije da saznaju koje su vaše navike, ona omogućava studentima, vojnicima i građanima da zazvone na uzbunu povodom nelegalnog ponašanja određenih profesora, oficira, nadređenih osoba i političara, bez straha od represalija. S druge strane, u SAD i većini drugih demokratskih zemalja, zakon eksplicitno priznaje optuženim osobama pravo da se s tužiteljem suoče i rasprave na sudu. Anonimne optužbe se ne mogu prihvatiti kao dokazni materijal.

Internet omogućava brzo pronalaženje informacija, ali su mnoge od njih polovične, varljive ili potpuno pogrešne. Medicinski savet koji preuzmete sa Interneta mogao je objaviti dobitnik Nobelove nagrade za medicinu, ali i neki večiti student.

Ima i sadržaja koji je neželjen sa stanovišta korisnika. Elektronska neželjena pošta (engl. *spam*) postala je deo svakodnevice nakon što su prikupljeni milioni e-adresa i na CD diskovima prodati marketinškim kvazistručnjacima, koji sada jeftino šalju računarski generisane poruke na njih. Neželjena e-pošta je po obimu već dostigla poruke živih ljudi. Srećom, softver za filtriranje ume da pročita, prepozna i odbaci računarski generisane poruke, mada pritom ponekad i pogreši.

Svrha drugog neželjenog sadržaja je kriminal. Veb strane i poruke e-pošte sa aktivnim sadržajem (programima ili makroima koji se izvršavaju na korisnikovom računaru) mogu da sadrže viruse, kojima „hakeri“ ovladavaju zaraženim računarima. Pomoću njih onda mogu da ukradu vašu lozinku za pristupanje bankovnom računu ili da upotrebe vaš računar za slanje neželjene pošte, kao deo skupa zaraženih računara na Internetu (**botnet**).

Phishing ili pecačke (prevarantske) poruke maskiraju se kao da potiču od verodostojne strane, npr. vaše banke, kako bi vas navele da im otkrijete svoje poverljive informacije, recimo brojeve kreditnih kartica. Krađa identiteta postaje ozbiljan problem, jer lopovi uspevaju da prikupe dovoljno informacija o žrtvama kako bi u njihovo ime vadili kreditne kartice i druge dokumente.

Nije lako sprečiti računare da se na Internetu predstavljaju kao ljudi. Taj problem je doveo do razvoja **CAPTCHA testova**, u kojima računar zahteva od osobe da reši neki kratak zadatak prepoznavanja, npr. da ukuca slova prikazana u nekoj izobličenoj slici i time dokaže da je čovek (von Ahn, 2001). Postupak je inače varijacija čuvenog Turingovog testa, u kojem čovek postavlja pitanja preko mreže kako bi utvrdio da li je sagovornik takođe čovek (ili računar).

Mnogi pomenuti problemi bi nestali kada bi se računarska industrija ozbiljno pozabavila bezbednošću. Kada bi sve poruke bile šifrovane i s proverenim identitetom pošiljaoca, bilo bi mnogo manje nerviranja. Bezbednosna tehnologija je dobro razrađena i detaljno ćemo je opisati u 8. poglavlju. Problem je to što prodavci hardvera i softvera znaju da obezbeđenje ima svoju cenu, i što kupci ne zahtevaju da im se obezbeđenje ugradi. Osim toga, ne mali broj problema izaziva neispravan softver, zato što proizvođači u programe stalno ugrađuju nove mogućnosti, neprestano povećavajući kôd, samim tim unoseći u njega sve više grešaka. Možda bi pomoglo uvođenje takse na nove mogućnosti, ali bi to verovatno otežalo prodaju u nekim sredinama. Bilo bi lepo kada bi se korisnicima plaćala nadoknada za neispravan softver, ali bi takva mera za godinu dana celokupnu industriju softvera dovela do bankrotstva.

Računarske mreže izazivaju nove pravne probleme kada se ukrste sa starim zakonima. Primer za to je elektronsko kockanje. Računari već decenijama uspešno oponašaju različite stvari, pa zašto ne bi mogli da oponašaju automate za kockanje, rulet, bakaru i druge kockarske igre? Pa, odgovor je da je kocka na mnogim mestima

zabranjena. Problem je to što je kockanje na mnogim drugim mestima dozvoljeno (u Engleskoj, na primer), a tamošnji vlasnici kazina dobro su shvatili potencijal kockanja preko Interneta. Šta se događa ako se kockar, kazino i server nalaze u različitim državama, s različitim zakonima? Dobro pitanje.

1.2 MREŽNI HARDVER

Vreme je da našu pažnju sa primene i društvenih aspekata rada u mreži (slatkiš) prebacimo na tehničke aspekte projektovanja mreža (spanać). Ne postoji opšteprihvaćen sistem klasifikacije računarskih mreža, ali se ističu dva njihova najvažnija aspekta: tehnologija prenosa podataka i veličina. Posvetićemo se prvo jednom, pa drugom aspektu.

U načelu, postoje dva tipa najčešće korišćenih tehnologija za prenos podataka: veze za **neusmereno (difuzno) emitovanje** i veze **od tačke do tačke**.

Mreže „od tačke do tačke“ (engl. *point-to-point networks*) sadrže veze između pojedinih parova računara. Da bi na ovom tipu mreže stigle od polazišta do odredišta, kratke poruke, ponekad zvane **paketi** (engl. *packets*), možda moraju da prođu kroz jedan ili više drugih računara. Često postoji više putanja različite dužine, tako da je pronalaženje optimalne putanje važna stavka u mrežama tipa „od tačke do tačke“. Prenos poruka od tačke do tačke (od jednog pošiljaoca do jednog primaoca), često se naziva **jednosmerno emitovanje** (engl. *unicasting*).

Za razliku od prethodnog opisa, mreže s neusmerenim (difuznim) emitovanjem (engl. *broadcast networks*) imaju jedinstven komunikacioni kanal koji dele svi umreženi računari; pakete, koje emituje bilo koji računar, primaju svi ostali umreženi računari. Polje za adresu unutar svakog paketa određuje primaoca (računar kome je paket namenjen). Kada računar primi paket i utvrdi da je namenjen njemu, on ga obrađuje; ako utvrdi da je namenjen nekom drugom računaru, jednostavno ga zanemaruje.

Uobičajen primer veze s neusmerenim emitovanjem jeste bežična mreža, u kojoj je komunikacija zajednička za sve računare koji se nalaze u oblasti pokrivenoj emitovanim signalom. Veličina i oblik te oblasti menjaju se zavisno od bežičnog kanala i od računara koji emituje. Zamislimo, kao analogiju, nekoga ko je izišao u hodnik iz koga vode vrata u mnoge kancelarije i ko glasno viče: „Milane, dođi. Hoću odmah da te vidim.“ Iako je poruku primilo (čulo) mnogo osoba, samo Milan odgovara na nju (izlazi). Ostali je zanemaruju.

Sistemi za difuzno emitovanje najčešće imaju i mogućnost da paket istovremeno usmere na *sva* odredišta, pomoću specijalnog koda u adresnom polju. Kada se paket s takvim kodom emituje u mrežu, prima ga i obrađuje svaki umreženi računar. Opisani režim rada naziva se **neciljano (neusmereno, difuzno) emitovanje** (engl. *broadcasting*). Neki takvi sistemi podržavaju i usmeravanje paketa samo na određeni podskup računara, što se ponekad naziva **višesmerno emitovanje** (engl. *multicasting*).

Mreže se mogu klasifikovati i po veličini. Razdaljina je važno merilo za klasifikovanje mreža jer se za razne razdaljine koriste različite tehnologije.

Na slici 1-6, višeprocesorski sistemi svrstani su prema svojoj fizičkoj veličini. Na vrhu liste su lične mreže (engl. *personal area networks*), namenjene jednoj osobi. Izvan kategorije ličnih mreža nalaze se mreže većeg dometa. One se dele na lokalne, gradske i regionalne, redom po veličini. Konačno, spoj dve ili više mreža naziva se kombinovana mreža (engl. *internetwork*). Svakako najpoznatiji (ali ne i jedini) primer kombinovane mreže jeste globalni Internet. Uskoro ćemo imati još veće kombinovane mreže jer će postojati **međuplanetarni Internet** za povezivanje mreža u vasioni (Burleigh et al., 2003).

Razdaljina između sistema	Sistemi se nalaze	Primer
1 m	na istom kvadratnom metru	Lična mreža
10 m	u istoj prostoriji	Lokalna mreža
100 m	u istoj zgradi	
1 km	na istom organizacionom području	
10 km	u istom gradu	Gradska mreža
100 km	u istoj državi	Regionalna mreža
1000 km	na istom kontinentu	
10.000 km	na istoj planeti	Internet

Slika 1-6. Klasifikacija povezanih sistema prema veličini.

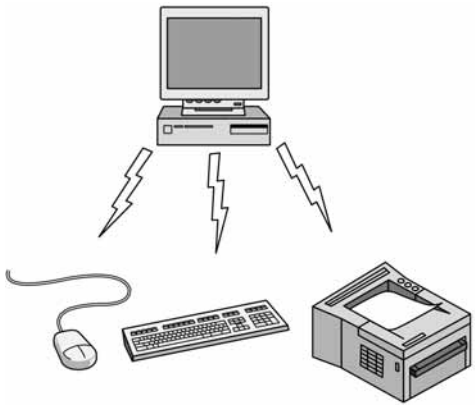
U ovoj knjizi bavićemo se mrežama svih veličina. U nastavku ukratko opisujemo mrežni hardver, redom po veličini.

1.2.1 Lične mreže

Lična mreža (engl. *Personal Area Network*, *PAN*) omogućuje uređajima da komuniciraju kada su udaljeni na dohvat ruke. Njen tipičan primer je bežična mreža koja povezuje računar i njegove periferne komponente. Skoro svaki računar ima monitor, tastaturu, miša i štampač. Ako ne bežično, veza tih komponenata s glavnom jedinicom mora biti izvedena pomoću kablova. Novi korisnici imaju toliko problema da uključe prave kablove u prave priključke (čak i kada su odgovarajući parovi označeni istom bojom), da većina prodavaca nudi da pošalje tehničara da to uradi. Zbog toga su se neke kompanije udružile i projektovale bežičnu mrežu kratkog dometa, zvanu **Bluetooth**, da bi sve te komponente povezali bez žica. Dakle, uređajima opremljenim Bluetoothom ne trebaju kablovi. Samo sve skupite na jedno mesto, uključite računar i sve radi! Mnogi smatraju da ih je ova tehnologija preporodila.

U svom najjednostavnijem obliku, Bluetooth mreže koriste obrazac nadređenog i podređenog uređaja, prikazan na slici 1-7. Sistemska jedinica je obično nadređena i

ona upravlja svojim podređenima: mišem, tastaturom itd. Ona im saopštava adrese koje treba da koriste, kada mogu da emituju neusmereno, koliko dugo sme da traje emitovanje, koje frekvencije da koriste itd.



Slika 1-7. Konfiguracija lične Bluetooth mreže.

Bluetooth se može upotrebiti i u drugim okruženjima. Često se koristi za bežično povezivanje slušalica s mobilnim telefonom. Čim digitalni plejer muzike unesete u kola, on se poveže sa zvučnicima u autu jer su ušli u njegov domet emitovanja. Potpuno drugačiju vrstu lične mreže čini u telo ugrađen medicinski aparat kao što je pejsmejker, insulinska pumpa ili slušni aparat, kada razgovara s daljinskim upravljačem u ruci korisnika. O sistemu Bluetooth govorićemo detaljnije u 4. poglavlju.

Lična mreža se može napraviti i pomoću drugih tehnologija za komunikaciju kratkog dometa, kao što je RFID identifikacija pametnih kartica i knjiga iz biblioteke (pomoću ugrađenog radio-odašiljača). Razmotrićemo RFID u 4. poglavlju.

1.2.2 Lokalne mreže

Sledeće po veličini su **lokalne mreže** (engl. *Local Area Networks, LAN*s). To su privatne mreže koje rade unutar i u okolini jedne zgrade, npr. porodične kuće, kancelarije ili fabričkog pogona. Mnogo se koriste za povezivanje ličnih računara i elektronike za široku potrošnju radi zajedničkog korišćenja resursa (npr. štampača) i razmene informacija. Lokalne mreže po preduzećima nazivamo **poslovne mreže**.

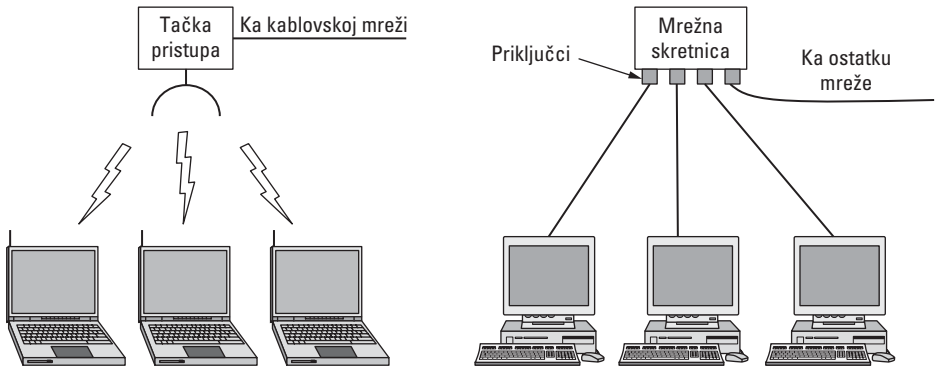
Danas su bežične lokalne mreže vrlo raširene, naročito po kućama, starijim poslovnim zgradama, kafićima i drugim mestima gde instaliranje kablova za Ethernet predstavlja suviše veliku teškoću. Sledeći korak u bežičnom umrežavanju jesu bežične lokalne mreže. To su sistemi u kojima svaki računar ima radio-modem i antenu pomoću kojih može da komunicira s drugim sistemima. Često na tavanici prostorije postoji antena s kojom računari mogu da komuniciraju, kao na slici 1-8(a). Taj uređaj se naziva **tačka pristupa** (Access Point, AP), **bežični usmerivač (ruter)** ili **bazna**

stanica. On prenosi pakete između bežičnih računara a takođe i između njih i Interneta. Biti tačka pristupa je kao biti popularan u školi, pošto svako hoće da priča s tobom. Međutim, ako su sistemi međusobno dovoljno blizu, oni mogu komunicirati i direktno između sebe u konfiguraciji ravnopravnih računara.

Za popularne bežične lokalne mreže (**WiFi**) kojih ima posvuda važi standard **IEEE 802.11**. One rade na brzinama od 11 do više stotina Mb/s. (U ovoj knjizi držaćemo se tradicije i izražavati brzinu prenosa u megabitima u sekundi (1 Mb/s je brzina od 1.000.000 bitova u sekundi) i gigabitima u sekundi (1 Gb/s iznosi 1.000.000.000 bitova u sekundi). Standard 802.11 (WiFi) razmatramo u 4. poglavlju.

U ožičenim lokalnim mrežama upotrebljava se više različitih tehnologija prenosa. U većini se upotrebljavaju bakarne žice, ali ponegde i optička vlakna. Lokalne mreže su ograničene veličine, što znači da je u njima vreme prenosa informacija u najgorem slučaju takođe ograničeno i unapred poznato. Poznavanje tih ograničenja pojednostavljuje projektovanje mrežnih protokola. Brzina prenosa u ožičenim lokalnim mrežama kreće se od 100 Mb/s do 1 Gb/s, kašnjenje je malo (meri se mikro ili nano sekundama), a greške retke. Novije lokalne mreže rade brzinama i do 10 Gb/s. U poređenju s bežičnim mrežama, sve performanse ožičenih lokalnih mreža su bolje. Naprosto je lakše poslati signal kroz žicu ili optičko vlakno nego kroz vazduh.

Mnoge ožičene lokalne mreže sačinjavaju veze od tačke do tačke. Daleko najčešći tip ožičene lokalne mreže je popularni **Ethernet**, napravljen po standardu IEEE 802.3. Na slici 1-8(b) prikazan je primer topologije **komutiranog Etherneta**. Svaki računar komunicira po Ethernet protokolu i priključuje se na kutiju zvanu **skretnica** (engl. *switch*), vezom od tačke do tačke. Odatle to ime. Skretnica ima više **priključaka**, na koje se može priključiti po jedan računar. Posao skretnice je da prenosi pakete između na nju priključenih računara. Ona koristi adresu u svakom paketu da bi odredila kojem računaru da ga pošalje.



Slika 1-8. Bežična i ožičena lokalna mreža. (a) 802.11 (b) Komutirani Ethernet.

Da bi se izgradile veće lokalne mreže, skretnice treba priključiti jednu na drugu koristeći njihove standardne priključke. Šta će se desiti ako ih priključimo u krug? Da li će mreža nastaviti da radi? Srećom, projektanti su unapred mislili o tome. Zadatak

protokola je da odredi putanje po kojima bi paketi trebalo bezbedno da stignu do željenog računara. Videćemo u 4. poglavlju kako to funkcioniše.

Takođe je moguće jednu veliku lokalnu fizičku mrežu podeliti na dve manje logičke mreže. Možda se pitate kakva bi korist bila od toga? Katkada prostorni raspored mrežne opreme ne odgovara strukturi preduzeća. Na primer, tehnički i finansijski sektor preduzeća mogu imati računare na istoj lokalnoj fizičkoj mreži pošto su u istom krilu zgrade, ali je sistemom lakše upravljati ako svaki od tih sektora ima svoju **virtuelnu logičku mrežu (VLAN)**. U takvoj mreži, svaki je priključak označen svojom „bojom", recimo zelenom za tehnički i crvenom za finansijski sektor. Skretnica prosleđuje pakete tako da su računari priključeni na zelene priključke odvojeni od računara priključenih na crvene priključke. Primera radi, neusmereno emitovani paketi poslati preko crvenog priključka, neće biti primljeni ni na jednom zelenom priključku, kao da se radi o dve različite (nepovezane) lokalne mreže. O virtuelnim logičkim mrežama govorimo na kraju 4. poglavlja.

Ima i ožičenih lokalnih mreža drugačijih topologija. U stvari, komutirani Ethernet je savremena verzija prvobitnog Etherneta, projektovanog da sve pakete emituje preko jednog linearnog kabla (magistrale). U jednom trenutku je najviše jedan računar bio „na vlasti" i u mogućnosti da emituje, a u slučaju da dva ili više računara istovremeno pošalju svoje zahteve da emituju, za razrešavanje tog sukoba primenjivao se distribuiran mehanizam odlučivanja. Njegov algoritam je jednostavan: računari na Ethernetu mogu da emituju kad god je kabl nezauzet. Ako se dva paketa sukobe (istovremeno izađu na kabl), svaki od računara koji su ih poslali pauzira tokom nasumično izabranog perioda, a onda pokušava ponovo da emituje. Tu verziju ćemo jasnoće radi nazivati **klasični Ethernet** i, kao što ste naslutili, o njemu ćete učiti u 4. poglavlju.

I bežične i ožičene mreže za neusmereno emitovanje mogu se dalje deliti na statičke i dinamičke, zavisno od toga kako se dodeljuje kanal. Pri statičkom dodeljivanju najčešće se vreme izdeli na kratke intervale, koji se redom dodeljuju svim računarima u cilju emitovanja. Statičkim dodeljivanjem kanal se koristi neefikasno jer računar često nema šta da emituje kada na njega dođe red, pa većina sistema kanal dodeljuje dinamički (na zahtev).

Metode dinamičkog dodeljivanja zajedničkog kanala mogu da budu centralizovane i decentralizovane. U metodi centralizovanog dodeljivanja postoji jedinstvena jedinica za odlučivanje (u mrežama podeljenim na ćelije to je bazna stanica), koja određuje redosled pristupanja računara magistrali. Ona to čini primajući više paketa i dajući im prioritet na osnovu određenog ugrađenog algoritma. U decentralizovanom dodeljivanju ne postoji jedinstvena jedinica za odlučivanje; svaki računar mora sam odlučiti da li će da emituje. Možda mislite da je to direktan put do haosa, ali nije tako. Kasnije ćemo proučiti više algoritama namenjenih uvođenju reda u ovaj prividan haos.

Vredi potrošiti još malo vremena na razmatranje lokalnih kućnih mreža. U budućnosti će svi uređaji u kući moći međusobno da komuniciraju, a svima će se moći pristupiti preko Interneta. Ovo je jedna od onih vizionarskih stvari za kojom nije postojala stvarna potreba (slično daljinskim TV upravljačima i mobilnim telefonima), ali kada se pojavila, svako se čudio kako je bez nje uopšte mogao da živi.

Mnogi uređaji se već mogu umrežiti. Među njima su računari, uređaji za razonodu poput televizora i DVD plejera, telefoni i ostala elektronika široke potrošnje kao što su foto-aparati, radio-časovnici, i infrastruktura kao razna brojila potrošnje i termostati. Ovaj trend može samo da se nastavi. Na primer, u prosečnoj kući verovatno ima desetak satova (računajući i one u raznim uređajima) i svi bi oni mogli automatski da pređu na zimsko/letnje računanje vremena da su na Internetu. Mnogo obećava daljinski nadzor kuća, pošto bi mnogi bili voljni da potroše nešto novca da svojim ostarelim roditeljima omoguće bezbedniji život u njihovoj kući.

Kućne mreže imaju neka fundamentalno drugačija svojstva od drugih tipova mreža. Na prvom mestu, mreža i uređaji moraju se lako instalirati. Od sve elektronike široke potrošnje, artikal koji kupci najviše vraćaju su bežični usmerivači (ruteri). Čovek ga kupi da bi u kući napravio bežičnu mrežu, utvrdi da ne radi „kada se izvadi iz kutije i uključi“ i vrati ga nazad, umesto da uživa u muzici na telefonskoj vezi čekajući na slobodnog radnika tehničke podrške.

Drugo, upravljanje radom mreže i uređaja mora da bude jednostavno i potpuno pouzdano. Raniji klima-uređaji imali su jedno dugme sa četiri položaja: ISKLJUČENO, SLABO, SREDNJE, JAKO. Danas se uređaji isporučuju s priručnicima od tridesetak stranica. Kada budu umreženi, očekujte da će toliko stranica imati samo poglavlje sa uputstvima o bezbednom rukovanju. Takvo nešto prevazilazi strpljenje većine korisnika. Korisnici računara su navikli da se bore s proizvodima koji ne rade kako bi trebalo; kupci automobila, televizora i frižidera mnogo su manje tolerantni. Oni očekuju da proizvod odmah radi 100% ispravno.

Treće, za uspeh je neophodno da cena bude niska. Ljudi neće plaćati dodatnih 50 dolara za Internet termostat, zato što ih je malo koji pridaju toliku važnost nadgledanju temperature u svom stanu dok su na poslu. S druge strane, ako treba doplatiti samo 5 dolara, možda će se zainteresovati.

Četvrto, sistem mora da omogući počinjanje s jednim do dva povezana uređaja, i naknadno postupno širenje mreže. To znači da ne sme doći do sukobljavanja formata. Reći danas mušterijama da kupe periferijske uređaje sa interfejsima po standardu IEEE 1394 (FireWire), a par godina kasnije reklamirati interfejs USB 2.0, potom preći na 802.11g – opa, ne, prepravite to u 802.11n – mislim 802.16 (različite bežične mreže) – učiniće da potrošači postanu veoma nepoverljivi. Mrežni interfejs ne sme da se menja tokom više decenija, kao standardi za emitovanje televizije.

Peto, poseban značaj imaće bezbednost i pouzdanost u radu. Izgubiti zbog virusa jednu ili dve poruke e-pošte baš i nije strašno, ali ako provalnik pomoću svog laptopa onesposobi vaš alarmni sistem i potom vam isprazni kuću, to je nešto sasvim drugo.

Zanimljivo pitanje je da li kućne mreže treba da budu izvedene kablovima ili da budu bežične. Troškovi i komfor diktiraju upotrebu bežičnih mreža, dok bezbednost leži na strani ožičenih. Problem s bežičnim prenosom leži u tome što radio-talasi koji se za njega koriste prilično dobro prolaze kroz zidove. Mnogi se pribojavaju da komšija može neovlašćeno da koristi njihov priključak na Internet ili da špijunira njihovu e-poštu dok se bežičnim putem šalje štampaču. U 8. poglavlju ćemo govoriti o tome kako se bezbednost može poboljšati šifrovanjem, ali u okviru kućnih mreža ona mora da bude stoprocentna, čak i kod neiskusnih korisnika. To je lakše reći nego uraditi, čak i kada korisnici imaju veliko iskustvo.

Treća mogućnost koja bi mogla biti primamljiva jeste nova upotreba postojećih kućnih mreža. Očigledan kandidat bile bi električne žice instalirane po kući. **Mreže elektro-energetskih vodova** omogućuju uređajima utaknutim u zidne utičnice da emituju informacije po celoj kući. TV se i tako mora utaknuti, a na ovaj način bi istovremeno dobio mogućnost povezivanja sa Internetom. Nije lako istovremeno prenositi i energiju i signale podataka, ali se za to koriste različiti opsezi frekvencija.

Ukratko, kućno umrežavanje nudi velike mogućnosti, ali se i suočava s mnogim izazovima. Većina njih proističe iz potrebe za lakim rukovanjem, pouzdanošću i bezbednošću takvih sistema, naročito u rukama korisnika koji nemaju tehničkih znanja, kao i iz potrebe da im cena bude niska.

1.2.3 Gradske mreže

Gradska mreža (engl. *Metropolitan Area Network, MAN*), kako joj i ime kaže, pokriva gradsko područje. Najpoznatija takva mreža je mreža kablovske televizije, koja postoji u mnogim gradovima. Taj sistem je izrastao iz ranijeg sistema televizije sa zajedničkom antenom u područjima u kojima je postojao loš vazdušni prijem signala. U takvim sistemima, velika zajednička antena postavljana je na vrh obližnjeg uzvišenja, odakle je signal kablovima razvođen po kućama pretplatnika.

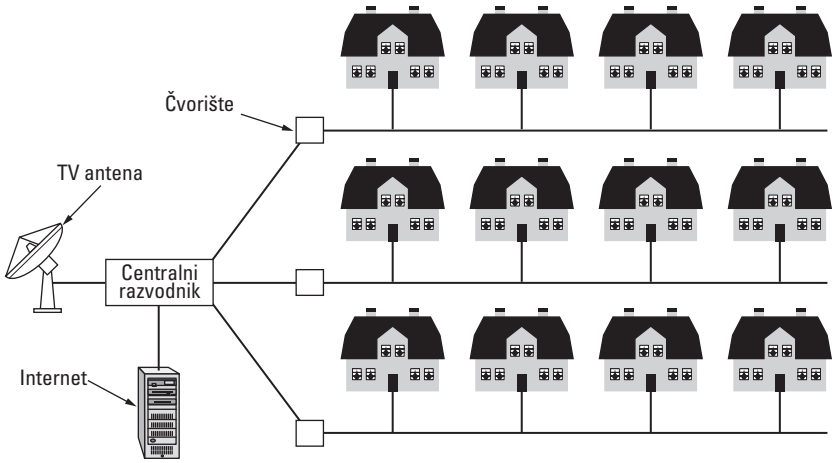
Na početku su to bili lokalni ad hoc sistemi, a zatim su kompanije uskočile u posao sklapajući ugovore s gradskim vladama za ožičenje čitavog gradskog područja. Posle toga je došlo programiranje TV kanala, pri čemu su mnogi kanali bili predviđeni isključivo za kablovsku televiziju. Oni su često bili specijalizovani, tj. samo za: vesti, sport, kuvanje, baštovanstvo itd., ali u periodu od njihovog nastanka do kasnih devedesetih godina koristili su se isključivo za prijem TV programa.

Kako je Internet počeo da zaokuplja svetsku javnost, operateri kablovske televizije su shvatili da malim izmenama u sistemu mogu da obezbede i dvosmerne Internet usluge u nekorišćenim delovima frekventnog područja. U tom trenutku, sistem kablovske televizije počeo je da se pretvara iz specijalizovane TV usluge u pravu gradsku mrežu. U svojoj najjednostavnijoj varijanti, MAN mreža može da se prikaže šemom sa slike 1-9. Tu vidimo da se i TV signal i Internet dovode do **kablovskog centralnog razdvodnika (pojačavača)** (engl. *head end*), odakle se dalje distribuiraju do kuća korisnika. Ovoj temi ćemo se detaljnije vratiti u 2. poglavlju.

Kablovska televizija nije jedina gradska mreža. Nedavni razvoj visokobrzinskog bežičnog pristupa Internetu rezultovao je drugom vrstom gradske mreže, koja je standardizovana pod oznakom IEEE 802.16, a svi je znaju pod imenom **WiMAX**. Vratićemo se na nju u 4. poglavlju.

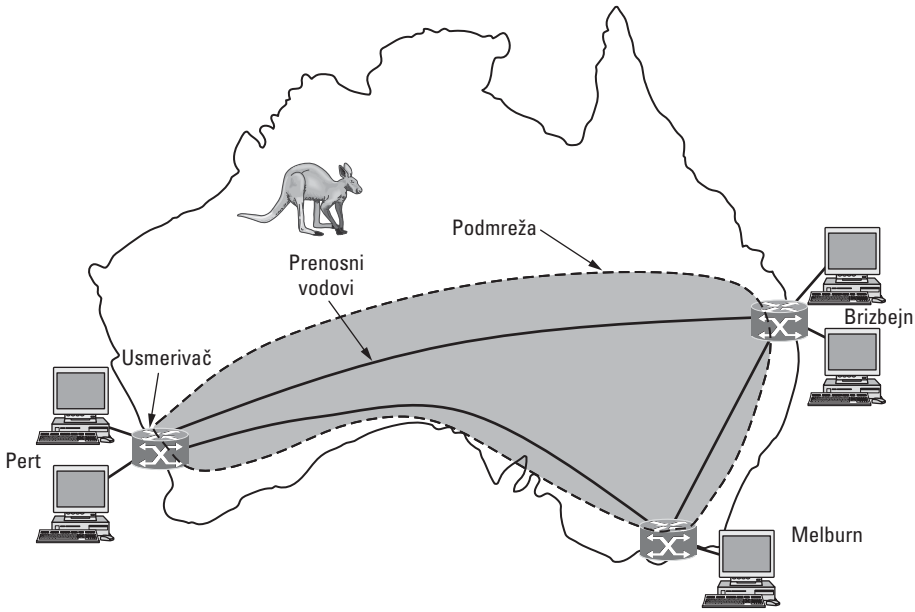
1.2.4 Regionalne mreže

Mreža širokog područja ili **regionalna mreža** (engl. *Wide Area Network, WAN*) pokriva veliko geografsko područje, često čitavu državu ili čak kontinent. Počećemo od ožičenih regionalnih mreža i za primer uzeti kompaniju sa ograncima u više gradova.



Slika 1-9. Gradska mreža zasnovana na sistemu kablovske televizije.

WAN prikazan na slici 1-10 je mreža koja povezuje kancelarije u gradovima Pert, Melburn i Brizbejn. Svaka od njih sadrži računare namenjene za izvršavanje korisničkih programa (aplikacija). Uobičajeno ime za ove računare je **umreženi računari** (engl. *hosts*). Ostatak mreže koji povezuje umrežene računare nazivamo **komunikacionom podmrežom** ili kratko, **podmrežom** (engl. *subnet*). Zadatak podmreže je da prenosi poruke od jednog do drugog umreženog računara, kao što telefonski sistem prenosi reči (zapravo samo zvukove) od govornika do slušaoca.



Slika 1-10. WAN koji povezuje tri filijale u Australiji.

U većini regionalnih mreža, podmreža se sastoji od dve jasno razgraničene komponente: prenosnih vodova i komutatorskih elemenata. **Prenosni vodovi** (engl. *transmission lines*) propuštaju bitove od jednog računara ka drugom. Oni mogu biti od bakarne žice, optičkog vlakna ili radio-veza. Većina kompanija nema svoje prenosne vodove, nego ih iznajmljuje od nekog telekoma. **Komutatorski elementi** (engl. *switching elements*) ili kratko **komutatori**, specijalizovani su računari koji spajaju tri i više vodova prenosa. Kada podaci stignu jednim vodom, komutatorski element mora da odluči kojim vodom da ih dalje uputi. Ovi komutatorski računari u prošlosti su različito nazivani, ali se danas za njih ustalio naziv **usmerivači** (engl. *routers*). Iako naziv usmerivač jasno ukazuje na funkciju ovakvih računara, oni se u našem računarskom žargonu obično nazivaju ruteri.

Na ovom mestu treba da prokomentarišemo izraz „podmreža“. Prvobitno, podmreža je označavala **isključivo** skup usmerivača i komunikacionih vodova za prenošenje paketa od polaznog do odredišnog računara. Nešto kasnije, izraz je dobio i drugo značenje u vezi s mrežnim adresiranjem. O njemu ćemo govoriti u 5. poglavlju, a dotle ćemo se pridržavati prvobitnog značenja (skup usmerivača i vodova, bez umreženih računara).

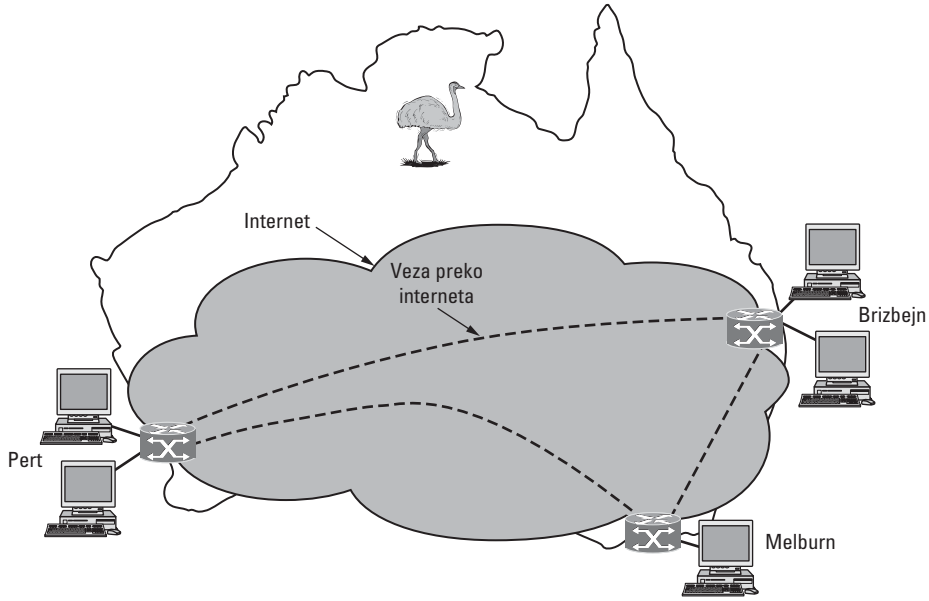
U opisanom modelu, regionalna mreža liči na veliku ožičenu lokalnu mrežu, ali razlike među njima su veće od puke dužine žice. Umreženi računari i podmreža po pravilu ne pripadaju istim preduzećima. U našem primeru, za računare su odgovorni njihovi korisnici (to su njihovi lični računari), dok je za ostatak mreže nadležan informatički odsek kompanije. U narednim primerima imaćemo jasnije razgraničenje, jer će tamo komunikaciona podmreža najčešće biti vlasništvo telefonske kompanije ili davaoca Internet usluga, koji je i održavaju. Razdvajanje čisto komunikacione uloge mreže (podmreža) od aplikativnog aspekta (računari) umnogome uprošćava projektovanje mreže.

Druga razlika je to što usmerivači obično povezuju različite vrste mreža. Na primer, mreže po kancelarijama su najčešće komutirani Ethernet, a prenosni dalekovodi možda SONET veze (koje će biti obrađene u 2. poglavlju). Nešto treba da ih poveže. Pažljiv čitalac je primetio da smo time prekoračili našu definiciju mreže. To znači da su mnoge regionalne mreže zapravo **kombinovane mreže**, to jest složene mreže koje se sastoje od više mreža. O kombinovanim mrežama će još biti reči u narednom odeljku.

Poslednja razlika je u tome šta je povezano na podmrežu. To mogu biti pojedinačni računari, kao što je bio slučaj u lokalnim mrežama, iako je najčešće svaki umreženi računar deo lokalne mreže povezane preko usmerivača. Upravo tako se od manjih mreža prave veće. Što se tiče podmreže, njen posao je u oba slučaja isti.

Sada smo u prilici da razmotrimo druge dve varijante regionalnih mreža. Prvo, preduzeće bi svoje kancelarije moglo da poveže na Internet umesto da za to iznajmljuje namenske prenosne vodove. Tada se povezivanje kancelarija ostvaruje virtuelnom vezom koja koristi kapacitete Interneta. Takav aranžman se naziva **virtuelna privatna mreža (VPN)** i prikazan je na slici 1-11. U poređenju s namenskim vodom, VPN ima uobičajene prednosti virtuelizacije, tj. korišćenje resursa (mogućnosti povezivanja putem Interneta) prilagodljivo je potrebama. Da biste se uverili u to, razmotrite samo kako je lako toj regionalnoj mreži dodati četvrtu kancelariju. VPN takođe ima uobičajene mane virtuelizacije, a to je nedostatak kontrole nad upotrebljenim resursima.

Kapacitet namenskog iznajmljenog voda se zna, dok se kvalitet VPN-a menja zavisno od davaoca Internet usluga i od doba dana, tj. opterećenja.

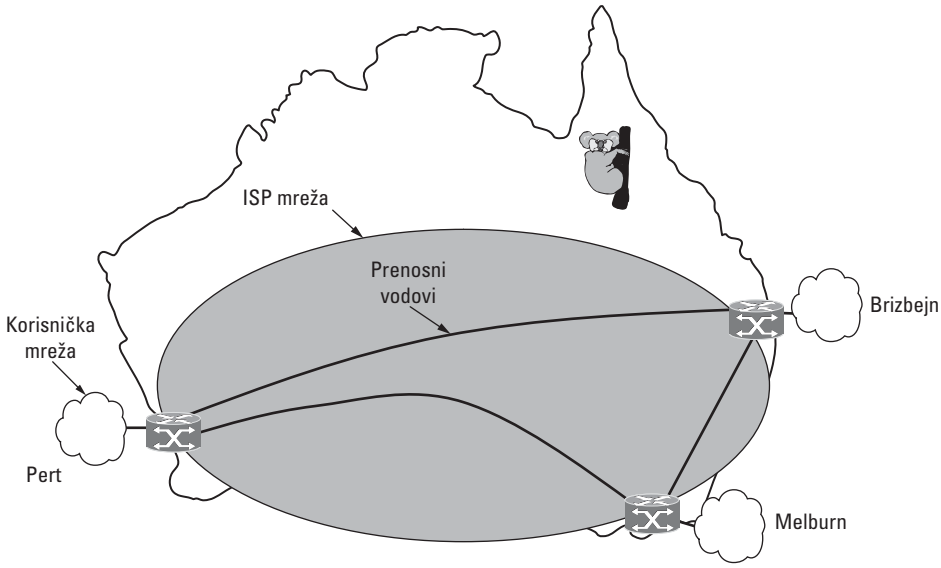


Slika 1-11. Regionalna mreža posredstvom virtuelne privatne mreže.

Druga varijanta je kada podmrežom upravlja druga kompanija. Operatera podmreže nazivamo **davalac mrežnih usluga** i kancelarije su njegove mušterije. Ta struktura je prikazana na slici 1-12. Operater podmreže se povezuje i s raznim drugim mušterijama ukoliko one mogu da plate a on može da im pruži uslugu. Pošto bi to bila jadna mrežna usluga ukoliko bi mušterije mogle da šalju pakete samo jedni drugima, operater podmreže se povezuje i s raznim drugim mrežama koje su deo Interneta. Takvog operatera podmreže nazivamo **davalac Internet usluga (ISP),** a njegova podmreža je **ISP mreža**. Njene mušterije dobijaju Internet usluge kada se povežu sa svojim ISP-om („provajderom“).

Upotrebićemo ISP mrežu za upoznavanje s nekim ključnim pitanjima koje ćemo proučavati u narednim poglavljima. Većina regionalnih mreža ima mnogo prenosnih vodova od kojih svaki povezuje dva usmerivača. Ako dva usmerivača koji nisu povezani istim prenosnim vodom žele da komuniciraju, moraju to da urade posredno, preko drugih usmerivača.

U mreži može postojati više putanja koje povezuju ta dva usmerivača. Mreža tu odluku donosi na osnovu ugrađenog **algoritma za usmeravanje** (engl. *routing algorithm*). Postoje mnogi takvi algoritmi. **Algoritam za prosleđivanje** (engl. *forwarding algorithm*) jeste način na koji usmerivač odlučuje kuda da pošalje sledeći paket. I tih algoritama ima mnogo. Podrobno ćemo proučiti po nekoliko algoritama od obe vrste u 5. poglavlju.



Slika 1-12. Regionalna mreža posredstvom ISP mreže.

Druge vrste regionalnih mreža mnogo upotrebljavaju bežične tehnologije. U satelitskim sistemima, svaki usmerivač je snabdeven primopredajnom antenom. Svi usmerivači mogu da uhvate signal *sa* satelita, a u nekim slučajevima mogu da čuju i emitovanje okolnih usmerivača *ka* satelitu. Satelitske mreže po svojoj prirodi emituju neusmereno i najkorisnije su kada je za mrežu važno to svojstvo.

Još jedan primer regionalne mreže koja upotrebljava bežičnu tehnologiju jesu telefonske mreže podeljene na ćelije. Taj sistem je već doživeo tri generacije a i četvrta je na pomolu. Prva generacija je bila analogna i samo za prenos govora. Druga generacija je bila digitalna, ali je i i ona prenosila samo govor. Treća generacija je takođe digitalna, ali prenosi i govor i podatke. Svaka ćelijska bazna stanica pokriva udaljenost mnogo veću od bežične lokalne mreže i domet joj se meri kilometrima, umesto desetinama metara. Bazne stanice su međusobno povezane mrežnom okosnicom (engl. *backbone*), koja je obično ožičena. Sistemi mobilne telefonije rade brzinom reda veličine 1 Mb/s, što je mnogo manje od bežičnih lokalnih mreža čije su brzine reda veličine 100 Mb/s. Imaćemo štošta da kažemo o ovim mrežama u 2. poglavlju.

1.2.5 Kombinovane mreže

Širom sveta postoje mnoge mreže, sastavljene od različitih hardverskih i softverskih komponenata. Osobe povezane u jednu mrežu često žele da ostvare komunikaciju sa osobama koje su povezane u neku drugu mrežu. Za ispunjenje ove želje potrebno je da se različite, često nekompatibilne mreže međusobno povežu. Skup međusobno povezanih mreža naziva se **kombinovana mreža** ili **međumreža**. Ti engleski izrazi se koriste u opštem smislu, za razliku od globalnog Interneta (koji je

samo jedna posebna međumreža). Internet upotrebljava ISP mreže za povezivanje poslovnih mreža, kućnih mreža i mnogih drugih mreža. U narednom delu knjige razmotrićemo Internet veoma podrobno.

Pojmovi podmreže, mreže i međumreže često se mešaju. Podmreža ima najviše smisla unutar regionalne mreže, gde se odnosi na skup usmerivača i komunikacionih vodova u vlasništvu operatera mreže. Analogni primer je telefonski sistem koji se sastoji od više centrala međusobno povezanih brzim vodovima, a s pojedinačnim korisnicima preko sporih vodova. Podmrežu telefonskog sistema predstavljaju ovi vodovi i oprema, koje poseduje i održava telefonska kompanija. Sami telefonski aparati (analogno umreženim računarima) nisu deo podmreže.

Mrežu obrazuje kombinacija podmreže i njenih umreženih računara. Međutim, reč „mreža“ se često upotrebljava i u širokom smislu. Podmreža može biti opisana kao mreža, recimo u slučaju „ISP mreže“ na slici 1-12. I kombinovana mreža može biti opisana kao mreža, recimo u slučaju regionalne mreže na slici 1-10. I mi ćemo tako raditi i kada budemo ukazivali na razliku između određene mreže i nekih drugih aranžmana, pridržavaćemo se naše prvobitne definicije da je mreža skup računara međusobno povezanih korišćenjem iste tehnologije.

Recimo nešto više o tome šta čini međumrežu. Međumreža se obrazuje kada se međusobno povežu jasno razgraničene mreže. Smatraćemo da međumreža nastaje kada se povežu LAN i WAN ili kada se povežu dva LAN-a, premda u ovom pogledu postoje mnoga terminološka neslaganja. U slučaju kada više organizacija investira u izgradnju različitih delova mreže i svaka održava svoj deo, iskustveno pravilo kaže da je to međumreža, a ne jedinstvena mreža. Isto tako, ako se u različitim delovima mreže koriste različite tehnologije (npr. difuzno emitovanje i prenos od tačke do tačke ili ožičena u odnosu na bežičnu), verovatno se ne radi o jednoj, već o više međusobno povezanih mreža.

Da bismo zašli dublje, recimo nešto o tome kako se dve različite mreže mogu povezati. Uopšteno ime za mašinu koja fizički povezuje i istovremeno usaglašava različite hardverske i softverske komponente dve mreže jeste **mrežni prolaz** (engl. *gateway*). Mrežni prolazi se razlikuju po sloju u hijerarhiji protokola u kojem rade. Počev od narednog odeljka imaćemo mnogo više toga da kažemo o slojevima i hijerarhiji protokola, ali za sada zamislite da su viši slojevi više vezani za aplikacije kao što je veb, a niži za prenosni sloj kao što je Ethernet.

Pošto je korist od međumreže u povezivanju računara u raznim mrežama, nećemo upotrebiti mrežni prolaz preniskog nivoa da ne bismo izgubili mogućnost povezivanja računara u različitim vrstama mreža. Takođe nećemo upotrebiti mrežni prolaz previsokog nivoa, da veza ne bi radila samo za određene aplikacije. Srednji nivo koji „taman odgovara“ često se naziva mrežni sloj, i usmerivač je mrežni prolaz koji komutira pakete u mrežnom sloju. Odsad prepoznajemo međumrežu po mreži koja ima usmerivače.

1.3 MREŽNI SOFTVER

U projektima prvih računarskih mreža hardver je imao glavnu ulogu a softver sporednu. Takva strategija više ne prolazi. Struktura današnjeg mrežnog softvera veoma je složena. U narednim odeljcima bavićemo se detaljnije tehnikama strukturiranja softvera. Metoda koju opisujemo predstavlja kamen temeljac čitave ove knjige i često ćemo se na nju vraćati.

1.3.1 Hijerarhije protokola

Da bi projektovanje bilo jednostavnije, mreže se većinom organizuju kao skup **slojeva** (engl. *layers*) ili **nivoa** (engl. *levels*) sagrađenih jedan povrh drugog. Broj slojeva, njihova imena, sadržaj i funkcija razlikuju se od mreže do mreže. Svaki sloj nudi određene usluge višim slojevima, ne opterećujući ih detaljima njihove realizacije. Svaki sloj je u izvesnom smislu virtuelna mašina koja nudi određene usluge sloju iznad sebe.

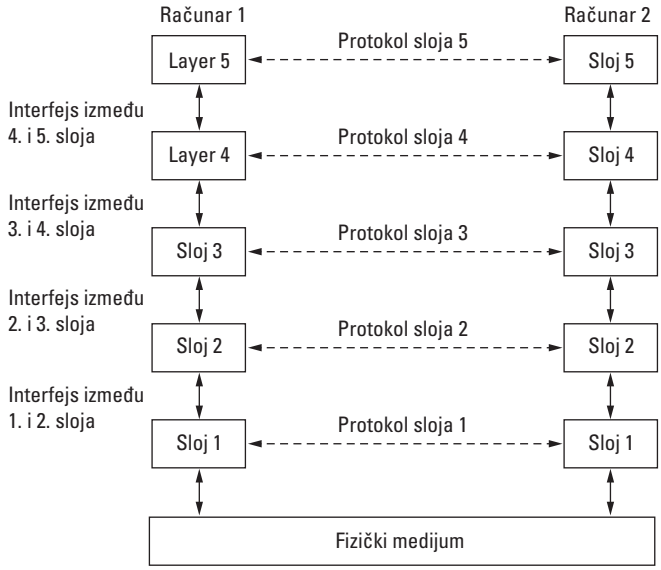
Ovaj koncept je već poznat u računarskim naukama, gde se različito naziva: skrivanje informacija, apstraktni tipovi podataka, kapsuliranje podataka i objektno orijentisano programiranje. Osnovna ideja je da određena softverska (ili hardverska) komponenta obezbedi usluge svojim korisnicima, a da od njih sakrije detalje svog unutrašnjeg stanja i primenjenih algoritama.

Sloj *n* na jednom računaru komunicira sa slojem *n* na drugom računaru. Pravila i konvencije koji se koriste u tom komuniciranju poznati su pod zajedničkim imenom protokol sloja *n*. U osnovi, **protokol** (engl. *protocol*) predstavlja dogovor između dve jedinke o tome kako treba da teče njihova međusobna komunikacija. Na primer, kada se žena predstavlja muškarcu, ona može da pruži ruku. On, potom, može da tu ruku prihvati i stegne ili da je poljubi, zavisno od toga da li je ona američka poslovna žena na nekom profesionalnom skupu ili evropska princeza na zvaničnom balu. Narušavanje protokola otežaće komuniciranje, čak ga i onemogućiti.

Na slici 1-13 prikazana je mreža s pet slojeva. Za elemente odgovarajućih slojeva na različitim računarima kaže se da su **ravnopravni** (engl. *peers*). Ravnopravni elementi mogu da budu procesi, hardverski uređaji, čak i ljudi. Drugim rečima, protokolarno komuniciranje se odvija između ravnopravnih strana.

U stvarnosti, nikada se podaci ne prenose direktno od sloja *n* na jednom računaru ka sloju *n* na drugom računaru, već svaki sloj prosleđuje podatke i upravljačke informacije sloju neposredno ispod sebe, sve dok se ne dostigne najniži sloj. Ispod sloja 1 je **fizički medijum** (engl. *physical medium*) kroz koji se stvarno odvija komunikacija. Tokovi prividne komunikacije označeni su na slici 1-13 tačkastim linijama, a stvarna komunikacija punim.

Između svaka dva susedna sloja nalazi se **interfejs** (engl. *interface*). Interfejs određuje osnovne operacije i usluge koje donji sloj nudi gornjem. Kada projektanti odlučuju o broju slojeva u mreži i njihovoj funkciji, najvažnije je da definišu jasne interfejse između slojeva. Da bi se to postiglo, svaki sloj mora da izvršava određen skup



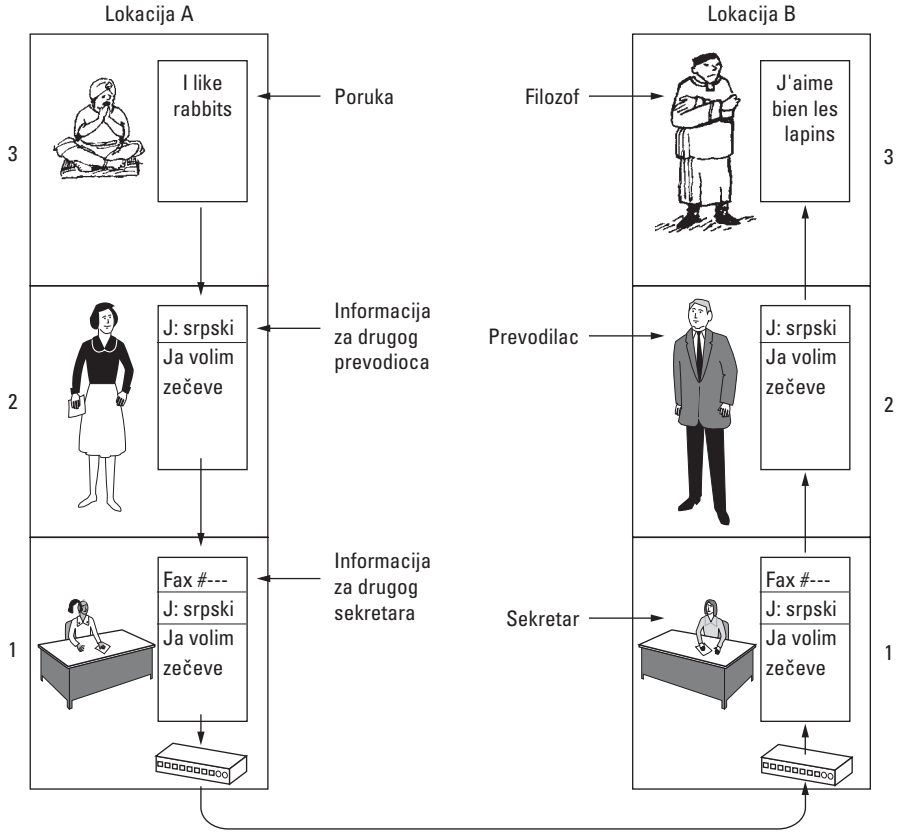
Slika 1-13. Slojevi, protokoli i interfejsi.

funkcija s tačno definisanom namenom. Osim što smanjuje količinu podataka koja se mora prosleđivati između slojeva, precizno definisan interfejs olakšava i izmenu konstrukcije slojeva (na primer, u slučaju kada se svi telefonski vodovi zamene satelitskim kanalima), jer se od nove verzije sloja zahteva samo da sloju iznad sebe ponudi isti skup usluga kao i ranije. Uobičajeno je da razni umreženi računari koriste različite realizacije istog protokola (često napisane od strane različitih kompanija). U stvari, i sam protokol nekog sloja može biti promenjen a da to slojevi iznad i ispod njega uopšte ne primete.

Skup slojeva i protokola naziva se zajedničkim imenom **arhitektura mreže** (engl. *network architecture*). Specifikacija arhitekture mora da sadrži dovoljno informacija kako bi realizator mogao da za svaki sloj napiše program ili projektuje hardver koji će slediti pravila odgovarajućeg protokola. Ni detalji realizacije ni specifikacija interfejsa nisu deo arhitekture jer se ne vide spolja – oni su skriveni u računarima. Čak nije neophodno da interfejsi na svim umreženim računarima budu isti, pod uslovom da svaki računar ispravno koristi sve protokole. Lista protokola koju koristi određeni sistem (jedan protokol po sloju), naziva se **skup protokola** (engl. *protocol stack*). Elementi arhitekture mreže, skupovi protokola i sami protokoli predstavljaju glavne teme ove knjige.

Daćemo jednu analogiju koja će vam pomoći da bolje razumete koncept komuniciranja između slojeva. Zamislite dva filozofa (ravnopravni procesi u sloju 3) – jednog koji govori urdu (zvanični jezik Pakistana, prim. prev.) i engleski, i drugog koji govori kineski i francuski. Pošto nijedan od pobrojanih jezika ne poznaju obojica, svaki od njih angažuje prevodioca (ravnopravni procesi u sloju 2), a svaki prevodilac

angažuje sekretara (ravnopravni procesi u sloju 1). Prvi filozof želi da kolegi prenese svoja osećanja prema vrsti *oryctolagus cuniculus* (zečevima). U tom cilju, on poruku (na engleskom), „I like rabbits“, prosleđuje prevodiocu kroz interfejs 2/3, kao što je prikazano na slici 1-14. Prevodioci su se dogovorili da koriste jezik koji obojica znaju, srpski, pa poruka postaje „Ja volim zečeve“. Izbor zajedničkog jezika zavisi od protokola i ravnopravnih procesa u sloju 2.

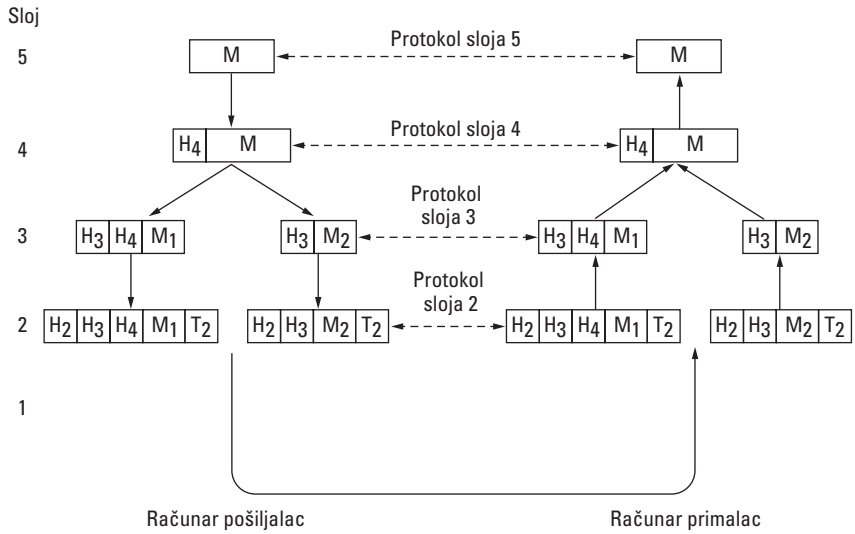


Slika 1-14. Filozofsko-prevodilačko-sekretarska arhitektura.

Prevodilac zatim poruku daje sekretaru da je pošalje, na primer, faksom (protokol sloja 1). Kada poruka stigne na odredište, ona se pevodi na francuski i kroz interfejs 2/3 prosleđuje drugom filozofu. Obratite pažnju na to da su protokoli potpuno nezavisni jedan od drugog sve dok se interfejsi ne izmene. Prevodioci mogu da sa srpskog jezika pređu na finski, pod uslovom da se oko toga slože, i nijedan od njih neće time izmeniti svoje interfejse pema slojevima 1 i 3. Slično tome, sekretari umesto faksom, poruku mogu da razmene elektronskom poštom ili telefonom, a da time ne poremete druge slojeve; čak ih ne moraju ni obavestiti o tome. Svaki proces može poruci da

priključi dodatne podatke namenjene isključivo „kolegi“ (ravnopravnom procesu na drugom računaru). Ti podaci se ne prosleđuju gornjem sloju.

Razmotrimo sada jedan „tehničkiji“ primer: kako obezbediti komuniciranje između najviših slojeva petoslojne mreže sa slike 1-15. Poruka M koju generiše proces aplikacije u sloju 5, prenosi se u sloj 4 za slanje. Sloj 4 ispred poruke postavlja identifikaciono **zaglavlje** (engl. *header*) i sve zajedno prosleđuje sloju 3. Zaglavlje sadrži upravljačke podatke, npr. redne brojeve koji omogućavaju sloju 4 na drugom računaru da poruke isporuči ispravnim redosledom, za slučaj da niži slojevi taj redosled ne poštuju. U nekim slojevima, zaglavlja mogu da sadrže i veličine, vremena i druga polja.



Slika 1-15. Primer toka podataka u virtuelnoj komunikaciji između slojeva 5.

U mnogim mrežama nije ograničena veličina poruke koja se može preneti protokolom sloja 4, ali takvo ograničenje skoro uvek postoji u protokolu sloja 3. Zbog toga sloj 3 mora da izdeli dolazne poruke na manje jedinice – pakete – i da svakom paketu doda zaglavlje (engl. *header*) sloja 3. U našem primeru, M se deli na dve jedinice, M1 i M2, koje će biti preneseni zasebno.

Sloj 3 bira izlazni vod za slanje i prosleđuje pakete sloju 2. Sloj 2 svakom paketu dodaje ne samo zaglavlje, već i završni blok (engl. *trailer*) i sve zajedno prosleđuje sloju 1 za stvarno (fizičko) slanje. Na računaru koji poruku primi, ona se kreće uzlazno od jednog do drugog sloja, pri čemu se u svakom sloju s nje uklanja odgovarajuće zaglavlje. Nijedno zaglavlje slojeva ispod sloja *n* ne dolazi do tog sloja.

Na slici 1-15 važno je zapaziti razliku između virtuelne i stvarne komunikacije, kao i razliku između protokola i interfejsa. Ravnopravni procesi u sloju 4, na primer, ponašaju se kao da međusobno komuniciraju „horizontalno“, pomoću protokola sloja 4. Svaki od njih najverovatnije ima neke procedure tipa *PošaljiDrugomRačunaru* i

PreuzmiSaDrugogRačunara, iako te procedure u stvari komuniciraju s nižim slojevima preko interfejsa 3/4, a ne direktno s drugim računarom.

Pojam apstraktnih ravnopravnih procesa igra ključnu ulogu u projektima svih mreža. Pomoću njega se nesavladiv posao projektovanja celokupne mreže može razbiti na više manjih, manipulativnijih projektnih zadataka, tj. na projektovanje pojedinačnih slojeva.

Iako je naslov odeljka 1.3 „Mrežni softver“, treba naglasiti da se niži slojevi hijerarhije protokola često realizuju hardverski ili u obliku softversko-hardverskog upravljačkog sklopa (firmvera). Bez obzira na to što oni delom ili u celini mogu biti realizovani hardverski, za protokole se koriste složeni algoritmi.

1.3.2 Problematika projektovanja slojeva

Neke od glavnih stavki u projektovanju računarskih mreža zajedničke su za više slojeva. U nastavku ćemo ukratko razmotriti najvažnije.

Pouzdano radi ona mreža koja radi ispravno mada je sastavljena od komponenata koje su svaka za sebe nepouzdane. Pomislite na bitove paketa koji putuje kroz mrežu. Postoji verovatnoća da će neki od tih bitova biti primljeni oštećeni (invertovani) zbog šuma u električnoj mreži, nasumično prispelih bežičnih signala, hardverskih nedostataka, softverskih grešaka itd. Kako da pronalazimo i ispravljamo te greške?

U jednom od mehanizama za pronalaženje grešaka u primljenoj informaciji koriste se kodovi za **otkrivanje grešaka**. Neispravno primljene informacije potom se mogu ponovo i ponovo emitovati sve dok ne budu ispravno primljene. Moćniji kodovi omogućuju i **ispravljanje grešaka**, tj. izvlačenje ispravne poruke iz potencijalno neispravnih bitova koji su prvobitno bili primljeni. Poruci u užem smislu reči oba mehanizma dodaju redundantne bitove. U niskim slojevima upotrebljavaju se za zaštitu paketa poslatih preko pojedinačnih veza, a u visokim slojevima za proveru da li je primljeni sadržaj ispravan.

Još jedan problem pouzdanosti jeste pronaći putanju koja radi. Između pošiljaoca i primaoca često ima više putanja, a u velikoj mreži gotovo uvek se nađe neka veza ili usmerivač koji ne rade. Pretpostavimo da mreža u Nemačkoj ne radi. Podaci poslati iz Londona u Rim preko Nemačke neće stići, ali mogli bismo ih poslati preko Francuske. Takve odluke mreža bi trebalo da donosi automatski i to se naziva **usmeravanje** (engl. *routing*).

Drugi projektantski problem odnosi se na evoluciju mreža. Mreže rastu. S vremenom se pojavljuju nove mrežne tehnologije koje treba povezati s postojećom mrežom. Nedavno smo rekli da je, za podršku promenama, ključni mehanizam izgradnje podela posla na više nivoa uz skrivanje pojedinosti njihove realizacije, tj. primena različitih protokola u raznim slojevima (engl. *protocol layering*). Ima i mnogo drugih strategija.

Pošto se mreža obično sastoji od više računara, svaki sloj mora imati mehanizam za raspoznavanje pošiljalaca i primalaca poruka. Taj mehanizam se naziva **adresiranje** (engl. *addressing*) u niskim, odnosno **imenovanje** (engl. *naming*) u višim slojevima.

Jedan aspekat rasta je da razne mrežne tehnologije često imaju različita ograničenja. Na primer, ne održavaju svi komunikacioni kanali redosled poruka koje se kroz njih šalju. Rešenje koje se nameće jeste numerisanje paketa. Još jedan problem koji je zajednički mnogim slojevima proizlazi iz različitosti maksimalne dužine poruke koju su razne mreže u stanju da prenesu. Zbog toga postoje mehanizmi rastavljanja, prenošenja i ponovnog sastavljanja poruka. Ova tematika spada u **kombinovanje mreža** (engl. *internetworking*).

Novi problemi nastaju kada mreže mnogo narastu. U gradovima se lako izgubiti, u njima često dolazi do saobraćajnih gužvi i nestašice telefonskih brojeva. Mnogi te probleme nisu iskusili u svom kraju, ali gradu kao celini oni umeju mnogo da zasmetaju. Za mreže koje nastavljaju dobro da rade i kada mnogo narastu kaže se da su **promenljive veličine** ili **skalabilne** (engl. *scalable*).

Treći skup odluka pri projektovanju odnosi se na dodelu resursa. Umreženim računarima mreže pružaju usluge koristeći svoje resuse, poput kapaciteta prenosnih vodova. Da bi to dobro uradile, potrebni su im mehanizmi za podelu njhovih resursa tako da jedan umrežen računar previše ne ometa druge.

Umesto da svakom umreženom računaru daju fiksan deo ukupne propusne moći, koji on možda neće stići da iskoristi, mnoge tehnologije dele mrežnu propusnu moć dinamički, prema njihovim kratkoročnim potrebama. To je **statističko multipleksiranje**, tj. podela resursa na osnovu statističkih pokazatelja potražnje. U niskim slojevima može se primeniti za jednu vezu, a u visokim slojevima za jednu mrežu ili čak i aplikacije koje koriste tu mrežu.

Na svakom se nivou javlja problem neusaglašenosti brzine slanja i primanja, pri čemu primalac često bude zatrpan porukama koje ne može da obradi. Često se šalju povratne poruke pošiljaocu o trenutnom stanju primaoca. Cela ova problematika naziva se **kontrola toka** (engl. *flow control*). Ponekad je problem to što mreža ima previše pretplatnika pa ne može da isporuči sav saobračaj koji njeni umreženi računari pokušavaju da pošalju. Takvo preopterećenje mreže naziva se **zagušenje** (engl. *congestion*). Jedna strategija bi bila da svaki računar smanji svoje zahteve kada utvrdi da je došlo do zagušenja. I to se može raditi u svim slojevima.

Zanimljivo je primetiti da mreža nudi više resursa, a ne samo propusnu moć. Za primene kao što je prenos videa uživo, veoma je važna isporuka na vreme. Većina mreža mora da pruža takve usluge aplikacijama koje zahtevaju tu isporuku u realnom vremenu, u isto vreme kada i usluge aplikacijama koje zahtevaju veliki protok. **Kvalitet usluge** je ime dato mehanizmima koji mire te suprotstavljene zahteve.

Poslednji skup odluka pri projektovanju odnosi se na zaštitu mreže od pretnji raznih vrsta. Jedna od pretnji koje smo prethodno spomenuli jeste prisluškivanje komunikacija. Mehanizmi koji obezbeđuju **dostupnost samo ovlašćenim osobama** (engl. *confidentiality*) štite od prisluškivanja i koriste se u više slojeva. Mehanizmi za **proveru identiteta** (engl. *authentication*) sprečavaju lažno predstavljanje na mreži. Pomoću njih se raspoznaju lažne bankarske veb loakcije od pravih; i mreža mobilne telefonije tako proverava da li je poziv zaista stigao od vašeg telefona kako bi vama poslala račun. Ostali mehanizmi za **integritet** sprečavaju gotovo neprimetne promene poruka, kao što je promena „zadužite moj račun za $10“ u „zadužite moj račun za $1000“. Sve se to radi pomoću kriptografije, koju ćemo proučavati u 8. poglavlju.

1.3.3 Usluge sa uspostavljanjem direktne veze i bez nje

Sloj može sloju iznad sebe da ponudi dve različite vrste usluga: sa uspostavljanjem direktne veze i bez uspostavljanja direktne veze. U ovom odeljku ćemo razmotriti oba tipa usluga i utvrditi razlike između njih.

Usluga sa uspostavljanjem direktne veze (engl. *connection-oriented service*) oblikovana je po modelu telefonskog sistema. Da biste s nekim razgovarali, podižete slušalicu, birate broj, razgovarate, zatim spuštate slušalicu. Slično tome, kada koristite uslugu sa uspostavljanjem direktne veze, najpre uspostavljate vezu, koristite je, a zatim je prekidate. Bitan aspekt veze je da ona liči na cev: pošiljalac na jednom njenom kraju ubacuje objekte (bitove), a primalac ih na drugom kraju preuzima. Većinom se pri tome čuva redosled tako da primalac poruke prima redom kojim su poslate.

U nekim slučajevima, pri uspostavljanju veze pošiljalac, primalac i podmreža **pregovaraju** (engl. *negotiate*) o parametrima koje će koristiti, dogovaraju npr. maksimalnu veličinu poruke, kvalitet usluge i drugo. Najčešće jedna strana daje predlog koji druga strana može da prihvati, odbije ili da ponudi nov predlog. **Kolo** je drugo ime za vezu s njoj pridruženim resursima, kao što je određena fiksna propusna moć. To potiče od telefonske mreže, u kojoj je kolo sačinjavala putanja od bakarnih žica po kojoj se prenosio određeni telefonski razgovor.

Nasuprot tome, **usluga bez uspostavljanja direktne veze** (engl. *connectionless service*) modelovana je prema poštanskom sistemu. Svaka poruka (pismo) nosi potpunu adresu odredišta i svaka se na nju nezavisno usmerava kroz međučvorove. U zavisnosti od konteksta, menja se i naziv za poruku; **paket** je poruka u mrežnom sloju. Kada međučvor primi celu poruku pre nego što je prosledi sledećem čvoru, to nazivamo **tehnika čuvaj i prosledi za komutiranje paketa** (engl. *store-and-forward switching*). Druga mogućnost je da daljnji prenos poruke počne pre nego što ju je čvor celu primio i naziva se **komutiranje u prolazu** (engl. *cut-through switching*). U normalnim situacijama, kada se na isto odredište šalju dve poruke, prva na njega stiže ona koja je prva poslata. Međutim, moguće je da se prva poruka na putu zadrži pa da na odredište najpre stigne druga poruka.

Svaka usluga se nadalje može opisati svojim **kvalitetom** (engl. *quality of service*). Neke usluge su pouzdane u smislu da nikada ne gube podatke. Pouzdana usluga se obično ugrađuje uz zahtev da primalac mora potvrditi prijem poruke tako da pošiljalac bude siguran da je ona stigla. Proces potvrđivanja unosi dodatni saobraćaj u mrežu i izaziva zastoje, što ima svoje opravdanje, ali je ponekad i nepoželjno.

Najčešća situacija u kojoj je uspostavljanje direktne veze opravdano jeste prenos datoteka. Vlasnik datoteke želi da bude siguran da su svi njeni bitovi stigli u ispravnom stanju i istim redom kako su poslati. Malo je onih koji bi zbog bržeg prenosa prihvatili oštećene datoteke.

Pouzdana usluga sa uspostavljanjem direktne veze postoji u dve varijante: kao tok poruka i kao tok bajtova. U prvoj varijanti se čuvaju granice poruka. Kada se pošalju dve poruke, svaka od 1024 bajta, one na odredište stižu kao dve jasno odeljene poruke od po 1024 bajta, nikada kao jedna poruka od 2048 bajtova. U drugom slučaju, veza

predstavlja jednostavan tok bajtova bez granica poruka. Kada 2048 bajtova stigne primaocu, nema načina da se utvrdi da li je u pitanju jedna poruka od 2048 bajtova, 2 poruke po 1024 bajta ili 2048 poruka od 1 bajta. Ako se stranice knjige šalju slovoslagaču mrežom, onda ih možda treba slati kao zasebne poruke. S druge strane, za preuzimanje DVD filma potreban je samo tok bajtova sa servera ka korisnikovom računaru. Granice poruka na koje je film bio razdeljen uopšte nisu bitne.

Kao što smo već pomenuli, za neke primene je neprihvatljivo usporavanje prenosa izazvano potvrđivanjem prijema poruka. Jedna takva primena je prenos digitalizovanog **govora preko Interneta (VoIP)**. Korisnici telefona će radije prihvatiti da vezu povremeno remeti šum koji se čuje u pozadini nego da svog sagovornika stalno čuju sa zadrškom. Slično tome, kada se prenose video-konferencije, nekoliko neispravnih piksela neće predstavljati problem, ali stalno zamrzavanje slike dok se greške ne isprave hoće.

Nije za sve aplikacije potrebna direktna veza. Na primer, pošiljaoci neželjene elektronske pošte nju šalju na hiljade adresa. Onaj ko takve poruke šalje verovatno ne želi da uspostavlja i kasnije raskida vezu sa svakim pojedinim primaocem samo zato da bi poslao po jednu poruku, niti mu je bitna stoprocentno pouzdana isporuka, naročito ako je takva usluga skuplja. Njemu je potrebno da poruka na cilj stigne s visokom verovatnoćom, ali bez jemstva. Nepouzdana usluga bez uspostavljanja direktne veze (tj. usluga bez potvrđivanja prijema) često se naziva usluga **datagrama** ili datagramska usluga (engl. *datagram service*), po analogiji s telegrafskim uslugama slanja telegrama gde pošiljalac takođe ne dobija potvrdu o prijemu poruke. Uprkos svojoj nepouzdanosti, to je dominantni oblik u većini mreža, iz razloga koje ćemo kasnije objasniti.

Postoje i situacije u kojima je poželjno ne uspostavljati direktnu vezu da bi se poslala jedna kratka poruka, ali je pouzdanost usluge bitna. U takvim slučajevima može se koristiti usluga **datagrama s potvrdom o prijemu** (engl. *acknowledged datagram service*). To je kao da šaljete preporučenu pošiljku s povratnicom. Kada dobije povratnicu, pošiljalac je apsolutno siguran da pošiljka nije negde zalutala već da je stigla na ruke primaoca. Primer je slanje tekstualnih poruka mobilnim telefonom.

Postoji i usluga **odgovaranja na zahteve** (engl. *request-reply service*). Pošiljalac šalje jedinstven datagram sa zahtevom a od servera dobija odgovor. Na primer, mobilni telefon kao klijent pošalje upit serveru mapa da bi u odgovoru dobio mapu tekuće lokacije. Usluga odgovaranja na zahteve često se koristi za realizovanje komunikacije po modelu klijent–server: klijent ispostavlja zahtev, na koji odgovara server. Na slici 1-16 sabrane su vrste usluga o kojima smo govorili.

Koncept korišćenja nepouzdanih komunikacija može na prvi pogled da vas začudi. Zašto bi iko više voleo nepouzdanu komunikaciju od pouzdane? Pre svega, pouzdana komunikacija (tj. kada se šalje potvrda o prijemu) možda nije na raspolaganju u datom sloju. Na primer, Ethernet ne nudi pouzdanu komunikaciju. Paketi se često mogu oštetiti pri prenosu. O tom problemu treba da vode računa protokoli višeg nivoa. Konkretno, mnoge pouzdane usluge su napravljene povrh usluga nepouzdanih datagrama. Zatim, zadrške izazvane slanjem potvrda o prijemu poruka mogu da budu neprihvatljive, naročito za aplikacije koje se izvršavaju u realnom vremenu, npr. pri prenosu multimedijskih sadržaja. Zbog toga uporedo postoje i pouzdane i nepouzdane komunikacije.

	Usluga	Primer
Sa uspostavljanjem direktne veze	Pouzdan tok poruka	Niz stranica
	Pouzdan tok bajtova	Daljinsko prijavljivanje
	Nepouzdana veza	Digitalizovani glas
Bez uspostavljanja direktne veze	Nepouzdan datagram	Neželjena elektronska pošta
	Datagram s potvrdom o prijemu	Preporučena pošiljka
	Zahtev – odgovor	Pretraživanje baze podataka

Slika 1-16. Šest vrsta usluga.

1.3.4 Osnovne operacije za definisanje usluge

Usluga se formalno zadaje skupom **osnovnih operacija** (engl. *primitives*), preko kojih korisnički procesi mogu da joj pristupe. Osnovne operacije nalažu usluzi da izvrši određenu akciju ili da izvesti o akciji koju je izvršio ravnopravan proces. Ako je skup protokola smešten u operativni sistem, kao što je često slučaj, osnovne operacije obično predstavljaju pozive sistemu. Ti pozivi izazivaju prekid rada programa i prelazak u režim jezgra, koje potom vraća kontrolu operativnom sistemu kako bi mogao da pošalje potrebne pakete.

Skup raspoloživih osnovnih operacija zavisi od vrste usluge. Osnovne operacije u uslugama sa uspostavljanjem direktne veze razlikuju se od osnovnih operacija u uslugama bez uspostavljanja veze. Na slici 1-17 prikazan je minimalan skup osnovnih operacija za realizovanje toka bajtova. One će biti poznate ljubiteljima Berkli interfejsa za utičnice, pošto su ove osnovne operacije pojednostavljena verzija tog interfejsa.

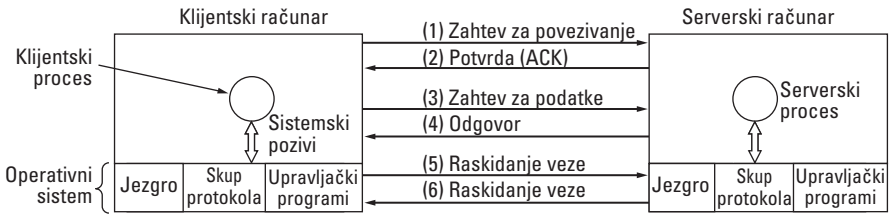
Osnovna operacija	Značenje
LISTEN	Blokada i čekanje na zahtev za uspostavljanje dolazne veze
CONNECT	Uspostavljanje veze s ravnopravnim procesom koji čeka
ACCEPT	Prihvatanje dolazne veze od ravnopravnog procesa
RECEIVE	Blokada i čekanje na dolaznu poruku
SEND	Slanje poruke ravnopravnom procesu
DISCONNECT	Prekidanje veze

Slika 1-17. Šest osnovnih operacija za realizovanje jednostavne usluge sa uspostavljanjem direktne veze.

Navedene osnovne operacije mogu se koristiti za interakciju odgovaranja na zahteve u klijentsko-serverskom okruženju. Za ilustraciju, skiciraćemo jednostavan protokol koji tu uslugu realizuje pomoću datagrama s potvrdom o prijemu.

Najpre server izvršava operaciju LISTEN, naznačujući da je spreman da prihvati dolazne veze. Operacija LISTEN se obično realizuje kao blokirajući sistemski poziv. Pošto se osnovna operacija izvrši, serverski proces se blokira sve dok ne stigne zahtev za uspostavljanje veze.

Potom klijentski proces izvršava operaciju CONNECT da bi uspostavio vezu sa serverom. Poziv CONNECT mora znati na koga treba da se priključi, zato obično sadrži parametar sa adresom servera. Posle toga operativni sistem najčešće šalje paket drugom računaru sa zahtevom za povezivanje, kao što je prikazano procesom (1) na slici 1-18. Klijentski proces se privremeno zaustavlja dok ne stigne odgovor.



Slika 1-18. Razmena paketa tokom jednostavne komunikacije između klijenta i servera pomoću datagrama s potvrdom o prijemu.

Kada paket stigne serveru i operativni sistem utvrdi da je u pitanju zahtev za povezivanje, on proverava da li server osluškuje. Ako to utvrdi, operativni sistem deblokira server. Serverski proces potom uspostavi vezu pozivom ACCEPT. Time se klijentu šalje potvrdan odgovor (2). Kada potvrda stigne do klijenta, ona ponovo pokreće privremeno zaustavljen klijentski proces. U tom trenutku rade i server i klijent i između njih je uspostavljena veza.

Možemo da napravimo analogiju između ovog protokola i stvarnog života. To bi bila mušterija (klijent) koja telefonom poziva predstavnika službe za odnose s kupcima nekog preduzeća. Predstavnik (server) počinje tako što se nalazi u blizini telefona za slučaj da zazvoni. Kada klijent pozove, predstavnik diže slušalicu i veza je uspostavljena.

U sledećem koraku server izvršava operaciju RECEIVE da bi se pripremio za prijem prvog zahteva. Server to obično radi odmah po deblokiranju od poziva LISTEN, pre nego što potvrda stigne do klijenta. Poziv RECEIVE ponovo blokira server.

Tada klijent izvršava operaciju SEND da bi poslao svoj zahtev (3), a zatim RECEIVE da bi dobio odgovor. Pristizanje paketa sa zahtevom deblokira serverski proces tako da može da obradi zahtev. Pošto to obavi, serverski proces poziva SEND da bi odgovor poslao klijentu (4). Pristizanjem tog paketa deblokira se klijent koji sada može da očekuje odgovor. Ako klijent ima još zahteva, može sad da ih prosledi.

Kada se sve završi, klijent može pozivom DISCONNECT da raskine vezu (5). Obično je prvi poziv DISCONNECT blokirajući, pa se klijent privremeno zaustavlja šaljući serveru paket sa obaveštenjem da mu veza više nije potrebna. Kada server dobije paket, i on izvršava operaciju DISCONNECT, šaljući potvrdan odgovor klijentu i raskidajući

vezu (6). Kada serverski paket stigne klijentu, klijentski proces se ponovo pokreće, a veza raskida. Ovo je suština načina na koji funkcioniše komunikacija sa uspostavljanjem direktne veze.

Naravno, u stvarnom životu nije sve tako jednostavno. Mnogo štošta može da krene naopako. Sinhronizacija može da bude loša (npr. da se CONNECT izvrši pre LISTEN), paketi mogu na putu nestati, i svašta drugo. Takvim problemima ćemo se pozabaviti kasnije, a za sada smatrajmo da slika 1-18 u osnovnim crtama opisuje komunikaciju između klijenta i servera pomoću datagrama s potvrdom o prijemu, tako da možemo da zanemarimo nestale pakete.

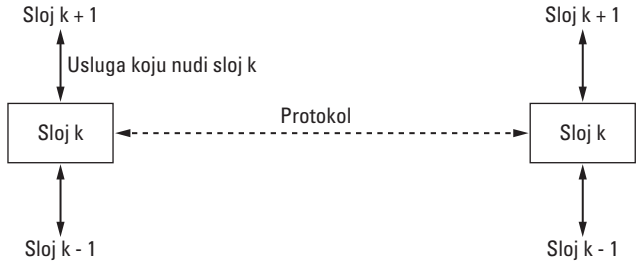
Imajući u vidu da ovaj protokol zahteva razmenjivanje šest paketa, neko može da upita zašto se umesto njega ne koristi neki protokol bez uspostavljanja direktne veze. Kada bi sve radilo savršeno, pitanje bi bilo na mestu jer bi tada bila potrebna samo dva paketa: jedan za zahtev i jedan za odgovor. Međutim, kada se suočimo sa ogromnim porukama (npr. veličine megabajta), greškama u prenosu i izgubljenim paketima, situacija nije tako ružičasta. Ako se odgovor sastoji od stotina paketa, od kojih se neki izgube u transportu, kako će primalac znati da neki paketi nedostaju? Kako će klijent znati da je poslednji paket koji je primio zaista poslednji paket koji je poslat? Pretpostavimo da klijent želi i drugu datoteku. Kako će on razlikovati prvi paket druge datoteke od prvog paketa prve datoteke koji se privremeno izgubio i onda iznenada pronašao put do kuće? Ukratko, u stvarnom svetu, jednostavan protokol odgovaranja na zahtev preko nepouzdane mreže često ne zadovoljava. U 3. poglavlju ćemo detaljno razmotriti više protokola pomoću kojih se prevazilaze pomenuti i drugi problemi. Zasad recimo samo da je pouzdan, uređen tok bajtova između procesa ponekad veoma koristan.

1.3.5 Odnos između usluga i protokola

Usluge i protokoli su različiti pojmovi. Razlika među njima je toliko važna, da ćemo je ovde ponovo naglasiti. *Usluga* (engl. *service*) jeste skup osnovnih operacija koje sloj obezbeđuje sloju iznad sebe. Uslugom se definišu operacije koje sloj izvršava za račun korisnika, ali se potpuno skriva način izvršavanja tih operacija. Usluga se vezuje za interfejs između slojeva, pri čemu je donji sloj davalac a gornji korisnik usluge.

Protokol je skup pravila o formatu i značenju paketa ili poruka koji se razmenjuju između procesa istog sloja. Procesi koriste protokole da bi realizovali definisane usluge. Oni mogu menjati protokole po želji, pod uslovom da usluge vidljive njihovim korisnicima ostanu neizmenjene. Na taj način, usluge i protokoli potpuno su razgraničeni. To je ključno za mreže i svaki projektant bi trebalo to da razume.

Da ponovimo, usluge se odnose na interfejse između slojeva, kao što je prikazano na slici 1-19. Nasuprot tome, protokoli se odnose na pakete koji se razmenjuju između ravnopravnih procesa na različitim računarima. Važno je da se ova dva pojma ne mešaju.



Slika 1-19. Odnos između usluge i protokola.

Vredi pomenuti analogiju s programskim jezicima. Usluga je slična apstraktnom tipu podataka ili objektu u objektno orijentisanom jeziku. Ona definiše operacije koje se mogu izvesti sa objektom, ali ne objašnjava kako. Protokol se odnosi na *realizaciju* (implementaciju) usluge i zato nije vidljiv korisniku usluge.

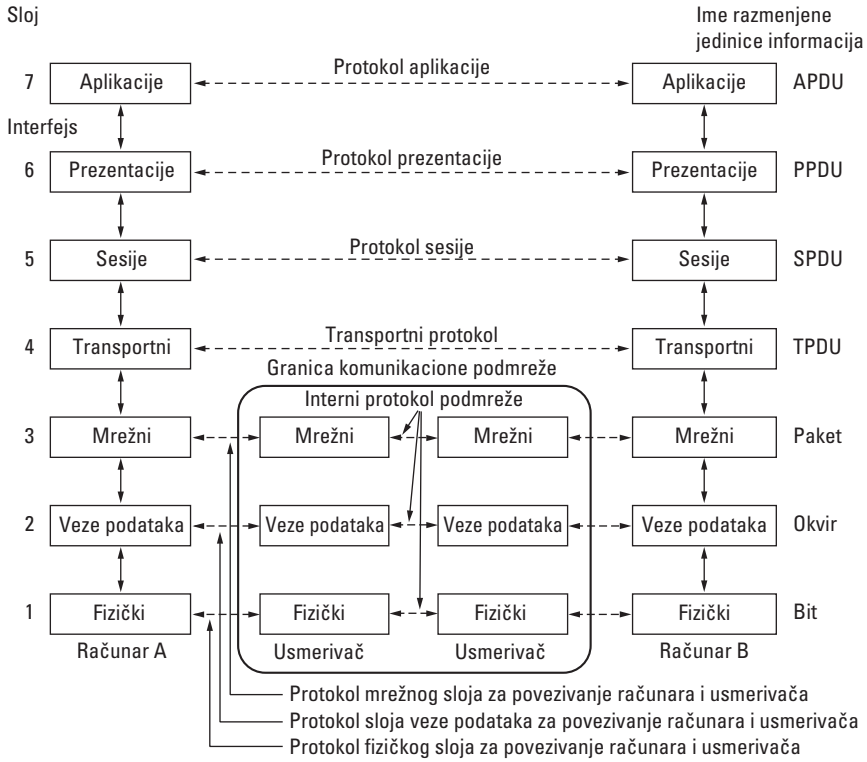
Mnogi stariji protokoli ne prave razliku između protokola i usluge. Na primer, tipičan sloj je mogao imati osnovnu operaciju usluge SEND PACKET, pri čemu je korisnik morao zadavati pokazivač na paket pripremljen za slanje. Uz takav postupak, korisnik je odmah uočavao svaku izmenu protokola. Većina današnjih projektanata mreža to smatra ozbiljnim propustom.

1.4 REFERENTNI MODELI

Pošto smo teorijski opisali slojevite mreže, pređimo na nekoliko primera. U naredna dva odeljka obradićemo dve važne arhitekture mreže – referentne modele OSI i TCP/IP. Iako se *protokoli* povezani s modelom OSI danas retko koriste, sam *model* je sveobuhvatan i još uvek važeći, a svojstva svakog sloja i dalje su veoma važna. TCP/IP se na neki način nalazi na suprotnom kraju: sam model nema širu primenu ali se njegovi protokoli nalaze svuda. Zbog navedenih razloga obradićemo detaljno oba modela, jer ne treba zaboraviti da često možete više da naučite na greškama nego na uspesima.

1.4.1 Referentni model OSI

Na slici 1-20 prikazan je model OSI (bez fizičkog medijuma). Model se zasniva na predlogu Međunarodne organizacije za standardizaciju (ISO) i trebalo je da bude prvi korak ka međunarodnom standardizovanju protokola koji se koriste u različitim slojevima (Day i Zimmermann, 1983). Prepravljen je 1995 (Day, 1995). Model se zove **Referentni sistem ISO OSI** (engl. *International Standards Organization – Open Systems Interconnection),* zato što treba da poveže otvorene sisteme – one koji su otvoreni za komuniciranje s drugim sistemima. Mi ćemo ga zvati, kratko, **model OSI**.



Slika 1-20. Referentni model OSI.

Model OSI ima sedam slojeva. Načela koja su dovela do obrazovanja sedam slojeva mogu se sažeti na sledeći način:

1. Treba napraviti nov sloj kad god je neophodna nova apstrakcija.
2. Svaki sloj treba da ima jasno definisanu funkciju.
3. Funkciju svakog sloja treba izabrati imajući u vidu definisanje međunarodno standardizovanih protokola.
4. Granice slojeva treba izabrati tako da se minimizuje protok informacija između slojeva.
5. Broj slojeva treba da bude dovoljno veliki da se funkcije čije se namene jasno razlikuju ne bi na silu trpale u isti sloj, a ipak dovoljno mali da arhitektura ne postane previše složena.

U nastavku ćemo obraditi svaki sloj modela redom, počinjući od najnižeg. Obratite pažnju na to da model OSI ne predstavlja arhitekturu mreže jer se njime ne zadaju konkretne usluge i protokoli za svaki sloj. Međutim, organizacija ISO je predvidela i standarde za sve slojeve, premda oni nisu deo modela. Svaki od njih je objavljen kao zaseban međunarodni standard. *Model* se (delom) mnogo koristi, mada su pripadajući protokoli odavno zaboravljeni.

Fizički sloj

Uloga **fizičkog sloja** (engl. *physical layer*) jeste da dobijeni niz bitova prenese duž komunikacionog kanala. U probleme njegovog projektovanja spada obezbeđivanje da kada jedna strana pošalje bit 1, druga strana takođe primi bit 1, a ne bit 0. Obično se razmišlja o tome koliki napon treba da predstavlja jedinicu, a koliki nulu, koliko nanosekundi treba da traje bit, da li se prenos može istovremeno obavljati u oba smera, kako se na početku uspostavlja veza i kako se prekida kada oba učesnika obave poslove, koliko kontakata treba da ima mrežni priključak i za šta se koji kontakt koristi. Projektanti se ovde uglavnom bave mehaničkim, električnim i sinhronizujućim međusklopovima, kao i fizičkim medijumom za prenos, koji leži ispod fizičkog sloja.

Sloj veze podataka

Glavni zadatak **sloja veze podataka** (engl. *data link layer*) jeste da za (gornji) mrežni sloj „pretvori“ grubi prenosni uređaj u transportni vod koji niz bitova prenosi bez greške. To se postiže maskiranjem stvarnih grešaka tako da ih mrežni sloj ne vidi. To se radi tako što pošiljalac ulazne podatke deli na **okvire s podacima** (engl. *data frames*), najčešće od po nekoliko stotina do nekoliko hiljada bajtova, i okvire šalje jedan za drugim. Ako je usluga pouzdana, primalac potvrđuje ispravan prijem svakog okvira šaljući pošiljaocu **okvir za potvrdu** (engl. *acknowledgement frame*).

Jedan od problema koji se javlja u sloju veze podataka (a i u većini viših slojeva) jeste neusaglašenost brzine slanja i brzine primanja podataka. Često je neophodan nekakav mehanizam regulisanja saobraćaja kako bi pošiljalac znao kada primalac može da prihvati nove podatke.

Mreže s difuznim emitovanjem poruka imaju i dodatan problem u sloju veze podataka: kako upravljati pristupom zajedničkom kanalu. Tim problemom se bavi specijalan podsloj sloja veze podataka – podsloj za **upravljanje pristupom medijumu** (engl. *medium access control sublayer*, *MAC*).

Mrežni sloj

Mrežni sloj (engl. *network layer*) upravlja radom podmreže. Pri njegovom projektovanju ključno je odrediti kako se paketi usmeravaju od izvora ka odredištu. Putanje se mogu zasnivati na statičnim tabelama koje su „ugrađene“ u mrežu i retko se menjaju, ili se mogu automatski ažurirati kako bi se izbegle komponente koje su otkazale. One se mogu utvrđivati i na početku svake konverzacije, na primer, pre svake terminalske sesije (daljinskog prijavljivanja). Najzad, one mogu da se određuju potpuno dinamički za svaki paket, zavisno od trenutnog opterećenja mreže.

Ako se u podmreži istovremeno nalazi previše paketa, oni će se međusobno ometati i stvarati uska grla. Zajedno s višim slojevima koji prilagođuju opterećenje kojem podvrgavaju mrežu, takva zagušenja saobraćaja treba da razreši mrežni sloj. Rečju, mrežni sloj treba da vodi računa o kvalitetu ponuđene usluge (zadrškama, vremenu prolaska, neravnomernosti pristizanja paketa itd.).

Kada paket, da bi stigao na odredište, treba da pređe s jedne mreže na drugu, mogu da nastanu mnogi problemi. Načini adresiranja u dve mreže mogu da se razlikuju.

Druga mreža može i da ne prihvati paket zbog njegove veličine. I protokoli se mogu razlikovati, kao i mnoge druge stvari. Zadatak mrežnog sloja je da prevaziđe navedene probleme i omogući povezivanje heterogenih mreža.

U mrežama s neusmerenim (difuznim) emitovanjem usmeravanje je jednostavno, tako da je u njima mrežni sloj rudimentaran ili čak ne postoji.

Transportni sloj

Transportni sloj (engl. *transport layer*) ima osnovni zadatak da prihvata podatke „odozgo“, da ih po potrebi razvrstava u manje grupe i da ih prosleđuje mrežnom sloju, obezbeđujući da svi delovi ispravno stignu na odredište. Štaviše, on sve to treba da uradi efikasno i na takav način da od viših slojeva ostanu skrivene izmene hardvera do kojih s vremenom mora doći.

Transportni sloj takođe definiše usluge koje se nude sloju sesije – u krajnjoj liniji, korisnicima mreže. Najpopularnija vrsta transportne veze je kanal „od tačke do tačke“ sa ispravljanjem grešaka, koji isporučuje poruke ili tok bajtova redom kojim su poslati. Postoje i druge vrste transportnih usluga, na primer, prenošenje izolovanih poruka bez jemstva redosleda pristizanja, kao i difuzno slanje poruka na više odredišta. Vrsta usluge se određuje kada se uspostavi veza. (Pomenimo uzgred da se kanal s potpunim ispravljanjem grešaka u stvarnosti ne može postići; ovim izrazom se podrazumeva da je učestalost pojave grešaka dovoljno niska da se u praksi može tolerisati.)

Transportni sloj potpuno povezuje izvor i odredište, prenoseći podatke s kraja na kraj. Drugim rečima, program na izvornom računaru vodi konverzaciju sa sličnim programom na odredišnom računaru koristeći pri tome zaglavlja poruka i upravljačke poruke. U nižim slojevima, protokoli povezuju svaki računar s njegovim najbližim susedima, dok između izvornog i odredišnog računara može postojati više usmerivača. Razlika između slojeva od 1 do 3, koji su lančano povezani, i slojeva od 4 do 7 – koji se direktno protežu od jednog do drugog kraja – prikazana je na slici 1-20.

Sloj sesije

Sloj sesije (engl. *session layer*) omogućava korisnicima različitih računara da međusobno uspostave **sesiju** (engl. *session*). Sesije nude različite usluge, uključujući **upravljanje dijalogom** (engl. *dialog control*), tj. vođenje računa o tome na koga je red da šalje poruke, **rad sa žetonima** (engl. *token management*), tj. sprečavanje učesnika da istovremeno pokrenu istu kritičnu operaciju i **sinhronizovanje** (engl. *synchronization*), tj. proveravanje dugačkog niza podataka tokom prenosa kako bi se omogućilo nastavljanje od tačke prekida u slučaju pada sistema i potonjeg oporavka.

Sloj prezentacije

Za razliku od nižih slojeva, koji uglavnom premeštaju bitove s jednog mesta na drugo, **sloj prezentacije** (engl. *presentation layer*) bavi se sintaksom i semantikom prenetih informacija. Da bi računari koji podatke predstavljaju na različit način mogli međusobno da komuniciraju, strukture podataka koji se prenose mogu se definisati na

apstraktan način i standardno šifrovati u cilju prenosa. Sloj prezentacije obrađuje te apstraktne strukture podataka i omogućava da se definišu i razmenjuju strukture podataka višeg nivoa (npr. bankarski podaci).

Sloj aplikacija

Sloj aplikacija (engl. *application layer*) sadrži više protokola najčešće potrebnih korisnicima. Jedan takav široko korišćen protokol jeste **protokol za prenos hipertekста** (engl. *Hypertext Transfer Protocol*, *HTTP*), koji čini osnovu World Wide Weba. Kada korisnik želi da otvori veb stranu u čitaču, on serveru šalje ime te strane koristeći HTTP. Server tada šalje stranu. Za prenos datoteka, elektronske pošte i poruka diskusionih grupa, koriste se drugi protokoli sloja aplikacija.

1.4.2 Referentni model TCP/IP

Pređimo sada s modela OSI na referentni model koji je koristio predak svih regionalnih računarskih mreža, ARPANET, i koji danas koristi njegov naslednik, globalni Internet. Iako ćemo se kasnije ukratko pozabaviti istorijom ARPANET-a, zgodno je da o toj mreži nešto kažemo i sada. ARPANET je bila istraživačka mreža koju je sponzorisalo Ministarstvo odbrane SAD. Ona je povezivala stotine univerziteta i državnih ustanova preko iznajmljenih telefonskih vodova. Kada su se kasnije pojavile radio i satelitske mreže, postojeći protokoli su naišli na teškoće, pa je bila neophodna nova referentna arhitektura. Bešavno povezivanje više mreža očigledno je predstavljalo problem od samoga početka. Opisana arhitektura je kasnije postala poznata pod imenom **referentni model TCP/IP** (engl. *TCP/IP Reference Model*), nastalom kombinovanjem imena njegova dva osnovna protokola. Prvi su ga definisali Cerf i Kahn (1974), a kasnije razradili Leiner i saradnici (1985). Filozofiju projektovanja modela naći ćete kod Clarka (1988).

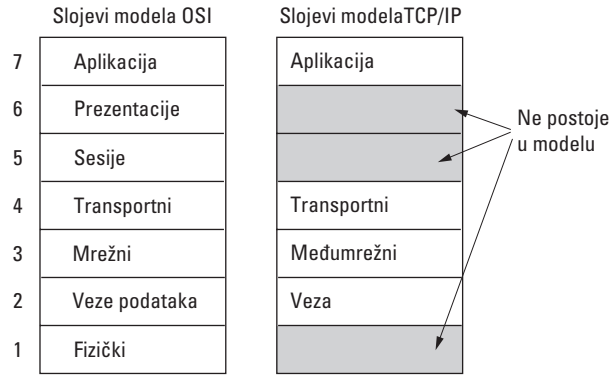
Ministarstvo odbrane je strahovalo da će u slučaju napada Sovjetskog Saveza, neki od njegovih dragocenih računara, usmerivača i međumrežnih prolaza biti pogođeni ili uništeni, pa je jedan od zadataka projekta ARPANET bio da održi komunikaciju preko mreže i pri eventualnom gubitku podmrežnog hardvera. Drugim rečima, Ministarstvo je želelo da se veza može održati sve dok rade izvorni i odredišni računar, čak i ako bi neki od računara između njih bili uništeni. Sem toga, bilo je potrebno osmisliti fleksibilnu arhitekturu sposobnu da zadovolji različite zahteve, počev od jednostavnog prenosa datoteka, pa do prenosa govora u realnom vremenu.

Sloj veze

Svi pomenuti zahtevi uticali su na to da se izabere mreža s komutiranjem paketa (engl. *packet switching network*), zasnovana na sloju bez direktnog uspostavljanja veze, koji se prostire kroz razne mreže. Kao najniži sloj u ovom modelu, sloj veze opisuje šta veze poput serijskih vodova i klasičnog Etherneta moraju uraditi da bi zadovoljile potrebe ovog međumrežnog sloja bez direktnog uspostavljanja veze. To i nije sloj u običnom smislu reči, već interfejs između umreženih računara i prenosnih veza. Prve knjige i radovi o modelu TCP/IP retko se dotiču ove teme.

Međumrežni sloj

Međumrežni sloj (engl. *Internet layer*) predstavlja „spajalicu“ koja drži na okupu čitavu arhitekturu mreže. Na slici 1-21 je prikazano da približno odgovara mrežnom sloju OSI modela. Zadatak međumrežnog sloja je da pakete koje računari ubacuju u bilo koju mrežu upućuje nezavisno na odredište (moguće i kroz drugu mrežu). Paketi na odredište mogu stići redosledom drugačijim od onog kojim su poslati, pa je zadatak viših slojeva da ih dovedu u red ako je to neophodno. Međumrežni sloj postoji i na Internetu.



Slika 1-21. Referentni model TCP/IP.

Ovde je pogodno upotrebiti analogiju sa zemaljskom poštom. Određena osoba u jednoj državi može da spusti u poštansko sanduče više pisama za inostranstvo i uz malo sreće da očekuje da sva ona stignu na odredišne adrese. Pisma najčešće putuju od jedne do druge poštanske ustanove u raznim državama, ali pošiljalac to ne vidi. Pošiljalac ne mora da zna ni to da se u svakoj državi (tj. mreži) koriste drugačije poštanske marke, drugačiji format koverata i drugačiji način isporuke.

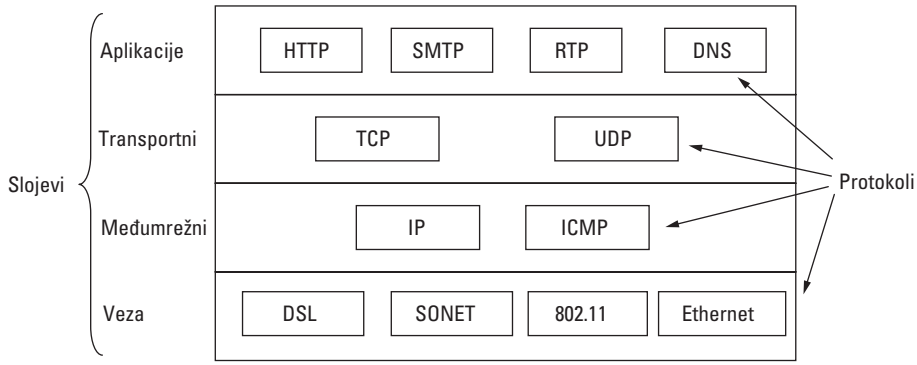
Međumrežni sloj definiše zvanični format paketa i tzv. **Internet protokol** (engl. *Internet Protocol*, *IP*), plus jedan prateći protokol nazvan **ICMP (Internet Control Message Protocol – protokol za upravljanje porukama na Internetu)** koji mu pomaže u radu. Zadatak međumrežnog sloja je da isporuči IP pakete tamo gde treba da stignu. Jasno je da su ovde najveći problemi usmeravanje i izbegavanje zagušenja (premda se IP nije baš istakao u pogledu izbegavanja zagušenja).

Transportni sloj

Sloj iznad međumrežnog sloja u modelu TCP/IP danas se obično naziva **transportni sloj**. On je namenjen konverzaciji između ravnopravnih procesa na izvornom i odredišnom računaru, baš kao i transportni OSI sloj. Ovde su definisana dva protokola koji spajaju dva kraja. Prvi, **protokol za upravljanje prenosom** (engl. *Transmission Control Protocol, TCP*), predstavlja pouzdan protokol sa uspostavljanjem direktne veze, koji omogućava da se tok bajtova potekao s jednog računara bez greške dovede do bilo kog odredišta u međumreži. On deli početni tok bajtova na zasebne poruke i svaku prosleđuje međumrežnom sloju. Prihvatni TCP proces na odredištu

uređuje primljene poruke i od njih ponovo obrazuje tok bajtova. TCP takođe upravlja tokom podataka tako da brzi pošiljalac ne može da zatrpa sporog primaoca s više poruka nego što ovaj može da obradi.

Drugi protokol ovog sloja, **protokol za korisničke datagrame** (engl. *User Datagram Protocol, UDP*), predstavlja nepouzdan protokol bez uspostavljanja direktne veze, namenjen aplikacijama koje same, umesto protokola TCP, uređuju svoje pakete i upravljaju tokom podataka. On se široko koristi i za jednostavne upite (zahtev–odgovor) klijentsko-serverskog tipa, kao i za aplikacije kod kojih hitnost isporuke ima prednost nad tačnošću, npr. prenos govora ili videa. Odnosi između protokola IP, TCP i UDP prikazani su na slici 1-22. Od nastanka modela, protokol IP je ugrađen i u mnoge druge mreže.



Slika 1-22. Model TCP/IP i neki protokoli koje ćemo proučavati.

Sloj aplikacija

U modelu TCP/IP nema sloja sesije, niti sloja prezentacije. Za njima nije bilo potrebe. Umesto toga, aplikacije obuhvataju sve funkcije sesije i prezentacije koje su im potrebne. Iskustvo s modelom OSI potvrđuje takvo gledište: ti slojevi su većini aplikacija od male koristi.

Iznad transportnog sloja nalazi se **sloj aplikacija**. On sadrži sve protokole višeg nivoa. Na početku su to bili protokoli za virtuelni terminal (TELNET), za prenos datoteka (FTP) i za elektronsku poštu (SMTP). Tokom godina, sloju aplikacija dodati su mnogi drugi protokoli, kao na slici 1-22, od kojih ćemo neke proučavati: sistem imenovanja domena (DNS) za prevođenje imena računara u njihove mrežne adrese, protokol HTTP za preuzimanje strana s World Wide Weba i protokol RTP za isporuku u realnom vremenu multimedijskog sadržaja kao što su govor i filmovi.

1.4.3 Model korišćen u knjizi

Kao što smo već rekli, *model* OSI (bez slojeva sesije i prezentacije) pokazao se izuzetno korisnim u razmatranju računarskih mreža. Nasuprot tome, model TCP/IP praktično ne postoji, ali se njegovi *protokoli* masovno koriste. Pošto informatičari vole i jare i pare, kao okvir za teme ove knjige koristićemo hibridni model prikazan na slici 1-23.

5	sloj aplikacija
4	transportni sloj
3	mrežni sloj
2	sloj veze podataka
1	fizički sloj

Slika 1-23. Referentni model koji će se koristiti u knjizi.

Taj model ima pet slojeva – od fizičkog sloja na dnu pa naviše preko slojeva veze, mrežnog i transportnog do sloja aplikacija. Fizički sloj specificira kako se prenose bitovi po raznim vrstama medijuma u obliku električnih (ili drugih analognih) signala. Sloj veze se bavi slanjem poruka konačne dužine između neposredno povezanih računara uz specificirani nivo pouzdanosti. Primeri protokola sloja veze su Ethernet i 802.11.

Mrežni sloj definiše kako se više veza kombinuje u mreže, i mreže mreža u međumreže, tako da udaljeni računari mogu razmenjivati pakete. Tu je i zadatak pronalaženja putanje po kojoj će paketi biti poslati. Glavni primer protokola koji ćemo proučavati za ovaj sloj jeste IP. Transportni sloj jača jemstvo isporuke mrežnog sloja, najčešće uz povećanu pouzdanost, i obezbeđuje apstrakcije isporuke kao što je pouzdan tok bajtova, koje odgovaraju potrebama raznih aplikacija. Važan primer protokola transportnog sloja je TCP.

Naposletku, sloj aplikacija sadrži programe koji koriste mrežu. Mnoge, ali ne sve, mrežne aplikacije imaju korisničke interfejse poput čitača veba. Mi ćemo se baviti onim delom tih programa koji koriste mrežu. U slučaju čitača veba, to je protokol HTTP. U sloju aplikacija su i važni pomoćni programi kao što je DNS, koje koriste mnoge aplikacije.

Po ovom modelu smo poređali poglavlja; tako zadržavamo vrednost OSI modela za razumevanje arhitektura mreža, ali se prvenstveno usredsređujemo na protokole važne u praksi – od TCP/IP-a i njemu srodnih protokola do novijih kao što su 802.11, SONET i Bluetooth.

1.4.4 Poređenje referentnih modela OSI i TCP/IP

Referentni modeli OSI i TCP/IP imaju mnogo zajedničkog. Oba se zasnivaju na konceptu skupa nezavisnih protokola. Isto tako, funkcionalnost slojeva je prilično slična. Na primer, u oba modela svi slojevi zaključno s transportnim slojem treba da obezbede transportnu uslugu, koja nezavisno od mreže povezuje oba kraja i obrađuje njihove zahteve za komuniciranjem. Ti slojevi su davaoci usluge transporta. Dalji slojevi iznad transportnog predstavljaju aplikacije koje su korisnici transportnih usluga.

Uprkos navedenim načelnim sličnostima, između modela postoje i mnoge razlike, pa ćemo se u ovom odeljku pozabaviti onim ključnim. Treba naglasiti da ćemo poredi*ti referentne modele*, a ne *skupove protokola*. O protokolima ćemo govoriti kasnije. Poređenju modela OSI i TCP/IP i razlikama između njih posvećena je i čitava knjiga (Piscitello i Chapin, 1993).

Za model OSI su ključna tri koncepta:

1. Usluge
2. Interfejsi
3. Protokoli

Verovatno je najveći doprinos modela OSI to što je povukao jasne granice između ova tri koncepta. Svaki sloj obavlja određene *usluge* za sloj iznad sebe. Definicija usluge ukazuje na ono šta sloj radi, a ne kako će joj elementi gornjeg sloja pristupati ili kako radi sam sloj u kome se nalazi. Definicija usluge sadrži semantiku sloja.

Interfejs između slojeva ukazuje procesima iz gornjeg sloja kako da pristupe donjem sloju. On određuje koje parametre treba upotrebiti i kakvi se rezultati mogu očekivati. Međutim, ni on ne otkriva ništa o tome kako slojevi interno rade.

I na kraju, ravnopravni *protokoli* koji se koriste unutar sloja tiču se samo tog sloja. Sloj može da koristi kakve god hoće protokole, sve dok obavlja predviđene zadatke (tj. izvršava usluge koje nudi). On ih takođe može proizvoljno menjati a da to ne utiče na softver u višim slojevima.

Navedeni pristup se veoma dobro slaže sa savremenim objektno orijentisanim programiranjem. Slično sloju, objekat ima skup metoda (operacija) koje spoljni procesi mogu da pozovu. Semantika ovih metoda definiše skup usluga koji objekat nudi. Parametri metoda i rezultati obrazuju interfejs objekta. Interni kôd objekta predstavlja njegov protokol koji se spolja ne vidi, niti ima značaja izvan objekta.

Model TCP/IP na početku nije povukao jasnu razliku između usluge, interfejsa i protokola, mada su kasnije činjeni pokušaji da se on približi modelu OSI. Na primer, jedine stvarne usluge koje nudi njegov međumrežni sloj jesu usluge SEND IP PACKET i RECEIVE IP PACKET.

Zbog toga su protokoli u modelu OSI bolje skriveni nego u modelu TCP/IP i mogu se s napretkom tehnologije lakše zameniti. Mogućnost takvih zamena je i jedan od glavnih ciljeva arhitekture sa zasebnim protokolima za svaki sloj.

Referentni model OSI je razvijen *pre* nastanka odgovarajućih protokola. To znači da model nije pravljen prema određenom skupu protokola, što ga čini opštijim. Ovo ima i svoju lošu stranu jer su projektanti, nemajući previše iskustva s takvim stvarima, često lutali pri dodeljivanju funkcionalnosti pojedinim slojevima.

Na primer, sloj veze podataka prvobitno je radio samo s mrežama od tačke do tačke. Kada su se pojavile mreže s difuznim emitovanjem poruka, modelu se morao „prikačiti“ nov podsloj. Nadalje, kada je počela gradnja stvarnih mreža na osnovu modela OSI i postojećih protokola, otkriveno je da one ne odgovaraju zahtevanim specifikacijama usluga (o, čuda!), pa su morali biti dodati podslojevi konvergencije da bi se ove razlike prevazišle. Navedimo na kraju i to da su autori modela prvobitno očekivali da će svaka država imati jednu mrežu kojom upravlja vlada i koristiti OSI protokole, tako da niko nije ni razmišljao o radu u kombinovanoj mreži. Da bismo skratili priču, recimo samo da stvari nisu išle tim tokom.

S modelom TCP/IP dogodilo se upravo suprotno: najpre su se pojavili protokoli, pa model – koji je zapravo bio samo opis postojećih protokola. Sa uklapanjem proto-

kola u model nije bilo problema – uklapali su se savršeno. Problem je bio u tome što se sam *model* nije mogao uklopiti ni u jedan drugi skup protokola. Zbog toga on baš nije naročito koristan za opisivanje drugačijih mreža.

Ako se od filozofiranja okrenemo praktičnijim stvarima, očiglednu razliku između dva modela čini broj slojeva: model OSI ima sedam slojeva, a model TCP/IP četiri. Oba imaju (među)mrežni sloj, transportni sloj i sloj aplikacija, ali se ostali slojevi razlikuju.

Druga razlika se odnosi na komunikaciju: sa uspostavljanjem direktne veze ili bez nje. Model OSI u mrežnom sloju podržava obe vrste komunikacije, ali u transportnom sloju – gde je ona i najbitnija (jer transportnu uslugu korisnici vide) – podržava samo komunikaciju sa uspostavljanjem direktne veze. Model TCP/IP u mrežnom sloju podržava samo jedan režim komunikacije (bez uspostavljanja direktne veze), ali podržava oba režima u transportnom sloju, nudeći korisnicima izbor. Takav izbor je posebno važan za jednostavne protokole odgovaranja na upite.

1.4.5 Kritika modela OSI i njegovih protokola

Ni model OSI sa svojim protokolima, ni model TCP/IP sa svojim, nisu savršeni. I jednom i drugom je upućeno dosta kritike. U ovom i sledećem odeljku razmotrićemo neke od tih zamerki. Počećemo s modelom OSI, dok ćemo TCP/IP ostaviti za kasnije.

U trenutku kada se pojavilo drugo izdanje ove knjige (1989), mnogim stručnjacima je izgledalo da će se model OSI i njegovi protokoli proširiti svetom i potisnuti sve drugo na tom polju. To se ipak nije dogodilo. Zašto? Spisak razloga može da bude poučan:

1. Loša sinhronizacija
2. Loša tehnologija
3. Loša realizacija
4. Loša politika

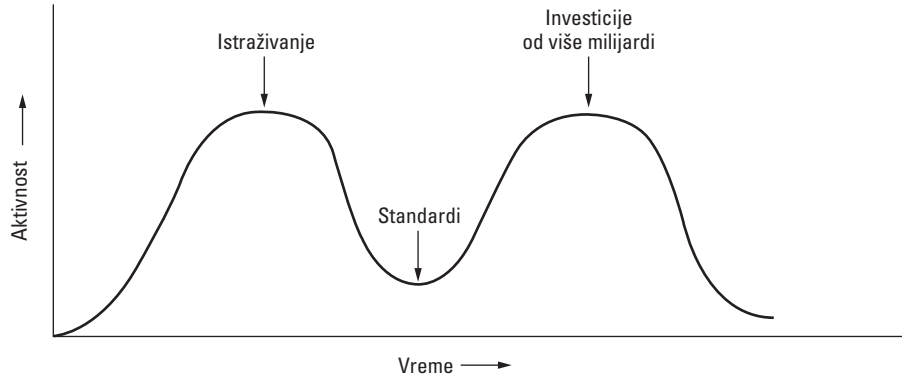
Loša sinhronizacija

Razmotrimo najpre prvi razlog: biranje lošeg trenutka za objavljivanje modela. Izbor pravog trenutka pojave standarda apsolutno je ključan za njegov uspeh. Dejvid Klark s Masačusetskog tehničkog instituta ima teoriju poznatu kao *trka sa slonovima*, koja je ilustrovana slikom 1-24.

Dijagram na slici prikazuje količinu aktivnosti ispoljenu u vezi s nekom novotarijom. Kada se otkrije nešto novo, nastaje eksplozija istraživačke aktivnosti u obliku diskusija, naučnih radova i skupova. Posle nekog vremena ta aktivnost jenjava, a industrijske korporacije shvataju da se radi o nečem novom i počinje poplava investicija.

Suštinski je važno da se standardi umetnu u uzak prostor između dva „slona“ – dva maksimuma na dijagramu. Ako se objave prerano, pre završenih istraživanja, novost neće potpuno biti shvaćena, a rezultat su loši standardi. Ako se objave prekasno, kom-

panije su već investirale velik novac u pravcu koji se razlikuje od standarda, pa se standardi ne poštuju. Ukoliko je rastojanje između slonova vrlo malo (pošto su svi u žurbi da otpočnu investiranje), autorima standarda (trkačima) preti opasnost da budu zgnječeni.



Slika 1-24. Trka sa slonovima.

Danas je jasno da su standardni OSI protokoli upravo tako smrvljeni. U trenutku kada su se pojavili OSI protokoli, konkurentni TCP/IP protokoli već su bili u širokoj upotrebi u akademskom okruženju. Iako veliko investiranje još nije uhvatilo maha, akademsko tržište bilo je za proizvođače dovoljno veliko, pa su mnogi počeli oprezno da nude TCP/IP proizvode. Kada se pojavio model OSI, oni nisu našli računa da dobrovoljno podržavaju još jedan paralelni skup protokola, pa na početku nisu ni nudili nove proizvode. U situaciji kada svaka kompanija čeka da neko drugi probije led, model OSI nije ni zaživeo.

Loša tehnologija

Drugi razlog što model OSI nije zaživeo jeste to što je bio prepun nedostataka, baš kao i njegovi protokoli. Izbor sedam slojeva bio je više političke nego tehničke prirode, a njegova dva sloja (sesije i prezentacije) gotovo su prazni, dok su druga dva (veze podataka i mrežni) pretrpani.

Model OSI, zajedno s definicijama svojih usluga i protokolima, izuzetno je složen. Štampana verzija standarda predstavlja brdo papira visoko skoro metar. Usluge i protokoli teško se ugrađuju i neefikasni su. Ovde se i nehotice setim pitalice koju je postavio Pol Mokapetris (Rose, 1993):

Pitanje: Šta dobijete kada ukrstite gangstera s međunarodnim standardom?
Odgovor: Nekoga ko vam predlaže nešto što ne razumete.

Osim što je nerazumljiv, u modelu OSI se neke funkcije, npr. za adresiranje, upravljanje tokom i kontrolu grešaka, ponavljaju u svakom sloju. Salzer i saradnici (1984) istakli su, na primer, da se efikasnost može postići ako se kontrola grešaka ugradi u najviši sloj; njeno ponavljanje u svakom od nižih slojeva često je nepotrebno i neefikasno.

Loša realizacija

Imajući u vidu složenost modela i njegovih protokola, ne čudi što su prve njegove realizacije bile ogromne, nezgrapne i spore. Svako ko se usudio da ih isproba, dobro se opekao. Nije trebalo dugo da se pojam „OSI“ izjednači s „niskim kvalitetom“. Iako su pojedine komponente s vremenom usavršavane, početni utisak je ostao.

Nasuprot tome, prva realizacija modela TCP/IP bila je deo Berkeley UNIX-a i bila je prilično dobra (da i ne pominjemo da je bila besplatna). Ljudi su je brzo prihvatali, što je stvorilo veliku zajednicu korisnika, koja je vodila ka daljim poboljšanjima. To je sa svoje strane dovelo do proširivanja zajednice i tako ukrug. Ovde je istorija tekla uzlaznom spiralom umesto obrnuto.

Loša politika

Zbog prvobitne realizacije modela, mnogi su, naročito u akademskim krugovima, smatrali da je TCP/IP deo UNIX-a, a UNIX je osamdesetih godina bio pravo utočište za američke akademce.

Za OSI se, s druge strane, smatralo da predstavlja kreaciju evropskih ministarstava za telekomunikacije, Evropske Unije i kasnije, američke vlade. To je samo delimično tačno, ali je za negativan stav bila dovoljna i sama pomisao na gomilu državnih birokrata koji pokušavaju da tehnički inferioran standard uvale neispavanim istraživačima i programerima koji na prvoj borbenoj liniji mukotrpno sklapaju računaraske mreže. Neki su ovaj standard poredili sa izjavom rukovodilaca IBM-a iz šezdesetih godina da će PL/I postati programski jezik budućnosti i kasnijom ispravkom Ministarstva odbrane SAD, da se u stvari radi o jeziku Ada.

1.4.6 Kritika referentnog modela TCP/IP

Model TCP/IP i njegovi protokoli takođe imaju svoje probleme. Prvo, model ne razgraničava jasno koncepte usluga, interfejsa i protokola. Dobra praksa softverskog inženjerstva zahteva razlikovanje specifikacije i realizacije, nešto što je u modelu OSI urađeno vrlo pažljivo, a u modelu TCP/IP traljavo. Zbog toga model TCP/IP nije od velike pomoći kada treba projektovati nove mreže s novim tehnologijama.

Drugo, model TCP/IP ni izbliza nije dovoljno uopšten i veoma šturo može da opiše bilo koji skup protokola osim skupa TCP/IP protokola. Opisati, na primer, Bluetooth pomoću modela TCP/IP sasvim je nemoguće.

Treće, sloj veze u stvari nije sloj u uobičajenom značenju koje se koristi kod protokola zasebnih za svaki sloj. To je interfejs (između mrežnog sloja i sloja veze podataka). Između interfejsa i sloja postoji suštinska razlika i tu nema mesta približnim definicijama.

Četvrto, model TCP/IP ne razdvaja (čak i ne pominje) fizički sloj i sloj veze podataka. Ta dva sloja su potpuno različita. Fizički sloj se bavi prenosnim svojstvima bakarne žice, optičkog vlakna i bežičnih komunikacija. Zadatak sloja veze podataka jeste da označi početak i kraj okvira s podacima i da ga prenese s jedne strane na drugu uz željen stepen pouzdanosti. Jedan potpun model morao bi ove slojeve da ima kao zasebne, dok se u modelu TCP/IP oni i ne pominju.

Na kraju, iako su protokoli IP i TCP brižljivo projektovani i dobro realizovani, mnogi drugi protokoli su urađeni na brzinu – najčešće ih je pravila grupa diplomaca koji su primenjivali programerske trikove dok im sve nije dosadilo. Realizacije protokola su zatim distribuirane besplatno, zbog čega su bile široko korišćene, potpuno prihvaćene i nerado zamenjivane. Neke od njih su danas više neprijatnost nego korist. Protokol za virtuelni terminal (TELNET), na primer, projektovan je za mehanički teleprinterski terminal brzine deset znakova u sekundi. On ništa ne zna o grafičkom korisničkom okruženju i miševima. Pa ipak, posle 30 godina, još uvek je u širokoj upotrebi.

1.5 PRIMERI MREŽA

Tema umrežavanja računara obuhvata mnoge vrste mreža, malih i velikih, poznatih i manje poznatih. One se grade s različitom svrhom, različite su veličine i zasnovane su na različitim tehnologijama. U narednim odeljcima razmotrićemo nekoliko primera računarskih mreža da bismo stekli utisak o njihovoj različitosti.

Počećemo sa Internetom, verovatno najpoznatijom mrežom, opisati njegovu istoriju, razvoj i tehnologiju. Zatim ćemo razmotriti mrežu mobilne telefonije. Ona se tehnički veoma razlikuje od Interneta, pa je zgodno da ih uporedimo. Posle toga ćemo govoriti o IEEE 802.11, standardu za najčešće bežične lokalne mreže. Na kraju ćemo razmotriti RFID i senzorske mreže – tehnologije koje proširuju doseg mreža tako da obuhvate fizički svet i svakodnevne predmete.

1.5.1 Internet

Internet uopšte nije mreža, već ogroman skup različitih mreža u kojima se koriste neki zajednički protokoli i obezbeđuju neke zajedničke usluge. Internet je jedinstven po tome što ga niko nije planirao i što niko njime ne upravlja. Da bismo ovo bolje razumeli, krenućemo od početka i pogledati kako i zašto je nastao. Za upoznavanje sa sveobuhvatnom istorijom Interneta, toplo preporučujemo knjigu Johna Naughtona (2000). To je jedna od onih retkih knjiga koja nije samo zabavna za čitanje, već je i prepuna oznaka *ibid*. i *op*. *cit*., bez kojih ne mogu ozbiljni istoričari. Nešto od onoga o čemu govorimo u nastavku zasniva se na materijalu iz te knjige.

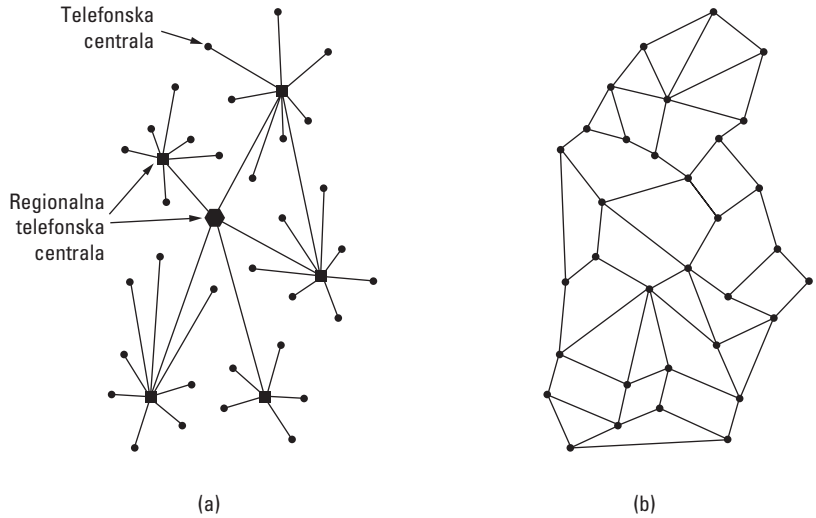
Naravno, o Internetu i njegovim protokolima napisano je i bezbroj tehničkih knjiga. Više o tome potražite, recimo, u knjizi Maufera (1999).

ARPANET

Priča počinje krajem pedesetih godina. Na vrhuncu hladnog rata, Ministarstvo odbrane SAD poželelo je da ima komandno-kontrolnu mrežu koja bi mogla da izdrži nuklearni udar. U to doba su sve vojne komunikacije koristile javni telefonski sistem koji je smatran ranjivim. To ćete lako shvatiti ako pogledate sliku 1-25(a). Na njoj su tačkama predstavljene telefonske centrale, od kojih je svaka povezana s hiljadama telefona. Te centrale su, sa svoje strane, povezane za centrale višeg nivoa (regionalne

centrale), čineći državnu hijerarhiju telefonskog sistema u kome ima malo rezervnih komponenata. Ranjivost sistema ogleda se u tome što se razaranjem nekoliko ključnih regionalnih centrala on raspada na više izolovanih ostrvaca.

Oko 1960. godine, Ministarstvo odbrane je ugovorom obavezalo korporaciju RAND da pronađe rešenje. Jedan od zaposlenih u korporaciji, Pol Baran, izišao je s predlogom projekta široko distribuirane mreže otporne na greške, prikazane na slici 1-25(b). Pošto su, po projektu, razdaljine između susednih centrala bile prevelike da bi analogni signali putovali bez izobličenja, Baran je za ceo sistem predložio tehnologiju komutiranja digitalnih paketa. Baran je za Ministarstvo napisao više izveštaja u kojima je svoju ideju obrazložio do detalja (Baran, 1964). Njegov koncept se svideo zvaničnicima u Pentagonu, pa su zatražili od tadašnje monopolske nacionalne telefonske kompanije u SAD, korporacije AT&T, da izgradi prototip. Korporacija AT&T nije želela čak ni da razmotri Baranovu ideju. Najveća i najbogatija korporacija na svetu nije mogla dozvoliti da joj neki uobraženi žutokljunac diktira kako da izgradi telefonski sistem. Izvestili su Ministarstvo da se Baranova mreža ne može napraviti i projekat je stavljen ad acta.



Slika 1-25. (a) Struktura telefonskog sistema. (b) Baranov predlog distribuiranog sistema komutacije.

Prošlo je više godina a Ministarstvo odbrane još uvek nije imalo bolji komandno-kontrolni sistem. Da bismo razumeli šta se tada dogodilo, treba da se vratimo na oktobar 1957, kada je Sovjetski Savez porazio SAD u svemirskoj trci lansirajući prvi veštački satelit – Sputnjik. Kada je predsednik Ajzenhauer pokušao da utvrdi „ko se uspavao“, zapanjio se videvši kako se Armija, Mornarica i Vazduhoplovstvo otimaju za istraživački budžet Pentagona. Njegova neposredna reakcija bila je da osnuje jedinstvenu istraživačku organizaciju za poslove odbrane, **ARPA**, **Advanced Research Project Agency** (Agencija za napredne istraživačke projekte). Organizacija

ARPA nije imala svoje istraživače, ni laboratorije; u stvari, imala je samo jednu kancelariju i mali budžet (po merilima Pentagona). Zadatak zbog kojeg je osnovana obavljala je dodeljujući finansijska sredstva i ugovore univerzitetima i kompanijama čije su ideje obećavale.

Prvih nekoliko godina ARPA je pokušavala da ustanovi šta joj je zadatak. Godine 1967. pažnju njenog tadašnjeg direktora programa za daljinsko pristupanje računarima, Lerija Robertsa, privuklo je umrežavanje. On se posavetovao s više stručnjaka da bi odlučio šta da radi. Jedan od njih, Vesli Klark, predložio je izgradnju podmreže s komutiranjem paketa, pri čemu bi svaki umreženi računar imao svoj usmerivač.

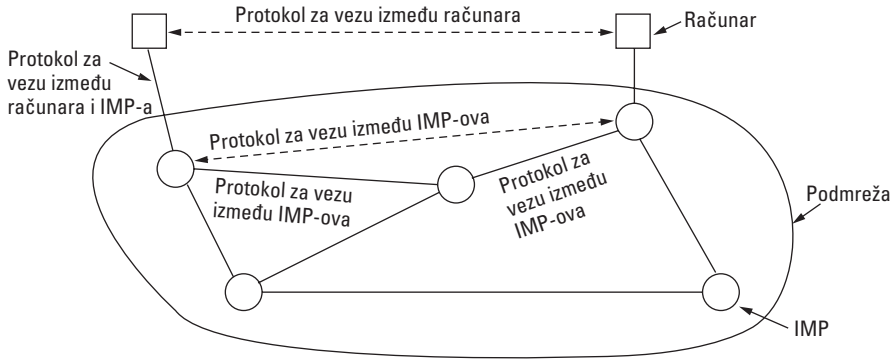
Posle izvesnog oklevanja, Roberts je prihvatio ideju i podneo o njoj pomalo uopšteno saopštenje na Simpozijumu ACM SIGOPS o principima operativnih sistema u Gatlinburgu u državi Tenesi (Roberts, 1967). Na Robertsovo iznenađenje, na simpozijumu se pojavilo i saopštenje o vrlo sličnom sistemu koji ne samo što je bio projektovan, već je bio i realizovan pod rukovodstvom Donalda Dejvisa u Nacionalnoj laboratoriji za fiziku (National Physical Laboatory, NPL) u Engleskoj. NPL sistem nije bio nacionalnog značaja (povezivao je samo nekoliko laboratorijskih računara), ali je dokazao da komutiranje paketa radi. Štaviše, u saopštenju se citirao Baranov rad koji je Ministarstvo odbrane bilo odbacilo. Roberts je otišao iz Gatlinburga čvrsto naumivši da napravi ono što je kasnije postalo poznato kao ARPANET.

Podmreža bi se sastojala od miniračunara zvanih **obrađivači poruka na interfejsu** (engl. *Interface Message Processors*, *IMPs*), povezanih vodovima brzine prenosa 56 kb/s. Zbog veće pouzdanosti rada, svaki IMP bi bio povezan s barem još dva druga IMP-a. Podmreža bi bila datagramska, kako bi se u slučaju uništenja nekih vodova i IMP-a poruka mogla automatski preusmeriti drugom putanjom.

Svaki čvor mreže sastojao bi se od IMP-a i umreženog računara, smeštenih u istu prostoriju i povezanih kratkim kablom. Računar bi IMP-u mogao da šalje poruke veličine do 8063 bita koje bi ovaj razbijao na pakete veličine 1008 bitova i nezavisno ih prosleđivao ka odredištu. Svaki paket bi pre daljeg prosleđivanja morao biti primljen u celini, tako da podmreža koju je zamislio Roberts predstavlja prvu elektronsku mrežu po sistemu komutiranja „čuvaj i prosledi“.

ARPA je tada objavila tender za izgradnju podmreže na koji se prijavilo dvanaest kompanija. Posle razmatranja ponuda, ARPA je izabrala kompaniju BBN, konsultantsku firmu iz Kembridža u Masačusetsu i decembra 1968. sklopila s njom ugovor da izgradi podmrežu i napravi odgovarajući softver. Kompanija BBN je za obrađivače poruka na interfejsu izabrala posebno modifikovane Honeywellove miniračunare DDP-316 sa osnovnom memorijom od 12 KB 16-bitnih reči. Miniračunari nisu imali diskove jer su pokretni delovi smatrani nepouzdanim. Bili su međusobno povezani vodovima brzine prenosa 56 kb/s iznajmljenim od telefonskih kompanija. Iako brzina od 56 kb/s danas predstavlja izbor tinejdžera koji nema novca za ADSL ili kablovsku vezu, u to vreme je to bio maksimum.

Softver je bio podeljen u dve celine: za podmrežu i za računare. Softver za podmrežu sadržao je IMP kraj veze između računara i IMP-a, protokol za vezu između dva uzastopna IMP-a i, radi veće pouzdanosti, protokol za vezu između izvornog i odredišnog IMP-a. Prvobitni projekat ARPANET-a prikazan je na slici 1-26.



Slika 1-26. Prvobitni projekat ARPANET-a.

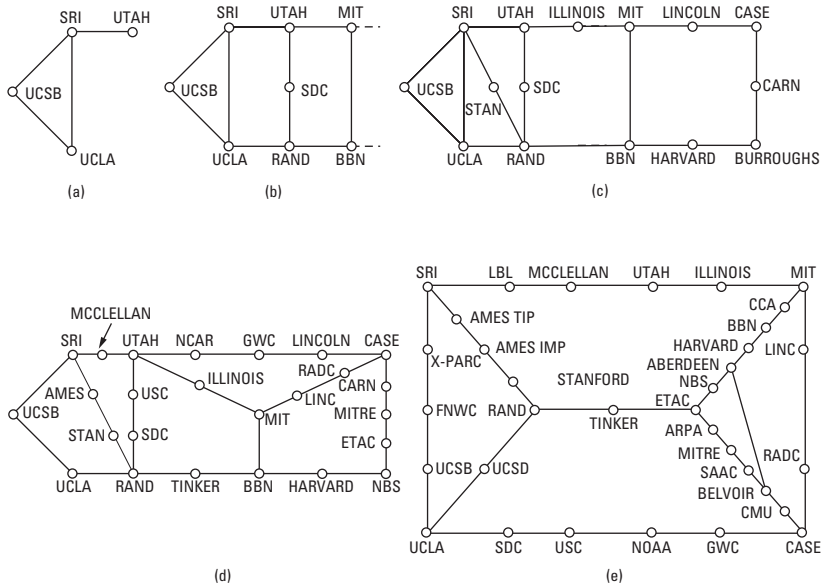
Softver je bio neophodan i izvan podmreže: računarski kraj veze IMP–računar; protokol za vezu između računara i aplikacioni softver. Ubrzo je postalo jasno da kompanija BBN, čim je uspela da poruke poslate s veze između računara i IMP-a na jednom kraju dostavi na odredišnu vezu između računara i IMP-a, smatra da je time njen posao završen.

Robertsu je tako ostao problem računarskog softvera. Da bi ga rešio, sazvao je leta 1969. skup istraživača mreža, uglavnom studenata poslediplomskih studija, u Snowbirdu u državi Juta. Postdiplomci su očekivali da će im neki stručnjak za mreže objasniti grandiozni projekat mreže i njenog softvera, a zatim svakome dodeliti deo koji treba da uradi. Bili su neprijatno iznenađeni kada su shvatili da nema ni stručnjaka, ni projekta. Morali su sami da utvrde šta im je posao.

Pa ipak, eksperimentalna mreža je nekako puštena u rad decembra 1969; imala je četiri čvora: UCLA, UCSB, SRI i Univerzitet Jute. Te četiri ustanove izabrane su jer su sve imale više ugovora sa ARPA i sve su imale različite, međusobno nekompatibilne računare (kako bi sve bilo zabavnije). Prvu poruku jednog umreženog računara drugom dva meseca ranije poslao je iz čvora UCLA čvoru SRI tim koji je vodio Len Klajnrok (pionir teorije komutacije paketa). Mreža je brzo rasla sa svakim isporučenim i instaliranim IMP-om i ubrzo je pokrila čitave Sjedinjene Države. Slika 1-27 prikazuje brzinu rasta ARPANET-a tokom prve 3 godine.

Osim pomaganja razvoja ARPANET-a, organizacija ARPA je finansirala i istraživanja upotrebe satelitskih mreža za mobilni paketni radio. U jednoj od sada čuvenih demonstracija, kamion koji je krstario Kalifornijom koristio je mrežu paketnog radija da bi slao poruke Istraživačkom institutu u Stenfordu (SRI), odakle su one ARPANET-om prosleđivane na istočnu obalu, a zatim isporučivane Univerzitetskom koledžu u Londonu satelitskom mrežom. To je istraživačima koji su kamionom krstarili Kalifornijom omogućilo da istovremeno koriste računar u Londonu.

Eksperiment je istovremeno pokazao da postojeći ARPANET protokoli nisu pogodni za rad u više različitih mreža. To zapažanje je podstaklo razvoj protokola, čiji je vrhunac bio stvaranje modela TCP/IP i njegovih protokola. (Cerf i Khan, 1974). TCP/IP je namenski projektovan za međumrežni rad, što je postajalo sve važnije kako su se ARPANET-u priključivale i druge mreže.



Slika 1-27. Razvoj ARPANET-a. (a) Decembar 1969. (b) Jul 1970. (c) Mart 1971. (d) April 1972. (e) Septembar 1972.

Da bi podstakla prihvatanje novih protokola, ARPA je dodelila više ugovora za integrisanje TCP/IP protokola u različite računarske platforme, među kojima su bili IBM, DEC i HP sistemi, kao i Berkeley UNIX. Istraživači Univerziteta Kalifornije u Berkliju smislili su odgovarajući programski interfejs za mrežu, tj. **utičnice** (engl. *sockets*) i napisali mnoge aplikacije, uslužne programe i programe za održavanje sistema kako bi olakšali upotrebu mreže sa utičnicama.

Trenutak je bio dobro izabran. Mnogi univerziteti su upravo dobili drugi ili treći VAX računar i LAN da ih povežu, ali nije bilo mrežnog softvera. Kada se pojavila verzija 4.2 Berklijevog softvera (4.2BSD), zajedno s TCP/IP protokolima, utičnicama i mnogim mrežnim uslužnim programima, softverski paket je odmah prihvaćen. Štaviše, lokalna mreža se pomoću TCP/IP protokola lako povezivala na ARPANET, pa je to u većini slučajeva i činjeno.

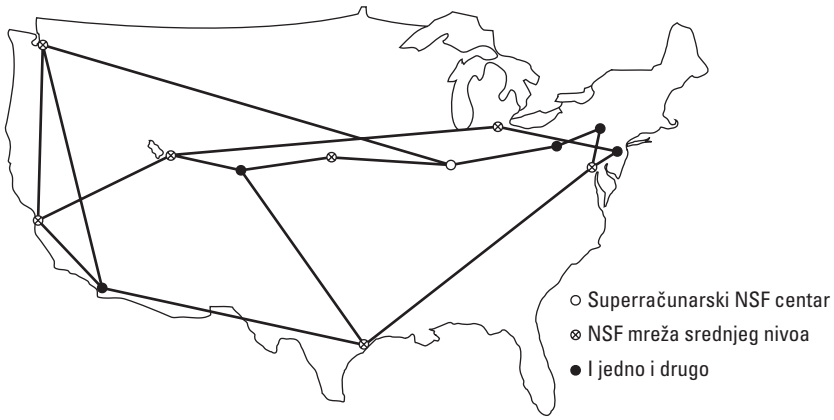
Tokom osamdesetih godina, ARPANET-u su se priključivale dodatne mreže, naročito lokalne. Kako je mreža rasla, pronalaženje računara na mreži bilo je sve teže, pa je napravljen **sistem imenovanja domena** (engl. *Domain Name System, DNS*) da bi se računari svrstali u domene i omogućilo prevođenje imena računara u njihove IP adrese. Od tada je DNS prerastao u opšti sistem distriburianih baza podataka za skladištenje brojnih informacija u vezi sa imenovanjem. Detaljno ćemo ga obraditi u 7. poglavlju.

NSFNET

Krajem sedamdesetih godina NSF (Američka nacionalna fondacija za nauku) shvatila je koliki uticaj ima mreža ARPANET na istraživački rad na univerzitetima time što naučnicima širom zemlje omogućava da razmenjuju podatke i sarađuju na istraživačkim projektima. Međutim, da bi se priključio ARPANET-u, univerzitet je morao da ima ugovor s Ministarstvom odbrane, a njega mnogi nisu imali. NSF je najpre 1981. finansirao izgradnju Mreže za računarske nauke (Computer Science Network, CSNET). Ona je povezivala odeljenja za računarske nauke i istraživačke laboratorije u industriji sa ARPANET-om preko javnih telefonskih i iznajmljenih vodova. Krajem 1980-ih, NSF je otišla korak dalje i rešila da projektuje naslednika ARPANET-a – mrežu na koju bi se slobodno mogle povezati sve univerzitetske istraživačke grupe.

Konkretan temelj ovoj zamisli postavili su kada su odlučili da izgrade mrežnu okosnicu koja će povezati šest centara sa superračunarima: u San Dijegu, Bulderu, Šampanji, Pitsburgu, Itaki i Prinstonu. Svaki superračunar je dobio „malog brata“ – mikroračunar LSI-11, nazvan **čupava loptica** (engl. *fuzzball*). Ti „čupavci“ su bili međusobno povezani iznajmljenim vodovima brzine prenosa 56 kb/s, čineći podmrežu, a upotrebljena je ista hardverska tehnologija koja je korišćena i za ARPANET. Softverska tehnologija je, međutim, bila drugačija: čupave loptice su se od početka sporazumevale pomoću protokola TCP/IP, tako da je to bila prva regionalna TCP/IP mreža.

NSF je finansirala i izgradnju dvadesetak regionalnih mreža koje su spajane sa okosnicom, kako bi pomogla hiljadama univerziteta, istraživačkih laboratorija, biblioteka i muzeja da pristupe svakom superračunaru i da međusobno razmenjuju poruke. Cela mreža, okosnica i regionalne mreže, nazvana je **NSFNET**. Ona se povezivala sa ARPANET-om preko veze između jednog IMP-a i mikroračunara u računarskom centru Univerziteta Carnegie-Mellon. Prva okosnica NSFNET-a prikazana je na slici 1-28.



Slika 1-28. Okosnica mreže NSFNET 1988. godine.

Mreža NSFNET pokazala se odmah tako uspešnom da je ubrzo bila zagušena. NSF je odmah počela da planira njenog naslednika i dodelila ugovor za izgradnju konzorcijumu MERIT iz Mičigena. Za 2. verziju okosnice od kompanije MCI (koja se kasnije ujedinila s WorldComom) iznajmljeni su optički kanali brzine prenosa 448 kb/s, a za usmerivače su iskorišćeni IBM-ovi personalni računari zasnovani na RISC tehnologiji (PC-RT). I ovaj kapacitet je uskoro prevaziđen, pa je 1990. propusna moć okosnice povećana na 1,5 Mb/s.

Kako je mreža rasla, NSF je shvatila da država neće stalno moći da je finansira. Komercijalnim organizacijama koje su želele da se priključe, to su zabranjivali propisi Fondacije. Zbog toga je NSF nagovorila kompanije MERIT, MCI i IBM da formiraju neprofitnu korporaciju **ANS** (**Advanced Networks and Services**), kao prvi korak ka komercijalizovanju. Godine 1990, ANS je preuzela NSFNET i unapredila njenu 1,5 megabitnu vezu do brzine od 45 Mb/s, nazvavši novu mrežu **ANSNET**. Ta meža je radila pet godina, a onda je prodata organizaciji American Online. U to vreme su već različite kompanije nudile komercijalne IP usluge i postalo je jasno da država treba da se izvlači iz ovog posla.

Da bi olakšala prelazni period i obezbedila da svaka regionalna mreža može da komunicira sa svakom drugom regionalnom mrežom, NSF je ugovorima obavezala četiri različita mrežna operatera da uspostave **tačke pristupa mreži** (engl. *Network Access Points*, *NAPs*). To su bili PacBell (San Francisko), Ameritech (Čikago), MFS (distrikt Vašington) i Sprint (Njujork, gde se za svrhe povezivanja Pennsauken u Nju Džerziju računao u područje Njujorka). Svaki mrežni operater koji je regionalnim NSF mrežama želeo da ponudi usluge povezivanja sa okosnicom, morao je da se poveže sa svim ostalim pristupnim tačkama.

Takva konstrukcija je značila da paket koji krene s bilo koje regionalne mreže, na okosnici bira centralu pomoću koje će stići od svoje do odredišne pristupne tačke. Shodno tome, kompanije koje su održavale centrale bile su prinuđene da se međusobno nadmeću u pogledu usluge i cene, što je i bila osnovna ideja. Rezultat toga je bio da je jedinstvena podrazumevana okosnica zamenjena infrastrukturom zasnovanom na komercijalnim principima i konkurenciji. Mnogi su skloni da kritikuju Saveznu vladu što nije preuzela inicijativu, ali treba biti iskren pa priznati da su američko Ministarstvo odbrane i Fondacija za nauku prvi stvorili infrastrukturu koja predstavlja osnovu Interneta, a zatim je predali industriji da je koristi i unapređuje.

Tokom devedesetih godina, mnoge druge države i regioni izgradili su nacionalne istraživačke mreže, često po obrascu ARPANET-a i NSFNET-a. Među njima su u Evropi mreže EuropaNET i EBONE, koje su počele sa 2 Mb/s, a zatim poboljšavane do brzine 34 Mb/s. Na kraju je i u Evropi mrežna infrastruktura predata industriji.

Internet se mnogo promenio od tih početaka. Eruptivno je narastao nakon pojave World Wide Weba (WWW) početkom 1990-ih. Nedavni podaci organizacije Internet Systems Consortium kazuju da je broj vidljivih umreženih računara na Internetu prešao 600 miliona. Radi se samo o jednoj konzervativnoj proceni, ali i ona daleko premašuje brojku od nekoliko miliona umreženih računara, koliko ih je bilo u vreme prve konferencije o WWW koja je 1994. održana u CERN-u.

Iz korena se promenio i način na koji koristimo Internet. Spočetka su dominirale primene kao što su e-pošta za akademce, diskusione grupe, daljinsko prijavljivanje i prenos datoteka. Kasnije se prešlo na e-poštu za svakoga, zatim na veb i razmenu sadržaja između ravnopravnih računara, kao što je radio sada zatvoreni Napster. Sada rastu distribuiranje multimedijskih sadržaja u realnom vremenu, društvene mreže (npr. Facebook) i mikroblogovi (npr. Twitter). Te su promene dovele bogatije vrste medija na Internet i stoga mnogo veći saobraćaj. U stvari, izgleda da se dominantni saobraćaj na Internetu periodično menja. Primera radi, novi i bolji načini rada s muzikom i filmovima mogu vrlo brzo da se raširе.

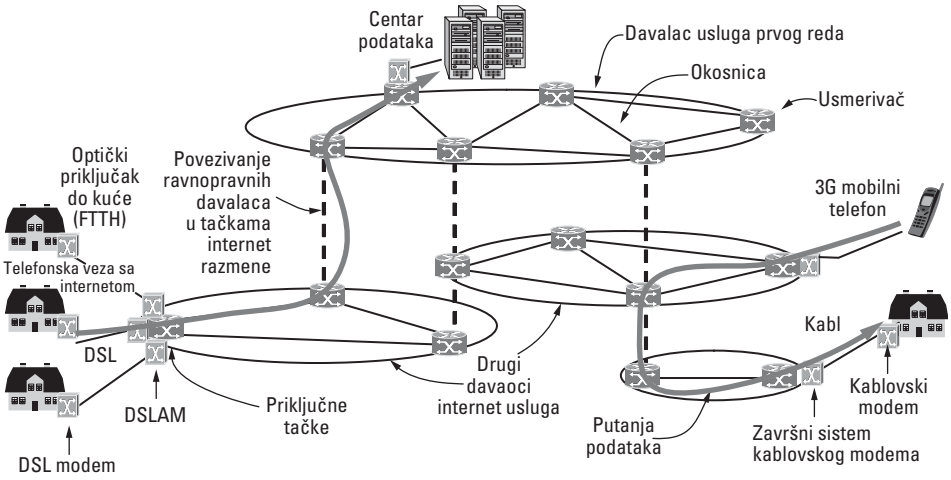
Arhitektura Interneta

Arhitektura Interneta se mnogo menjala zbog njegovog eksplozivnog rasta. U ovom odeljku pokušaćemo da damo kratak pregled savremenog Interneta. Brojne integracije telefonskih kompanija (telekoma), kablovskih kompanija i davalaca Internet usluga, dovele su do prilično složene situacije, pa je često teško utvrditi šta ko radi. Jedna od pokretačkih snaga tih integracija jeste konvergencija telekomunikacija, pri čemu se ista mreža koristi u prethodno različite svrhe. Na primer, u „trostrukoj igri“ ista kompanija prodaje telefonske, TV i Internet usluge koje stižu po istom mrežnom priključku; time bi navodno sve zajedno trebalo da bude jeftinije. Zbog toga je neophodno da ovaj opis bude jednostavniji od stvarnog stanja. I ono što važi danas, ne mora da važi sutra.

Opšti prikaz Interneta naći ćete na slici 1-29. Ispitajmo tu sliku deo po deo, počev od računara koji se nalaze po kućama (na ivicama slike). Da bi se priključio na Internet, računar uspostavlja vezu s **davaocem Internet usluga (ISP-om)** od kojega je korisnik kupio pristup Internetu, to jest mogućnost povezivanja. Sada računar može da razmenjuje pakete sa svim drugim dostupnim umreženim računarima na Internetu. Korisnik šalje pakete zbog švrljanja po vebu ili iz hiljadu drugih razloga, to nije važno. Internetu se pristupa na mnogo načina, a oni se obično razlikuju po ceni i brzini pristupa, ali je najvažniji atribut mogućnost povezivanja.

Uobičajeni način povezivanja s davaocem Internet usluga jeste preko telefonske linije do kuće; u tom slučaju, telefonska kompanija je ISP. **DSL** je skraćenica za **digitalnu pretplatničku liniju**. Postojeću telefonsku liniju do kuće DSL koristi za prenos digitalnih podataka. Računar je priključen na uređaj nazvan **DSL modem**, koji digitalne pakete pretvara u analogne signale što se neometano prenose telefonskom linijom. Na drugom kraju, uređaj nazvan **DSLAM (multiplekser za pristupanje digitalnoj pretplatničkoj liniji)** signale pretvara u pakete.

Na slici 1-29 prikazano je i više drugih raširenih načina povezivanja s davaocima Internet usluga. DSL koristi lokalnu telefonsku liniju ali je propusni opseg veći od onog pri slanju bitova po klasičnoj telefonskoj vezi (umesto razgovora glasom), što se naziva **telefonska veza sa Internetom** (engl. *dial-up*) i izvodi pomoću drugačije vrste modema na oba kraja. Reč **modem** je skraćenica za „modulator demodulator“ i odnosi se na svaki uređaj koji digitalne bitove proizvedene u računaru pretvara u analogne signale i obrnuto.



Slika 1-29. Opšti prikaz arhitekture Interneta.

Druga metoda šalje signale preko kablovskog TV sistema. Kao i kod DSL-a, tako se ponovno upotrebljava postojeća infrastruktura – u ovom slučaju inače neiskorišćeni kanali kablovske TV. Aparat na kućnom kraju nazivamo **kablovski modem**, dok onaj na kraju **kablovskog centralnog razvodnika (pojačavača)** (engl. *cable headend*) nazivamo **završni sistem kablovskog modema** (engl. *Cable Modem Termination System, CMTS*).

DSL i kablovska omogućuju pristup Internetu brzinama od delića jednog megabita/s do više megabita/s, zavisno od sistema. Te brzine su mnogo veće od brzina analogne telefonske linije, koja je ograničena na 56 kb/s zbog uskog propusnog opsega koji se upotrebljava za prenos govora. Pristupanje Internetu brzinama mnogo većim od brzina analogne telefonske linije naziva se **širokopojasno** (engl. *broadband*). Ime opisuje veću brzinu koja se upotrebljava u bržim mrežama, mada ne bilo koju određenu brzinu.

Dosad spomenute metode pristupa ograničene su propusnom moći lokalne linije tj. poslednjeg koraka prenosa između centrale i kuće. Kada se optički priključak dovede do kuća, može se obezbediti brži pristup Internetu, brzinama u opsegu 10 do 100 Mb/s. Taj dizajn se naziva **optički priključak do kuće** (Fiber to the Home, FTTH). Za preduzeća u komercijalnim oblastima može biti umesno da iznajme brz prenosni vod od kancelarija do najbližeg davaoca Internet usluga. Na primer, u Severnoj Americi, brzina T3 voda je približno 45 Mb/s.

Koristi se i bežični pristup Internetu. Reći ćemo nešto o 3G mrežama mobilne telefonije. U oblasti pokrivenoj signalom, mobilnim telefonima i fiksnim pretplatnicima one prenose podatke brzinama 1 Mb/s ili većim.

Sada su paketi spremni da pređu put od korisnikove kuće do davaoca Internet usluga. Oni se dovode do davaočeve **priključne tačke** (engl. *Point of Presence*, *POP*), gde se izvlače iz telefonskog sistema i ubacuju u davaočevu regionalnu mrežu. Sada ćemo objasniti kako se paketi kreću između priključnih tačaka raznih davalaca. Od priključne tačke sistem je potpuno digitalan i radi uz komutiranje paketa.

ISP mreže mogu po veličini biti regionalne, nacionalne ili međunarodne. Već smo videli da se one sastoje od prenosnih dalekovoda koji povezuju usmerivače u priključnim tačkama u gradovima koje davaoci opslužuju. Ta oprema čini **okosnicu** svakog davaoca. Ako je paket namenjen računaru koji je direktno vezan za davaoca, onda mu se odmah isporučuje preko okosnice. U suprotnom, prosleđuje se drugom davaocu.

Radi razmene saobraćaja, davaoci Internet usluga povezuju svoje mreže u **tačkama Internet razmene** (engl. *Internet eXchange Points, IXPs*). Za povezane davaoce Internet usluga kažemo da su **ravnopravni**. Po gradovima celog sveta ima mnogo tačaka Internet razmene. Na slici 1-29 one su nacrtane vertikalno, zato što se ISP mreže geografski preklapaju. Tačka Internet razmene (IXP) u osnovi je prostorija prepuna usmerivača, jer mora postojati barem po jedan za okosnicu svakog davaoca Internet usluga. Svi usmerivači u prostoriji povezani su u lokalnu mrežu, tako da se paketi mogu usmeriti s bilo koje okosnice na bilo koju drugu okosnicu. Tačke Internet razmene umeju da budu velika i samostalna postrojenja. Jedna od najvećih je amsterdamska, na koju su priključene stotine davalaca Internet usluga i kroz koju razmenjuju stotine gigabita saobraćaja u sekundi.

Ravnopravnost u tačkama Internet razmene zavisi od uzajamnih poslovnih odnosa davalaca Internet usluga, kojih ima svakakvih. Primera radi, mali davalac može plaćati većem za dostizanje udaljenih umreženih računara, kao što korisnik kupuje uslugu od bilo kojeg davaoca. U tom slučaju, kaže se da mali davalac plaća za **tranzit**. Ili dva velika davaoca mogu odlučiti da međusobno razmenjuju saobraćaj i da jedan drugom ne plaćaju tranzit. Jedan od mnogih paradoksa Interneta jeste i to što davaoci Internet usluga koji se javno nadmeću za klijente, često privatno sarađuju povezujući se na ovaj način (Metz, 2001).

Putanja kojom paket putuje kroz Internet menja se zavisno od toga koji davaoci su se uzajamno izabrali za ravnopravne. Ako paket isporučuje davalac koji je ravnopravan sa odredišnim davaocem, onda mu odmah predaje paket na konačnu isporuku. U suprotnom, paket se prosleđuje najbližoj tački razmene s plaćenim davaocem tranzitnih usluga, koji potom isporučuje paket. Na slici 1-29 nacrtana su dva primera putanja za razne davaoce usluga. Često se događa da putanja paketa kroz Internet nije najkraća moguća.

Na vrhu hijerarhije su glavni operateri mrežnih okosnica – kompanije kao što su AT&T i Sprint. Oni imaju velike međunarodne mrežne okosnice, s hiljadama usmerivača povezanih optičkim kablovima visoke propusne moći. Ovi operateri ne plaćaju tranzit. Njih obično nazivaju davaocima usluga **prvog reda** (engl. *tier 1 ISPs*). Za njih se kaže da čine okosnicu Interneta, pošto se svi drugi moraju povezati s njima kako bi mogli da dopru do celog Interneta.

Kompanije koje isporučuju hiljade veb strana u sekundi, kao što su Google i Yahoo!, svoje računare smeštaju u **centre podataka** direktno povezane na okosnicu Interneta. Ti su centri projektovani za računare a ne ljude, i prepuni su ormara za opremu pa ih nazivaju **farme servera**. Operateri okosnice Interneta ohrabruju ovakav pristup iznajmljujući prostor u centrima podataka za **smeštanje tuđih servera** (engl. *colocation* ili *hosting*), gde opremu poput servera mušterije smeštaju u tačke Internet

razmene u istoj prostoriji sa usmerivačem, kako bi se ostvarila kratka i brza veza između farmi servera i okosnice mreže. Internet industrija smeštanja tuđih servera postaje sve više virtuelizovana, te je sada postalo uobičajeno da se na farmi servera iznajmi virtuelni računar umesto da se instalira fizički računar. Ti centri podataka su toliko veliki (desetine ili stotine hiljada računara) i troše toliko struje da se ponekad moraju graditi tamo gde je struja jeftina.

Ovime se završava naš kratak prikaz Interneta. O pojedinim njegovim komponentama, njihovom projektovanju, primenjenim algoritmima i protokolima imaćemo dosta da kažemo u narednim poglavljima. Ovde valja spomenuti i to da se menja značenje prisustva na Internetu. Nekada je računar bio na Internetu ako: (1) izvršava skup protokola TCP/IP; (2) ima IP adresu; i (3) može da šalje IP pakete svim drugim računarima na Internetu. Međutim, davaoci Internet usluga često iste IP adrese dodeljuju raznim računarima, zavisno od toga ko je trenutno priključen, a kućne mreže često jednu IP adresu dele između više računara. Ova praksa potire drugi uslov. Bezbednosne mere poput zaštitnih barijera (engl. *firewalls*) takođe uzrokuju da računar delimično blokiraju prijem paketa, što potire treći uslov. Uprkos ovim poteškoćama, ima smisla smatrati da su takvi računari na Internetu sve dok su povezani sa svojim davaocem usluga.

Treba spomenuti i to da su neke kompanije međusobno povezale sve svoje interne mreže, često koristeći tehnologiju sličnu Internetu. Tako dobijenom **intranetu** (engl. *intranet*) najčešće se može pristupiti samo unutar kompanije ili s njenih prenosnih računara, dok sve drugo radi kao Internet.

1.5.2 Mreže mobilne telefonije treće generacije

Ljudi vole da pričaju telefonom čak i više nego da krstare Internetom, i zato je mreža mobilne telefonije najuspešnija mreža na svetu. Ima više od četiri milijarde korisnika širom sveta. To je približno 60% svetskog stanovništva i više od broja umreženih računara na Internetu i broja fiksnih telefonskih linija zajedno (ITU, 2009).

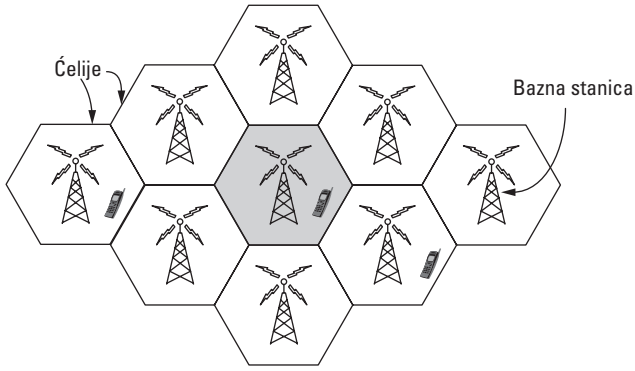
Tokom proteklih 40 godina, arhitektura mreža mobilne telefonije umnogome se izmenila i ogromno porasla. Prva generacija sistema mobilne telefonije prenosila je govor kao kontinualno promenljiv (analogni) signal, a ne kao niz (digitalnih) bitova. Mnogo korišćen sistem prve generacije bio je **AMPS (Napredni sistem mobilne telefonije)**, koji je u SAD bio u upotrebi od 1982. Druga generacija sistema mobilne telefonije prešla je na prenos govora u digitalnom obliku radi povećanja kapaciteta i bezbednosti i mogućnosti slanja tekstualnih poruka. Primer 2G sistema je **GSM (Globalni sistem mobilnih komunikacija)**. U upotrebi je od 1991. i otada je postao najzastupljeniji sistem mobilne telefonije na svetu.

Sistemi treće generacije (3G) počeli su s radom 2001. i takođe su digitalni, ali prenose i govor i (širokopojasno) podatke. I oni imaju svoj žargon i mnogo različitih standarda na izbor. ITU (međunarodno telo za standardizaciju, o kojem ćemo nešto više reći u sledećem odeljku) okvirno je propisao da 3G mora obezbediti brzinu od najmanje 2Mb/s za stacionarne i hodajuće korisnike, i 384 kb/s u vozilima koja se kreću. Po svetu se brzo širi glavni 3G sistem **UMTS (Univerzalni sistem mobilnih**

telekomunikacija), poznat i kao **WCDMA (širokopojasni CDMA – kodiran višestruki pristup)**. Može da obezbedi brzine do 14 Mb/s ka korisniku i skoro 6 Mb/s od korisnika. Buduće verzije imaće više antena i radio-predajnika kako bi se korisnicima pružila još veća brzina.

Deficitarni resurs u 3G sistemima, kao i prethodno u 2G i 1G sistemima, jeste radio-spektar. Dozvole za korišćenje delova spektra vlade prodaju operaterima mreža mobilne telefonije, često na rasprodajama gde se operateri nadmeću ko će ponuditi više. Dozvola (licenca) za deo spektra olakšava projektovanje i eksploataciju sistema, pošto u tom spektru niko drugi ne sme da emituje, ali često papreno košta. U Britaniji je godine 2000, na primer, pet dozvola za 3G prodato za ukupno 40 milijardi dolara.

Kao što je prikazano na slici 1-30, deficitarnost spektra dovela je do podele mreže na **ćelije**, što se danas radi u mrežama mobilne telefonije. Da bi se smanjila radio-interferencija između korisnika, oblast pokrivena signalom deli se na ćelije. U svakoj ćeliji korisnicima se dodeljuju kanali koji se uzajamno ne ometaju i ne prouzrokuju previše interferencije u susednim ćelijama. Time je omogućena znatna **višestruka upotreba istih frekvencija** u susednim ćelijama, što povećava kapacitet mreže. U 1G sistemima, koji su svaki razgovor prenosili u drugom pojasu frekvencija, one su bile pažljivo odabrane tako da ne ometaju susedne ćelije. Na taj način, data frekvencija se ponovo upotrebljavala samo jednom u nekoliko ćelija. Savremeni 3G sistemi omogućuju da svaka ćelija upotrebljava sve frekvencije, ali na način koji daje prihvatljiv nivo interferencije u susednim ćelijama. Ima više verzija podele na ćelije, kao što su upotreba direkcione ili sektorske antene na ćelijskom stubu radi daljeg smanjenja interferencije, ali osnovna ideja je ista.



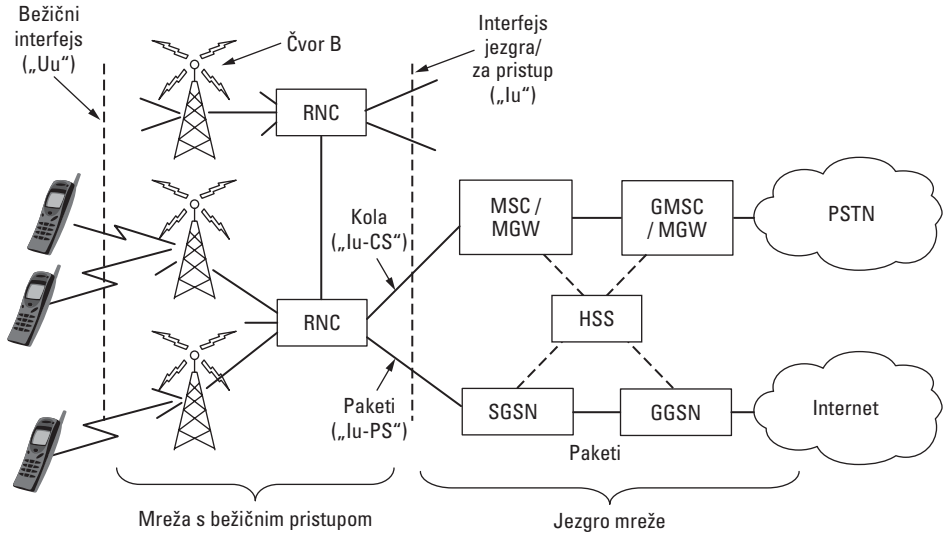
Slika 1-30. Podela mreža mobilne telefonije na ćelije.

Arhitektura mobilne telefonske mreže vrlo mnogo se razlikuje od arhitekture Interneta. Ima nekoliko delova, kao što se vidi na pojednostavljenoj verziji arhitekture UMTS-a na slici 1-31. Prvo, tu je tzv. **bežični interfejs**. Ovo je kitnjasto ime protokola za radio-komunikaciju koji se upotrebljava u vazduhu između mobilnog uređaja (npr. mobilnog telefona) i ćelijske **bazne stanice mobilne telefonije**. Zahvaljujući poboljšanjima bežičnog interfejsa u proteklim decenijama, bežični prenos podataka

postao je znatno brži. UMTS-ov bežični interfejs se zasniva na **kodiranom višestrukom pristupu** (Code Division Multiple Access, CDMA), tehnici koju ćemo proučavati u 2. poglavlju.

Ćelijska bazna stanica i njen kontroler čine **mrežu s bežičnim pristupom**. To je bežični deo mreže mobilne telefonije. Čvor **kontrolera mreže s bežičnim pristupom** (RNC) kontroliše upotrebu spektra. Bazna stanica realizuje bežični interfejs i naziva se **čvor B**, jer joj je ta privremena oznaka ostala.

Ostatak mreže mobilne telefonije prenosi saobraćaj za mrežu za radio-pristup i naziva se **jezgro mreže** (engl. *core network*). Jezgro UMTS mreže nastalo je iz jezgra mreže 2G GSM sistema, koje mu je prethodilo. Međutim, u jezgru UMTS mreže desilo se nešto iznenađujuće.



Slika 1-31. Arhitektura 3G mobilne telefonske UMTS mreže.

Još od nastanka prvih mreža vodi se rat između onih koji podržavaju paketne mreže (tj. podmreže bez uspostavljanja direktne veze) i onih koji se zalažu za mreže kola (podmreže sa uspostavljanjem direktne veze). Glavni zagovornici paketa dolaze iz zajednice korisnika Interneta. U mreži bez uspostavljanja direktne veze, svaki paket se usmerava nezavisno od drugih paketa. Kada tokom sesije otkaže neki usmerivač, to ne utiče na prenos sve dok je sistem u stanju da se automatski prilagodi situaciji šaljući pakete alternativnim putanjama, koje se mogu i razlikovati od prvobitnih.

Zagovornici mreža sa uspostavljanjem direktne veze jesu, prirodno, telefonske kompanije. U telefonskom sistemu, pozivalac mora da izabere broj sagovornika i da čeka na uspostavljanje veze pre nego što progovori ili pošalje podatke. Uspostavljanje veze znači uspostavljanje putanje za prenos podataka kroz telefonski sistem, koja se održava sve dok se veza ne raskine. Sve reči ili paketi slede istu putanju. Ako vod ili **skretnica** na toj putanji otkaže, veza se prekida, što je čini manje otpornom na greške od paketne mreže.

Prednost uspostavljanja kola je to što lakše podržavaju kvalitet usluge. Kada vezu uspostavite unapred, podmreža može da rezerviše resurse (privremenu memoriju, kapacitet procesora usmerivača itd.). Ako pokušate da uspostavite vezu bez dovoljno raspoloživih resursa, dobićete signal zauzeća. S druge strane, kada se veza uspostavi, ona obezbeđuje kvalitetnu uslugu.

U mreži bez direktnog uspostavljanja veze, ako previše paketa stigne istovremeno na isti usmerivač, on će se zagušiti i verovatno izgubiti neke pakete. Pošiljalac će to s vremenom primetiti i ponovo ih poslati, ali će prenos paketa biti neravnomeran i nepodesan za audio ili video, osim ako je mreža sasvim slabo opterećena. Ne treba ni pominjati da je kvalitet zvuka nešto o čemu telefonske kompanije veoma brinu, pa odatle i sledi njihova sklonost ka direktnim vezama.

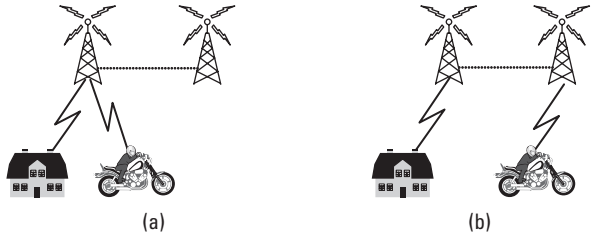
Na slici 1-31 iznenađuje to što u jezgru mreže ima i opreme za komutaciju paketa i one za komutaciju kola. To kazuje da je mobilna telefonska mreža u prelaznom razdoblju i da kompanije za mobilnu telefoniju mogu da ostvare jednu a ponekad i obe mogućnosti. Starije mreže mobilne telefonije imale su jezgro sa opremom za komutaciju kola, u stilu klasične telefonske mreže za prenos govora. To nasleđe se u UMTS mreži vidi po elementima **MSC (centrala sistema mobilne telefonije)**, **GMSC (komutacioni centar mrežnog prolaza mobilne telefonije)** i **MGW (mrežni prolaz prema drugačijim mrežama)**, koji uspostavljaju veze preko jezgra mreže sa opremom za komutaciju kola, kao što je **javna komutirana telefonska mreža (JKTM)**.

Usluge razmene podataka u mobilnim telefonskim mrežama danas su mnogo važnije nego pre, počev od slanja tekstualnih poruka i prvih usluga paketnih podataka kao što je **GPRS (opšta paketna radio-usluga)** u sistemu GSM. Brzina tih starijih usluga razmene podataka bila je nekoliko desetina kb/s ali su korisnici tražili više. Brzina novijih mobilnih telefonskih mreža za paketne podatke iznosi više Mb/s. Poređenja radi, analogna telefonska mreža prenosi govor brzinom 64 kb/s, a uz komprimovanje obično 3 do 4 puta sporije.

Da bi preneli sve ove podatke, čvorovi jezgra UMTS mreže neposredno se povezuju s mrežom za komutaciju paketa. Čvorovi **SGSN (za opsluživanje GPRS čvora za podršku**) i GGSN (**GPRS čvor za podršku mrežnog prolaza**) isporučuju pakete podataka od mobilnih telefona i ka njima i služe kao interfejs ka spoljnim paketnim mrežama kao što je Internet.

Sve je spremno da se ovaj prelazak nastavi u mrežama mobilne telefonije koje se sada planiraju i šire. Internet protokoli se i na mobilnim telefonima upotrebljavaju čak za uspostavljanje veza za prenos govora preko paketne mreže podataka, po uzoru na prenos govora preko Interneta (engl. *voice over IP*, *VoIP*). IP i paketi se upotrebljavaju svuda, od pristupanja preko radio-veze do jezgra mreže. Naravno, menja se i način projektovanja IP mreža u smeru podrške većem kvalitetu usluge. Da nije tako, mušterije bi oterali problemi sa iseckanim zvukom i videom koji se prekida. Vratićemo se ovoj temi u 5. poglavlju.

Druga razlika između mreža mobilne telefonije i klasičnog Interneta jeste mobilnost. Kada korisnik izađe iz dometa jedne ćelijske bazne stanice i uđe u domet druge, tok podataka se mora preusmeriti iz stare u novu stanicu. Ova tehnika se naziva **predavanje upravljanja** (engl. *handover* ili *handoff*) i ilustrovana je na slici 1-32.



Slika 1-32. Predaja upravljanja za mobilni telefon (a) pre, (b) posle.

Predaju upravljanja može zatražiti mobilni uređaj ili bazna stanica kada se kvalitet signala pogorša. U nekim mrežama podeljenim na ćelije, najčešće onima zasnovanim na tehnologiji CDMA, moguće je povezati se s novom baznom stanicom pre raskidanja veze sa starom. Time se povećava kvalitet veze pošto nema prekida usluge; jedno kratko vreme mobilni je zaista istovremeno povezan s dve bazne stanice. Takvo **predavanje upravljanja** nazvano je **meko**, za razliku od **tvrdog** kada telefon raskine vezu sa starom baznom stanicom pre nego što se poveže s novom.

Srodna tome je problematika pronalaženja mobilnog kada stigne poziv. Svaka mreža mobilne telefonije ima **server podataka lokalnih pretplatnika** (Home Subscriber Server, HSS) u jezgru mreže; HSS zna lokaciju svakog pretplatnika, kao i druge informacije o profilu koji se upotrebljava za proveru identiteta i ovlašćivanje. Na taj način, svaki mobilni se može pronaći stupanjem u vezu sa HSS-om.

Poslednja oblast koju ćemo razmotriti jeste bezbednost. Istorijski gledano, telefonske kompanije su dugo bezbednost shvatale mnogo ozbiljnije od Internet kompanija, pošto su izdavale račune za izvršene usluge i morale da spreče prevare u vezi s naplatom. Nažalost, time se nije reklo mnogo. Bez obzira na sve, u razvoju od 1G do 3G tehnologije, kompanije mobilne telefonije uspele su da delimično naprave osnovne bezbednosne mehanizme za mobilne telefone.

Počev od GSM sistema 2G, mobilni telefon je bio podeljen na telefonsku slušalicu i jedan čip koji se može izvaditi, a sadrži informacije o identitetu i nalogu korisnika. Taj čip se neformalno naziva **SIM kartica**, što je skraćeno od Subscriber Identity Module (**kartica identiteta pretplatnika**). SIM kartice se mogu prebacivati iz jedne telefonske slušalice u drugu da bi se slušalica aktivirala, i one su osnova bezbednosti. Kada vlasnici GSM telefona otputuju u strane zemlje na odmor ili poslovno, često ponesu i svoj mobilni, ali odmah po dolasku za nekoliko dolara kupe novu SIM karticu kako za lokalne pozive ne bi plaćali roaming tarifu.

Da bi se smanjila mogućnost prevare, informacije na SIM kartici mreža mobilne telefonije upotrebljava za proveru identiteta pretplatnika i proveru ima li korisnik pravo korišćenja mreže. U UMTS mrežama, mobilni koristi podatke sa SIM kartice i za proveru da li komunicira s legitimnom mrežom.

Još jedan aspekat bezbednosti je privatnost. Bežični signali se neusmereno emituju svim obližnjim prijemnicima, pa da bi se otežalo prisluškivanje, prenos se šifruje kriptografskim ključevima sa SIM kartice. Time je postignuta mnogo veća privatnost u odnosu na sisteme 1G koje je bilo lako prisluškivati, ali problem i dalje nije rešen zbog slabosti šema za šifrovanje.

Mreže mobilne telefonije su predodređene da igraju glavnu ulogu u budućim mrežama. Danas se više bave mobilnim širokopojasnim primenama nego prenosom govora, a to ima velike posledice po bežične interfejse, arhitekturu jezgra mreže i bezbednost budućih mreža. U razvoju su brže i bolje tehnologije 4G, nazvane **LTE** (engl. akronim od **dugoročna evolucija**), iako se projektovanje i primena 3G mreža nastavljaju. I ostale bežične tehnologije nude širokopojasni pristup Internetu za fiksne i mobilne klijente; među njima istaknuto mesto imaju 802.16 mreže pod zajedničkim imenom **WiMAX**. Sasvim je moguće da se LTE i WiMAX međusobno potiru, i teško je predvideti njihovu budućnost.

1.5.3 Bežični LAN: 802.11

Čim su se pojavili prenosni računari, mnogi su počeli da sanjaju o vremenu kada će jednostavno ušetati u neku kancelariju a njihov laptop se čarobno već sam priključio na Internet. Zbog toga su brojne grupe počele da rade na ostvarenju tog cilja. Najpraktičnije rešenje bilo je da se i kancelarija i prenosni računar opreme radio-predajnicima kratkog dometa pomoću kojih bi mogli da komuniciraju.

Taj pristup je ubrzo doveo do stvaranja bežičnih lokalnih mreža koje su nudile mnoge kompanije. Problem je bio u tome što se među njima nisu mogle naći ni dve međusobno kompatibilne mreže. Takvo zanemarivanje standarda značilo je da računar s radio-predajnikom marke X neće raditi u prostoriji u kojoj je instalirana bazna stanica marke Y. Na kraju je industrija zaključila da bi standard za bežične lokalne mreže mogao biti dobra ideja, pa je IEEE komitetu koji je standardizovao ožičenu lokalnu mrežu dat zadatak da napravi standard i za bežični LAN.

Najlakše je bilo doneti prvu odluku: ime standarda. Svi drugi standardi za lokalne mreže nosili su oznake 802.1, 802.2, 802.3 i tako sve do 802.10, pa je bilo prirodno da standard za bežični LAN dobije oznaku 802.11. Odmah je stekao i popularno ime **WiFi**, ali pošto je važan i zaslužuje poštovanje, zvaćemo ga pravim imenom, 802.11.

Ostatak posla bio je teži. Najpre je trebalo pronaći pogodnu frekvenciju, po mogućstvu globalno raspoloživu. Primenjen je pristup suprotan onome u mrežama mobilne telefonije. Umesto skupog spektra za koji se prodaju licence, sistemi 802.11 rade u nelicenciranim područjima frekvencija kao što su oni za **industrijsku, naučnu i medicinsku** (**ISM**) upotrebu definisani u standardu ITU-R (npr. 902–928 MHz, 2.4–2.5 GHz, 5.725–5.825 GHz). „Nelicencirani“ znači da svi uređaji smeju besplatno da koriste ovaj spektar, ali uz uslov da ograniče svoju snagu predaje tako da razni uređaji mogu raditi istovremeno. Naravno, to znači da se 802.11 radio-predajnici mogu naći u situaciji da se u spektru bore s emisijama fiksnih bežičnih telefona, automatskih garažnih vrata i mikrotalasnih pećnica.

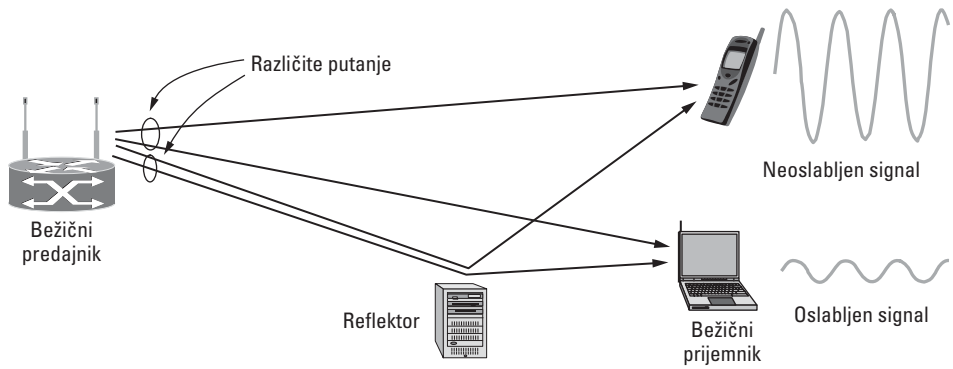
WiFI (802.11) mreže se sastoje od klijenata, kao što su prenosni računari i mobilni telefoni, i **pristupnih tačaka** (engl. *access points*) koje se instaliraju u zgradama. Za pristupne tačke se ponekad koristi termin **bazne stanice**. Pristupne tačke se povezuju sa ožičenom mrežom; sva komunikacija između klijenata prolazi kroz pristupnu tačku. Takođe je moguća neposredna komunikacija između klijenata koji su u radio-dometu – recimo, dva računara u prostoriji koja nema bežičnu lokalnu mrežu tj. u kojoj nema pristupne tačke. Takav režim rada se ponekad naziva **ad hoc umrežavanje**

(engl. *ad hoc networking*) i koristi se mnogo ređe od režima pristupne tačke. Oba radna režima prikazana su na slici 1-33.



Slika 1-33. (a) Rad u bežičnoj mreži s baznom stanicom. (b) Ad hoc umrežavanje.

Prenos po standardu 802.11 komplikuju promenljivi uslovi bežičnog rada, koji se menjaju čak i pri malim promenama u okruženju. Na frekvencijama koje se upotrebljavaju za 802.11, radio-signali se odbijaju od čvrstih predmeta, tako da prijemnik može isti signal primiti više puta (direktan i odbijen različitim putanjama). Rezultujuća interferencija signala naziva se **slabljenje zbog različitih putanja** (engl. *multipath fading*) i prikazana je na slici 1-34.



Slika 1-34. Slabljenje zbog različitih putanja.

Osnova za prevazilaženje promenljivih uslova bežičnog rada jeste **sloboda izbora putanje** odnosno slanje informacija po više nezavisnih putanja. Time se povećava verovatnoća da će informacija biti primljena čak i kada je jedna od putanja loša zbog slabljenja. Nezavisne putanje se najčešće ugrađuju u šeme digitalne modulacije u fizičkom sloju. Među njima su korišćenje različitih frekvencija u dozvoljenom pojasu, upotreba različitih prostornih putanja između raznih parova antena, ili ponavljanje bitova tokom različitih vremenskih perioda.

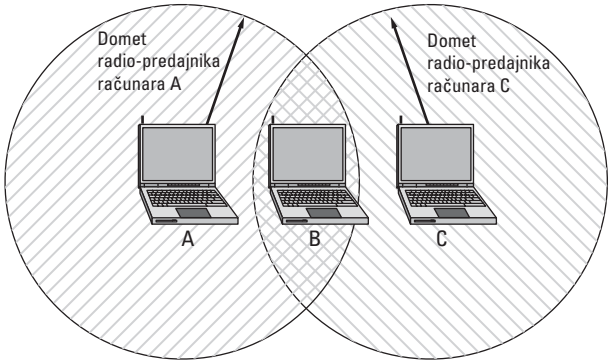
U komitetu je nastao rascep, zbog čega su 1999. objavljena dva nova standarda. Standard 802.11a predviđa širi frekventni opseg i rad pri brzinama do 54 Mb/s. Standard 802.11b koristi istu frekvenciju kao i osnovni standard 802.11, ali uz drugačiju tehniku modulacije postiže brzinu 11 Mb/s. Neki smatraju da je to psihološki važno jer je postignuta brzina (11 Mb/s) veća nego u kablovskom Ethernetu. Jasno je da će prvobitni standard 802.11, koji omogućava brzinu 1 Mb/s, nestati, ali nije jasno šta će ga naslediti.

U različitim verzijama standarda 802.11 bile su upotrebljene sve te tehnike. Prva verzija standarda (1997) predviđa bežičnu lokaklnu mrežu brzine 1 ili 2 Mb/s, na šta su odmah usledile žalbe korisnika i rad je nastavljen u cilju ubrzavanja rada u mreži. Širenje spektra je povećano i (1999) postalo standard 802.11b, koji radi na brzinama do 11Mb/s. Standardi 802.11a (1999) i 802.11g (2003) prešli su na drugačiju šemu modulacije nazvanu **multipleksiranje sa ortogonalnom podelom frekvencija** (**OFDM**). Tu se široko područje frekvencija deli na mnogo uskih odsečaka po kojima se bitovi šalju paralelno. Tako poboljšana šema, koju ćemo proučavati u 2. poglavlju, podigla je brzine rada 802.11a/g do 54 Mb/s. To je značajno povećanje, ali korisnici su tražili još više radi zahtevnijih načina upotrebe. Poslednja verzija (2009) ima oznaku 802.11n. U njoj se koriste širi pojasevi frekvencija i do četiri antene po računaru, i tako dostiže brzine do 450 Mb/s.

Pošto je emitovanje u bežičnim mrežama po prirodi stvari neusmereno, i 802.11 radio-predajnici moraju da reše problem sukoba više istovremenih emisija, što dovodi do interferencije koja ometa prijem. Da bi rešio taj problem, standard 802.11 upotrebljava šemu **CSMA (višekorisnički pristup uz osluškivanje saobraćaja na nosiocu podataka)** preuzetu od klasičnog ožičenog Etherneta, koji je, sa svoje strane, tu ideju preuzeo od jedne od prvih bežičnih mreža razvijenoj na Havajima i nazvanoj ALOHA. Računar na Ethernetu uvek (neko nasumično odabrano vreme) osluškuje kabl pre nego što počne da emituje. On počinje da emituje tek kada utvrdi da na kablu nema nikoga. Ta šema smanjuje verovatnoću da će dva računara početi da emituju istovremeno. U bežičnim mrežama, takav pristup se ne ostvaruje lako. Objašnjenje pruža slika 1-35. Pretpostavimo da računar A šalje poruku računaru B, ali je domet radio-predajnika računara A suviše mali da dosegne računar C. Ukoliko računar C želi da pošalje poruku računaru B, on može da osluškuje etar pre slanja ali, ako ništa ne čuje i zato pošalje svoju poruku, to ne znači da će je B uspešno primiti. Nesposobnost računara C da čuje računar A pre početka predaje prouzrokuje sukob kada dođe do istovremene predaje. Nakon sukoba, pošiljalac ponovo (malo duže nego prethodni put) osluškuje etar i počinje da emituje ako u tom vremenu ništa ne začuje. Uprkos ovome i nekim drugim problemima, u praksi šema radi dovoljno dobro.

Drugi problem nastaje kada prenosni računar premestite iz dometa jedne pristupne tačke u domet druge; mora postojati mehanizam kojim jedna pristupna tačka predaje upravljanje računarom drugoj. Rešenje je podela 802.11 mreže na više ćelija, svake sa svojom pristupnom tačkom, pri čemu su one povezane nekim (ožičenim) razvodnim sistemom. Često je to komutirani Ethernet, ali može biti bilo šta. Kako se klijenti premeštaju, pronalaze nove pristupne tačke; ako nova tačka ima bolji signal od one koju

klijent trenutno koristi, pridružiće se novoj. Sistem je spolja izgledao kao i svaki drugi Ethernet, tj. kao jedna ožičena lokalna mreža.



Slika 1-35. Domet jednog radio-predajnika možda ne pokriva ceo sisem.

Uza sve to, u mrežama 802.11 pokretljivost je dosad bila od male koristi u poređenju s pokretljivošću u mrežama mobilne telefonije. Mreže 802.11 najčešće koriste nomadski klijenti na jednoj ili drugoj fiksnoj lokaciji, a ne dok su u pokretu. Za nomadsku upotrebu, pokretljivost zapravo nije neophodna. Čak i kada se 802.11 pokretljivost upotrebi, ona se prostire samo kroz jednu 802.11 mrežu, koja obuhvata najviše jednu veliku zgradu. Buduće šeme će morati da obezbede pokretljivost kroz različite mreže i tehnologije (npr. 802.21).

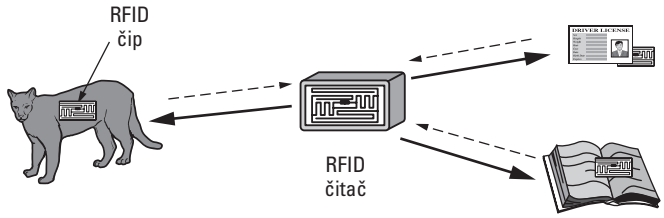
Najzad, tu je i problem bezbednosti. Pošto je emitovanje u bežičnim mrežama neusmereno, svi obližnji računari primaju pakete namenjene samo jednom od njih. Standard 802.11 to pokušava da spreči šifrovanjem po šemi **privatnost kao u kablovskoj mreži (WEP)**. Dakle, trebalo je da bezbednost u bežičnim mrežama bude jednaka onoj u kablovskim. Lepo zamišljeno, ali nažalost ta šema je loša i ne radi (Borisov et al., 2001). Otada su je zamenile novije šeme s drugačijim kriptografskim pojedinostima u standardu nazvanom 802.11i ili prvobitno **WPA (WiFi sa zaštićenim pristupom)**, a sada **WPA2**.

U bežičnom umrežavanju, standard 802.11 je izazvao revoluciju i ona traje. Osim po zgradama, bežične mreže se ubrzano instaliraju u avionima, vozovima, brodovima i automobilima kako bi ljudi mogli da krstare Internetom kuda god da putuju. S bežičnim mrežama danas mogu da komuniciraju mobilni telefoni i sva moguća elektronika za široku potrošnju – od igračkih konzola do digitalnih foto-aparata. Vratićemo im se i detaljno ih proučiti u 4. poglavlju.

1.5.4 RFID i senzorske mreže

Dosad smo proučavali mreže sastavljene od računarskih uređaja koje je lako prepoznati – od računara do mobilnih telefona. Uz **identifikaciju pomoću ugrađenog radio odašiljača (RFID)** i najobičniji predmeti mogu postati deo računarske mreže.

RFID čip liči na nalepnicu veličine poštanske marke koja se može pričvrstiti na (ili ugraditi u) bilo šta što treba pratiti. To može biti pas, pasoš, knjiga ili transportna paleta. RFID čip se sastoji od malog mikročipa s jedinstvenim identifikatorom i antene koja prima radio-talase. RFID čitači instalirani na mestima kontrole pronađu svaki čip koji uđe u njihov domet i očitaju njegove podatke, kao što je prikazano na slici 1-36. Među primenama su provera identiteta, upravljanje lancem dobavljača, sprečavanje krađe knjiga, pronalaženje vlasnika izgubljenih pasa, merenje vremena na trkama i zamena bar-kodova.



Slika 1-36. RFID se upotrebljava za umrežavanje predmeta i životinja.

Ima mnogo vrsta RFID-a različitih svojstava, ali je možda najfascinantniji aspekat te tehnologije činjenica da većina RFID čipova nema nikakav utikač niti bateriju. Umesto njih, svu energiju potrebnu za rad čipa daju radio-talasi koje odašilju RFID čitači. To je **pasivni RFID**, za razliku od (ređe upotrebljavanog) **aktivnog RFID**-a u kojem čipovi imaju sopstveni izvor napajanja.

Od češćih oblika RFID-a spomenimo **RFID u UHF području frekvencija (UHF RFID)**. Koristi se na transportnim paletama i vozačkim dozvolama. U SAD, ovi čitači šalju signale u području 902–928 MHz. Čipovi komuniciraju na udaljenosti od nekoliko metara odbijanjem signala pristiglih od čitača; čitač je u stanju da primi i razume odbijene talase. Taj način rada je nazvan **povratno rasejanje** (engl. *backscatter*).

Druga raširena vrsta RFID-a je **RFID u HF području frekvencija (HF RFID)**. Radi na 13.56 MHz i verovatno ga imate u pasošu, kreditnoj kartici, knjigama i sistemima za beskontaktno plaćanje. HF RFID ima mali domet, obično jedan metar ili manje, zato što je fizički mehanizam zasnovan na indukciji a ne na povratnom rasejanju. Ima i drugih oblika RFID-a koji koriste druge frekvencije, kao što je **RFID u LF području frekvencija (LF RFID)**, koji je bio razvijen pre HF RFID-a i upotrebljava se za praćenje životinja. Takav RFID čip je verovatno ugrađen pod kožu vašeg psa.

RFID čitači nekako moraju rešiti problem više čipova koji se istovremeno nalaze u dometu. To znači da čip ne sme da odgovori odmah čim primi signal čitača kako se signali više čipova ne bi sukobili. Rešenje je slično onom u standardu 802.11: svaki čip čeka neko nasumično odabrano vreme pre nego što odgovori svojim identifikatorom, a to čitaču omogućuje da locira sve čipove koji su odgovorili i da ih potom pojedinačno ispita.

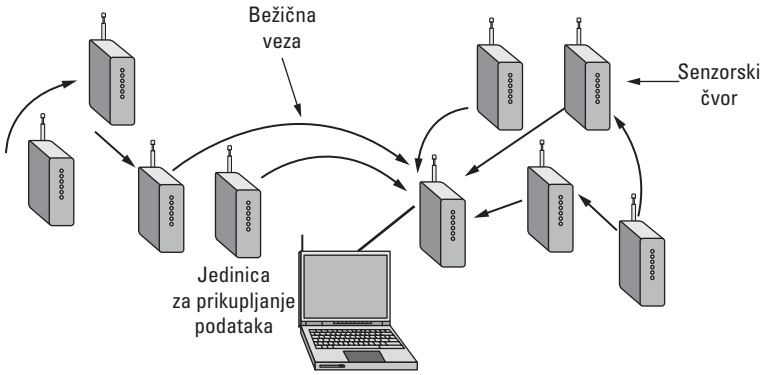
Drugi problem je bezbednost. Sposobnost RFID čitača da s lakoćom prate čipovani objekat, pa onda i osobu koja ga koristi, može poslužiti za ugrožavanje privatnosti.

Nažalost, zloupotrebu RFID čipova je teško sprečiti, pošto nemaju ni računarsku ni komunikacijsku snagu za izvršavanje jakih kriptografskih algoritama. Zato se upotrebljavaju slabe mere zaštite poput lozinki (koje je lako razbiti). Ako ličnu kartu može daljinski da očita službenik na granici, šta će druge osobe sprečiti da istu ličnu kartu prate bez vašeg znanja? Malo toga.

RFID čipovi su se na početku upotrebljavali samo za identifikaciju, ali brzo dobijaju sve mogućnosti pravih računara. Na primer, mnogi čipovi imaju memoriju koja se može ažurirati i kasnije očitati, tako da se zajedno s čipovanim objektom može uskladištiti i informacija o tome šta se s njim dešavalo. Rieback et al. (2006) pokazali su da to znači da su moguće sve uobičajene zloupotrebe računarskog zlonamernog koda, samo što sada i pas i pasoš mogu biti upotrebljeni i za širenje RFID virusa.

Korak napred u odnosu na RFID predstavljaju **senzorske mreže (davača)**. Senzorske mreže se primenjuju za nadziranje raznih aspekata fizičkog sveta. Dosad su ih uglavnom upotrebljavali za naučne eksperimente kao što su nadziranje ptičjih staništa, aktivnosti vulkana i migracija zebri, ali nećemo dugo čekati na poslovne primene, među kojima su zdravstvena zaštita, oprema za nadziranje vibracija, i praćenje zamrznute, ohlađene ili na drugi način pripremljene kvarljive robe.

Senzorski čvorovi su mali računari veličine priveska na narukvici, opremljeni senzorima temperature, vibracija i dr. Stavljaju ih u okruženje koje treba nadzirati. Najčešće imaju baterije, mada struju mogu dobijati od vibracija ili svetlosti. Kao sa RFID-om, najveći problem senzorskih čvorova jeste imati dovoljno energije, pa moraju pažljivo da biraju kada će komunicirati kako bi svoja merenja uspeli da predaju spoljnoj jedinici za prikupljanje informacija. Uobičajena strategija je da se čvorovi samoorganizuju i štafetno predaju poruke jedni za druge, kao što je prikazano na slici 1-37. Takav dizajn nazivamo **privremena (multihop) mreža**.



Slika 1-37. Privremena topologija senzorske mreže.

RFID i senzorske mreže će se ubuduće verovatno mnogo proširiti i dobiti mnogo veće mogućnosti. Istraživači su već iskombinovali najbolje od obe te tehnologije i napravili prototip programabilnog RFID čipa sa senzorima svetlosti, kretanja i dr. (Sample et al., 2008).

1.6 STANDARDIZOVANJE MREŽA

Postoji mnogo proizvođača i prodavaca mreža, a svaki ima sopstveni stav o tome kako stvari treba da izgledaju. Bez koordinacije nastao bi potpun haos od koga bi korisnici imali samo štetu. Jedini izlaz je dogovaranje o mrežnim standardima. Standardi ne samo što omogućavaju da različiti računari međusobno komuniciraju već i proširuju tržište proizvoda koji su usaglašeni sa standardom. Šire tržište znači masovniju i ekonomičniju proizvodnju, bolje realizacije i druge prednosti koje snižavaju cenu i povećavaju prihvatljivost proizvoda.

U narednim odeljcima ukratko ćemo se osvrnuti na važno ali slabo poznato područje međunarodne standardizacije. Ali razmotrimo najpre šta spada u standard. Razborit čovek bi mogao pretpostaviti da standard kazuje kako bi određeni protokol trebalo da radi, tako da se može dobro realizovati. Taj ne bi bio u pravu.

Standardi definišu ono što je potrebno za usklađen zajednički rad proizvoda raznih proizvođača: ni manje, ni više. Time se stvara veće tržište i prepušta kompanijama da u uzajamnoj konkurenciji dokažu kvalitet svojih proizvoda. Na primer, standard 802.11 definiše mnogo brzina prenosa, ali ne kaže kada bi predajnik trebalo da radi kojom brzinom, što je ključno za dobre performanse. To je prepušteno proizvođačima. Zato je put do usklađenog zajedničkog rada proizvoda raznih proizvođača često težak, pošto ima mnogo načina realizacije, a standardi obično definišu mnoge mogućnosti. Za 802.11 je bilo toliko problema da je, u strategiji koja je otada postala uobičajena, osnovano gransko udruženje proizvođača po imenu **WiFi Alliance**. Ono je razradilo usklađen zajednički rad proizvoda raznih proizvođača, unutar standarda 802.11.

Slično tome, standard protokola definiše taj protokol na žici ali ne i uslužni interfejs unutar kutije, osim koliko treba da se objasni protokol. Stvarni uslužni interfejsi su najčešće nestandardni. Primera radi, za komunikaciju sa udaljenim računarom nije važno kakav je interfejs TCP-a sa IP-om unutar računara. Važno je samo da udaljeni računar komunicira sa skupom protokola TCP/IP. U stvari, obično se TCP i IP realizuju zajedno, bez ikakvog posebnog interfejsa. Uza sve to, dobri uslužni interfejsi, kao dobri interfejsi za programiranje aplikacija (API), doprinose upotrebi protokola, a najbolji (kao što su Berkli utičnice) umeju da postanu vrlo popularni.

Standardi se dele u dve kategorije: de facto i de jure. **De facto** (lat. *činjenički*, *faktički*) standardi jesu oni koji su prihvaćeni bez prethodnog planiranja. HTTP, protokol po kojem radi veb, započeo je život kao de facto standard. Bio je ugrađen u prve čitače veba koje je razvio Tim Berners-Lee u CERN-u i njegovo korišćenje se proširilo s rastom veba. Drugi primer je Bluetooth. Prvobitno ga je razvio Ericsson, a danas ga koriste svi.

Nasuprot tome, **de jure** (lat. *zakonski*) standardi predstavljaju formalne, zakonske standarde koje je objavilo neko telo ovlašćeno za standardizaciju. Organizacije ovlašćene za međunarodne standarde u načelu se dele na dve klase: one koje su osnovane sporazumom više država i one dobrovoljne, izvan sporazuma. Na području standardizacije računarskih mreža ima više organizacija oba tipa, navedimo tu ITU, ISO, IETF i IEEE, i o njima govorimo u nastavku.

U praksi, odnosi između standarda, kompanija i tela za standardizaciju komplikovani su. De facto standardi često prerastu u de jure standarde, naročito ako su uspešni. To je bio slučaj sa HTTP-om, koji je IETF brzo usvojio. Standardizaciona tela često usvajaju gotove standarde drugih tela za standardizaciju da bi povećala tržište određene tehnologije, i to liči na međusobno povlađivanje. Danas se oko nekih tehnologija formira mnogo ad hoc poslovnih udruženja koje igraju značajnu ulogu u razvoju i usavršavanju mrežnih standarda. Primera radi, **3GPP (projekat saradnje za treću generaciju)** udruženje je telekomunikacionih udruženja koje pravi standarde UMTS mobilne telefonije 3G.

1.6.1 Ko je ko u svetu telekomunikacija

Zakonski status telefonskih kompanija u svetu razlikuje se od jedne zemlje do druge. Jedna krajnost su Sjedinjene Države sa 2000 zasebnih, (uglavnom vrlo malih) privatnih telefonskih kompanija. Broj im se malo povećao kada je razbijen AT&T 1984. godine (tada najveća svetska korporacija koja je obezbeđivala telefonske usluge za 80 posto američkih telefona) i donošenjem Zakona o telekomunikacijama 1996. godine, koji je promenio zakonsku regulativu da bi ojačao konkurenciju.

Druga krajnost su države u kojima vlada ima potpun monopol nad komunikacijama, uključujući poštu, telegraf, telefon, a često i radio i TV. Veći deo sveta spada u ovu kategoriju. U nekim slučajevima, telekomunikacije drži državno preduzeće, a u drugim je to jednostavno vladin sektor, obično poznat kao **Poštanska, telegrafska i telefonska uprava** (engl. *Post, Telegraph & Telephone administration*, *PTT*). U čitavom svetu oseća se trend ka liberalizaciji, konkurenciji i slamanju državnog monopola na ovom polju. Većina evropskih država već je (delom) privatizovala svoje PTT uprave, ali je negde taj proces tek počeo.

Uz toliko različitih davalaca usluga, postoji jasna potreba za kompatibilnošću na globalnom planu da bi ljudi (ili računari) u jednoj državi mogli da komuniciraju sa svojim parnjacima u drugoj. Takva potreba, u stvari, postoji odavno. Godine 1865, predstavnici mnogih evropskih vlada sastali su se da osnuju pretka današnjeg **Međunarodnog saveza za telekomunikacije** (engl. *International Telecommunication Union*, *ITU*). Zadatak saveza bio je da standardizuje međunarodne telekomunikacije, što je u ono doba značilo telegrafiju. Čak i onda je bilo jasno da će nastati problemi ako polovina zemalja koristi Morzeovu azbuku a druga polovina neki drugi kôd. Kada je telefonski saobraćaj prešao granice pojedinih zemalja, ITU je preuzeo da standardizuje i telefoniju. Godine 1947, ITU je postao agencija Ujedinjenih Nacija.

ITU-T ima oko 200 predstavnika vlada, uključujući skoro svakog člana Ujedinjenih Nacija. Pošto Sjedinjene Države nemaju PTT, neko drugi je morao da ih predstavlja u sektoru ITU-T. Taj zadatak je dodeljen Ministarstvu inostranih poslova, verovatno zato što se sektor ITU-T bavi stranim zemljama a to je specijalnost ovog ministarstva. Pored njih, tu je i oko 700 članova sektora i pridruženih članova, među kojima su telefonske kompanije (npr. AT&T, Vodafone, Sprint), proizvođači telekomunikacione opreme (npr. Cisco, Nokia, Nortel), proizvođači računara (npr. Microsoft, Agilent, Toshiba), proizvođači čipova (npr. Intel, Motorola, TI), i druge zainternesovane kompanije (npr. Boeing, CBS, VeriSign).

ITU ima tri glavna sektora. Mi ćemo pretežno govoriti o sektoru za standardizovanje telekomunikacija **ITU-T**, u čiji delokrug spadaju telefonski sistemi i sistemi prenosa podataka. Pre 1993. godine ITU-T je bio poznat kao **CCITT**, što je skraćenica od francuskog imena Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique. Sektor radio-komunikacija **ITU-R** širom sveta dodeljuje frekventna područja konkurentskim zainteresovanim stranama. Preostao je sektor za razvoj (ITU-D). On podstiče razvoj informacionih i komunikacionih tehnologija kako bi smanjio „digitalni jaz“ između zemalja s delotvornim pristupom informacionim tehnologijama i zemalja sa ograničenim pristupom.

Zadatak sektora ITU-T jeste da daje tehničke preporuke za interfejse koji se koriste u telefoniji, telegrafiji i prenosu podataka. Te preporuke često postaju međunarodno priznati standardi, mada su preporuke sektora ITU-T formalno samo preporuke, koje pojedine države – po nahođenju – mogu da prihvate ili odbace (jer se vlade ponašaju slično pubertetlijama – ne prihvataju da im se izdaju komande). To u praksi znači da država koja želi da koristi neki drugi standard to slobodno može da učini, ali po cenu izolovanja od ostalog sveta. Takav stav možda može da prođe u Severnoj Koreji, ali na svakom drugom mestu predstavljaće problem.

ITU-T obavlja svoje zadatke kroz Studijske grupe, koje često broje i 400 članova. Trenutno postoji 10 takvih grupa. One pokrivaju različite oblasti, počev od naplaćivanja telefonskih usluga, do multimedije i bezbednosti. Na primer, SG 15 standardizuje DSL tehnologije koje se mnogo koriste za povezivanje sa Internetom. Da bi u Studijskim grupama išta moglo da se uradi, one se dele na Radne grupe koje – sa svoje strane – obrazuju Timove stručnjaka, a ovi ad hoc grupe. Jednom birokrata – uvek birokrata.

Uprkos svemu, ITU-T uspešno ispunjava zadatke. Od svog nastanka, ITU-T je izdao oko 3.000 preporuka. Mnoge od njih su široko prihvaćene u praksi. Na primer, preporuka H.264 (istovremeno i ISO standard MPEG-4 AVC) mnogo se koristi za komprimovanje audio i video datoteka, a X.509 sertifikati javnog ključa upotrebljavaju se za bezbedno krstarenje vebom i digitalno potpisanu e-poštu.

Kako telekomunikacije, počev od osamdesetih godina prošlog veka, prolaze kroz tranziciju od isključivo nacionalnih ka potpuno globalnim, standardi postaju sve važniji, a sve je više organizacija koje izražavaju želju da učestvuju u njihovoj izradi. Više podataka o organizaciji ITU naći ćete kod Irmera (1994.).

1.6.2 Ko je ko u svetu međunarodnih standarda

Međunarodne standarde piše i objavljuje **Međunarodna organizacija za standardizaciju** (engl. *International Standards Organization*, *ISO*[1]), dobrovoljna organizacija, osnovana 1946. mimo međudržavnih sporazuma. Njeni članovi su nacionalne organizacije za standardizovanje iz 157 zemalja. Među članovima su i ANSI (SAD), BSI (Velika Britanija), AFNOR (Francuska), DIN (Nemačka) i 153 druge.

[1] Za perfekcioniste: pravo ime organizacije ISO glasi: International Organization for Standardization.

ISO pravi standarde za sve i svašta, počev od zavrtanja i navrtki, do zaštitne boje za telefonske bandere [da i ne pominjemo zrna kakaovca (ISO 2451), ribarske mreže (ISO 1530), ženski donji veš (ISO 4416), i dosta drugih stavki za koje biste pomislili da nisu podložne standardizovanju]. ISO i ITU-T (ISO je član organizacije ITU-T) često sarađuju po pitanju standardizovanja telekomunikacija da bi se izbegao apsurd nastajanja dva zvanična, međusobno nekompatibilna međunarodna standarda.

Objavljeno je preko 17.000 standarda, uključujući i OSI standarde. ISO ima skoro 200 Tehničkih komiteta (engl. *Technical Committees*, *TCs*), nabrojanih redosledom njihovog nastanka, a svaki se bavi specifičnom tematikom. TC1 se bavi zavrtnjima i navrtkama (standardizovanje koraka navoja). JTC1 razmišlja o mrežama, računarima i obradi informacija. To je prvi (i zasad jedini) Združeni tehnički komitet (engl. *Joint Technical Committee*), nastao 1987. spajanjem TC97 sa aktivnostima u Međunarodnoj elektrotehničkoj komisiji (IEC), što je još jedno telo za standardizaciju. Svaki TC ima potkomitete (engl, *subcommittees*, *SCs*), izdeljene u radne grupe (engl. *working groups*, *WGs*).

Stvarni posao u radnim grupama uglavnom obavlja preko 100.000 dobrovoljaca širom sveta. Mnogima od ovih „dobrovoljaca“ baš je njihov poslodavac dao u zadatak da prate standarde koji se odnose na proizvode njegove firme. Drugi su državni činovnici koji žele da praksu svoje zemlje pretvore u međunarodni standard. Akademski stručnjaci su takođe aktivni u mnogim radnim grupama.

Postupak koji ISO koristi tokom prihvatanja standarda obezbeđuje najširi mogući konsenzus mišljenja. Postupak počinje tako što jedna od nacionalnih organizacija za standardizaciju oseti potrebu za međunarodnim standardom u određenoj oblasti. Tada se obrazuje radna grupa koja napravi **prednacrt standarda** (engl. *Committee Draft*, *CD*). Prednacrt se prosledi svim članicama da u roku od šest meseci stave primedbe. Ako se većina članica složi, pravi se redigovan **nacrt međunarodnog standarda** (engl. *Draft International Standard*, *DIS*) i ponovo šalje članicama na diskusiju i glasanje. U zavisnosti od ishoda ovog kruga, priprema se konačan tekst **Međunarodnog standarda** (engl. *International Standard*, *IS*), koji se zatim odobrava i objavljuje. U slučaju velikih primedaba, CD i DIS mogu da pretrpe brojne izmene pre nego što se dovoljno članica složi oko teksta, a postupak može da potraje godinama.

Nacionalni institut za standarde i tehnologiju (**National Institute of Standards and Technology**, **NIST**) deo je Američkog ministarstva trgovine. Ranije se nazivao Nacionalni biro za standarizaciju. Institut objavljuje standarde koji su obavezni za nabavke američke vlade, osim za Ministarstvo odbrane, koje ima sopstvene standarde.

Još jedan veliki igrač u svetu standarda jeste **Institut inženjera elektrotehnike i elektronike** (engl. *Institute of Electrical and Electronic Engineers*, *IEEE*), najveća profesionalna organizacija na svetu. Osim što objavljuje više stručnih časopisa i održava nekoliko stotina konferencija svake godine, IEEE ima grupu za izradu standarda u oblasti elektrotehnike i računarstva. Njihov komitet 802 standardizovao je mnoge vrste lokalnih mreža. Neke rezultate ovog komiteta razmotrićemo kasnije. Posao obavljaju radne grupe, pobrojane na slici 1-38. Uspešnost mnogih radnih grupa

komiteta 802 nije bila velika; to što ispred sebe držite broj 802.x nije garancija uspeha. Ali su zato uspešno obavljeni poslovi (naročito na standardima 802.3 i 802.11) ostavili za sobom neizbrisiv trag u industriji i svakodnevnom životu.

Broj		Tema
802.1		Opšti pregled i arhitektura lokalnih mreža
802.2	↓	Upravljanje logičkim vezama
802.3	*	Ethernet
802.4	↓	Token bus (kratko korišćena u proizvodnim pogonima)
802.5		Token ring (IBM-ova ulaznica u svet lokalnih mreža)
802.6	↓	Dvostruki red čekanja s dvostrukom sabirnicom (prve gradske mreže)
802.7	↓	Tehnička konsultantska grupa za širokopojasne tehnologije
802.8	†	Tehnička konsultantska grupa za tehnologiju optičkih vlakana
802.9	↓	Izohrone lokalne mreže (za aplikacije koje se izvršavaju u realnom vremenu)
802.10	↓	Virtuelne lokalne mreže i bezbednost
802.11	*	Bežične lokalne mreže (WiFi)
802.12	↓	Prioritet zahteva (Hewlett-Packardov AnyLAN)
802.13		Nesrećan broj. Niko ga nije hteo
802.14	↓	Kablovski modemi (prestala s radom: u oblast je prvi uskočio jedan industrijski konzorcijum)
802.15	*	Lične mreže (Bluetooth, Zigbee)
802.16	*	Širokopojasne bežične mreže (WiMAX)
802.17		Prsten sa elastičnim paketima
802.18		Tehnička konsultantska grupa za regulativu radio problema
802.19		Tehnička konsultantska grupa za koegzistenciju svih ovih standarda
802.20		Mobilne širokopojasne bežične mreže (kao 802.16e)
802.21		Predaja upravljanja nezavisna od medijuma (za roaming bez obzira na tehnologiju)
802.22		Bežične regionalne mreže

Slika 1-38. Radne grupe komiteta 802. One važne su označene zvezdicom (*). One koje nose oznaku ↓ hiberniraju. Grupe sa oznakom † prestale su s radom i raspuštene su.

1.6.3 Ko je ko u svetu standarda za Internet

Globalni Internet ima sopstvene mehanizme standardizovanja, veoma različite od postupaka koje primenjuju ITU-T i ISO. Razlika se grubo može ilustrovati ako kažemo da ljudi koji se okupljaju na sastancima organizacija ITU i ISO nose odela. Ljudi koji se okupljaju na sastancima posvećenim standardizovanju Interneta obučeni su u džins (osim ako je sastanak u San Dijegu, kada nose šorceve i majice).

ITU i ISO skupovima prisustvuju korporacijski i državni zvaničnici kojima je standardizovanje posao. Oni smatraju da su standardi „dobra stvar“ i posvećuju im čitav život. Korisnici Interneta, s druge strane, anarhiju smatraju gotovo principom.

Međutim, ako svaki od miliona ljudi radi što mu se prohte, teško je ostvariti međusobnu komunikaciju. Zato, ma kako to bolno bilo, ponekad nešto treba i standardizovati. U ovom kontekstu, jednom je Dejvid Klark (M.I.T.) dao sada čuvenu primedbu da se standardizovanje Interneta sastoji od „kakvog-takvog konsenzusa i funkcionalnog koda".

Kada je mreža ARPANET puštena u rad, američko Ministarstvo odbrane je obrazovalo formalni komitet da je nadgleda. Godine 1983, komitet je preimenovan u **Odbor za aktivnosti na Internetu** (engl. *Internet Activities Board, IAB*) i dodeljena mu je malo šira misija: da i dalje podstiče istraživače da mrežu razvijaju, i da Internet održava u približno istom smeru – aktivnost koja se može porediti s kroćenjem čopora mačaka. Ista skraćenica (IAB) korišćena je i onda kada je ime Odbora promenjeno u **Odbor za arhitekturu Interneta** (engl. *Internet Architecture Board*).

Svaki od desetak članova IAB-a rukovodi radnom grupom koja se bavi nekim trenutno važnim problemom. IAB se okuplja više puta godišnje da razmotri rezultate i da o njima izvesti Ministarstvo odbrane i NSF, organizacije koje su uglavnom finansirale IAB. Kada se ukazala potreba za novim standardom (npr. za novim algoritmom za usmeravanje), članovi IAB-a su ga razmatrali, a zatim objavljivali izmene, tako da su studenti koji su tek diplomirali (glavna softverska radna snaga Interneta) mogli da ih ugrade. Izmene su objavljivane u nizu tehničkih izveštaja zvanih **Zahtevi za komentare** (engl. *Request For Comments*, *RFCs*). RFC dokumenti su uskladišteni na mreži tako da ih svaki zanternesovan korisnik može peuzeti sa adrese *www.ietf.org/rfc*. Oni su numerisani hronološkim redom pojavljivanja i danas ih ima preko 5.000. U ovoj knjizi ćemo se pozivati na mnoge RFC dokumente.

Do 1989. godine Internet je tako narastao da opisani neformalan stil rada više nije bio primenljiv. Mnogi prodavci su već nudili TCP/IP proizvode i nisu želeli da ih menjaju samo zato što šačica istraživača ima „bolju ideju". U leto 1989. godine IAB je ponovo reorganizovan. Istraživači su prebačeni u **Istraživačke snage Interneta** (engl. *Internet Research Task Force*, *IRTF*), telo podređeno IAB-u, kao i paralelno telo **Inženjerske snage Interneta** (engl. *Internet Engineering Task Force*, *IETF*). IAB je ponovo popunjen predstavnicima organizacija koje nisu više bile samo akademske i istraživačke. U početku je to bila grupa koja se sama obnavljala tako što su posle dvogodišnjeg mandata stari članovi imenovali nove. Kasnije je od osoba zainteresovanih za Internet obrazovano **Internet društvo** (engl. *Internet Society*). Internet društvo je na taj način uporedivo sa organizacijama ACM ili IEEE. Njime upravljaju izabrani poverenici koji imenuju članove IAB-a.

Cilj ovakve podele bio je da se IRTF koncentriše na dugoročna istraživanja, dok bi se IETF bavio kratkoročnim inženjerskim poslovima. IETF je podeljen na radne grupe za rešavanje određenih problema. Predsednici grupa se na početku sastaju kao inicijativni odbor da bi usmerili inženjerske napore u pojedinim grupama i u celini. U delokrug radnih grupa spadaju nove aplikacije, korisničke informacije, OSI integrisanje, usmeravanje i adresiranje, bezbednost, održavanje mreže i standardi. Na kraju se namnožilo toliko radnih grupa (više od 70) da su grupisane po oblastima, a inicijativni odbor čine predsednici pojedinih oblasti.

Osim toga, prihvaćen je formalniji postupak standardizacije, po ugledu na ISO. Da bi se došlo do **predloga standarda** (engl. *Proposed Standard*), osnovna ideja mora da bude potpuno objašnjena u RFC dokumentima i mora da bude dovoljno zainteresovanih korisnika da bi se razmatranje predloga isplatilo. Da bi se stiglo do **nacrta standarda** (engl. *Draft Standard*), funkcionalna verzija njegove realizacije mora biti rigorozno proverena barem na dve lokacije tokom najmanje 4 meseca. Kada se IAB uveri da je ideja dobra i da softver radi, on može odgovarajući RFC dokument proglasiti **standardom za Internet**. Neki standardi za Internet postali su standardi američkog Ministarstva odbrane (MIL-STD), obavezni za dobavljače Ministarstva.

Za veb standarde, **Konzorcijum za upravljanje vebom (W3C)** razvija protokole i smernice da bi olakšao dugoročni rast veba. To je industrijski konzorcijum koji vodi Tim Berners-Li, ustanovljen 1994. kada je veb zaista uzleteo. W3C sada ima preko 300 članova iz celog sveta i napravio je više od 100 W3C preporuka, kako se njegovi standardi nazivaju, o temama kao što su HTML i veb privatnost.

1.7 METRIČKE JEDINICE

Da bi se izbegla zabuna, treba naglasiti da se u ovoj knjizi, kao i uopšte u računarskim naukama, koriste metričke jedinice a ne tradicionalne engleske jedinice (funte, pinte i ostalo). Osnovni prefiksi metričkih jedinica navedeni su na slici 1-39. Oni se najčešće skraćuju na početna slova, s tim što se prefiks koji označava jedinicu veću od osnovne piše velikim slovima (KB, MB itd.). Izuzetak je (iz istorijskih razloga) kb/s za kilobita u sekundi. Shodno tome, komunikacioni vod brzine prenosa 1 Mb/s prenosi 10^6 bitovita u sekundi, a interval od 100 ps (100 pikosekundi) iznosi 10^{-10} sekundi. Pošto prefiksi „mili“ i „mikro“ počinju slovom „m“, „mili“ se skraćeno piše „m“, a „mikro“ grčkim slovom „μ“ (mi).

Eksp.	Dekadni množitelj	Prefiks	Eksp.	Dekadni množitelj	Prefiks
10^{-3}	0,001	mili	10^{3}	1.000	Kilo
10^{-6}	0,000001	mikro	10^{6}	1.000.000	Mega
10^{-9}	0,000000001	nano	10^{9}	1.000.000.000	Giga
10^{-12}	0,000000000001	piko	10^{12}	1.000.000.000.000	Tera
10^{-15}	0,000000000000001	femto	10^{15}	1.000.000.000.000.000	Peta
10^{-18}	0,000000000000000001	ato	10^{18}	1.000.000.000.000.000.000	Eksa
10^{-21}	0,000000000000000000001	cepto	10^{21}	1.000.000.000.000.000.000.000	Ceta
10^{-24}	0,000000000000000000000001	jokto	10^{24}	1.000.000.000.000.000.000.000.000	Jota

Slika 1-39. Osnovni prefiksi metričkih jedinica.

Takođe treba naglasiti da se za merenje veličina memorije, diska, datoteka i baza podataka u industrijskoj praksi koriste jedinice s nešto drugačijim značenjem. Tamo kilo označava 2^{10} (1024) a ne 10^3 (1000), zato što se za izražavanje veličine memorije u računarstvu uvek umesto dekadnog koristi binarni brojčani sistem. Tako memorija od 1 KB sadrži 1024, a ne 1000 bajtova. Imajte u vidu i da veliko „B“ u tom kontekstu

označava „bajtove“ (jedinicu od osam bitova), za razliku od malog „b“ koje označava „bitove“. Slično tome, memorija od 1 MB sadrži 2^{20} (1.048.576) bajtova, od 1 GB sadrži 2^{30} (1.073.741.824) bajta, a baza podataka od 1 TB sadrži 2^{40} (1.099.511.627.776) bajtova. Međutim, komunikacioni vod brzine 1 kb/s prenosi 1000 bitova u sekundi, a lokalna mreža od 10 Mb/s radi brzinom 10.000.000 bitova u sekundi zato što se ove brzine izražavaju u dekadnom sistemu. Nažalost, mnogi mešaju ova dva brojčana sistema, naročito kada razmatraju veličinu diska. Da bismo izbegli nedoumice, u ovoj knjizi ćemo koristiti simbole KB, MB i GB za 2^{10}, 2^{20}, odnosno 2^{30} bajtova, a simbole kb/s, Mb/s, Gb/s i Tb/s za 10^3, 10^6, 10^9, odnosno 10^{12} bitova u sekundi.

1.8 PREGLED OSTATKA KNJIGE

Knjiga obrađuje principe i praksu umrežavanja računara. Poglavlja većinom počinju razmatranjem odgovarajućih principa, a zatim sledi više primera koji ilustruju te principe. Primeri su obično uzeti sa Interneta i iz bežičnih mreža kao što su mreže mobilne telefonije, zato što su ove mreže veoma važne, a međusobno vrlo različite. Gde je pogodno, dajemo i druge primere.

U knjizi se držimo hibridnog modela prikazanog na slici 1-23. Počev od 2. poglavlja krećemo se uz hijerarhiju protokola polazeći od samog dna. U drugom poglavlju razmatramo osnove prenosa podataka. Tu govorimo o kablovskim, bežičnim i satelitskim sistemima prenosa. Izneti materijal se tiče načina isporuke informacija preko fizičkih kanala, iako više govorimo o njegovoj arhitekturi, nego o hardveru. Kroz više primera fizičkih slojeva obrađujemo javnu komutiranu telefonsku mrežu, mobilnu telefoniju i kablovsku televiziju.

U trećem i četvrtom poglavlju govorimo o sloju veze podataka. Treće poglavlje razmatra problem slanja paketa preko veze, uključujući tu i otkrivanje i ispravljanje grešaka. DSL (koji se koristi za širokopojasno pristupanje Internetu preko telefonskih linija) razmatramo kao primer uzet iz stvarnog života.

Četvrto poglavlje tiče se podsloja za upravljanje pristupom medijumima. To je deo sloja veze podataka koji određuje kako da više računara podeli jedan zajednički kanal. Prikazano je mnogo primera bežičnih lokalnih mreža kao što su 802.11 i RFID, i kablovskih lokalnih mreža poput klasičnog Etherneta. U ovom poglavlju govorimo i o skretnicama sloja veze, koje se koriste za povezivanje lokalnih mreža, npr. u komutiranom Ethernetu.

Peto poglavlje se bavi mrežnim slojem, naročito usmeravanjem, pri čemu obrađujemo mnoge statičke i dinamičke algoritme. Čak i uz dobre algoritme za usmeravanje, ako je saobraćaj neprimeren mreži, neki paketi će zakasniti ili biti odbačeni. Govorimo o zagušenju i načinima da se ono spreči, te kako garantovati određen kvalitet usluge. U ovom poglavlju govorimo i o međusobnom povezivanju heterogenih mreža i problemima koji tu nastaju. Mrežnom sloju na Internetu posvećen je veliki deo poglavlja.

Šesto poglavlje se odnosi na transportni sloj. Naglasak je stavljen na protokole za rad s direktnom vezom i pouzdanost, jer to zahtevaju mnoge aplikacije. Dat je primer

jedne transportne usluge i prikazan je njen stvarni kôd da bi se pokazalo kako se ona može realizovati. Detaljno su opisani protokoli za prenos podataka na Internetu, UDP i TCP, kao i problematika njihovih performansi.

U sedmom poglavlju govorimo o sloju aplikacija, njegovim protokolima i primeni. Prva tema je DNS, koji predstavlja „telefonski imenik“ Interneta. Sledi e-pošta i objašnjenje njenih protokola. Posle toga prelazimo na veb, detaljno opisujući statički i dinamički sadržaj veb strana, šta se događa kod klijenta a šta na serveru. Potom govorimo o mrežnom prenosu multimedijskih sadržaja, uključujući reprodukovanje zvuka i videa tokom preuzimanja (tj. u realnom vremenu). Na kraju, razmatramo mreže za isporuku sadržaja, uključujući tu i tehnologiju ravnopravnih računara.

U osmom poglavlju obrađujemo bezbednost na mreži. Tema se odnosi na sve slojeve, pa je pogodnije da o njoj govorimo tek kada ih sve objasnimo. Poglavlje počinje uvodom u kriptografiju, a kasnije se ukazuje na to kako se ona može iskoristiti za ostvarivanje bezbedne komunikacije, e-pošte i veba. Knjiga se završava raspravom o nekim područjima u kojima bezbednost zadire u privatnost, slobodu govora – govorimo o cenzuri i drugim društvenim aspektima.

Deveto poglavlje sadrži komentarisanu listu referenci predloženih za dalje čitanje, uređenu prema poglavljima. Ona je namenjena korisnicima koji svoja znanja o mrežama žele da prodube. Dat je i abecedno uređen spisak svih referenci navedenih u knjizi.

Adresa autorskog para na veb lokaciji izdavačke kuće Pearson:

http://www.pearsonhighered.com/tanenbaum

Tamo ćete naći stranu pepunu veza ka mnogim priručnicima, zbirkama često postavljanih pitanja, industrijskim konzorcijumima, profesionalnim organizacijama, organizacijama za standardizovanje, tehnologijama, radovima itd.

1.9 SAŽETAK

Računarske mreže mogu koristiti i preduzeća i pojedinci, u kući i na putu. U preduzećima, mreže personalnih računara vezanih za zajednički server omogućavaju pristupanje korporacijskim podacima. Ona najčešće slede klijentsko-serverski model, pri čemu klijentske radne stanice sa stolova zaposlenih pristupaju snažnim serverima u računskom centru kompanije. Pojedinačnim korisnicima mreže nude pristup različitim informacijama i izvorima zabave, kao i nov način kupovanja i prodaje proizvoda i usluga. Pojedinci često pristupaju Internetu preko telefonskih ili kablovskih veza od kuće, pozivajući davaoca Internet usluga pomoću modema, ali je sve više korisnika koji bežično pristupaju pomoću svojih prenosnih računara i telefona. Razvijaju se nove vrste bežičnih mreža s novim primenama, pošto se računari ugrađuju u kućne aparate i drugu robu široke potrošnje. Taj razvoj istovremeno otvara nova društvena pitanja i brige o privatnosti.

Mreže se grubo mogu podeliti na lokalne, gradske, regionalne i međumreže. Lokalne mreže se nalaze unutar zgrade i rade velikom brzinom. Gradska mreža pokriva

gradsko područje – npr. sistem kablovske televizije preko kojega mnogi sada pristupaju i Internetu. Regionalna mreža pokriva državu ili kontinent. Neke od tih mreža (npr. kablovske) jesu „od tačke do tačke“, a druge difuzne (npr. bežične). Mreže se mogu povezati usmerivačima u kombinovane mreže (međumreže), od kojih je najveći i najpoznatiji primer Internet. Bežične mreže postaju sve popularnije, na primer lokalne mreže 802.11 (WiFi) i 3G mobilna telefonija.

Mrežni softver obuhvata protokole s pravilima komunikacije između procesa. Mreže većinom podržavaju hijerarhije protokola, pri čemu svaki sloj obezbeđuje usluge za sloj iznad sebe, štedeći ga detalja protokola koji koristi. Skupovi protokola se najčešće zasnivaju na modelima OSI ili TCP/IP. Oba modela imaju sloj veze, mrežni sloj, transportni sloj i sloj aplikacija, ali se razlikuju po drugim slojevima. Problematika projektovanja obuhvata pouzdanost, dodelu resursa, rast, bezbednost i drugo. Veći deo ove knjige bavi se protokolima i njihovim projektovanjem.

Mreže korisnicima pružaju razne usluge, koje se izvršavaju uz uspostavljanje direktne veze (garantovana isporuka paketa) ili bez nje (isporuka paketa koliko uspe). U nekim mrežama, jedan sloj pruža usluge bez uspostavljanja veze, dok sloj iznad njega radi uz uspostavljanje direktne veze.

Najpoznatije mreže su Internet, mreže 3G mobilne telefonije i bežične lokalne mreže IEEE 802.11. Internet se razvio iz ARPANET-a, kome su, u cilju stvaranja međumreže, dodavane druge mreže. Sadašnji Internet nije jedinstvena mreža već kombinovana mreža sastavljena od više hiljada mreža koje koriste skup protokola TCP/IP. Mreža mobilne telefonije 3G obezbeđuje bežični i mobilni pristup Internetu uz brzine od više Mb/s, i, naravno, prenosi i govor. U mnogim kućama i kafićima napravljene su bežične lokalne mreže zasnovane na standardu IEEE 802.11, koje rade na brzinama preko 100 Mb/s. Počele su da se šire i nove vrste mreža, poput mreža ugrađenih senzora i mreža zasnovanih na RFID tehnologiji.

Da bi više računara moglo međusobno da komunicira, neophodno je štošta standardizovati, kako u oblasti hardvera, tako i softvera. Organizacije, kao što su ITU-T, ISO, IEEE i IAB sprovode različite delove postupka standardizacije.

ZADACI

1. Zamislite da ste svog bernardinca Bernija naučili da umesto bočice brendija nosi kutiju s tri 8-milimetarske trake. (Kada vam se disk napuni podacima, za vas je to hitna situacija.) Svaka traka može da primi 7 gigabajta podataka. Gde god da ste, pas može da dođe do vas brzinom 18 km/h. U kom intervalu razdaljina Berni prenosi podatke brže (zanemarujući prateće podatke) nego prenosni vod brzine 150 Mb/s? Kako se menja vaš odgovor ako se udvostruči (i) Bernijeva brzina; (ii) kapacitet svake trake; (iii) brzina prenosnog voda.

2. Alternativa lokalnoj mreži je veliki sistem s deljenjem vremena, gde svaki korisnik ima terminal. Navedite dve prednosti lokalne mreže s klijentsko-serverskim sistemom.

3. Na performanse klijentsko-serverskog sistema jako utiču dve glavne karakteristike mreže: njen propusni opseg (najveći broj bitova koje mreža može da prenese u sekundi) i kašnjenje (broj sekundi potreban da prvi bit stigne od klijenta do servera). Navedite primer mreže velikog propusnog opsega i velikog kašnjenja. Zatim navedite primer mreže malog propusnog opsega i malog kašnjenja.

4. Osim propusnog opsega i kašnjenja, kojim drugim parametrima se opisuje kvalitet usluge koju nudi mreža za prenos (i) digitalizovanog govora? (ii) videa? (iii) finansijskih transakcija?

5. Činilac koji utiče na kašnjenje u komutiranom sistemu paketa „čuvaj i prosledi" jeste vreme potrebno da se paket sačuva i prosledi kroz skretnicu. Ako je vreme zadržavanja paketa u skretnici 10 μs, da li će ono bitno uticati na odgovor klijentsko-serverskog sistema u kome je jedan klijent u Njujorku, a drugi u Kaliforniji? Pretpostavite da brzina prostiranja signala kroz bakarnu žicu i optičko vlakno iznosi 2/3 brzine svetlosti u vakuumu.

6. Klijentsko-serverski sistem koristi satelitsku mrežu čiji se satelit nalazi na visini od 40.000 km. Koliko je kašnjenje odgovora na upit u najboljem slučaju?

7. U budućnosti, kada svako bude imao kućni terminal povezan s računarskom mrežom, moći će trenutno da se sprovode referendumi o važnim zakonima. Na taj način bi se mogle ukinuti sve institucije koje razmatraju zakone, jer se u vrlo kratkom roku može sagledati volja naroda. Pozitivni aspekti takve neposredne demokratije sasvim su očiti; razmotrite i njene negativne aspekte.

8. Pet usmerivača treba povezati s podmrežom tipa od tačke do tačke. Svaki par usmerivača projektant može da poveže vodom visoke, srednje ili niske brzine, ili da ih uopšte ne poveže. Ako računaru treba 100 ms da generiše i proveri svaku topologiju, za koliko vremena će ih sve ispitati?

9. Nedostatak podmreže s difuznim emitovanjem ogleda se u smanjenju njenog kapaciteta kada više računara istovremeno pokuša da pristupi kanalu. Pretpostavite da je vreme izdeljeno na diskretne intervale i da tokom svakog od tih intervala svaki od n računara pokušava da pristupi kanalu s verovatnoćom p. Koliki se udeo vremenskih intervala protraći zbog sukobljavanja?

10. Navedite dva razloga u prilog korišćenja protokola razmeštenih po slojevima i jednu moguću lošu stranu toga.

11. Predsednik kompanije Specijalne Boje došao je na ideju da lokalnoj pivari ponudi saradnju u proizvodnji nevidljivih limenki (kako bi se izbeglo zagađenje okoline). Predsednik je naložio svojoj pravnoj službi da preduzme odgovarajuće korake, a služba je zatražila pomoć od inženjerskog sektora. Glavni inženjer je tada pozvao svog kolegu u pivari i s njim razmotrio tehničku stranu saradnje. Oba inženjera su o ovom razgovoru obavestila svoje pravne službe koje su se preko telefona dogovorile o pravnim aspektima saradnje. Na kraju su dva predsednika dogovorili finansijske uslove poduhvata. Koji princip protokola koji se izvršavaju po slojevima modela OSI, krši ovaj mehanizam komunikacije?

12. Svaka od dve mreže obezbeđuje pouzdanu uslugu sa uspostavljanjem direktne veze. Jedna od njih nudi pouzdan tok bajtova, a druga pouzdan tok poruka. Jesu li mreže identične? Ako jesu, zašto se između njih pravi razlika? Ako nisu, navedite u čemu se razlikuju.

13. Šta znači „dogovaranje“ kada se govori o mrežnim protokolima? Ponudite primer.

14. Na slici 1-19 prikazana je usluga. Da li se na slici podrazumevaju i druge usluge? Ako je tako, gde su? Ako nije, zašto ih nema?

15. U nekim mrežama, sloj veze podataka obrađuje greške pri prenosu tako što zahteva ponovan prenos oštećenih okvira. Ako je verovatnoća oštećivanja okvira p, koliko se prosečno puta mora poslati okvir da bi sigurno stigao neoštećen? Pretpostavite da se potvrde o prijemu okvira nikada ne gube.

16. Sistem ima hijerarhiju protokola u n slojeva. Aplikacije generišu poruke dužine M bajtova. Poruci se u svakom sloju dodaje zaglavlje od h bajtova. Koji deo propusnog opsega mreže zauzimaju zaglavlja?

17. U čemu je osnovna razlika između protokola TCP i UDP?

18. Podmreža na slici 1-25(b) projektovana je da izdrži nuklearni udar. Koliko je bombi potrebno da od nje naprave dva nepovezana dela? Pretpostavite da svaka bomba uništava čvor i sve veze koje se pružaju od njega.

19. Veličina Interneta udvostručava se približno svakih 18 meseci. Iako niko ne zna tačnu cifru, pretpostavlja se da ga je 2009. činilo 600 miliona računara. Na osnovu ovih podataka izračunajte očekivani broj umreženih računara 2018. godine. Verujete li da je rezultat tačan? Ako verujete, objasnite zašto; ako ne verujete, i to objasnite.

20. Kada se datoteka prenosi između dva računara, moguće su dve strategije potvrde prijema. Prema prvoj, datoteka se deli na pakete čije dospeće primalac nezavisno potvrđuje, ali ne šalje potvrdu da je datoteka primljena u celini. Prema drugoj, ne potvrđuje se prijem pojedinačnih paketa, ali se šalje potvrda kada cela poruka stigne na odredište. Prokomentarišite ova dva pristupa.

21. Operateri mreža mobilne telefonije moraju znati gde su mobilni telefoni njihovih pretplatnika (te stoga i sami pretplatnici). Objasnite zašto je to loše za korisnike. Potom navedite zašto je to dobro za korisnike.

22. Koliko je (u metrima) dugačak jedan bit na mreži izgrađenoj prema prvobitnom standardu 802.3? Računajte s brzinom prenosa 10 Mb/s i pretpostavite da je brzina signala u koaksijalnom kablu 2/3 brzine svetlosti u vakuumu.

23. Slika je veličine 1600 ×1200 piksela, sa 3 bajta po pikselu. Pretpostavite da je slika nekomprimovana. Koliko će trajati njen prenos modemskim kanalom brzine 56 kb/s? A kablovskim modemom brzine 1 Mb/s? Ethernetom brzine 10 Mb/s? Kroz Ethernet brzine 100 Mb/s? Kroz gigabitni Ethernet?

24. Ethernet i bežične mreže imaju izvesne sličnosti i neke razlike. Jedna od karakteristika Etherneta jeste to da se kroz mrežu može slati samo jedan okvir u jednom trenutku. Da li je to tako i u mreži 802.11? Objasnite odgovor.

25. Navedite dve prednosti i dve mane postojanja međunarodnih standarda za mrežne protokole.

26. Kada se komponenta sistema sastoji od fiksnog i izmenjivog dela (npr. CD čitač i CD), važno je da bude standardizovana, tako da različite kompanije mogu da proizvode fiksne i izmenjive delove, a da sve ipak radi dobro. Navedite tri primera takvih međunarodnih standarda izvan računarske industrije. Zatim navedite tri područja izvan računarske industrije gde takvi standardi ne postoje.

27. Pretpostavite da su se izmenili algoritmi za realizaciju operacija na sloju *k*. Kako to utiče na operacije na slojevima *k* - 1 i *k* + 1?

28. Pretpostavite da se izmenila usluga (skup operacija) koju pruža sloj *k*. Kako to utiče na usluge slojeva *k* - 1 i *k* + 1?

29. Navedite spisak razloga zašto vreme odziva nekog klijenta može biti veće od kašnjenja u najboljem slučaju.

30. Koji su nedostaci upotrebe malih ćelija fiksne dužine u ATM-u?

31. Napravite spisak svakodnevnih aktivnosti u kojima koristite računarske mreže. Koliko bi se vaš život izmenio kada bi se sve te mreže odjednom isključile?

32. Ispitajte koje se sve mreže koriste u vašoj školi, na fakultetu ili na radnom mestu. Opišite vrste mreža, njihove topologije i metode komutiranja.

33. Program *ping* omogućava da na datu lokaciju pošaljete probni paket i da utvrdite koliko mu treba da do nje stigne i da se vrati. Upotrebite *ping* da biste utvrdili koliko paketu treba da se vrati kada ga pošaljete na nekoliko dobro poznatih lokacija. Iz dobijenih podataka uspostavite zavisnost između vremena putovanja preko Interneta u jednom smeru i razdaljine. Najbolje je da za to koristite univerzitete jer su lokacije njihovih servera tačno poznate. Na primer, *berkeley.edu* je u Berkliju u Kaliforniji, *mit.edu* je u Kembridžu u Masačusetsu, *vu.nl* je u Amsterdamu u Holandiji, *www.usyd.edu.au* je u Sidneju u Australiji, a *www.uct.ac.za* je u Kejptaunu u Južnoj Africi.

34. Povežite se s veb lokacijom IETF-a, *www.ietf.org*, i pogledajte na čemu rade. Izaberite jedan projekat i napišite na pola strane izveštaj o datom problemu i predloženom rešenju.

35. Internet je sastavljen od velikog broja mreža. Njihov raspored određuje topologiju Interneta o kojoj možete da nađete mnogo podataka na samoj Mreži. Pomoću pretraživača veba pronađite podatke o topologiji Interneta i napišite kratak izveštaj o tome.

36. Pronađite na Internetu neke od važnih ravnopravnih računara koji u sadašnje vreme usmeravaju pakete na njemu.

37. Napišite program koji realizuje tok poruka od najvišeg do najnižeg sloja u modelu protokola sa 7 slojeva. Svaki sloj treba da ima sopstvenu funkciju kao svoj protokol. Zaglavlje protokola čini niz od 64 znaka. Svaka funkcija protokola ima dva parametra: poruku koju je prosledio protokol višeg sloja (bafer znakova) i veličinu poruke. Funkcija stavlja svoje zaglavlje ispred poruke, štampa novu poruku na standardnom izlazu i poziva funkciju protokola nižeg sloja. Ulaz u program je poruka aplikacije (niz od najviše 80 znakova).