

1

UVOD

Svakim od protekla tri stoleća vladala je po jedna 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 i lansiranja telekomunikacionih satelita.

Zbog brzog napretka tehnologije, navedene oblasti su se 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 vazдушnim transportom), računari su zabeležili neverovatan napredak za srazmerno kratko vreme. Tokom prve dve decenije svog postojanja računarski sistemi su bili strogo centralizovani, obično unutar jedinstvene prostorije. Često je ta prostorija imala staklene zidove kroz koje su posetioци mogli da se dive velikom elektronskom čudu. Kompanije srednje veličine ili univerziteti mogli su imati jedan do dva računara, dok su velike institucije imale najviše par desetina. Pomisao da će za dvadesetak godina računari iste snage biti veličine poštanske marke i proizvoditi se u milionskim serijama bila je čista naučna fantastika.

Stapanje računara s komunikacijama imalo je snažan efekat na način organizovanja računarskih sistema. Ideja „računskog centra“ – prostorije s velikim računarom u koju korisnici donose svoje podatke na obradu – potpuno je prevaziđena. 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 tema 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. Kao što ćemo kasnije videti, mreže mogu biti različite veličine i oblika. Iako mnogima može zvučati čudno, ni Internet, ni World Wide Web nisu računarske mreže. Kada pročitate ovu knjigu, biće vam jasno i zašto. Zasad je kratko objašnjenje sledeće: Internet nije jedinstvena mreža već mreža koja povezuje mnoge mreže, a Web je distribuirani sistem koji se izvršava preko Interneta.

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 obično korisnicima prikazuje jedinstven model ili paradigmu. 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 kome sve liči na dokument (Web 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 (2002).

1.1 UPOTREBA RAČUNARSKIH MREŽA

Pre nego što detaljno pretresemo tehničke detalje, 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. Počecemo od klasičnog korišćenja mreža u preduzećima i od strane poedinaca, pa ćemo postepeno preći na pokretne korisnike i kućne mreže.

1.1.1 Poslovne mreže

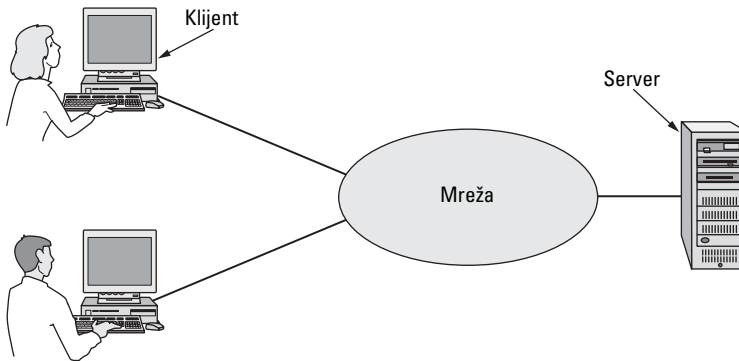
Mnoga preduzeća imaju znatan broj računara. Na primer, preduzeće može da ima posebne računare za praćenje proizvodnje, za inventarisanje i za obračunavanje plata. Na početku je možda svaki od tih računara radio nezavisno od drugih računara, ali je u jednom trenutku uprava odlučila da ih sve poveže kako bi mogla da prikuplja i upoređuje podatke o 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 i 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, skeneri i CD pisari – verovatno je važnije deljenje podataka. Svako veliko i srednje preduzeće, a i mnoga mala, životno zavise od podataka u elektronskom obliku. Većina preduzeća održava spiskove komintenata, inventar, 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 toliko. Čak i mala turistička agencija ili advokatska kancelarija s tri zaposlene osobe danas veoma zavise od računarske mreže koja im omogućava trenutni 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 desetina kancelarija i pogona u mnogim zemljama. Uprkos tome, prodavcu u Njujorku ponekad zatreba pristup bazi podataka s popisom proizvoda u Singapuru. 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“.

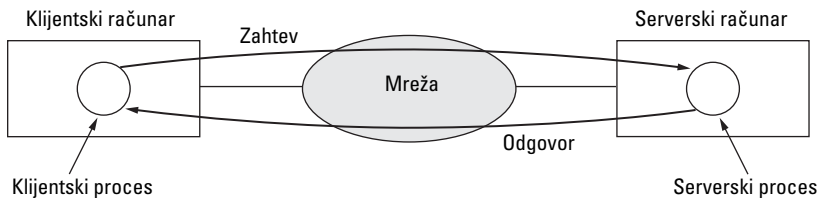
Informacioni sistem preduzeća u najjednostavnijem slučaju možemo da zamislimo kao jednu ili više baza podataka, i izvestan broj službenika koji pokušavaju da im pristupe daljinski. Po ovom modelu, podaci su uskladišteni na moćnim računarima zvanim **serveri** (engl. *servers*). Oni su često smešteni 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. (Ponekada ćemo 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 apstraktnom 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 široko koristi i predstavlja osnovu mnogih mreža. Može se primeniti kada se klijent i server nalaze u istoj zgradi (na primer, 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 Web 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: 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.



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

Drugi motiv za uvođenje računarske mreže ima više veze s ljudima, nego sa 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.

Međutim, e-pošta nije i jedini oblik poboljšanog komuniciranja koji su omogućile računarske mreže. Pomoću mreže, dve ili više osoba na različitim lokacijama, mogu zajedno da 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 jedan oblik komuniciranja pomoću računara jesu video-konferencije. Pomoću ove tehnologije, saradnici s više međusobno udaljenih lokacija mogu da drže zajednički sastanak, da vide i čuju jedan drugog, čak i da pišu na zajedničkoj virtuelnoj tabli. Video-konferencije su moćna alatka pomoću koje se eliminišu troškovi i vreme neophodni za putovanja. Ponekad se čuje da se komunikacije i transport međusobno utrkuju: onaj ko pobjedi, gurnuće onog drugog u staro gvožđe.

Treći motiv za uvođenje računarskih mreža jeste to što sve veći broj preduzeća obavlja poslovne transakcije s drugim preduzećima elektronskim putem, što naročito važi za isporučioce i korisnike roba. Na primer, proizvođači automobila, aviona i računara nabavljaju podsisteme od brojnih isporučilaca, a zatim sklapaju delove u celinu. Koristeći računarske mreže, proizvođači mogu da naručuju potrebne delove elektronskim putem. Mogućnost da se narudžbina izvrši na vreme (tj., onda kada za određenim delom postoji stvarna potreba), smanjuje potrebu za stvaranjem velikih zaliha i povećava efikasnost rada.

Četvrti motiv, koji postaje sve važniji, odnosi se na poslovanje s potrošačima preko Interneta. Avio-kompanije, knjižare i muzičke kuće otkrile su da mnogi ljudi uživaju 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. Očekuje se dalji brz rast i razvoj ovog sektora i u budućnosti. On se zove **elektronska trgovina** ili **e-trgovina** (engl. *electronic commerce, e-commerce*).

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. Zašto ljudi uopšte kupuju računare za kuću? U početku, to je bilo zbog obrade teksta i igranja, ali se u poslednje vreme ta slika drastično promenila. Danas je verovatno najjači razlog pristup Internetu. Evo nekoliko najpopularnijih razloga za korišćenje Interneta od kuće:

1. Pristupanje udaljenim informacijama.
2. Komuniciranje između korisnika.
3. Interaktivna zabava.
4. Elektronska trgovina.

Pristupanje udaljenim informacijama ispoljava se kroz različite forme. To može da bude lutanje po World Wide Webu 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 tako 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 čvrsti disk dok se zaslužno odmarate, ili odštampane na štampaču – neposredno pre prve jutarnje kafe. Ako se ovakav trend nastavi, izazvaće masovno otpuštanje prodavaca novina, ali novinske kuće ga podržavaju jer je distribucija izdanja uvek bila najslabija karika u proizvodnom lancu.

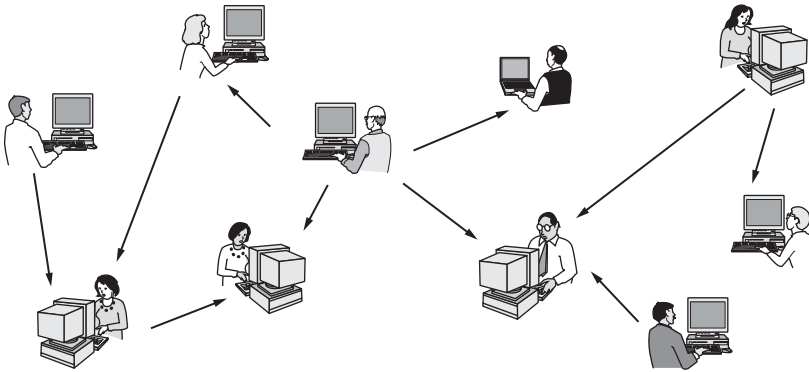
Posle novinskih izdanja (uključujući opšte i naučne časopise), sledeći korak su mrežne digitalne biblioteke. Mnoge profesionalne organizacije, npr. ACM (www.acm.org) i IEEE Computer Society (www.computer.org), već imaju na mreži mnoge časopise i zbornike radova sa održanih skupova. Druge organizacije ih ubrzano slede. Možda će – u zavisnosti od cene, veličine i težine prenosivih računara, takozvanih digitalnih beležnica – štampana izdanja otići u zaborav. Oni koji sumnjaju treba da se sete efekta koji je prva štamparska presa imala na srednjevekovnu rukom pisanu literaturu.

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.

Tzv. **diskusione grupe** (engl. *newsgroups*), u kojima se raspravlja o svim zamislivim temama, već su postale uobičajene u nekim sredinama, a sve ih je više i obuhvataju sve šire slojeve korisnika. Rasprave, u kojima jedna osoba istakne poruku koju svi članovi grupe mogu da pročitaju, često su duhovite, ali ponekad i ostrašćene. Za razliku od pričaonica, razmena poruka u diskusionim grupama ne odvija se u realnom vremenu; poruke se snimaju, tako da onoga ko se uključi posle dužeg odsustvovanja čekaju sve poruke koje su u međuvremenu pristigle.

Drugu vrstu međusobne komunikacije predstavlja tzv. komuniciranje između **ravnopravnih korisnika** (engl. *peer-to-peer*), tako nazvano da bi se podvukla razlika u odnosu na klijentsko-serverski model (Parameswaran et al., 2001). Po ovom modelu, korisnici koji čine labavu grupu mogu da komuniciraju s drugim članovima 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 računara nema fiksnih klijenata i servera.

Komuniciranje između ravnopravnih računara imalo je svoje „zlatno doba“ oko 2000. godine, kada je pomoću usluge Napster preko 50 miliona muzičkih zaljubljenika međusobno razmenjivalo datoteke kršeći autorska prava u do tada nezabeleženom stepenu (Lam i Tan, 2001; Macedonia, 2000). Sama ideja je bila prilično jednostavna. Članovi su u centralnoj bazi podataka održavanoj na serveru Napster registrovali muzičke numere koje su posedovali na svojim računarima. Ako je neki član želeo određenu numeru, proveravao je bazu podataka da bi utvrdio ko je ima i direktno se obraćao na tu adresu. Vlasnici Napstera su tvrdili da ne krše ničija autorska prava jer na svom serveru nemaju nikavu muziku. Sud, međutim, nije uvažio taj argument i Napster je zatvoren.

U sledećoj generaciji sistema ravnopravnih računara, centralna baza podataka zamenjena je 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 drugih članova. Taj postupak postupnog pretraživanja može da se ponavlja neograničen broj puta, a rezultat je ogromna lokalna baza podataka o muzičkim numerama, smeštena kod korisnika. Takva aktivnost bi za ljude bula mučna, ali računari u njoj briljiraju.

Postoje i legalne primene komuniciranja između ravnopravnih računara. Na primer, korisnici koji razmenjuju muzičke numere u javnom vlasništvu ili muzičke spotove koje su razne grupe objavile radi sticanja publiciteta, zatim porodice koje razmenjuju fotografije, filmove i rodoslovne podatke, kao i tinejdžeri koji učestvuju u višekorisničkim igrama na mreži. U stvari, jedna od najpopularnijih primena Interneta, e-pošta, u suštini koristi sistem ravnopravnih računara. U budućnosti se očekuje znatan razvoj ovakve vrste komuniciranja.

Elektronski kriminal nije ograničen samo na kršenje autorskih prava. Drugo privlačno područje 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 u tome 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 i kazino nalaze u različitim državama, s različitim zakonima? Dobro pitanje.

Druge primene komuniciranja odnose se na upotrebu Interneta za prenošenje telefonskih razgovora, videofonskih seansi i Internet radija – tri područja koja se brzo razvijaju. Još jedna primena je učenje na daljinu, što znači da možete prisustvovati času koji počinje u 8 sati izjutra, 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.

Naša treća kategorija je zabava – ogromna industrija koja neprekidno raste. Ovde je glavna stvar tzv. video na zahtev (engl. *video on demand*). Za desetak godina verovatno ćete moći da odaberete bilo koji film ili TV emisiju koji su ikada napravljeni u bilo kojoj zemlji i da ih trenutno dobijete na monitoru vašeg 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.

S druge strane, možda video na zahtev neće biti glavna stvar. Možda će to biti igrice. Već imamo višekorisničke simulacije u realnom vremenu, kao što su žmurke u virtuelnoj tavnici i simulatore leta u kojima jedan tim pokušava da upuca i obori igraču protivničkog tima. Ako se igrice budu igrale uz digitalne naočare, u tri dimenzije i u realnom vremenu, sa animacijama fotografskog kvaliteta, imaćemo neku vrstu globalne virtuelne stvarnosti.

Naša četvrta 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 uskoro će nuditi mogućnost trenutnog uključivanja video sekvence koja prikazuje određeni proizvod, jednostavnim pritiskom na ime tog proizvoda. 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 institucijama. Mnogi ljudi već plaćaju račune elektronskim putem, 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. 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 datoteka

Slika 1-4. Neki oblici e-trgovine.

Nema sumnje da će se područje primene računarskih mreža brzo širiti u budućnosti, verovatno na način koji niko ne može sada da predvidi. U krajnjoj liniji, ko je 1990. mogao da predvidi da će tinejdžeri dok se vozikaju gradskim prevozom ukucavati kratke poruke u svoje mobilne telefone i tako u narednih 10 godina stvoriti veliki prihod telefonskim kompanijama? Pa ipak, usluga kratkih (SMS) poruka veoma je profitabilna.

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. Učenje na daljinu može da ima veliki uticaj na obrazovanje; univerziteti mogu da postanu nacionalnog ili internacionalnog značaja. Telemedicina je tek u povelju (npr. daljinski pregled pacijenta), ali ima veliki potencijalan značaj. Međutim, udarna stvar će možda biti nešto sasvim obično, svakodnevno, npr. da pomoću Web kamere postavljene u unutrašnjosti vašeg frižidera vidite da li treba da kupite mleko dok se budete vraćali s posla.

1.1.3 Pokretni korisnici

Prenosivi računari i lični digitalni asistenti (LDA), jedan su od segmenata računarske industrije koji najbrže raste. Mnogi vlasnici takvih računara imaju starije računare u kancelariji, ali žele da ostanu u vezi sa svojom matičnom bazom čak i kada nisu kod kuće ili su na putu. Pošto je kablovsko povezivanje nemoguće iz automobila ili aviona, postoji veliko zanimanje za bežične mreže. U ovom odeljku kratko ćemo se pozabaviti nekim primenama bežičnih mreža.

Zašto bi neko uopšte pozeleo takvu mrežu? Uobičajeni razlog je pokretna kancelarija. Oni koji stalno putuju često žele mogućnost da pomoću elektronske opreme koju nose sa sobom šalju i primaju elektronske pozive, faksove i e-poštu, da lutaju Webom, pristupaju udaljenim datotekama i prijavljuju se na udaljene računare. Oni žele da imaju takvu mogućnost dok su na zemlji, na vodi ili u vazduhu. Na primer, na skupovima o računarima, organizatori ovih dana često uspostavljaju bežičnu mrežu nad prostorom na kome se skup održava. Svako ko ima prenosivi računar i bežični modem može da ih uključi i da se poveže na Internet, baš kao pomoću računara u kablovskoj mreži.

Slično tome, neki univerziteti su nad svojim područjem uspostavili bežičnu mrežu tako da studenti, udobno zavaljeni ispod nekog drveta, mogu da pregledaju katalog bibliotečkih jedinica ili da čitaju svoju e-poštu.

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 prenosivih računara srodni sistemi, ipak nisu identični, kao što se vidi sa slike 1-5. Tu vidimo u čemu se razlikuju **fiksni bežični sistem** (engl. *fixed wireless*) i **mobilni bežični sistem** (engl. *mobile wireless*). Čak su i prenosivi računari ponekad povezani kablom. Na primer, ako putnik uključi svoj prenosivi 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	Prenosivi računar u hotelskoj sobi
Da	Ne	Mreže u starim zgradama, bez instalacija
Da	Da	Pokretna kancelarija; LDA za inventarisanje skladišta

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

S druge strane, neki bežično umreženi računari nisu pokretni. Značajan primer je preduzeće smešteno u staroj zgradi bez mrežnih instalacija, koje želi da poveže svoje računare. Instaliranje bežične mreže ne mora da bude išta više od kupovine nešto elektronike, raspakivanja i povezivanja. Takvo rešenje može da bude jeftinije od ožičavanja zgrade.

Naravno da postoje i prave mobilne, bežične primene – počev od pokretne kancelarije, do službenika koji hoda kroz skladište inventarišući robu. Na mnogim prometnim aerodromima, službenici rentakara koji rade na parkingu za vraćena vozila imaju bežične prenosive računare sa štampačem. Kada vozilo stigne na parking, službenik u računar unosi broj vozila. Taj broj se bežičnim putem prenosi centralnom računaru, odakle se šalju podaci o rentiranju na osnovu kojih se odmah štampa račun.

Kako se bežična tehnologija bude širila, pojavljivaće se i nove primene. Razmotrimo neke mogućnosti. Bežični parking-satovi imaju prednosti i za korisnike i za gradsku upravu. Satovi mogu da prihvataju platne kartice i da im odmah proveravaju stanje bežičnim putem. 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 policiju 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). Osim toga, bolja disciplina parkiranja doprinela bi zaštiti okoline jer bi se vozači koji unapred znaju da će njihovo ilegalno parkiranje biti otkriveno, možda ipak odlučili da koriste gradski prevoz.

Svuda se mogu naći automati za hranu, napitke i druge artikle. Međutim, roba ne dolazi u automat sama, već se s vremena na vreme pojavi snabdevač s kamionetom i dopuni ga. Kada bi automati za prodaju jednom dnevno bežičnim putem javljali stanje svojih zaliha, snabdevač bi znao koje automate treba da opsluži i šta da ponese. Takav podatak bi mu umnogome olakšao obilazak. Naravno, takav podatak bi se mogao poslati i putem standardne telefonske linije, ali dodeljivanje fiksnog telefonskog priključka svakom automatu da bi on jednom dnevno poslao izveštaj, bilo bi preskupo.

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). Kada cena radio-uređaja i emitovanja opadne, sve će više rezultata takvih daljinskih merenja biti prenošeno bežičnim putem.

Potpuno drugačije područje primene bežičnih mreža jeste povezivanje mobilnih telefona i LDA u male bežične računare. Prvi takav pokušaj rezultovao je malim LDA uređajem koji je mogao da prikaže uprošćene Web strane na još manjem ekranu. Taj sistem, zvan **WAP 1.0 (protokol za bežične aplikacije, engl. Wireless Application Protocol)**, nije uspeo, uglavnom zbog mikroskopskog ekrana, uskog propusnog opsega i loše usluge. Međutim WAP 2.0 obećava bolje uređaje i uslugu.

Oblast u kojoj ovakvi uređaji mogu da dostignu svoju punu moć jeste **pokretna ili m-trgovina** (engl. *m-commerce, mobile commerce*) (Senn, 2000). Pogonska sila ove aktivnosti je udruživanje proizvođača bežičnih LDA uređaja i mežnih operatera koji pokušavaju da smisle način da iz elektronske trgovine i oni izvuku svoj deo. Oni se nadaju da će bežični LDA uređaji moći da se koriste za obavljanje bankarskih poslova i kupovinu. Jedna ideja je da se bežični LDA iskoristi kao svojevrstan elektronski novčanik preko koga bi se plaćalo u prodavnicama, umesto gotovinom ili kreditnim karticama. Iznos bi se pojavljivao na računaru za mobilni telefon. 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 negativan efekat za prodavce, pošto kupci preko LDA uređaja mogu da uporede cenu iste robe u drugim prodavnicama i da odu tamo. A da i ne pominjemo da telefonske kompanije mogu LDA uređaje da opreme s čitačem bar-koda tako da kupac u samoj prodavnici može da skenira određeni artikal i da trenutno dobije detaljan izveštaj o tome gde se još on može nabaviti i po kojoj ceni.

Pošto operater mreže zna gde se korisnik nalazi, neke usluge su namerno vezane za lokaciju. Na primer, biće moguće tražiti adresu najbliže knjižare ili kineskog restorana.

Još jedna mogućnost su mobilne mape, kao i vrlo lokalne vremenske prognoze, u stilu „Kada će prestati da pada kiša u mom dvorištu?“. Nema sumnje da će se pojaviti i mnoge druge primene kako bežični uređaji budu masovnije ulazili u upotrebu.

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 Web 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.

Nešto dalje u budućnosti nalaze se lične mreže i računari koji se nose kao odevni predmeti. IBM je napravio ručni sat koji radi pod Linuxom (uključujući i grafički sistem X11) i bežično se povezuje na Internet radi slanja i primanja poruka e-pošte (Narayanaswami et al., 2002). U budućnosti će ljudi možda razmenjivati svoje „posetnice“ samo tako što će međusobno suočiti svoje ručne satove. Bežični računari koji se nose kao deo odeće omogućiće ljudima da ulaze u obezbeđene prostorije na isti način kao što to sada omogućavaju magnetne kartice (možda u kombinaciji sa PIN kodom ili biometrijskim parametrima). Takvi satovi mogu biti u stanju i da prikupljaju informacije relevantne za korisnikovu trenutnu lokaciju (npr. adrese lokalnih restorana). Mogućnosti su beskrajne.

Inteligentne časovnike s radiom upoznali smo još 1946. u stripu Dik Trejsi. Ali, šta reći o „inteligentnom prahu“? Istraživači sa univerziteta Berkli spakovali su 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.

1.1.4 Društveni aspekti

Sve veće korišćenje mreža donelo je sa sobom nove društvene, etičke i političke probleme. Pomenimo ukratko samo nekoliko takvih problema jer bi za njihovo detaljno razmatranje bila potrebna čitava knjiga. Popularna aktivnost u mnogim mrežama je korišćenje diskusionih grupa i oglasnih tabli pomoću kojih osobe sličnih interesovanja međusobno 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 ispravna. Poruke nisu ograničene samo na tekst, jer se preko savremenih mreža mogu preneti i visokokvalitetne fotografije u boji, čak i video-sekvence. Neki učesnici diskusija drže se pravila „živi i pusti druge da žive“, ali drugi smatraju da je isticanje određenog materijala (npr. napada na određene zemlje ili religije, pornografije itd.) neprihvatljivo i da se mora cenzurisati. Različite zemlje imaju različite, često suprotstavljene zakone u ovoj oblasti. Na taj način, rasprava se samo rasplamsava.

Ljudi su 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. Štaviše, kada bi operateri cenzurirali poruke, najverovatnije se na mreži ne bi pojavilo ništa što bi i u najmanjoj meri moglo da ih optuži, pa bi na taj način bilo prekršeno osnovno pravo svakog građanina na slobodu govora. Nema sumnje da će se ova rasprava nastaviti.

Drugo zanimljivo pitanje odnosi se na prava zaposlenih u odnosu na prava poslodavaca. Mnogi ljudi razmenjuju e-poštu na radnom mestu. Poslodavci često ističu svoje pravo da čitaju i, možda, cenzurišu poruke svojih zaposlenih, uključujući i poruke poslate s kućnih računara nakon završetka radnog vremena. Ne slažu se svi zaposleni sa ovakvom politikom firme.

Možda možemo da prihvatimo da poslodavci imaju određenu moć nad svojim zaposlenima, ali da li to važi i za univerzitete i njihove studente? Za srednje škole i njihove učenike? Godine 1994. Univerzitet Carnegie-Mellon je odlučio da prekine tok dolazećih poruka za više diskusionih grupa koje su raspravljale o seksu, smatrajući da je takav materijal nepodoban za mlađe studente (onih nekoliko ispod 18 godina). Prašini koja se potom digla trebale su godine da se slegne.

Sledeća vruća tema je odnos vlasti i građana. FBI je kod mnogih davalaca Internet usluga instalirao sistem pregledanja svih dolaznih i odlaznih poruka e-pošte u cilju traženja određenih reči koje su mogle ukazivati na nelegalnu aktivnost (Blaze i Bellovin, 2000; Sobel, 2001; i Zacks, 2001). Sistem je prvobitno nazvan **Carnivore** (me-sožder), ali je zbog lošeg utiska koji je takvo ime ostavilo, promenio ime u mnogo nevinije, DCS1000. Međutim, 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. Da li te 54 reči, stavljene na papir u 18. veku, imaju neku težinu i u 21. veku, pitanje je koje će možda zapošljavati sudove sve do 22. veka.

Nema samo vlada monopol na ugrožavanje privatnosti građana – isto se ponaša i privatni sektor. Na primer, male datoteke zvane kolačići (engl. *cookies*), koje čitači Weba deponuju u računarima korisnika, omogućavaju kompanijama da prate aktivnosti korisnika u kibernetском prostoru, a mogu da izazovu i „curenje“ poverljivih podataka – kao što su brojevi kreditnih kartica – na Internet (Berghel, 2001).

Pomoću računarskih mreža lako se mogu slati anonimne poruke. U izvesnim slučajevima, takva mogućnost je čak poželjna. Na primer, 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 Sjedinjenim Državama i većini drugih demokratskih zemalja, zakon izričito priznaje optuženim osobama pravo da se s tužiteljem suoče i rasprave na sudu. Anonimne optužbe ne mogu se prihvatiti kao dokazni materijal.

Jednom reči, računarske mreže – slično štamparskoj presi pre 500 godina – omogućavaju običnim ljudima da šire svoja gledišta na različite načine i pred drugačijom publikom nego ranije. Ova novostečena sloboda donosi sa sobom mnoge nerazrešene društvene, političke i moralne probleme.

Uporedo s dobrim uvek ide i ono loše, kako to već u životu biva. 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. S računarskim mrežama pojavile su se i nove vrste antisocijalnog i kriminalnog ponašanja. Elektronska neželjena pošta (engl. *spam*) postala je deo svakodnevice nakon što su prikupljeni milioni e-adresa i na CD diskovima prodati marketinškim kvazistručnjacima. Poruke e-pošte sa aktivnim sadržajem (programima ili makroima koji se izvršavaju na korisnikovom računaru) mogu da sadrže viruse koji izazivaju haos.

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 u tome 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 dovela do bankrotstva celokupnu industriju softvera.

1.2 MREŽNI HARDVER

Vreme je da našu pažnju sa primene i društvenih aspekata rada u mreži (zabavniji deo) prebacimo na tehničke aspekte projektovanja mreža (teži deo). Ne postoji opšte-prihvaćen 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:

1. Veze za neusmereno (difuzno) emitovanje.
2. Veze od tačke do tačke.

Mreže s neusmerenim (difuznim) emitovanjem (engl. *broadcast networks*) imaju jedinstven komunikacioni kanal koji dele svi umreženi računari. Kratke poruke, ponekada zvane **paketi** (engl. *packets*), koje emituje bilo koji računar, primaju svi ostali umreženi računari. Polje za adresu unutar 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.

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. Druga analogija je poziv preko aerodromskog razglasa da se svi putnici na letu 644 upute ka izlazu 12.

Sistemi za difuzno emitovanje najčešće imaju mogućnost da pakete 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 **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*). Jedna mogućnost je da se u adresnom polju rezerviše jedan bit za označavanje višesmernog emitovanja. Preostalih $n-1$ bitova adrese mogu da sadrže broj grupe. Svaki računar može da se „uključi“ u jednu ili više grupa. Kada se paket pošalje određenoj grupi, on se isporučuje svim računarima uključenim u tu grupu.

Za razliku od prethodnog opisa, **mreže „od tačke do tačke“** (engl. *point-to-point networks*) sadrže brojne veze između pojedinih parova računara. Da bi od polazišta stigao do odredišta, paket na ovom tipu mreže možda mora da prođe 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“. Iako postoje mnogi izuzeci, u načelu se u manjim, geografski lokalizovanim mrežama koristi difuzno emitovanje, dok veće mreže uglavnom koriste povezivanje od tačke do tačke. Prenos poruka od tačke do tačke (od jednog pošiljaoca do jednog primaoca), često se naziva **jednosmerno emitovanje** (engl. *unicasting*).

Mreže se mogu klasifikovati i po veličini. Na slici 1-6, višeprocorski sistemi svrstani su prema svojoj fizičkoj veličini. Na vrhu liste su **lične mreže** (engl. *personal area networks*), namenjene jednoj osobi. Takva je, na primer, bežična mreža koja povezuje računar s mišem, tastaturom i štampačem. I LDA koji upravlja slušnim aparatom korisnika ili njegovim pejsmejkerom spada u ovu kategoriju. Izvan kategorije ličnih mreža nalaze se mreže većeg dometa. One se dele na lokalne, gradske i regionalne. Konačno, spoj dve ili više mreža naziva se kombinovana mreža (engl. *internetwork*).

Razdaljina između sistema	Sistemi se nalaze	Primer
1 m	na istom kvadratnom metru	Lična mreža
10 m	u istoj prostoriji	
100 m	u istoj zgradi	Lokalna mreža
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.

Globalni Internet je dobro poznati primer kombinovane mreže. Razdaljina je važno merilo za klasifikovanje mreža jer se za razne razdaljine koriste različite tehnologije. U ovoj knjizi bavićemo se mrežama svih veličina. U nastavku ukratko opisujemo mrežni hardver.

1.2.1 Lokalne mreže

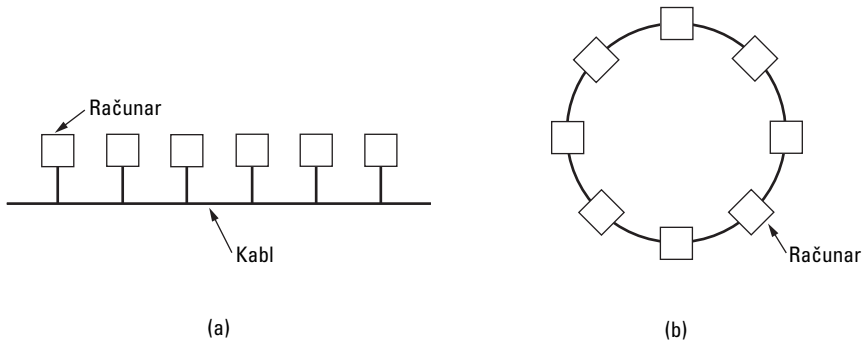
Lokalne mreže (engl. *Local Area Networks, LAN*) jesu privatne mreže unutar jedne zgrade ili jednog organizacionog područja raspona do 5 km. Široko se koriste za povezivanje ličnih računara i radnih stanica u kancelarijama i pogonima firmi radi zajedničkog korišćenja resursa (npr. štampača) i razmene informacija. Lokalne mreže se razlikuju od drugih mreža po tri kriterijuma: (1) veličini; (2) tehnologiji prenosa podataka i (3) topologiji.

Lokalne mreže su ograničene veličine, što znači da je u njima vreme prenosa informacija u najgorem slučaju takođe ograničeno i unapred poznato. Kada poznamo tu granicu, možemo da upotrebimo način projektovanja koji inače ne bi bio moguć. Poznavanje ograničenja pojednostavljuje i upravljanje mrežom.

U lokalnim mrežama prenos podataka može se ostvariti pomoću kabla za koji su priključeni svi računari, slično koncepciji telefonske mreže u seoskim područjima. Brzina prenosa u klasičnim lokalnim mrežama kreće se od 10 Mb/s do 100 Mb/s, kašnjenje je malo (meri se mikro ili nano sekundama), a greške retke. Nove lokalne mreže rade brzinama i do 10 Gb/s. U ovoj knjizi držaćemo se klasičnih mreža 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).

Za lokalne mreže s neusmerenim (difuznim) emitovanjem moguće su različite topologije, od kojih su dve prikazane na slici 1-7. U mreži s topologijom magistrale (engl. *bus*), tj. sa linearnim kablom, u jednom trenutku je najviše jedan računar „na vlasti“ i u mogućnosti da emituje. Svi ostali računari dobijaju zahtev da se uzdrže od slanja poruka. Neophodan je mehanizam odlučivanja za slučaj kada dva ili više računara zahtevaju da istovremeno emituju. Taj mehanizam može da bude centralizovan ili distribuiran. Na primer, sistem IEEE 802.3, popularno zvan **Ethernet**, predstavlja mrežu s topologijom magistrale, neusmerenim emitovanjem, i decentralizovanim upravljanjem, koja obično radi brzinom između 10 Mb/s i 10 Gb/s. Računari na Ethernetu mogu da emituju poruke kad god požele; ako se dva paketa sukobe, svaki računar pauzira tokom nasumično izabranog perioda, a onda pokušava ponovo da emituje.

Drugi tip sistema za neusmereno emitovanje jeste topologija prstena (engl. *ring*). U prstenu svaki bit kruži nezavisno od ostatka paketa kome pripada. Često bit obiđe ceo prsten pre nego što se emituje čitav paket. Kao u svim sistemima za neusmerano emitovanje, mora postojati neko pravilo za odlučivanje u slučaju istovremenog pristupanja prstenu. U upotrebi su različite metode, npr. omogućavanje računarima da pristupaju redom. IBM-ova token ring mreža IEEE 802.5 predstavlja prstenastu lokalnu mrežu brzine 4 i 16 Mb/s. I FDDI je prstenasta mreža.



Slika 1-7. Dve mreže sa neusmerenim emitovanjem. (a) magistrala (b) prsten.

Mreže za neusmereno emitovanje mogu se dalje deliti na statičke i dinamičke, u zavisnosti od toga kako se dodeljuje kanal. Pri statičkom dodeljivanju najčešće se vreme izdela na kratke intervale koji se u krug dodeljuju pojedinim 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).

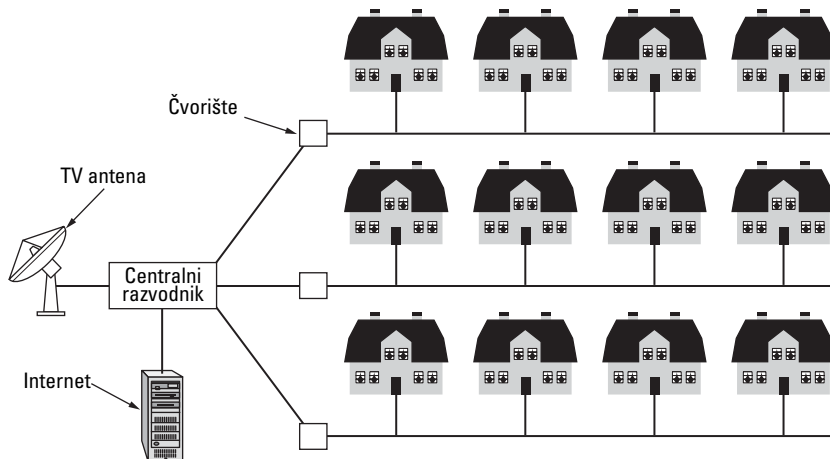
Metode dinamičkog dodeljivanja zajedničkog kanala mogu da budu centralizovane i decentralizovane. U metodi centralizovanog dodeljivanja postoji jedinstvena jedinica za odlučivanje koja određuje redosled pristupanja računara magistrali. Ona to čini primajući zahteve i donoseći odluku na osnovu ugrađenog 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.

1.2.2 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 postavljena je na vrh obližnjeg uzvišenja, odakle je signal kablovima razvođen po kućama.

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: 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 1-8. Tu vidimo da se i TV signal i Internet dovode do **centralnog razvodnika** (engl. *head end*), odakle se dalje distribuiraju do kuća korisnika. Ovoj temi ćemo se detaljnije vratiti u 2. poglavlju.



Slika 1-8. Gradska mreža zasnovana na sistemu kablovske televizije.

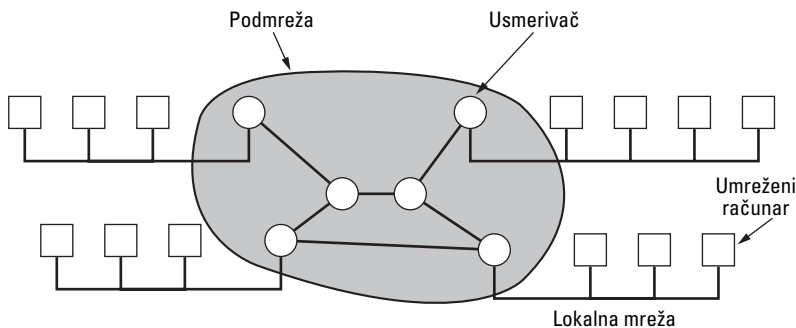
Kablovska televizija nije jedina gradska mreža. Nedavni razvoj visokobrzinskog bežičnog pristupa Internetu rezultovao je drugom vrstom gradske mreže, koja je standardizovana pod oznakom IEEE 802.16. Vraćićemo se na nju u 2. poglavlju.

1.2.3 Regionalne mreže

Mreža širokog područja ili **regionalna mreža** (engl. *Wide Area Network, WAN*) pokriva veliko geografsko područje, često čitavu državu ili čak kontinent. Ona sadrži skup računara namenjenih za izvršavanje korisničkih programa (aplikacija). Držaćemo se uobičajenog načina korišćenja ovih mreža sa skupom umreženih računara (engl. *hosts*). Umreženi računari su povezani **komunikacionom podmrežom** (engl. *communication subnet*) ili kratko, **podmrežom** (engl. *subnet*). Računari su vlasništvo korisnika (to su njihovi lični računari), dok je komunikaciona podmreža najčešće vlasništvo telefonske kompanije ili davaoca Internet usluga; oni je i održavaju. Zadatak podmreže je da prenosi poruke od jednog do drugog računara, kao što telefonski sistem prenosi reči od govornika do slušaoca. Razdvajanje čisto komunikacione uloge mreže (podmreža) od aplikativnog aspekta (računari) umnogome uprošćava projektovanje mreže.

U većini regionalnih mreža, podmreža se sastoji od dve jasno razgraničene komponente: prenosnih linija i prekidačkih elemenata. **Linije prenosa** (engl. *transmission lines*) propuštaju bitove od jednog računara ka drugom. One mogu biti od bakarne žice, optičkog vlakna ili radio-veza. **Prekidački elementi** (engl. *switching elements*) specijalizovani su računari koji spajaju tri i više linija prenosa. Kada podaci stignu jednom linijom, prekidački element mora da odluči kojom linijom da ih dalje uputi. Ovi prekidački 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 i dalje u našem računarskom žargonu nazivaju „ruteri“.

U opisanom modelu, prikazanom na slici 1-9, često je svaki umreženi računar deo lokalne mreže povezane preko usmerivača, iako u izvesnim slučajevima preko usmerivača može da bude priključen samo jedan računar. Skup linija prenosa i usmerivača (bez umreženih računara) čini podmrežu.

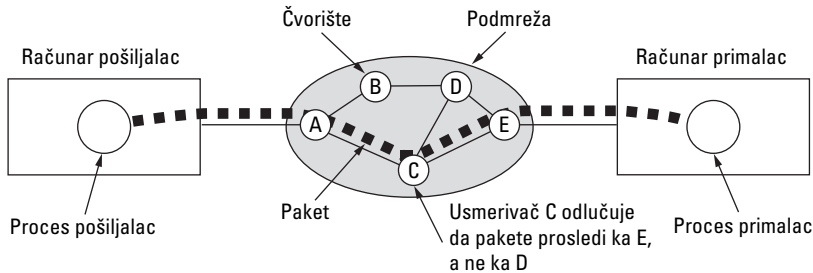


Slika 1-9. Odnos između računara koji se nalaze u lokalnim mrežama i podmreže.

Na ovom mestu treba da prokomentarišemo izraz „podmreža“. Prvobitno, podmreža je označavala **isključivo** skup usmerivača i komunikacionih linija za prenošenje paketa od polaznog do odredišnog računara. Nešto kasnije, izraz je dobio i drugo značenje u vezi s mrežnim adresiranjem (o čemu ćemo govoriti u 5. poglavlju). Nažalost, nema šire prihvaćene alternative za prvobitno značenje, tako da ćemo isti izraz oprezno koristiti u oba značenja. Iz konteksta bi trebalo da bude jasno na koje značenje mislimo.

Većina regionalnih mreža ima mnogo linija prenosa, od kojih svaka povezuje dva usmerivača. Ako dva usmerivača koji nisu povezani istom linijom prenosa žele da komuniciraju, moraju to da urade posredno, preko drugih usmerivača. Kada se paket šalje od jednog usmerivača ka drugom preko jednog ili više međusmerivača, svaki međusmerivač prima ceo paket, čuva ga dok se ne oslobodi odgovarajuća linija prenosa, a zatim ga prosleđuje dalje. Podmreža koja je organizovana na opisanom principu naziva se podmreža „**čuvaj i prosledi**“ (engl. *store-and-forward*) ili **podmreža s komutiranjem paketa** (engl. *packet-switched*). Skoro sve regionalne mreže (izuzev satelitskih) imaju podmreže s komutiranjem paketa. Kada su paketi mali i iste veličine, često se nazivaju ćelije (engl. *cells*).

Princip komutiranja paketa u regionalnim mrežama toliko je važan da ćemo mu posvetiti još malo vremena. U načelu, kada proces na jednom umreženom računaru želi da pošalje poruku procesu na drugom umreženom računaru, računar koji šalje najpre deli poruku na pakete, dodeljujući svakom paketu redni broj. Paketi se tada šalju u mrežu pojedinačno, jedan za drugim. Paketi se nezavisno prenose mrežom i skupljaju u odredišnom računaru gde se ponovo od njih sklapa prvobitna poruka i isporučuje procesu kome je namenjena. Tok paketa potekao od jedne poruke prikazan je na slici 1-10.



Slika 1-10. Tok paketa od pošiljaoca ka primaocu.

Na ovoj slici, svi paketi slede putanju ACE, umesto ABDE ili ACDE. U nekim mrežama, svi paketi jedne poruke moraju da prate istu putanju; u drugim se svaki paket nezavisno usmerava. Naravno, ako je ACE optimalna putanja, svi paketi mogu proći njom čak i kada se nezavisno usmeravaju.

Odluku o usmeravanju donosi lokalni usmerivač. Kada paket pristigne usmerivaču A, taj usmerivač treba da odluči da li da ga prosledi ka usmerivaču B ili ka usmerivaču C. On tu odluku donosi na osnovu ugrađenog **algoritma za usmeravanje** (engl. *routing algorithm*). Postoje mnogi takvi algoritmi i o njima ćemo govoriti detaljnije u 5. poglavlju.

Ne rade sve regionalne mreže s komutiranjem paketa. Druga mogućnost je satelitski sistem. 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. Ponekad su usmerivači uglavnom povezani podmrežom od tačke do tačke, s tim što samo neki od njih imaju satelitske antene. Satelitske mreže po svojoj prirodi emituju neusmereno i najkorisnije su kada je za mrežu važno to svojstvo.

1.2.4 Bežične mreže

Digitalno bežično komuniciranje nije nova ideja. Još 1901. godine italijanski fizičar Guljelmo Markoni demonstrirao je princip bežičnog telegrafa između broda i obale koristeći Morzeovu azbuku (u krajnjoj liniji, tačke i crte su binarni kôd). Savremeni digitalni bežični sistemi imaju bolje performanse, ali je osnovna ideja ostala ista.

Sasvim grubo, bežične mreže se mogu podeliti u tri osnovne kategorije:

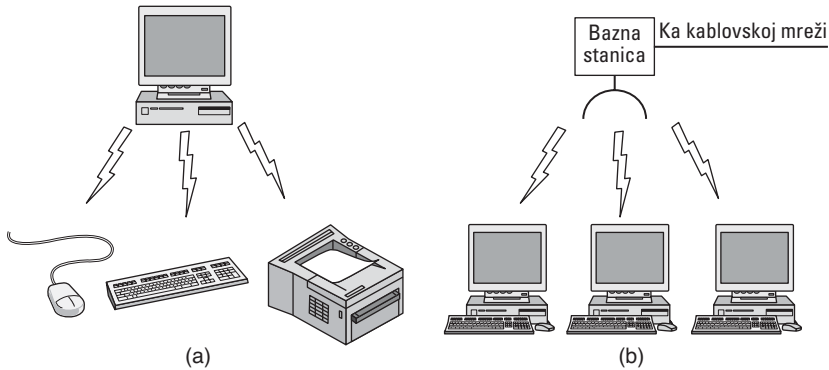
1. Mreže za povezivanje sistema.
2. Bežične lokalne mreže.
3. Bežične regionalne mreže.

Pod povezivanjem sistema podrazumeva se povezivanje komponenta računara radiotalasima kratkog dometa. Skoro svaki računar ima monitor, tastaturu, miša i štampač povezane s glavnom jedinicom 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 kablova. Sistem Bluetooth omogućava priključivanje i digitalnih kamera, slušalica, skenera i drugih uređaja tako što se jednostavno dovedu u domet emitovanja mreže. Nema kablova, nema instaliranja upravljačkih programa, samo sve skupite na jedno mesto, uključite računar i sve radi! Mnogi smatraju da ih je ova tehnologija preporodila.

U svom najjednostavnijem obliku, mreže za povezivanje sistema koriste obrazac nadređenog i podređenog uređaja, prikazan na slici 1-11(a). 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. O sistemu Bluetooth govorićemo detaljnije u 4. poglavlju.

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 1-11(b). Međutim, ako su sistemi međusobno dovoljno blizu, oni mogu komunicirati i direktno između sebe u konfiguraciji ravnopravnih računara. Bežične lokalne mreže sve su češće u malim kancelarijama i u kućama, gde instaliranje Etherneta predstavlja suviše veliku teškoću, kao i u starijim poslovnim zgradama, konferencijskim salama i na drugim mestima. Za bežične lokalne mreže postoji standard **IEEE 802.11**, koji uglavnom ugrađuju svi sistemi pa se brzo širi. O njemu ćemo govoriti u 4. poglavlju.

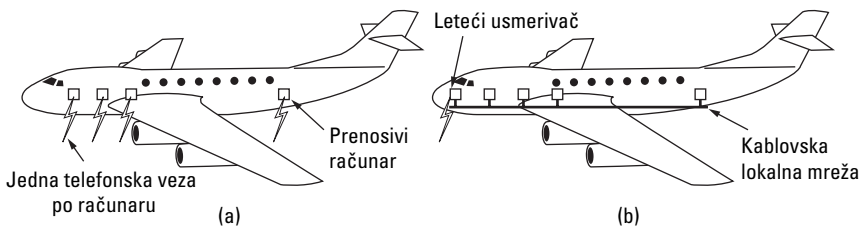
Treća vrsta bežične mreže koristi se u regionalnim mrežama. Radiotalasna mreža koja se koristi za mobilnu telefoniju primer je bežičnog sistema niske propusne moći. Taj sistem je već doživeo tri generacije. Prva generacija je bila analogna i samo za prenos govora. Druga generacija je bila digitalna, ali je i ona prenosila samo govor. Treća generacija je takođe digitalna, ali prenosi i govor i podatke. Bežične mreže mobilne telefonije u izvesnom smislu liče na bežične lokalne mreže, osim što su razdaljine mnogo veće, a brzine prenosa mnogo manje. Bežične lokalne mreže mogu da rade brzinom do oko 50 Mb/s na udaljenosti od nekoliko desetina metara. Sistemi mobilne telefonije rade brzinom manjom od 1 Mb/s, ali se razdaljina između baze i računara ili telefona meri kilometrima, umesto metrima. Imaćemo štošta da kažemo o ovim mrežama u 2. poglavlju.



Slika 1-11. (a) Konfiguracija sistema Bluetooth. (b) Bežični LAN.

Osim pomenutih sporih mreža, razvijaju se i bežične regionalne mreže visoke performansne moći. Kod njih je glavni cilj da se privatni i poslovni korisnici povežu na Internet pomoću bežičnog priključka visoke brzine prenosa koji zaobilazi sistem telefonije. Ta usluga se obično zove lokalna distributivna usluga za više korisnika (engl. *local multipoint distribution service, LMDS*) i opisaćemo je kasnije. Za nju je razvijen i poseban standard, IEEE 802.16, opisan u 4. poglavlju.

Skoro sve bežične mreže se u nekoj tački priključuju na ožičenu mrežu da bi se omogućio pristup datotekama, bazama podataka i Internetu. Takvi priključci se mogu ostvariti na više načina, što zavisi od konkretnih okolnosti. Na primer, na slici 1-12(a) prikazujemo avion u kome se više osoba pomoću modema i telefona ugrađenih u sedišta povezuju sa svojim kancelarijama. Svaka telefonska veza se uspostavlja pojedinačno. Mnogo efikasnije rešenje je, međutim, „leteća lokalna mreža“, prikazana na slici 1-12(b). Ovde je svako sedište opremljeno Ethernet priključkom u koji putnici mogu da uključe svoje prenosive računare. Jedan jedini usmerivač u avionu održava vezu s više usmerivača na zemlji koji se smenjuju tokom leta aviona. Takva konfiguracija se ne razlikuje od klasične lokalne mreže, osim što je njena veza sa svetom bežična.



Slika 1-12. (a) Pojedinačni pokretni računari. (b) Leteća lokalna mreža.

Mnogi smatraju da bežičnoj vezi pripada budućnost (npr. Bi i sar., 2001; Leeper, 2001; Varshey i Vetter, 2000), ali ima i suprotnih mišljenja. Tvorac Ethernet, Bob Metcalfe, napisao je: „Pokretni bežični računari su kao pokretni toaleti – nužno zlo.“

Ustaliće se u vozilima, na gradilištima i na rok-koncertima. Savetujem vam da svoju kuću pristojno ožičite i ostanete u njoj“ (Metcalf, 1995). Istorija će ovaj savet svrstati uz komentar predsednika IBM-a T.J. Watsona, koji je 1945. godine, na pitanje zašto IBM ne ulazi u posao s računarima odgovorio: „Četiri ili pet računara će do 2000. godine biti dovoljno za čitav svet“.

1.2.5 Kućne mreže

Kućne računarske mreže su na pomolu. Već se razmišlja o tome da u bliskoj budućnosti većina kuća bude opremljena sopstvenim mrežama. Svi uređaji u kući moći će 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 jednom pojavila, svako se čudio kako je bez nje uopšte mogao da živi.

Mnogi uređaji se mogu umrežiti. Navodimo neke od najočiglednijih kategorija (i primere) takvih uređaja:

1. Računari (stoni PC računari, prenosivi PC računari, LDA, deljeni periferni uređaji).
2. Audio i video oprema (TV, DVD, VCR, kamkorder, kamera, stereo-uređaj, MP3).
3. Telekomunikacije (telefon, mobilni telefon, interfon, faks).
4. Kućni aparati (mikrotalasna rerna, frižider, sat, peć, klima-uređaj, osvetljenje).
5. Telemetrija (električno brojilo, vodomer, protivpožarni i alarmni sistem, termostati, sistem nadgledanja).

Rudimentarno umrežavanje kućnih računara već postoji. U mnogim domovima se više računara posebnim uređajem povezuje s brzim priključkom na Internet. Audio i video oprema još nije umrežena, ali kako se sve više filmova i muzičkih numera preuzima sa Interneta, tako rastu i zahtevi da se na njega povežu stereo-uređaji i TV prijemnici. Isto tako, mnogi žele da svoje video-snimke podele s rođacima i prijateljima, pa komunikacija mora da bude dvosmerna. Telekomunikaciona oprema je već povezana sa spoljnim svetom, ali će uskoro postati digitalna i ići preko Interneta. U prosečnoj kući verovatno ima desetak satova (računajući i one u raznim uređajima), koji se moraju barem dvaput godišnje podešavati (onda kada se menja vreme sa zimskog na letnje i obrnuto). Kada bi svi satovi bili povezani sa Internetom, mogli bi se podešavati automatski. Na kraju, verovatno je najprivlačnija ideja daljinskog nadgledanja kuće. Mnogi roditelji bi bili voljni da utroše nešto novca kako bi mogli iz restorana da preko LDA uređaja pogledaju šta radi njihova beba, čak i kada je u kući neko ko pazi na nju. Iako možete da razmišljate o posebnim mrežama za svako od pomenutih područja primene, verovatno je bolja ideja da se svi sistemi povežu u jedinstvenu mrežu.

Kućne mreže imaju neka fundamentalno drugačija svojstva od drugih tipova mreža. Na prvom mestu, mreža i uređaji moraju se lako instalirati. Autor ove knjige imao je priliku da tokom više godina instalira brojne hardverske i softverske komponente na različite računare i susretao se s mnogim problemima. Zahtevajući tehničku podršku

od prodavca opreme, dobijao je uglavnom ovakve odgovore: (1) Pročitajte uputstvo, (2) Ponovo pokrenite računar, (3) Uklonite sve hardverske i softverske komponente koje nisu naše i pokušajte ponovo, (4) Preuzmite najnoviju verziju upravljačkog programa s naše Web lokacije i – ako ništa od pobrojanog ne uspe – (5) Formatirajte čvrsti disk i ponovo instalirajte Windows sa CD-a. Ako kupcu Internet frižidera savetujete da preuzme i instalira novu verziju operativnog sistema frižidera, verovatno ćete regrutovati četnu besnih mušterija. 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.

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.

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, glavna primena će verovatno biti prenos multimedijских sadržaja, tako da mreža mora imati dovoljnu propusnu moć. Nikada neće postojati tržište za televizore povezane na Internet koji prikazuju trepereće filmove u rezoluciji 320 × 240 piksela, brzinom od 10 slika u sekundi. Brzi Ethernet, koji obavlja glavninu posla u većini kancelarija, nije dovoljno brz za multimediju. Shodno tome, za kućne mreže su potrebne bolje performanse od performansi postojećih kancelarijskih mreža, a cena im mora biti niža da bi postali proizvodi široke potrošnje.

Peto, sistem mora da omogućiti počinjanje s jednim do dva povezana uređaja, kao 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, vodi u sigurnu propast. Mrežni interfejs ne sme da se menja tokom više godina; ožičenje (ako postoji) mora da ostane isto decenijama.

Šesto, 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 LDA uređaja onemogućava vaš alarmni sistem i isprazni vam kuću, to je nešto sasvim drugo.

Zanimljivo pitanje je da li kućne mreže treba da budu izvedene kablovima ili da budu bežične. U većini kuća već je instalirano šest različitih mreža: električna, telefonska, kablovska TV, vodovodna, gasna i kanalizaciona. Dodati još jednu mrežu tokom građenja novih kuća nije veliki problem, ali je ugradnja sedme mreže u postojeće kuće skupa. Troškovi 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 prepreke. Mnogi se pribijavaju 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.

Sve u svemu, 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 se po razumnoj ceni dobiju odlične performanse.

1.2.6 Kombinovane mreže

Širom sveta postoje mnoge mreže, sastavljene od različitih hardverskih i softverskih komponenta. 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, ponekada pomoću uređaja zvanih **mrežni prolazi** (engl. *gateways*), koji fizički povezuju i istovremeno usaglašavaju različite hardverske i softverske komponente dve mreže. Skup međusobno povezanih mreža naziva se **kombinovana mreža** ili **međumreža** (engl. *internetwork* ili *internet*). Ti engleski izrazi se koriste u opštem smislu, za razliku od globalnog Interneta (koji je samo jedna posebna međumreža), koji se najčešće piše s velikim početnim slovom.

Čest oblik međumreže je WAN koji povezuje više LAN-ova. U stvari, ako bismo na slici 1-9 oznaku „podmreža“ zamenili oznakom „WAN“, ništa drugo na slici ne bi trebalo menjati. Jedina stvarna tehnička razlika između podmreže i WAN-a u ovom slučaju jeste pitanje da li u mreži postoje računari. Ako sistem unutar sivog područja sadrži samo usmerivače, to je podmreža; ako sadrži i usmerivače i računare, onda je WAN. Stvarne razlike su vlasništvo i način korišćenja.

Pojmovi podmreže, mreže i međumreže često se mešaju. Podmreža ima najviše smisla unutar regionalne mreže, gde se odnosi na skup usmerivača i komunikacionih linija u vlasništvu operatera mreže. Analogni primer je telefonski sistem koji se sastoji od više centrala međusobno povezanih brzim linijama, a s pojedinačnim korisnicima preko sporih linija. Ove linije i oprema koje poseduje i održava telefonska kompanija, predstavljaju podmrežu telefonskog sistema. Sami telefonski aparati (analogno računarima) nisu deo podmreže. Kombinacija podmreže i telefonskih aparata (tj. računara) obrazuje mrežu. U slučaju lokalne mreže, mrežu obrazuju kabl i računari – podmreža stvarno ne postoji.

Međumreža se obrazuje kada se međusobno povežu jasno ograničene 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), verovatno se ne radi o jednoj, već o više međusobno povezanih mreža.

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*). 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 virtualna 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.

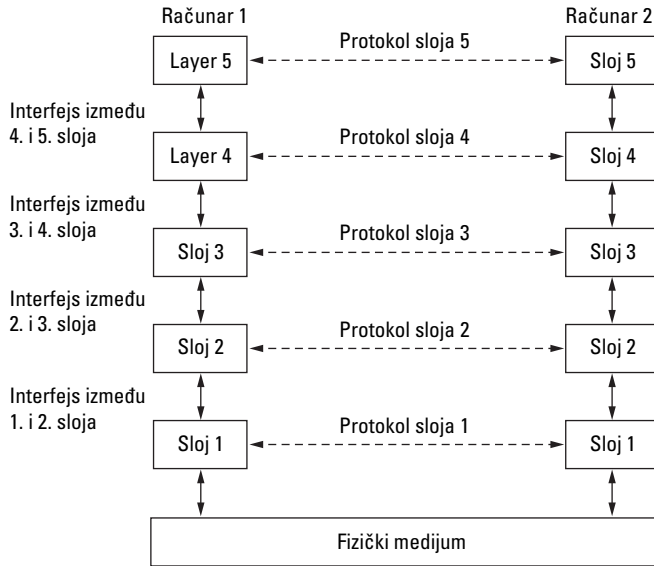
Sloj n na jednom računaru komunicira sa slojem n na drugom računaru. Pravila i konvencije koji se koriste u komuniciranju poznati su pod zajedničkim imenom protokol sloja n . U osnovi, **protokol** (engl. *protocol*) predstavlja dogovor između dve jedinice o tome kako treba da teče njihova međusobna 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, u zavisnosti 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 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 sve telefonske linije zamene satelitskim kanalima), jer se od nove verzije sloja zahteva samo da sloju iznad sebe ponudi isti skup usluga kao i ranije.

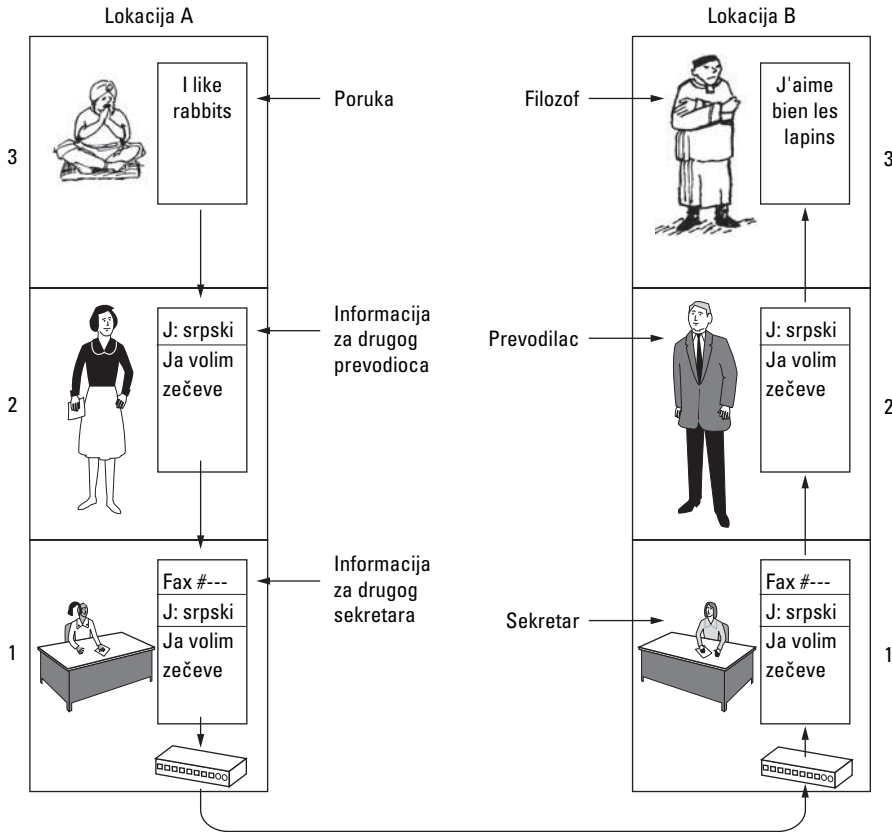


Slika 1-13. Slojevi, protokoli i interfejsi.

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

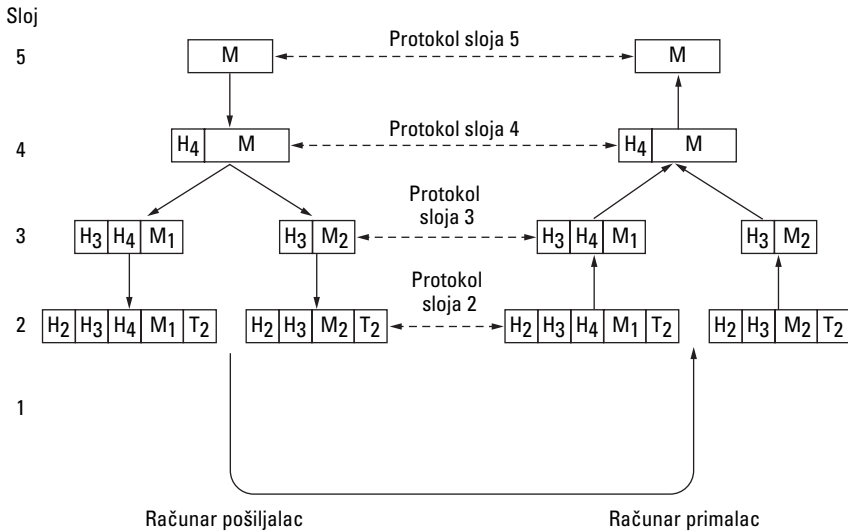
prikazano na slici 1-14. Prevodioci su se dogovorili da koriste jezik koji obojica zna-ju, srpski, pa poruka postaje „Ja volim zečeve“. Izbor zajedničkog jezika zavisi od protokola i ravnopravnih procesa u sloju 2.



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 pevodí 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 interfejsne prema 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 svom „kolegi“ (ravnopravnom procesu na drugom računaru). Ti podaci se ne prosleđuju gornjem sloju.

Razmotrimo sada jedan „tehničiji“ 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.



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

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.

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 izdela dolazne poruke na manje jedinice – pakete – i da svakom paketu doda zaglavlje sloja 3. U našem primeru, M se deli na dve jedinice, M1 i M2.

Sloj 3 bira liniju za slanje i prosleđuje pakete sloju 2. Sloj 2 svakom paketu dodaje ne samo zaglavlje, već i završetak 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 virtualne 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 PreuzmiSaDrugomRačunara, 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.

Svaki sloj mora imati mehanizam za raspoznavanje pošiljalaca i primalaca. Pošto se mreža obično sastoji od više računara na kojima se istovremeno može izvršavati više procesa, mora postojati način da proces na jednom računaru odredi s kim želi da komunicira. Zbog postojanja više mogućih odredišta, neophodan je izvestan oblik njihovog **adresiranja** (engl. *addressing*).

Drugi skup odluka pri projektovanju odnosi se na pravila prenosa podataka. U nekim sistemima podaci putuju uvek u jednom smeru, dok u drugima putuju u oba smjera. Protokolom se mora odrediti broj logičkih kanala po vezi i njihov prioritet. U mnogim mrežama svaka veza ima barem dva logička kanala: jedan za obične, drugi za hitne podatke.

Kontrola grešaka (engl. *error control*) je važna stavka jer su fizički komunikacioni medijumi daleko od savršenstva. Postoje mnogi kodovi za otkrivanje i ispravljanje grešaka, ali se dve strane moraju dogovoriti o kodu koji će koristiti. Osim toga, primalac mora imati mehanizam da saopšti pošiljaocu koje su poruke primljene ispravno, a koje nisu.

Ne održavaju svi komunikacioni kanali redosled poruka koje se kroz njih šalju. Da bi se redosled očuvao, protokolom se mora predvideti mehanizam pomoću koga će primalac ponovo uspostaviti eventualno poremećen redosled poruka. Rešenje koje se nameće jeste numerisanje paketa, ali i dalje ostaje otvoreno pitanje šta raditi s paketima koji su stigli u neispravnom stanju.

Na svakom nivou se javlja problem neusaglašenosti brzine slanja i primanja, pri čemu primalac često bude zatrpan porukama koje ne može da obradi. Predložena su različita rešenja ovog problema i njih ćemo razmotriti kasnije. Neka od njih predviđaju slanje direktne ili indirektno povratne poruke pošiljaocu o trenutnom stanju primaoca. Druga, pak, ograničavaju brzinu slanja na unapred dogovorenu meru. Cela ova problematika naziva se **kontrola toka** (engl. *flow control*).

Još jedan problem koji je zajednički mnogim slojevima proizlazi iz nemogućnosti svih procesa da prihvate poruke neograničene dužine. Zbog toga postoje mehanizmi rastavljanja, prenošenja i ponovnog sastavljanja poruka. Sličan problem nastaje kada neki proces uporno radi s tako malim paketima podataka da je njihovo pojedinačno

prenošenje neefikasno. Ovde je rešenje da se više malih poruka za isto odredište kombinuje u jedinstvenu veliku poruku, a zatim na odredištu ponovo rastavi na polazne komponente.

Kada je nepogodno ili skupo da se za svaki par procesa koji međusobno komuniciraju uspostavlja zasebna veza, odgovarajući sloj može da istu vezu upotrebi za više istovremenih, nezavisnih konverzacija. Sve dok je ovo **multipleksiranje** (engl. *multiplexing*) i **demultipleksiranje** (engl. *demultiplexing*) nevidljivo, može ga koristiti svaki sloj. Multipleksiranje je, na primer, neophodno u fizičkom sloju, gde se saobraćaj za sve veze mora preneti preko najviše nekoliko fizičkih linija.

Kada između pošiljaoca i primaoca postoji više putanja, mora se izabrati jedna od njih. Ponekada u odlučivanju o putanji učestvuju dva ili više slojeva. Na primer, da bi se podaci poslali iz Londona u Rim, možda treba doneti odluku na vrhu o tome da li da se šalju preko Francuske ili preko Nemačke, u zavisnosti od odgovarajućih zakonskih propisa. Zatim se na nižem nivou donosi odluka o korišćenju jedne od raspoloživih putanja, u zavisnosti od trenutne gustine saobraćaja. Ova tematika se naziva **usmeravanje** (engl. *routing*).

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 pod mreža **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, da ga odbije ili da ponudi nov predlog.

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. 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 tako da na odredište najpre stigne druga poruka.

Svaka usluga se 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 da potvrdi 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 ponekada 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 poslani. Malo je onih koji bi zbog veće brzine 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 određeno stišu 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 mrežom slovoslagaju, onda ih možda treba slati kao zasebne poruke. S druge strane, kada se korisnik prijavljuje na udaljeni server, serveru je potrebno poslati samo niz bajtova. Granice poruka nisu bitne.

Kao što smo već pomenuli, za neke primene je neprihvatljivo usporavanje prenosa izazvano potvrđivanjem prijema poruka. Jedna takva primena je prenos digitalizovanog glasa. Korisnici telefona će radije prihvatiti da vezu povremeno remeti šum koji se čuje u pozadini nego da svog sagovornika stalno čuju sa zadržkom. 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, porast popularnosti elektronske pošte pratio je i porast broja neželjenih poruka. Onaj ko takve poruke šalje verovatno ne želi da uspostavlja i kasnije raskida vezu samo zato da bi poslao 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 garancije. Nepouzdana usluga bez uspostavljanja direktne veze (tj. usluga bez potvrđivanja prijema) često se naziva **usluga datagrama** ili **datagrafska usluga** (engl. *datagram service*), po analogiji s telegrafskim uslugama slanja telegrama gde pošiljalac takođe ne dobija potvrdu o prijemu poruke.

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.

Postoji i **usluga odgovaranja na zahteve** (engl. *request-reply service*). Pošiljalac šalje jedinstven datagram sa zahtevom, a od servera dobija odgovor. Na primer, upit lokalnoj biblioteci s pitanjem gde se govori ujur spada u tu kategoriju. 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.

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

Slika 1-16. Šest vrsta usluga.

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

1.3.4 Osnovne operacije za definisanje usluge

Usluga se formalno zadaje skupom **osnovnih operacija** (engl. *primitives*), preko kojih korisnički proces može da pristupi usluzi. 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 predstavljaju normalne pozive sistemu. Ti pozivi izazivaju prekid rada programa i prelazak u režim jezgra koje potom vraća kontrolu operativnom sistemu da bi mogao da pošalje potrebne pakete.

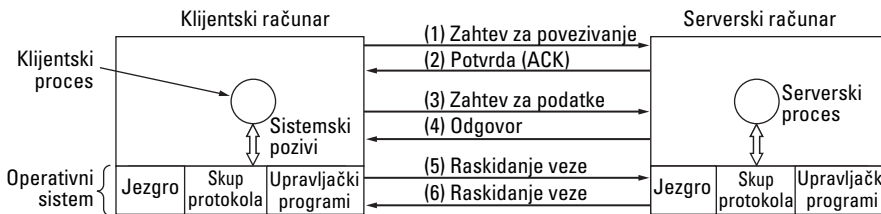
Skup raspoloživih osnovnih operacija zavisi od vrste usluge. Osnovne operacije u uslugama sa uspostavljanjem direktne veze razlikuju se od osnovnih operacija u uslugama bez uspostavljanja veze. Na slici 1-17 prikazan je minimalan skup osnovnih operacija za realizovanje toka bajtova u klijentsko-serverskom okruženju.

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

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

Navedene osnovne operacije mogu se koristiti na sledeći način. 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. Kada paket stigne serveru, tamo ga obrađuje operativni sistem. Kada sistem utvrdi da je u pitanju zahtev za povezivanje, on proverava da li server osluškuje. Ako to utvrdi, operativni sistem radi dve stvari: deblokira server i klijentu šalje potvrđan odgovor (2). Kada potvrda stigne do klijenta, ona ponovo pokreće privremeno zaustavljeni klijentski proces. U tom trenutku rade i server i klijent i između njih je uspostavljena veza. Treba naglasiti da se potvrda (2) generiše samim kodom protokola, a ne kao odgovor na upotrebljenu osnovnu operaciju. Ako pristigne zahtev za povezivanje, a server ne osluškuje, rezultat je neodređen. U nekim sistemima paket se nakratko smešta u red čekanja dok ne stigne (ako stigne) signal LISTEN.



Slika 1-18. Slanje paketa tokom jednostavne komunikacije između klijenta i servera na mreži sa uspostavljanjem direktne veze.

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. Obično je prvi poziv DISCONNECT blokirajući, tako da se klijent privremeno zaustavlja šaljući serveru paket sa obaveštenjem da mu veza više nije potrebna (5). Kada server dobije paket, i on izvršava operaciju DISCONNECT, šaljući potvrđan odgovor klijentu i raskidajući vezu. Kada serverski paket (6) 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 nizbrdo. 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 u mreži sa uspostavljanjem direktne veze.

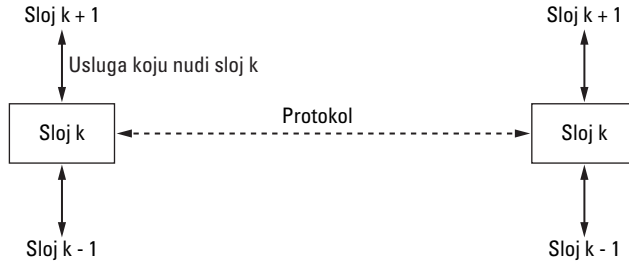
Imajući u vidu da ovaj protokol zahteva razmenjivanje šest paketa, neko može da upita zašto se umesto njega ne koristi neki protokol bez uspostavljanja direktne veze. Kada bi sve radilo savršeno, pitanje bi bilo na mestu jer bi tada bila potrebna samo dva paketa: jedan za zahtev i jedan za odgovor. Međutim, 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 nepouzdan 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 koji se često mešaju. Pa ipak, razlika među njima je toliko važna, da ćemo je ovde ponovo naglasiti. *Usluga* (engl. *service*) je 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 ovaj način, usluge i protokoli potpuno su razgraničeni.

Drugim rečima, 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.

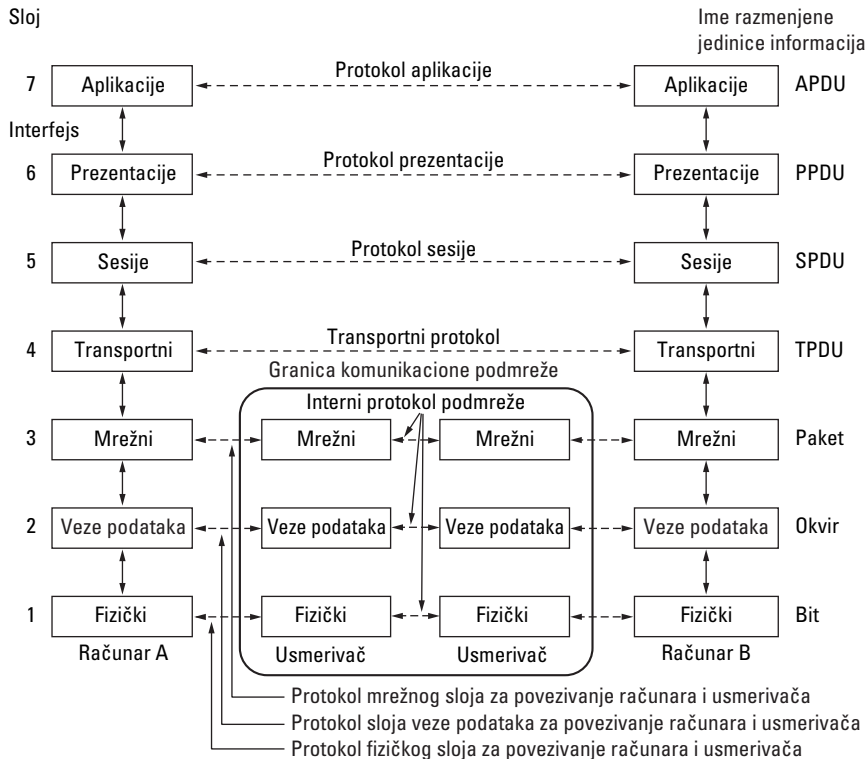
Mnogi stariji protokoli ne prave razliku između protokola i usluge. Na primer, tipičan sloj je mogao imati osnovnu operaciju usluge SEND PACKET, pri čemu je korisnik morao zadavati pokazivač na paket pripremljen za slanje. Uz takav postupak, korisnik je odmah uočavao svaku izmenu protokola. Većina današnjih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

1.4 REFERENTNI MODELI

Pošto smo teorijski opisali slojevite mreže, pređimo na nekoliko primera. U naredna dva odeljka obradimo 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 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 obradimo 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. Principi koji su doveli 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 redom, počivajući 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.

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 smjera, kako se na početku uspostavlja veza i kako se prekida kada oba učesnika obavljaju 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 transportnu liniju koja niz bitova prenosi bez greške. To se radi tako što pošiljalac ulazne podatke deli na **okvire podataka** (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 kolikom privremenom memorijom primalac u svakom momentu raspolaže. Nije retko da se ovo regulisanje toka integriše sa obradom grešaka.

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 medijumima (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 upućuju od izvora ka odredištu. Putanje se mogu zasnivati na statičnim tabelama koje su „ugrađene“ u mrežu i retko se menjaju. One se mogu utvrđivati i na početku svake konverzacije, na primer, pre svake terminalne sesije (daljinskog prijavljivanja). Najzad, one mogu da se određuju potpuno dinamički za svaki paket, u zavisnosti od trenutnog opterećenja mreže.

Ako se u podmreži istovremeno nalazi previše paketa, oni će se međusobno ometati, stvarajući uska grla. Mrežni sloj treba da kontroliše i takva zagušenja saobraćaja. Rečju, mrežni sloj treba da vodi računa o kvalitetu ponuđene usluge (zadržkama, 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 neizbežne izmene hardvera.

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 garancije 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 dva kraja: izvor i odredište. 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 1 do 3, koji su lančano povezani, i slojeva 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 na različitim računarima 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 da bi se omogućilo nastavljanje od tačke prekida u slučaju pada sistema.

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 kodirati 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 hiperteksta** (engl. *Hypertext Transfer Protocol, HTTP*), koji čini osnovu World Wide Weba. Kada korisnik želi da otvori Web 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 aplikacija.

1.4.2 Referentni model TCP/IP

Pređimo sada s modela OSI na referentni model koji je koristio predaak 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 sponzorizalo Ministarstvo odbrane SAD. Ona je povezivala stotine univerziteta i državnih ustanova putem iznajmljenih telefonskih linija. 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 kasnije je postala poznata pod imenom **referentni model TCP/IP** (engl. *TCP/IP Reference Model*), nastalo 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 u slučaju napada neki od njegovih dragocenih računara, usmerivača i međumrežnih prolaza mogu da budu pogođeni ili uništeni, pa je jedan od zadataka projekta ARPANET bio da održi konverzaciju preko mreže i pri eventualnim gubicima 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 elastičnu arhitekturu sposobnu da zadovolji različite zahteve, počev od jednostavnog prenosa datoteka, pa do prenosa govora u realnom vremenu.

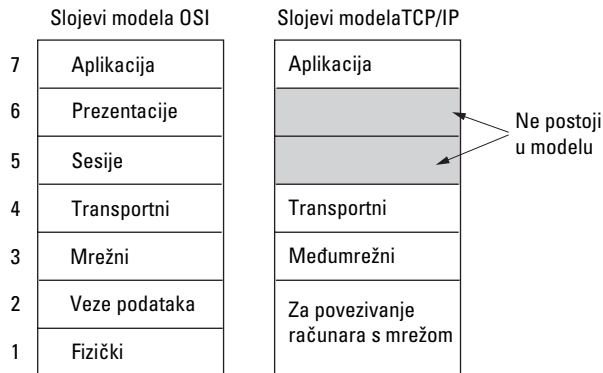
Međumrežni sloj

Svi pomenuti zahtevi uticali su na to da se izabere mreža s komutiranjem paketa, zasnovana na međumrežnom sloju bez direktnog uspostavljanja veze. **Međumrežni sloj** (engl. *internet layer*) predstavlja „spajalicu“ koja drži na okupu čitavu arhitekturu mreže. Njegov zadatak je da pakete koje računari ubacuju u bilo koju mrežu upućuje nezavisno na odredište (moguće i na drugu mrežu). Paketi na odredište mogu da stignu redosledom drugačijim od onog kojim su poslani, pa je zadatak viših slojeva da ih dovede u red ako je to neophodno. Međumrežni sloj postoji i na Internetu.

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*). Zadatak međumrežnog sloja je da isporuči IP pakete tamo gde treba da stignu. Jasno je da su ovde najveći problemi usmeravanje i izbegavanje za-
gušenja. Zbog toga izgleda da se međumrežni TCP/IP sloj može po funkcionalnosti uporediti s mrežnim OSI slojem. Slika 1-21 prikazuje ove sličnosti.

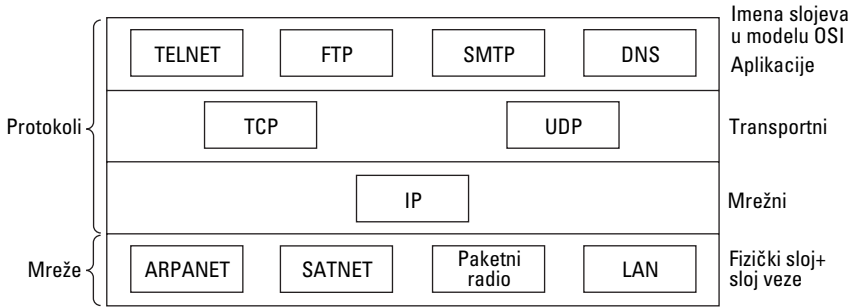


Slika 1-21. Referentni model TCP/IP.

Transportni sloj

Sloj iznad međumrežnog sloja u modelu TCP/IP danas se obično naziva **transportni sloj** (engl. *transport layer*). 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 zatrpaa 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. Prvi protokoli i mreže po modelu TCP/IP.

Sloj aplikacija

U modelu TCP/IP nema sloja sesije, niti sloja prezentacije. Za njima nije bilo potrebe, pa nisu ni uključeni u model. Iskustvo s modelom OSI potvrđuje takvo gledište: ti slojevi su većini aplikacija od male koristi.

Iznad transportnog sloja nalazi se **sloj aplikacija** (engl. *application layer*). 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), kao na slici 1-22. Protokol za virtuelni terminal omogućava korisniku da se sa svog računara daljinski prijavi na drugi računar i da na njemu radi. Protokol za prenos datoteka omogućava efikasno prenošenje podataka s jednog računara na drugi. Elektronska pošta je na početku ličila na prenos datoteka, ali je kasnije za nju razvijen poseban protokol (SMTP). Tokom godina, sloju aplikacija dodati su mnogi drugi protokoli: sistem imenovanja domena (DNS) za preslikavanje (prevođenje) imena računara u njihove mrežne adrese, protokol za prenošenje poruka USENET-ovih diskusionih grupa (NNTP), protokol za preuzimanje strana s World Wide Weba (HTTP) i mnogi drugi.

Sloj za povezivanje računara s mrežom

Ispod međumrežnog sloja zjapi velika praznina. Referentni model TCP/IP ne objašnjava detaljno šta se tu događa, osim što ističe da računar mora da se poveže s mrežom pomoću nekog protokola kako bi mogao da joj šalje IP pakete. Sam protokol za povezivanje s mrežom nije definisan i menja se od računara do računara i od jedne mreže do druge. Knjige i radovi o modelu TCP/IP retko se dotiču ove teme.

1.4.3 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 poređiti 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 pristupiti 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 donji sloj radi.

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 pristupom objektno orijentisanom programiranju. Slično sloju, objekat ima skup metoda (operacija) koje mogu da pozovu spoljni procesi. 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 s protokolima raspoređenim po slojevima.

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. 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, rećimo 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 protokola 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.

1.4.4 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. Počecemo s modelom OSI, dok ćemo TCP/IP ostaviti za kasnije.

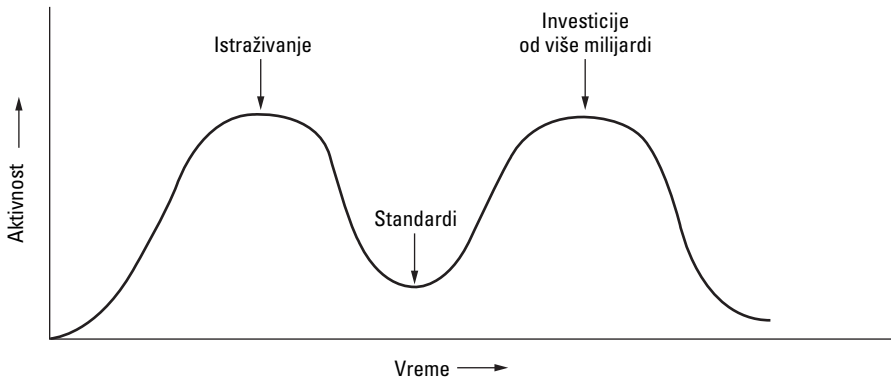
U trenutku kada se pojavilo drugo izdanje ove knjige (1989), mnogim stručnjacima je izgledalo da će se model OSI i njegovi protokoli proširiti svetom i potisnuti sve drugo na tom polju. To se ipak nije dogodilo. Zašto? Spisak onoga što se stvarno dogodilo može da bude poučan:

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. David Clark s Masačusetskog tehničkog instituta ima teoriju poznatu kao trka sa slonovima, koja je ilustrovana slikom 1-23.

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.



Slika 1-23. Trka sa slonovima.

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 u potpunosti biti shvaćena, a rezultat su loši standardi. Ako se objave prekasno, kompanije su već investirale velik novac u pravcu koji se razlikuje od standarda, pa se standardi ne poštuju. Ako je rastojanje između slonova vrlo malo (pošto su svi u žurbi da otpočnu investiranje), autorima standarda (trkačima) preta opasnost da budu zgnječeni.

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 u radu. Ovde se i nehotice setim pitalice koju je postavio Paul Mockapetris (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 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 prihvatili, što je stvorilo veliku zajednicu korisnika, koja je vodila ka daljim poboljšanjima. To je sa svoje strane dovelo do proširivanja zajednice i tako ukруг. 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 računarске 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.

1.4.5 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 za povezivanje računara s mrežom u stvari nije sloj u uobičajenom značenju koje se koristi kod protokola raspoređenih po slojevima. To je interfejs (između mreže i slojeva 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 podataka i da ga prenese s jedne na drugu stranu 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 25 godina, još uvek je u širokoj upotrebi.

Sve u svemu, uprkos problemima, model OSI (bez slojeva sesije i prezentacije) pokazao se izuzetno korisnim u razmatranju računarskih mreža. Međutim, njegovi protokoli nisu naišli na šire prihvatanje. Nasuprot tome, model TCP/IP praktično ne postoji, ali se njegovi protokoli masovno koriste. Pošto računardžije takođe žele da dobiju deo kolača, u ovoj knjizi ćemo kao model koristiti modifikovani model OSI, a istovremeno se koncentrisati na TCP/IP i srodne protokole, kao i na novije protokole, kao što su 802, SONET i Bluetooth. U stvari, kao okvir za teme ove knjige korišćemo hibridni model prikazan na slici 1-24.

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

Slika 1-24. Hibridni referentni model koji će biti korišćen u knjizi.

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.

Počecemo sa Internetom, verovatno najpoznatijom mrežom, opisati njegovu istoriju, razvoj i tehnologiju. Zatim ćemo razmotriti ATM, mrežu koja se često nalazi u središtu velikih (telefonskih) sistema. Ona se tehnički veoma razlikuje od Interneta, pa je zgodno da ih uporedimo. Posle toga ćemo govoriti u Ethernetu, najčešćoj lokalnoj mreži, i na kraju ćemo razmotriti IEEE 802.11, standard za bežične lokalne mreže.

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, krenimo od početka i pogledajmo 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.

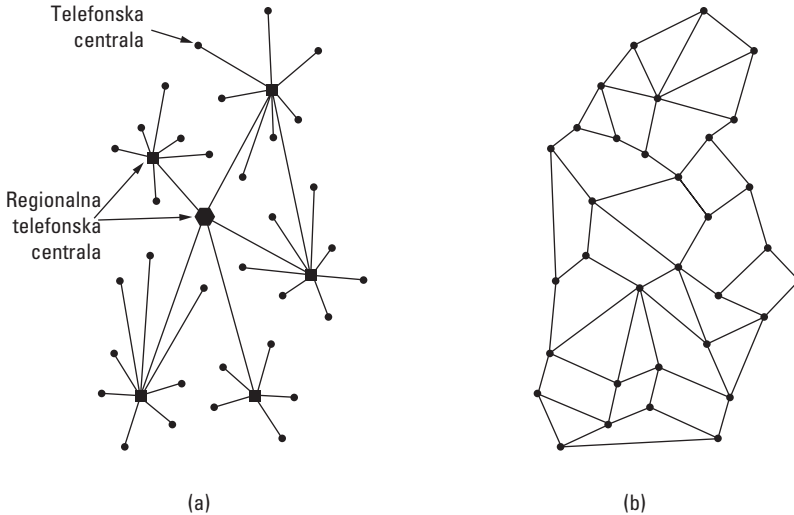
ARPANET

Priča počinje krajem pedesetih godina. Na vrhuncu hladnog rata, Ministarstvo odbrane SAD pozelelo 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.

Okolo 1960. godine, Ministarstvo odbrane je ugovorom obavezalo korporaciju RAND da pronade rešenje. Jedan od zaposlenih u korporaciji, Paul 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. Njegov koncept se svideo zvaničnicima u Pentagonu, pa su zatražili od tadašnje nacionalne monopolske 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*.

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 – Sputnik. 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.



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

Prvih nekoliko godina ARPA je pokušavala da ustanovi šta joj je zadatak, ali je 1967. pažnju njenog tadašnjeg direktora, Larryja Roberta, privuklo umrežavanje. On se posavetovao s više stručnjaka da bi odlučio šta da radi. Jedan od njih, Wesley Clark, predložio je izgradnju podmreže s komutiranjem paketa, pri čemu bi svaki umreženi računar imao svoj usmerivač (slika 1-10).

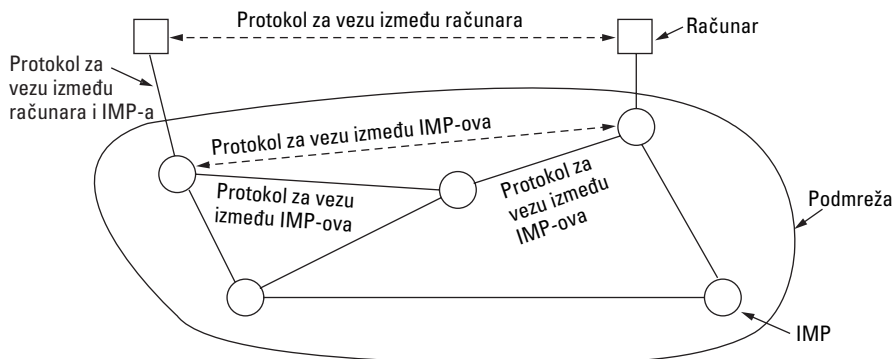
Posle izvesnog oklevanja, Roberts je prihvatio ideju i podneo o njoj pomalo uopšteno saopštenje na Simpozijumu ACM SIGOPS o principima operativnih sistema u Gatlinburgu u državi Tenesi (Roberts, 1967). Na Robertsovo iznenađenje, na simpozijumu se pojavilo i saopštenje o vrlo sličnom sistemu koji ne samo što je bio projektovan, već je bio i realizovan pod rukovodstvom Donalda Daviesa u Nacionalnoj laboratoriji za fiziku (National Physical Laboratory, 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 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 linijama 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 u slučaju uništenja nekih linija i IMP-a poruka mogla da se automatski preusmeri 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 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 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 linijama 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.



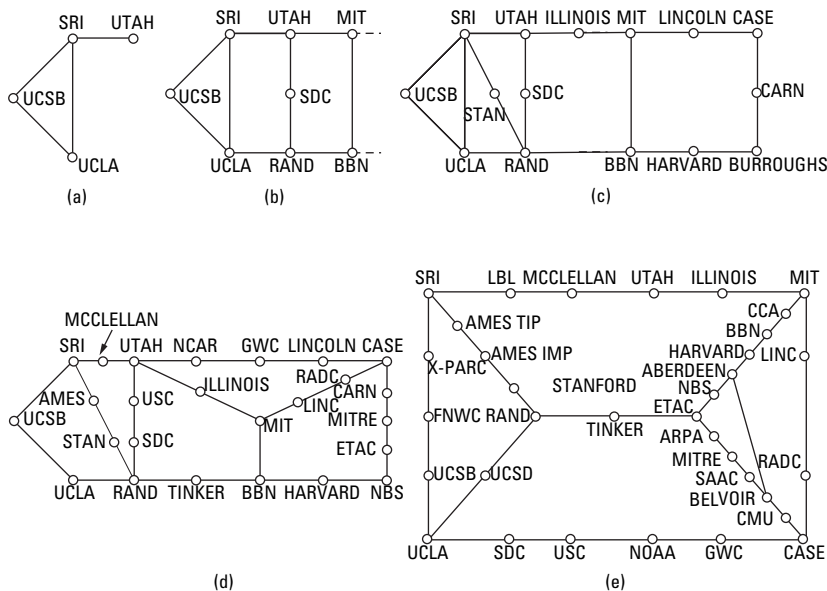
Slika 1-26. Prvobitni projekat ARPANET-a.

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 uspeła 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, sazvaio je leta 1969. skup istraživača mreža, uglavnom tek diplomiranih studenata, u Snowbirdu u državi Juta. Diplomirani studenti su očekivali da će im neki ekspert 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 eksperta, 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-om i sve su imale različite, međusobno nekompatibilne računare (kako bi sve bilo zabavnije). 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.



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

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 krstarilo 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 Univerzitetском koleđžu 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 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 posebno projektovan za međumrežni rad, što je postajalo sve važnije kako su se ARPANET-u priključivale i druge mreže.

Da bi podstakla prihvatanje novih protokola, ARPA je kompaniji BBN i Univerzitetu Kalifornije u Berkliju dodelila više ugovora da protokole integrišu u Berkeley UNIX. Istraživači u Berkliju su smislili odgovarajući programski interfejs za mrežu (utičnice, engl. *sockets*) i napisali mnoge aplikacije, uslužne programe i programe za održavanje sistema kako bi olakšali rad s mrežom.

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 distribuiranih baza podataka za skladištenje brojnih informacija u vezi sa imenovanjem. Detaljno ćemo ga obraditi u 7. poglavlju.

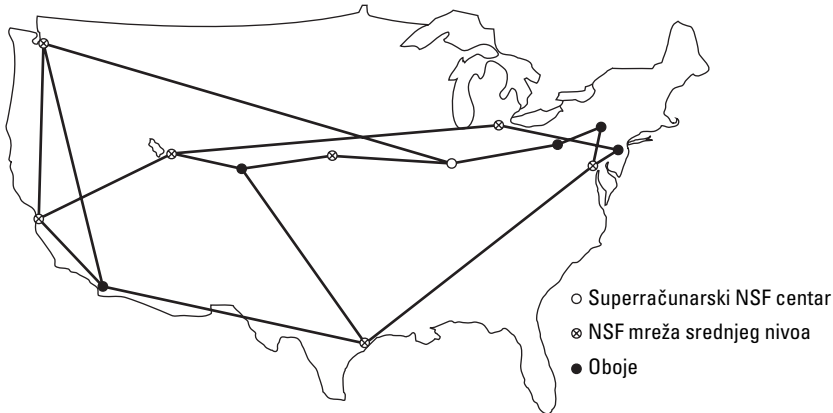
NSFNET

Krajem sedamdesetih godina NSF (Američka nacionalna fondacija za nauku) shvatala je koliki uticaj ima mreža ARPANET na istraživački rad na univerzitetima time što omogućava i naučnicima širom zemlje da razmenjuju podatke i saraduju 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 zato rešila da projektuje naslednika ARPANET-a, mrežu na koju bi se slobodno mogle povezati sve univerzitetske istraživačke grupe. Konkretno temelj ovoj zamisli postavili su kada su odlučili da izgrade mrežnu okosnicu (engl. *backbone*) koja će povezati šest centara sa superračunarima: u San Dijegu, Bulderu, Šampanji, Pitsburgu, Itaki i Princetonu. Svaki superračunar je dobio „malog brata“ – mikroračunar LSI-11, nazvan **čupava optica** (engl. *fuzzball*). Ti „čupavci“ su bili međusobno povezani iznajmljenim linijama 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 optice su se od početka sporazumevale protokolom 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.

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 (pošto

se 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.



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

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 mreža je radila pet godina, a onda je prodana 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 može da bira centrale na okosnici da bi stigao od svoje do određene 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 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 predana industriji.

Korišćenje Interneta

Broj mreža, računara i korisnika priključenih na ARPANET brzo je rastao nakon što je 1. januara 1983. TCP/IP postao jedini zvanični skup protokola. Kada su NSFNET i ARPANET međusobno povezani, rast mreže je postao eksponencijalan. Priključile su se mnoge regionalne mreže, a uspostavljene su veze i s mrežama u Kanadi, Evropi i na Pacifiku.

Sredinom osamdesetih godina neki su takav skup mreža počeli da posmatraju kao veliku međumrežu (engl. *internet*) koja je kasnije dobila ime Internet, mada nikakav visoki zvaničnik nije tom prilikom razbio bocu šampanjca o računar.

Veživo koje drži Internet na okupu jeste model TCP/IP i njegov skup protokola. TCP/IP omogućava davanje univerzalne usluge i može se uporediti sa standardom o širini koloseka koji su usvojile železnice u 19. veku ili sa standardnim protokolom za pozivanje koji su usvojile sve telefonske kompanije.

Šta zapravo znači biti na Internetu? Prema našoj definiciji, računar je na Internetu ako izvršava skup protokola TCP/IP, ima IP adresu i može da šalje IP pakete svim drugim računarima na Internetu. Sposobnost da se šalje i prima elektronska pošta nije dovoljna, pošto se elektronska pošta preko mrežnih prolaza usmerava i na mnoge mreže izvan Interneta. Međutim, ova stvar nije dovoljno jasna zbog činjenice da milioni personalnih računara mogu da pomoću modema pozovu davaoca Internet usluga, da dobiju privremenu IP adresu i da pošalju IP pakete drugim računarima na Internetu. Ima smisla da se takvi računari smatraju delom Interneta sve dok su povezani sa usmerivačem davaoca Internet usluga.

Između 1970. i 1990. godine, postojale su četiri glavne primene Interneta i njegovih prethodnika:

1. **E-pošta** (engl. *e-mail*). Mogućnost da se sastavi, pošalje i primi elektronska poruka postojala je od prvih dana ARPANET-a i izuzetno je popularna. Mnogi dobijaju desetine poruka dnevno i smatraju elektronsku poštu glavnim sredstvom komunikacije sa spoljnim svetom, koje daleko prevazilazi mogućnosti telefonskog razgovora ili klasične pošte. Danas programi za elektronsku poštu postoje na skoro svakoj vrsti računara.
2. **Diskusione grupe** (engl. *newsgroups*). Specijalizovani forumi kroz koje korisnici istih interesovanja mogu da razmene poruke. Postoje hiljade diskusionih grupa, posvećenih tehničkim i drugim temama, uključujući računare, nauku, rekreaciju i politiku. Svaka diskusiona grupa ima sopstvenu etikeciju, stil i običaje, i teško onome ko ih naruši.

3. **Daljinsko prijavljivanje** (engl. *remote login*). Pomoću programa telnet, rlogin ili ssh korisnici koji se nalaze na Internetu mogu da se prijave na bilo koji drugi računar na kome imaju otvoren nalog.
4. **Prenos datoteka** (engl. *file transfer*). Pomoću programa FTP, korisnici Interneta mogu da kopiraju datoteke s jednog računara na drugi. Na taj način im je dostupno mnoštvo članaka, baza podataka i drugih informacija.

Sve do početka devedesetih godina, Internet su uglavnom naseljavali istraživači iz akademskih, državnih i industrijskih krugova. Sve to je izmenila jedna nova oblast primene, **WWW (World Wide Web)**, dovodeći na mrežu milione novih, neakademskih korisnika. Ta oblast, koju je osmislio fizičar Tim Berners-Lee iz CERN-a, nije menjala suštinu mreže, već je samo olakšala njeno korišćenje. Zajedno sa Mosaicom, čitačem Weba koji je napravio Marc Andreessen iz Nacionalnog centra za superračunarske aplikacije u Urbani (Illinois), WWW je omogućio da se na mrežnoj lokaciji napravi skup informativnih strana s tekstom, slikama, zvukom, čak i videom, i sa ugrađenim vezama ka drugim stranama. Pritiskajući vezu, korisnik se odmah prebacuje na stranu na koju ona ukazuje. Na primer, mnoge kompanije imaju početnu (matičnu) stranu (engl. *home page*) sa stavkama koje ukazuju na druge strane na kojima se nalaze informacije o proizvodima, cenama, uslovima prodaje, tehničkoj podršci, vezama ka zaposlenima, berzanskim informacijama i drugim temama.

Ubrzo su se pojavile brojne druge vrste strana, kao što su mape, berzanske tabele, bibliotečki katalozi, snimljeni radio-programi, čak i strane s vezama ka potpunom tekstu mnogih knjiga čija su autorska prava istekla (Mark Tven, Čarls Dikens itd.). Mnogi pojedinci imaju i svoje lične strane na kojima se predstavljaju javnosti.

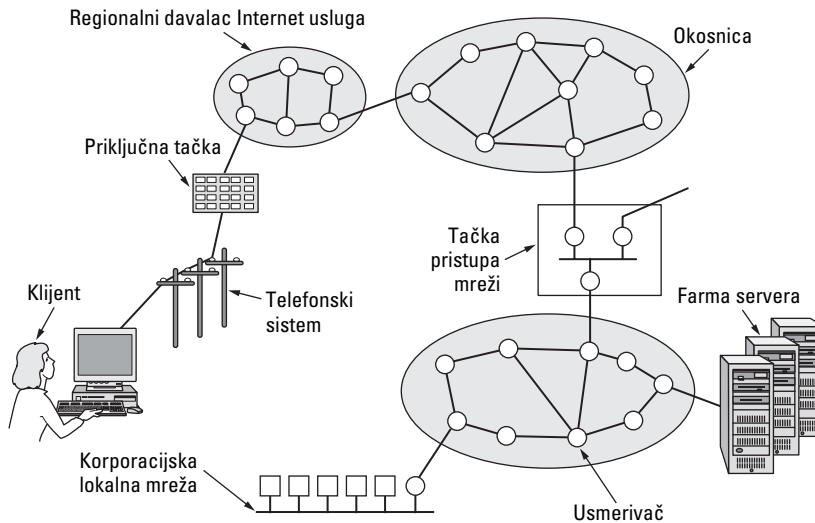
Tokom devedesetih godina, veliko učešće u razvoju Interneta imali su **davaoci Internet usluga** (engl. *Internet Service Providers, ISP*). To su kompanije koje privatnim licima omogućavaju da se od kuće povežu s jednim od njihovih računara i tako iziđu na Internet, tj. dobijaju pristup elektronskoj pošti, Webu i drugim uslugama Interneta. Te kompanije su krajem devedesetih godina imale na desetina miliona novih pretplatnika godišnje, što je potpuno izmenilo karakter mreže – od akademskog igrališta, odnosno vojnog poligona, do javne službe, slične telefonskom sistemu. Sadašnji broj korisnika Interneta nije poznat, ali se sigurno meri stotinama miliona i verovatno će uskoro premašiti milijardu.

Arhitektura Interneta

U ovom odeljku pokušaćemo da damo kratak pregled savremenog Interneta. Brojne integracije telefonskih kompanija i davalaca Internet usluga, dovele su do prilično složene situacije, pa je često teško utvrditi šta ko radi. Zbog toga je neophodno da ovaj opis bude jednostavniji od stvarnog stanja. Opšti prikaz Interneta naći ćete na slici 1-29. Ispitajmo tu sliku, deo po deo.

Počnimo od klijenta koji se nalazi u svojoj kući. Pretpostavimo da klijent uspostavlja vezu sa svojim davaocem Internet usluga (ISP) telefonskim putem, kao na slici 1-29. Modem je posebna kartica koja digitalne signale proizvedene u računaru pretvara u analogne signale koji se neometano mogu prenositi telefonom. Tako pretvoreni

signali dovode se do davaočeve **priključne tačke** (engl. *Point of Presence, POP*), gde se izvlače iz telefonskog sistema i ubacuju u davaočevu regionalnu mrežu. Od te tačke sistem je potpuno digitalan i radi uz komutiranje paketa. Ako je davalac Internet usluga lokalna telefonska kompanija, priključna tačka će verovatno biti smeštena u centrali u kojoj se završava klijentova telefonska linija. Ako davalac nije lokalna telefonska kompanija, onda priključna tačka može da bude smeštena u nekoj daljoj telefonskoj centrali.



Slika 1-29. Opšti prikaz Interneta.

Davaočeva regionalna mreža sastoji se od međusobno povezanih usmerivača u gradovima koje davalac opslužuje. Ako je paket namenjen računaru koji je direktno vezan za davaoca, onda mu se odmah isporučuje. U suprotnom, on se prosleđuje davaočevom operateru okosnice.

Na vrhu hijerarhije su glavni operateri mrežnih okosnica – kompanije kao što su AT&T i Sprint. Oni održavaju velike međunarodne mrežne okosnice, s hiljadama usmerivača povezanih optičkim kablovima visoke propusne moći. Velike korporacije i uslužne kompanije koje održavaju farme servera (računare koji mogu da šalju hiljade Web strana u sekundi), često se direktno povezuju na okosnicu. Operateri okosnice ohrabruju ovakav pristup iznajmljujući prostor u tzv. **telekomunikacionim hotelima** (engl. *carrier hotels*). U osnovi, to su ormani za opremu, koji se nalaze u istoj prostoriji sa usmerivačem kako bi se ostvarila kratka i brza veza između farmi servera i okosnice mreže.

Ako je paket na okosnici namenjen nekom davaocu Internet usluga ili kompaniji direktno vezanoj na okosnicu, on se šalje najbližem usmerivaču i tamo isporučuje. Međutim, na svetu postoje brojne okosnice različitih veličina, pa paket može da pređe na drugu okosnicu. Da bi se omogućilo preskakanje paketa s jedne okosnice na drugu, sve glavne okosnice spajaju se u tačkama pristupa, o kojima smo već govorili. Tačka pristupa mreži (NAP) u osnovi je prostorija prepuna usmerivača – barem po jednim

za svaku okosnicu. Lokalna mreža unutar prostorije povezuje sve usmerivače, tako da se paketi mogu usmeriti s bilo koje okosnice na bilo koju drugu okosnicu. Osim što su povezane preko pristupnih tačaka, veće okosnice se međusobno povezuju direktnim vezama preko usmerivača, a ta tehnika je poznata kao **privatno povezivanje ravnopravnih usmerivača** (engl. *private peering*). 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).

Ovime se završava naš kratki prikaz Interneta. O pojedinim njegovim komponentama, njihovom projektovanju, primenjenim algoritmima i protokolima imaćemo dosta da kažemo u narednim poglavljima. Treba pomenuti 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, dok sve drugo radi kao Internet.

1.5.2 Mreže sa uspostavljanjem direktne veze: X.25, štafetni prenos okvira i ATM

Još od nastanka prvih mreža vodi se rat između onih koji podržavaju (datagramske) podmreže bez uspostavljanja direktne veze i onih koji se zalažu za podmreže sa uspostavljanjem direktne veze. Glavni zagovornici podmreža bez uspostavljanja direktne veze dolaze iz zajednice korisnika ARPANET-a/Interneta. Setite se da je prvobitna želja Ministarstva odbrane SAD bila da ARPANET nastavi da radi i kada pretpostavljeno nuklearno oružje ošteti i izbací iz rada brojne usmerivače i prenosne linije. Zbog toga se otpornost na greške nalazila u vrhu njihovih prioriteta; naplaćivanje usluga korisnicima uopšte im nije bilo na umu. Takav pristup je doveo do projekta mreže bez uspostavljanja direktne veze, u kojoj se svaki paket usmerava nezavisno od drugih paketa. Kada tokom sesije otkáže 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 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 linija ili skretnica (engl. *switch*) na toj putanji otkáže, veza se prekida. To je upravo ono što se Ministarstvu odbrane nije dopadalo u ovom konceptu.

Zašto se onda takav sistem dopada telefonskim kompanijama? Za to postoje dva razloga:

1. Kvalitet usluge.
2. Mogućnost naplate 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 odmah 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.

Telefonske kompanije vole usluge sa uspostavljanjem direktne veze i zato što uslugu najčešće naplaćuju na osnovu vremena korišćenja – kada pozovete telefonski broj u drugom gradu ili državi, meri se vreme razgovora i na osnovu njega vam se zaračunava naknada. Od samog svog nastanka, mreže su težile modelu u kome bi se olakšalo naplaćivanje prema vremenu korišćenja. Ako morate da uspostavljate vezu pre nego što pošaljete podatke, vreme teče od trenutka njenog uspostavljanja. Ako se veza ne uspostavi, to vam ne mogu naplatiti.

Paradoksalno je to što je praćenje vremenskog korišćenja veze veoma skupo. Kada bi telefonska kompanija uspostavila paušalnu mesečnu pretplatu za svoje usluge, uz neograničen broj poziva i time izbegla registrovanje i zaračunavanje pojedinačnih poziva, verovatno bi uštedela gradan novac, uprkos porastu telefonskog saobraćaja koji bi takav potez izazvao. To se, međutim, uglavnom ne čini iz raznoraznih političkih, zakonskih i drugih razloga. Zanimljivo je da paušalno naplaćivanje usluga postoji u drugim oblastima komunikacija. Na primer, kablovska televizija se naplaćuje paušalno, bez obzira na to koliko programa dobijate. I tu je mogla biti organizovana naplata po programu, ali nije, delom i zbog skupoće takvog pristupa (a delom i zato što bi – kada se uzme u obzir kvalitet većine programa – to mnogima bilo neprijatno). Slično tome, u mnogim zabavnim parkovima možete da kupite dnevnu ulaznicu i da se tokom čitavog dana provodite kako i koliko znate i umete, dok na vašarištima koja se sele iz mesta u mesto morate posebno da platite svaku atrakciju: vožnju na autodromu, ringišpilu itd.

Posle svega ne čudi što sve mreže koje su projektovale telefonske kompanije rade sa uspostavljanjem direktne veze. Iznenađuje, međutim, to što se i Internet kreće u tom smeru, želeći da obezbedi kvalitetnije audio i video usluge, nešto o čemu ćemo govoriti u 5. poglavlju. Zasad ćemo se zadržati na nekoliko konkretnih mreža koje rade sa uspostavljanjem direktne veze.

X.25 i štafetni prenos okvira

Prvi primer mreže sa uspostavljanjem direktne veze jeste **X.25** – prva javna mreža. Ona je puštena u rad sedamdesetih godina, u vreme kada je telefonija svuda imala monopol i kada su telefonske kompanije očekivale da svaka država ima po jednu mrežu za prenos podataka – njihovu. Za rad u mreži X.25 računar prvo mora da uspostavi vezu s drugim računarom, tj. da „okrene“ njegov telefon. Toj vezi se pridružuje broj veze koji se koristi pri prenosu paketa podataka (jer istovremeno može da bude uspostavljeno više veza). Paketi podataka su veoma jednostavni – sadrže zaglavlje od 3 bajta i najviše 128 bajtova podataka. Zaglavlje se sastoji od 12-bitnog broja veze

(engl. *connection number*), rednog broja paketa (engl. *packet sequence number*), broja za potvrđivanje (engl. *acknowledgement number*) i nekoliko drugih bitova različite namene. Mreže X.25 korišćene su tokom desetak godina s različitim uspehom.

Osamdesetih godina, mreže X.25 skoro su u potpunosti zamenjene mrežama s tzv. **štafetnim prenosom okvira** (engl. *frame relay*). Njihova osnovna karakteristika je da rade sa uspostavljanjem direktne veze i da u njima ne postoji kontrola grešaka, niti upravljanje tokom podataka. Pošto se uspostavlja direktna veza, paketi se isporučuju strogim redosledom (ako se uopšte isporučuju). Održavanje redosleda isporučenih paketa, nepostojanje kontrole grešaka i upravljanja tokom podataka, čine štafetni prenos okvira sličnim lokalnoj mreži šireg područja. Najvažniju primenu štafetni prenos okvira našao je u povezivanju lokalnih mreža koje se nalaze u različitim poslovnim prostorijama iste kompanije. Štafetni prenos okvira postigao je umeren uspeh, a i danas se ponegde koristi.

Režim asinhronog prenosa

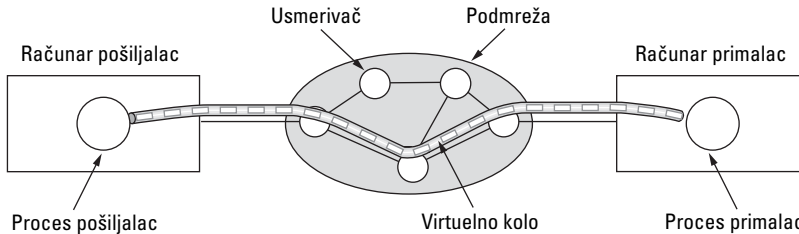
Jedna druga, mnogo važnija mreža u kojoj se veza direktno uspostavlja jeste mreža koja radi u **asinhronom režimu prenosa** (engl. *Asynchronous Transfer Mode, ATM*), tzv. **ATM mreža**. Ovakvo neobično ime dobila je da bi se istakla suprotnost načinu rada telefonskog sistema, koji je uglavnom sinhron (tesno vezan za otkucaje časovnika).

ATM mreža je projektovana početkom devedesetih godina i lansirana uz veliku pompu (Ginsburg, 1996; Goralski, 1995; Ibe, 1997; Kim et al., 1994; Stallings, 2000). Njenom pojavom trebalo je da nestanu svi svetski mrežni i telekomunikacioni problemi tako što će se govor, podaci, kablovska televizija, teleks, telegraf, golubovi pismo-noše, konzerve povezane kanapom, tam-tamovi, dimni signali i sve ostalo integrisati u jedinstven sistem koji može da uradi bilo šta za bilo koga. Naravno, to se nije dogodilo, velikim delom zbog problema koje smo opisali u vezi s modelom OSI (loš trenutak, loša tehnologija, loša realizacija i loša politika). Upravo pobedivši telefonske kompanije u prvoj rundi, mnogi zagovornici Interneta shvatili su ATM mrežu kao nov izazov i dočekali je „na nož“. Pokazalo se da to ipak nije tako, a i zagriženi poklonici datagramskih usluga morali su da priznaju da mnogo štošta nedostaje kvalitetu usluga na Internetu. Ukratko, ATM mreža je postigla mnogo veći uspeh od modela OSI, a danas radi u telefonskim sistemima, često za prenos IP paketa. Pošto je telefonske centrale uglavnom koriste za interni prenos podataka, za korisnike je najčešće nevidljiva, ali je definitivno živa i radi.

Virtuelna ATM kola

Pošto ATM mreže rade sa uspostavljanjem direktne veze, da biste poslali podatke, morate prvo da pošaljete paket za uspostavljanje veze. Dok se paket probija kroz podmrežu, svi usmerivači na njegovom putu beleže u svoje interne tabele uspostavljenju vezu i rezervišu resurse koji su joj potrebni. Veze se često zovu **virtuelna kola** (engl. *virtual circuits*), po analogiji s fizičkim kolima u telefonskom sistemu. Većina ATM mreža podržava i **trajna virtuelna kola** (engl. *permanent virtual circuits*), koja

trajno povezuju dva udaljena računara. Ona liče na iznajmljene telefonske linije. Svaka veza, privremena ili trajna, ima jedinstven identifikator. Virtuelno kolo je prikazano na slici 1-30.



Slika 1-30. Virtuelno kolo.

Pošto se veza uspostavi, svaka od dve strane može početi da šalje podatke. U ATM mrežama osnovni princip je da se podaci šalju u malim paketima fiksne veličine, zvanim **ćelije** (engl. *cells*). Ćelije su dužine 53 bajta (5 bajtova zaglavlja, 48 bajtova podataka), kao na slici 1-31. Deo zaglavlja zauzima identifikator veze, tako da računar pošiljalac, računar primalac i svi usmerivači na putu mogu svaki paket da pridruže odgovarajućoj vezi. Taj podatak omogućava svakom usmerivaču da odredi kako će usmeriti pridošlu ćeliju. Ćelije se usmeravaju hardverski, velikom brzinom. U stvari, glavni razlog za izbor ćelija fiksne veličine bio je taj što se hardverski usmerivači za obradu kratkih ćelija iste dužine prave lako. IP paketi promenljive dužine moraju se usmeravati softverskim putem, što je sporije. Prednost ATM mreže je i to što se pridošla ćelija može hardverski kopirati na više izlaznih linija – svojstvo koje je neophodno pri difuznom emitovanju TV programa mnogim korisnicima. Naglasimo i to da male ćelije ne mogu da blokiraju liniju tokom dužeg vremena, što olakšava garantovanje kvaliteta usluge.

Sve ćelije slede istu putanju do odredišta. Isporuka ćelija nije garantovana, ali njihov redosled jeste. Ako se ćelije 1 i 2 pošalju tim redom, one će tim redom stići i na odredište, pod uslovom da stignu obe. Međutim, na putu se može izgubiti jedna od njih ili i jedna i druga. U takvim slučajevima, postupak se određuje protokolom višeg nivoa. Treba primetiti da ovde ipak postoji nekakva garancija. Na Internetu paketi mogu ne samo da se izgube, već i da na odredište stignu pogrešnim redosledom, dok ATM uvek garantuje ispravan redosled pristizanja.



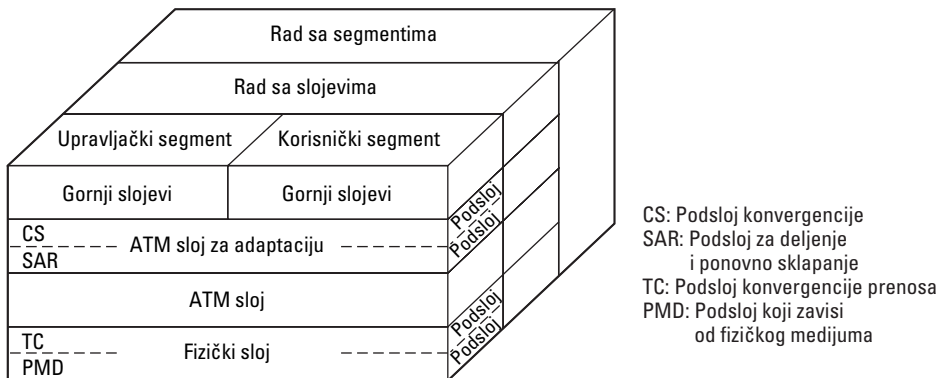
Slika 1-31. ATM ćelija.

ATM mreže se organizuju kao klasične regionalne mreže, sa svojim linijama i skretnicama (usmerivačima). Najčešća brzina prenosa u ATM mrežama iznosi 155 Mb/s ili 622 Mb/s, ali su podržane i veće brzine. Manja od dve navedene brzine izabrana je kao

minimum za prenos televizijskog signala visoke rezolucije. Njena tačna vrednost je 155,52 Mb/s zbog kompatibilnosti s prenosnim sistemom SONET korporacije AT&T, o čemu ćemo govoriti u 2. poglavlju. Veća brzina (622 Mb/s) omogućava da se ista linija iskoristi za četiri kanala brzine 155 Mb/s.

Referentni model ATM

ATM ima sopstveni model koji se razlikuje i od modela OSI i od modela TCP/IP. On je prikazan na slici 1-32. Sastoji se od tri sloja, fizičkog, ATM sloja i ATM sloja za adaptaciju, a korisnik iznad njih može da doda šta god mu treba.



Slika 1-32. Referentni model ATM.

Fizički sloj radi s fizičkim medijumom: naponima, sinhronizovanjem bitova i sličnim stvarima. ATM ne propisuje određen skup pravila, već samo nalaže da se ćelije kao takve mogu slati žicom ili optičkim kablom, ali i da se mogu pakovati kao koristan teret (engl. *payload*) drugih sistema prenosa. Drugim rečima, ATM je projektovan da bude nezavistan od prenosnog medijuma.

ATM sloj (engl. *ATM layer*) bavi se ćelijama i njihovim prenosom. On definiše organizaciju ćelije i daje značenje poljima zaglavlja. ATM sloj takođe uspostavlja i raspoređuje virtuelna kola, a upravlja i zagušenjima saobraćaja na mreži.

Pošto većina aplikacija ne radi neposredno sa ćelijama (premda neke to mogu), definisan je sloj iznad ATM sloja koji korisnicima omogućava da šalju pakete veće od ćelija. ATM interfejs deli te pakete, prenosi pojedinačne ćelije i ponovo sklapa pakete na drugom kraju. To je **ATM sloj za adaptaciju** (engl. *ATM Adaptation Layer, AAL*).

Za razliku od prethodnih, dvodimenzionalnih referentnih modela, model ATM je trodimenzionalan (slika 1-32). **Korisnički segment** (engl. *user plane*) prenosi podatke, upravlja tokom, ispravlja greške i izvršava druge korisničke funkcije. **Upravljački segment** (engl. *control plane*) upravlja vezom. Funkcije rada sa slojevima i segmentima namenjene su upravljanju resursima i koordinaciji između slojeva.

I fizički i AAL sloj imaju dva podsloja: donji, koji obavlja stvarni posao, i gornji – podsloj konvergencije – koji predstavlja odgovarajući interfejs ka sloju iznad sebe. Funkcije pojedinih slojeva i podslojeva prikazane su na slici 1-33.

Sloj po modelu OSI	ATM sloj	ATM podsloj	Namena
3/4	AAL	CS	Obezbeđuje standardni interfejs (konvergenciju)
		SAR	Deljenje i ponovno sklapanje
2/3	ATM		Kontrola toka Generisanje/uklanjanje zaglavlja ćelije Rad s virtuelnim kolom/putanjom Multipleksiranje/demultipleksiranje ćelije
2	Fizički	TC	Regulisanje brzine slanja ćelija Generisanje kontrolnog zbira u zaglavlju i njegova provera Generisanje ćelija Pakovanje/raspakivanje ćelija iz otmotnice Generisanje okvira
1		PMD	Sinhronizovanje bitova Pristupanje fizičkoj mreži

Slika 1-33. Slojevi i podslojevi modela ATM i njihove funkcije.

Podsloj koji zavisi od fizičkog medijuma (engl. *Physical Medium Dependent, PMD*) predstavlja interfejs ka kablju. On šalje i prihvata bitove iz kabla, obezbeđujući odgovarajuće sinhronizovanje operacija. Ovaj podsloj će se razlikovati za različite nosioce podataka i različite kablove.

Drugi podsloj fizičkog sloja je **podslaj konvergencije prenosa** (engl. *Transmission Convergence, TC*). Tokom prenosa ćelija, TC ih šalje PMD podsloju kao tok bitova, što je jednostavno. S druge strane, i on ih u tom obliku prima od PMD podsloja. Njegov zadatak je da primljeni tok bitova pretvori u tok ćelija pre nego što ih prosledi ATM sloju, što znači da u toku bitova propisno obeležava početak i kraj svake ćelije. U modelu ATM, ovu funkciju ima fizički sloj. U modelu OSI i u prilično mnogo drugih mreža, uokviravanje (engl. *framing*), tj. pretvaranje toka bitova u niz ćelija ili okvira, predstavlja zadatak sloja veze podataka.

Kao što smo već pomenuli, ATM sloj radi sa ćelijama, uključujući njihovo generisanje i prenos. Većina zanimljivih aspekata modela ATM smeštena je u njemu. Taj sloj je mešavina sloja veze i mrežnog sloja modela OSI; on nije izdjeljen na podslojeve.

AAL sloj ima dva podsloja: podsloj za **deljenje i ponovno sklapanje** (engl. *Segmentation And Reassembly, SAR*) i **podslaj konvergencije** (engl. *Convergence Sub-layer, CS*). Donji podsloj deli pakete u ćelije pri slanju i ponovo ih sklapa na određitu. Gornji podsloj omogućava ATM sistemima da različitim aplikacijama ponude različite usluge (npr. prenos datoteka i video na zahtev imaju drugačije zahteve u pogledu obrade grešaka, sinhronizacije i slično).

Pošto ATM sistem polako nestaje, nećemo ga više razmatrati u ovoj knjizi. Pa ipak, budući da su instalirani mnogi takvi sistemi, verovatno ćemo ga gledati još nekoliko godina. Više detalja o ATM mrežama potražite kod Dobrowskog i Grisea (2001) i kod Gadeckog i Heckarta (1997).

1.5.3 Ethernet

I Internet i ATM projektovani su za rad u regionalnim mrežama. Međutim, mnoge kompanije, univerziteti i druge organizacije imaju mnoštvo računara koje međusobno treba povezati. Iz te potrebe izrasle su lokalne računarske mreže. U ovom odeljku govorićemo nešto o najpopularnijoj lokalnoj mreži, Ethernetu.

Priča počinje na devičanskim Havajima početkom sedamdesetih godina. Izraz „devičanski“ u ovom kontekstu znači „bez telefonskog sistema“. Iako zasluženi odmor turista ne prekida zvrjanje telefona, istraživaču Normanu Abramsonu i njegovim kolegama s Havajskog univerziteta, nepostojanje telefonskog sistema samo je zagorčavalo život dok su pokušavali da povežu korisnike na udaljenim ostrvima s glavnim računarom u Honoluluu. Nije dolazilo u obzir da rastežu sopstvene kablove ispod Pacifika, pa su zato tražili drugačije rešenje.

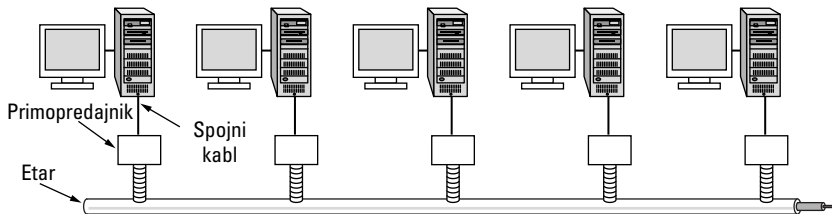
Našli su ga u radiju kratkog dometa. Svaki korisnički terminal opremili su primopredajnikom sa samo dve frekvencije: jednom za emitovanje ka centralnom računaru i drugom – za prijem podataka sa centralnog računara. Kada je korisnik želeo da pristupi računaru, jednostavno je slao paket podataka prvom frekvencijom. Ako niko drugi u tom trenutku nije emitovao, paket je nalazio svoj cilj i o tome je korisnik dobio potvrdu drugom pomenutom frekvencijom. Ako je bilo sukobljavanja na kanalu za slanje podataka, korisnik ne bi dobio potvrdu o prijemu paketa i slao bi ga ponovo. Pošto je na strani centralnog računara bio samo jedan pošiljalac, na kanalu kojim je on slao poruke nije bilo sukobljavanja. Opisani sistem, nazvan ALOHNET, radio je prilično dobro u uslovima retkog saobraćaja, ali se zaglavljivao kada je saobraćaj ka centralnom računaru bio gust.

Nekako u isto vreme, na Masačusetskom tehničkom institutu (MIT) u Kembridžu diplomirao je student Bob Metcalfe i zatim prešao na drugu stranu Čarlsove reke da bi radio doktorat na Harvardu. Tokom studija se upoznao sa Abramsonovim radom i tako zainteresovao za njega da je posle doktoriranja na Harvardu odlučio da provede mesec dana na Havajima radeći sa Abramsonom, pre nego što stupi na nov posao u Istraživačkom centru u Palo Altu (Xeroxov PARC). Kada je stigao u PARC, utvrdio je da su tamošnji istraživači projektovali i izgradili ono što će kasnije generacije zvati personalni računar. Računari su, međutim, bili izolovani. Koristeći znanje stečeno u radu sa Abramsonom, on je zajedno s kolegom Davidom Boggsom projektovao i realizovao prvu lokalnu računarsku mrežu (Metcalfe i Boggs, 1976).

Sistem su nazvali **Ethernet** prema *luminifernom etru* – nosiocu svetlosti, za koji se nekada smatralo da prenosi elektromagnetno zračenje. (Kada je britanski fizičar Džems Klerk Maksvel u 19. veku otkrio da se elektromagnetno zračenje može opisati

talasnom jednačinom, naučnici su zaključili da svemir mora biti ispunjen nekim eteričnim medijumom kroz koji se prostiru talasi. Tek nakon čuvenog Majkelson-Morlijevog eksperimenta 1887. godine, fizičari su shvatili da se elektromagnetno zračenje može prostirati kroz vakuum.)

Kod Etherneta, prenosni medijum nije bio vakuum, već debeo koaksijalni kabl („etar“), dugačak do 2,5 km (s repetitorima na svakih 500 m). Pomoću primopredajnika ugrađenih u kabl, na njega se moglo povezati do 256 računara. Kabl na koji je paralelno povezano više računara naziva se **kabl s više priključaka** (engl. *multidrop cable*). Sistem je radio s brzinom prenosa 2,94 Mb/s. Skica njegove arhitekture prikazana je na slici 1-34. Ethernet je u odnosu na ALOHANET imao brojna poboljšanja: pre slanja, računar je najpre osluškiavao kabl. Ako bi otkrio da neko već emituje, povlačio bi se dok se tekuće emitovanje ne okonča. Na taj način je izbegavano sukobljavanje, što je doprinelo efikasnosti. Sistem ALOHANET nije mogao da radi tako jer nije bilo načina da terminal na jednom ostrvu otkrije emitovanje terminala na drugom ostrvu. Na jedinstvenom kablju takav problem nije postojao.



Slika 1-34. Arhitektura prvobitnog Etherneta.

Uprkos tome što su računari osluškiivali pre emitovanja, postojao je još jedan problem: šta ako dva ili više računara istovremeno očekuju da se završi tekuće emitovanje, a onda istovremeno krenu na mrežu? Rešenje je nađeno u tome da svaki računar pri pokušaju emitovanja istovremeno osluškuje kabl; ako otkrije mešanje, upozorava sve pošiljaoce i povlači se, a zatim – posle proizvoljnog vremenskog intervala – ponovo pokušava da emituje. Ako i drugi put dođe do sukobljavanja, proizvoljni vremenski interval se udvaja i tako redom, da bi se konkurentne emisije vremenski razdvojile i dala šansa jednom računaru da prvi emituje.

Xeroxov Ethernet bio je tako uspešan da su DEC, Intel i Xerox 1978. uspostavili standard za Ethernet brzine prenosa 10 Mb/s, pod imenom **standard DIX**. Uz dve manje izmene, standard DIX je 1983. postao standard IEEE 802.3.

Firma Xerox je, nažalost, već imala dugu istoriju sopstvenih pronalazaka (npr. personalnog računara) koje nije uspeła da komercijalizuje – priča opisana u knjizi *Propuštanje budućnosti (Fumbling the Future, Smith i Alexander, 1988)*. Kada je firma Xerox, osim što je pomogla da se standardizuje, konačno pokazala malo više zanimanja za Ethernet, Metcalfe je već bio osnovao sopstvenu kompaniju, 3Com, za prodaju mrežnih Ethernet kartica za personalne računare. Kompanija je do sada prodala preko sto miliona takvih kartica.

Ethernet je nastavio da se razvija i to čini i danas. Pojavile su se njegove nove verzije s brzinom prenosa 100 Mb/s, 1000 Mb/s i brže. Kabliranje je takođe poboljšano, a dodato je komutiranje i štošta drugo. Ethernet ćemo detaljno obraditi u 4. poglavlju.

Kada već govorimo o tome, treba naglasiti da Ethernet (IEEE 802.3) nije jedini standard za lokalne mreže. Komitet je standardizovao i mreže token bus (802.4) i token ring (802.5). Pojava tri manje-više nekompatibilna standarda nema ništa s tehnologijom, već pre s politikom. U vreme standardizacije, General Motors je gurao lokalnu mrežu koja je imala istu topologiju kao i Ethernet (linearan kabl), samo što su se računari uzastopno smenjivali u emitovanju prosleđujući jedan drugom mali paket, tzv. **žeton** (engl. *token*). Računar je mogao da emituje samo kada poseduje žeton – na taj način je izbegnuto sukobljavanje. General Motors je izjavio da je takva šema neophodna u proizvodnji automobila i nije hteo da odstupi. Bez obzira na tu izjavu, standard 802.4 praktično je nestao.

Slično tome, i IBM je imao svog pulena: sopstveni sistem token ring. Žeton je kružio prstenom i računar kod koga se trenutno našao mogao je da emituje pre nego što vrati žeton u prsten. Za razliku od standarda 802.4, ova šema – standardizovana pod oznakom 802.5 – još uvek se koristi na nekim IBM-ovim lokacijama, ali nigde izvan njih. Rad se nastavlja na gigabitnoj verziji (802.5v), ali ne izgleda verovatno da će ona ikada dostići Ethernet. Ukratko, vodio se rat između Etherneta, token busa i token ringa, i Ethernet je izišao kao pobednik, najviše zato što je prvi rešio problem i zato što izazivači nisu bili tako dobri.

1.5.4 Bežični LAN: 802.11

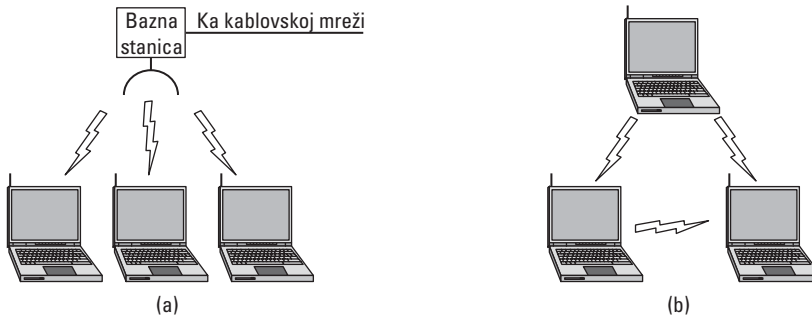
Čim su se pojavili prenosni računari, mnogi su počeli da sanjaju o tome da jednostavno uhodaju u neku kancelariju i priključe ga na Internet. Zbog toga su brojne grupe počele da rade na ostvarenju tog cilja. Najpraktičnije rešenje bilo je da se i kancelarija i prenosni računar opreme radio-predajnicima 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 prostori 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. Standard koji je ovaj institut predložio dobio je oznaku 802.11, ali je odmah stekao i popularno ime **WiFi**. Pošto je standard važan i zaslužuje poštovanje, zvaćemo ga pravim imenom, 802.11.

Predloženi standard je predvideo dva radna režima:

1. U prisustvu bazne stanice.
2. U odsustvu bazne stanice.

U prvom slučaju, sva komunikacija treba da se odvija preko bazne stanice, u terminologiji standarda 802.11 zvane **pristupna tačka** (engl. *access point*). U drugom slučaju, računari bi uspostavljali direktnu međusobnu vezu. Takav režim rada se ponekad naziva **ad hoc umrežavanje** (engl. *ad hoc networking*). Tipičan primer je direktna komunikacija između računara dva ili više korisnika u prostoriji koja nema bežičnu lokalnu mrežu. Radni režimi su prikazani na slici 1-35.



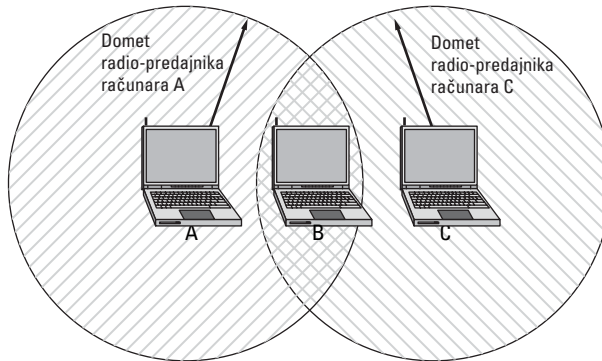
Slika 1-35. (a) Rad u bežičnoj mreži s baznom stanicom. (b) Ad hoc umrežavanje.

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. Ostatak posla bio je teži.

Trebalo je rešiti mnoge probleme: pronaći pogodnu frekvenciju – po mogućstvu, globalno raspoloživu; uvažiti činjenicu da radio-talasi imaju ograničen domet; obezbediti privatnost korisnika; uzeti u obzir ograničen kapacitet baterija; misliti o bezbednosti korisnika (da li radio-talasi izazivaju rak?); razumeti sve implikacije mobilnosti računara; i konačno, izgraditi sistem dovoljne propusne moći da bude ekonomski prihvatljiv.

U vreme kada je započet proces standardizacije (sredina devedesetih), Ethernet je već dominirao područjem lokalnih mreža, pa je IEEE komitet odlučio da standard 802.11 učini kompatibilnim s Ethernetom iznad sloja veze podataka. Naročito je trebalo omogućiti da se IP paket preko bežične lokalne mreže šalje na isti način kao i preko Ethneta. Pored toga, u fizičkom sloju i sloju veze podataka postoji više razlika u odnosu na Ethernet koje je standardom trebalo razrešiti.

Prvo, računar na Ethernetu uvek osluškuje kabl pre nego što počne da emituje. On počinje da emituje tek kada utvrdi da na kابلu nema nikoga. U bežičnim mrežama, takav pristup se ne ostvaruje lako. Objašnjenje pruža slika 1-36. 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, to ne znači da će uspešno poslati poruku. Standard 802.11 morao je da razreši ovaj problem.

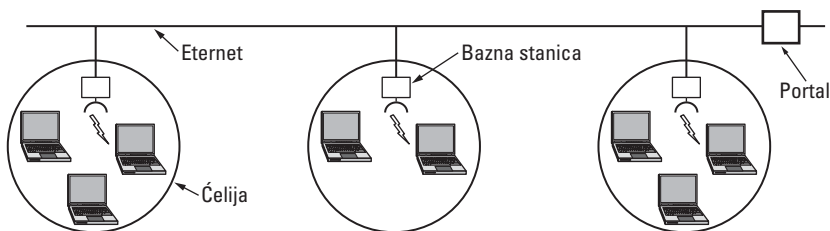


Slika 1-36. Pojedinačni radio-predajnici ne mogu da dosegnu sve računare u sistemu.

Drugi problem je to što se radio-signal može odbijati od čvrstih prepreka, 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*).

Treći problem nastaje zato što veliki deo softvera nije svestan pokretljivosti računara. Na primer, mnogi programi za obradu teksta imaju listu iz koje korisnik bira štampač da bi odštampao datoteku. Kada se računar s takvom listom premesti u drugo okruženje, ugrađena lista štampača postaje beskorisna.

Četvrti problem nastaje kada prenosivi računar premestite iz dometa jedne bazne stanice u domet druge stanice; mora postojati mehanizam kojim jedna bazna stanica predaje upravljanje računaru drugoj stanici. Mada se isti problem javlja s mobilnim telefonima, ne javlja se u Ethernet mrežama i trebalo ga je rešiti. Konkretno, zamišljena mreža imala je više ćelija, svaka sa svojom baznom stanicom, pri čemu su baze povezane Ethernet mrežom (slika 1-37). Sistem je spolja izgledao kao i svaki drugi Ethernet. Veza sistema 802.11 sa spoljnim svetom nazvana je **portal**.



Slika 1-37. Višećelijska mreža po standardu 802.11.

Komitet je 1997. objavio standard koji je rešavao pomenute i druge probleme. Predviđena brzina rada bežičnog LAN-a bila je 1 ili 2 Mb/s, na šta su odmah usledile žalbe korisnika i rad je nastavljen u cilju ubrzanja rada u mreži. 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.

Da bi sve još više zapetljao, komitet je objavio i dodatnu varijantu, 802.11g, koja koristi tehniku modulacije iz standarda 802.11a, i opseg frekvencija iz standarda 802.11b. Standard 802.11 obradimo detaljno u 4. poglavlju.

Da će standard 802.11 izazvati revoluciju u računarstvu i Internetu, to je sada bez svake sumnje. Bežične mreže se ubrzano instaliraju na aerodromima, železničkim stanicama, u hotelima, tržnim centrima i na univerzitetima. Čak i mondenski kafići instaliraju mreže 802.11 da bi japiji mogli da krstare Webom dok ispijaju svoju jutarnju kafu s mlekom. Izgleda da će bežične mreže učiniti za Internet ono što su prenosivi računari učinili za računarstvo: učiniće ga dostupnim sa svakog mesta.

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 nekakvim 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, primenu tehnologije VLSI i druge prednosti koje snižavaju cenu i povećavaju prihvatljivost proizvoda. U narednim odeljcima bacićemo kratak pogled na važno, ali slabo poznato područje međunarodne standardizacije.

Standardi se dele u dve kategorije: *de facto* i *de jure*. **De facto** (lat. *činjenički, faktički*) standardi su oni koji su prihvaćeni bez prethodnog planiranja. IBM PC i njegovi naslednici predstavljaju *de facto* standarde računara za male firme i kućnu upotrebu zato što su desetine proizvođača vrlo precizno „iskopirali“ IBM-ove proizvode. Slično tome, UNIX je *de facto* standard za operativne sisteme u univerzitetским računarskim centrima.

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 i o njima govorimo u nastavku.

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 1500 zasebnih, privatnih telefonskih kompanija. Scenom je do svog raspada, 1984, dominirao AT&T, tada najveća svetska

korporacija. Ona je obezbeđivala telefonske usluge za 80 posto američkih telefona i prostirala se na više od pola Amerike, dok su sve ostale kompanije zajedno zadovoljavale preostalih 20 odsto potreba (većinom seoskog) stanovništva. Posle rasprada korporacije, AT&T je nastavila da održava međumesni saobraćaj, mada u konkurenciji s drugim kompanijama. Sedam regionalnih Bellovih telefonskih centrala koje su se odvojile od korporacije AT&T, kao i brojne druge nezavisne kompanije, obezbeđuju lokalne telefonske usluge i usluge mobilne telefonije. Zahvaljujući integracijama i drugim promenama, stanje u ovoj oblasti neprestano se menja.

Kompanije u SAD koje pružaju komunikacione usluge javnom sektoru nazivaju se **javne telekomunikacione službe** (engl. *common carriers*). Njihova ponuda i cenovnici navode se u dokumentu zvanom **tarifa** (engl. *tariff*), koji mora da odobri Savezna komisija za komunikacije kada se radi o međudržavnom (unutar SAD) i međunarodnom saobraćaju, a Državna komisija kada se radi o saobraćaju unutar pojedinih država (unutar SAD).

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 nacionalizovana kompanija, 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 ima tri glavna sektora:

1. Sektor radiokomunikacija (ITU-R).
2. Sektor za standardizovanje telekomunikacija (ITU-T).
3. Sektor za razvoj (ITU-D).

Sektor ITU-R širom sveta dodeljuje frekventna područja konkurentskim zainteresovanim stranama. Mi ćemo pretežno govoriti o sektoru ITU-T, u čiji delokrug spadaju telefonski sistemi i sistemi prenosa podataka. Između 1956. i 1993. godine ITU-T je bio poznat kao **CCITT**, što je skraćenica od francuskog imena Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique. Prvog marta 1993, CCITT se reorganizovao, postao je manje birokratski i uzeo novo ime da označi svoju novu ulogu.

I ITU-T i CCITT su davali preporuke na području telefonije i sistema prenosa podataka. I sada ćete često naleteti na preporuke organizacije CCITT, npr. na preporuku CCITT X.25, iako od 1993. preporuke nose oznaku ITU-T.

Sektor ITU-T ima četiri vrste članova:

1. Državne vlade.
2. Članove sektora.
3. Pridružene članove.
4. Agencije odgovorne za propise.

ITU-T ima oko 200 predstavnika vlada, uključujući skoro svakog člana Ujedinjenih Nacija. Pošta 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. Postoji oko 500 članova sektora, među kojima su telefonske kompanije (npr. AT&T, Vodafone, WorldCom), proizvođači telekomunikacione opreme (npr. Cisco, Nokia, Nortel), proizvođači računara (npr. Compaq, Sun, Toshiba), proizvođači čipova (npr. Intel, Motorola, TI), medijske kompanije (npr. AOL Time Warner, CBS, Sony) i druge zainteresovane kompanije (npr. Boeing, Samsung, Xerox). Različite neprofitne naučne organizacije i industrijski konzorcijumi takođe su članovi sektora (npr. IFIP i IATA). Pridruženi članovi su manje organizacije koje su zainteresovane za Studijske grupe uže tematike. U agencije odgovorne za propise spadaju oni koji nadgledaju poslovni aspekt telekomunikacija, kao što je Američka savezna komisija za komunikacije.

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, npr. V.24 (poznat u SAD i kao EIA RS-232), koji određuje raspored i ulogu kontakata priključka za većinu asinhronih terminala i spoljnih modema.

Treba naglasiti da su preporuke sektora ITU-T formalno samo preporuke, koje pojedine države – po nahodanju – 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. Održavanje iluzije da su ITU-T standardi samo „preporuke“ bilo je – a i sada je – neophodno da se umire nacionalisti u mnogim zemljama.

ITU-T obavlja svoje zadatke kroz Studijske grupe, koje često broje i 400 članova. Trenutno postoji 14 takvih grupa. One pokrivaju različite oblasti, počev od naplaćivanja telefonskih usluga, do multimedije. 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 na oko 60.000 stranica. Mnoge od njih su široko prihvaćene u praksi. Na primer, popularni standard V.90 za modeme brzine 56 kb/s predstavlja ITU preporuku.

Kako telekomunikacije, počev od osamdesetih godina, 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 89 zemalja. Među članovima su i ANSI (SAD), BSI (Velika Britanija), AFNOR (Francuska), DIN (Nemačka) itd.

ISO pravi standarde za sve i svašta, počev od šrafova 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), kao i dosta drugih stavki za koje biste pomislili da nisu podložne standardizovanju]. Izdato je preko 13.000 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 šrafovim i navrtkama (standardizovanje koraka navoja). TC97 razmišlja o računarima i obradi informacija. Svaki TC ima potkomitete (engl. *subcommittees, SCs*), izdvojene 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 svoju zemlju izvedu na put međunarodne standardizacije. Akademski stručnjaci su takođe aktivni u mnogim radnim grupama.

ISO i ITU-T (ISO je član organizacije ITU-T) često saraduju po pitanju standardizovanja telekomunikacija da bi se izbegao apsurd nastajanja dva zvanična, međusobno nekompatibilna međunarodna standarda.

Predstavnik SAD u organizaciji ISO je **Američki institut za nacionalne standarde** (engl. *American National Standards Institute, ANSI*), koji, uprkos svom imenu, predstavlja privatnu, nevladinu, neprofitnu organizaciju. Njeni članovi su proizvođači, javne telekomunikacione službe i druge zainteresovane strane. ANSI standarde organizacija ISO često prihvata kao međunarodne.

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

¹ Za perfekcionista: pravo ime organizacije ISO glasi: International Organization for Standardization.

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 je to bio Nacionalni biro za standardizaciju. 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 je i **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 obavljani poslovi (naročito na standardima 802.3 i 802.11) ostavili za sobom neizbrisiv trag.

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 ↓	Virtualne lokalne mreže i bezbednost
802.11 *	Bežične lokalne mreže
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)
802.16 *	Širokopojasne bežične mreže
802.17	Prsten sa elastičnim paketima

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.

Kada je mreža ARPANET puštena u rad, 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 skladišteni na mreži tako da ih svaki zainteresovan korisnik može peuzeti sa adrese www.ietf.org/rfc. Oni su numerisani hronološkim redom pojavljivanja i danas ih ima preko 3.000. 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 Internet standardi postali su standardi Ministarstva odbrane (MIL-STD), obavezni za dobavljače Ministarstva. David Clark je jednom dao (sada čuvenu) primedbu da se standardizovanje Interneta sastoji od „kakovog-takovog konsenzusa i funkcionalnog koda“.

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 kilobitove u sekundi. Shodno tome, komunikaciona linija brzine prenosa 1 Mb/s prenosi 10^6 bitova 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}	0,0000000000001	piko	10^{12}	1.000.000.000.000	Tera
10^{-15}	0,0000000000000001	femto	10^{15}	1.000.000.000.000.000	Peta
10^{-18}	0,0000000000000000001	ato	10^{18}	1.000.000.000.000.000.000	Eksa
10^{-21}	0,0000000000000000000001	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 broječani sistem. Tako memorija od 1 KB sadrži 1024, a ne 1000 bajtova. 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, komunikaciona linija 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 broječana 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 i Gb/s za 10^3 , 10^6 , odnosno 10^9 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, zato što su ove dve mreže veoma važne, a međusobno vrlo različite. Gde je pogodno, dajemo i druge primere.

U knjizi se držimo hibridnog modela prikazanog na slici 1-24. 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 fizičkog sloja, iako više govorimo o njegovoj arhitekturi, nego o hardveru. Kroz više primera obrađujemo javnu komutiranu telefonsku mrežu, mobilnu telefoniju i kablovsku televiziju.

U trećem poglavlju govorimo o sloju veze podataka i njegovim protokolima, razmatrajući složenije primere. Tu je i potpuna analiza protokola. Posle toga govorimo o nekim važnim protokolima iz stvarnog života, uključujući HDLC (koji se koristi u mrežama niske i srednje brzine) i PPP (koji se koristi na Internetu).

Četvrto poglavlje tiče se podsloja za upravljanje pristupom medijumima, koji je deo sloja veze podataka. Osnovno pitanje koje razmatramo jeste redosled korišćenja mreže sačinjene od jednog zajedničkog kanala, kao većina lokalnih mreža i neke satelitske mreže. Prikazano je mnogo primera kablovskih i bežičnih lokalnih mreža (naročito Etherneta), bežičnih gradskih mreža, Bluetootha i satelitskih mreža. U ovom poglavlju govorimo i o mostovima (engl. *bridges*) i skretnicama (engl. *switches*) sloja veze, koji se koriste za povezivanje lokalnih mreža.

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, može doći do zagušenja, pa govorimo i o zagušenju i o načinima da se ono spreči. Sprečiti zagušenje je poželjno, ali je još bolje

garantovati određen kvalitet usluge. I o tome govorimo u ovom poglavlju, kao 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 sa direktnom vezom 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. Opisani su i problemi koji se tiču bežičnih mreža.

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 Web, detaljno opisujući statični i dinamični sadržaj Web strana, šta se događa kod klijenta a šta na serveru, protokole, performanse, bežični Web i mnogo drugih stvari. Na kraju govorimo o bežičnom prenosu multimedijjskih sadržaja, uključujući reprodukovanje zvuka tokom preuzimanja (tj. u realnom vremenu), Internet radio i video na zahtev.

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 kako se ona može iskoristiti za ostvarivanje bezbedne komunikacije, e-pošte i Weba. 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 autorovog kutka na Web lokaciji izdavačke kuće Prentice Hall glasi:

<http://www.prenhall.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 se mogu koristiti za pružanje brojnih usluga, kako kompanijama, tako i pojedincima. U kompanijama, mreže personalnih računara vezanih za zajednički server omogućavaju pristupanje korporacijskim podacima. Najčešće one 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. Pojedinačni korisnici često pristupaju Internetu telefonskim putem, pozivajući davaoca Internet usluga pomoću modema, ali je sve više korisnika koji i kod kuće imaju stalnu vezu sa Internetom. Područje koje se ubrzano razvija jesu bežične mreže s novim aplikacijama, kao što je pristup e-pošti sa raznih prenosivih uređaja i m-trgovina.

Mreže se grubo mogu podeliti na lokalne, gradske, regionalne i međumreže, svaka sa svojim svojstvima, tehnologijama, brzinom i područjem primene. Lokalne mreže se nalaze unutar zgrade i rade velikom brzinom. Gradska mreža pokriva gradsko područje – npr. sistem kablovske televizije preko koga mnogi sada pristupaju i Internetu. Regionalna mreža pokriva državu ili kontinent. Lokalne i gradske mreže su nekomutirane (nemaju usmerivače); regionalne mreže su komutirane. Bežične mreže postaju sve popularnije, naročito bežične lokalne mreže. Mreže se međusobno mogu povezati u kombinovane mreže (međumreže).

Mrežni softver obuhvata protokole s pravilima komunikacije između procesa. Postoje protokoli koji rade sa uspostavljanjem direktne veze i oni koji rade bez uspostavljanja direktne veze. 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 mrežni sloj, transportni sloj i sloj aplikacija, ali se razlikuju po drugim slojevima. Problematika projektovanja obuhvata multipleksiranje, upravljanje tokom podataka, kontrolu grešaka i drugo. Veći deo ove knjige bavi se protokolima i njihovim projektovanjem.

Mreže korisnicima pružaju usluge koje se izvršavaju uz uspostavljanje direktne veze ili bez nje. U nekim mrežama, jedan sloj pruža usluge bez uspostavljanja veze, dok sloj iznad njega radi uz uspostavljanje direktne veze.

Najpoznatije mreže su Internet, ATM mreže, Ethernet 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. Ono što ga izdvaja od drugih mreža jeste jedinstveno korišćenje skupa protokola TCP/IP u čitavom sistemu. ATM se široko koristi u sistemu telefonije, za prenos podataka na velike daljine. Ethernet je najpopularnija lokalna mreža koja postoji u većini velikih kompanija i na univerzitetima. I, na kraju, počele su da se šire bežične lokalne mreže iznenađujuće velike brzine prenosa (do 54 Mb/s).

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 prenosna linija brzine 150 Mb/s?
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 utiču dva parametra 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 digitalizovanog govora.
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 $10 \mu\text{s}$, 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 sprovedu 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. Skup od pet usmerivača treba povezati s podmrežom tipa od tačke do tačke. Svaki par usmerivača projektant može da poveže linijom 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. Grupa od $2^n - 1$ usmerivača povezana je u centralizovano binarno stablo, s usmerivačem u svakom čvoru stabla. Usmerivač i komunicira sa usmerivačem j tako što šalje poruku korenu stabla. Koren tada vraća poruku usmerivaču j . Izvedite približan izraz za srednji broj skokova po poruci za veliko n , pretpostavljajući jednaku verovatnoću izbora svih parova usmerivača.
10. Nedostatak podmreže s difuznim emitovanjem ogleđa se u smanjenju njenog kapaciteta kada više računara istovremeno pokuša da pristupi kanalu. Pretpostavite da je vreme izdvojeno 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?
11. Navedite dva razloga u prilog korišćenja protokola razmeštenih po slojevima.
12. 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. Da li je ovo primer protokola koji se izvršavaju po slojevima modela OSI?

13. Koja je osnovna razlika između komunikacije sa uspostavljanjem direktne veze i komunikacije bez uspostavljanja direktne veze?
14. 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.
15. Šta znači „dogovaranje“ kada se govori o mrežnim protokolima? Ponudite primer.
16. 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?
17. 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.
18. Koji slojevi modela OSI rade sledeće:
 - (a) Deljenje toka bitova u okvire.
 - (b) Određivanje putanje kroz podmrežu.
19. Ako se jedinica podataka razmenjenih na nivou veze podataka zove okvir, a jedinica podataka razmenjenih na mrežnom nivou zove paket, da li okviri kapsuliraju pakete ili paketi kapsuliraju okvire? Objasnite odgovor.
20. 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?
21. Navedite dve karakteristike po kojima su referentni modeli OSI i TCP/IP isti. Zatim navedite dve karakteristike po kojima se oni razlikuju.
22. U čemu je osnovna razlika između protokola TCP i UDP?
23. 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.
24. Veličina Interneta udvostručava se približno svakih 18 meseci. Iako niko ne zna tačnu cifru, pretpostavlja se da ga je 2001. činilo 100 miliona računara. Na osnovu ovih podataka izračunajte očekivani broj umreženih računara 2010. godine. Verujete li da je rezultat tačan? Ako verujete, objasnite zašto; ako ne verujete, i to objasnite.
25. 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 određište. Prokomentarišite ova dva pristupa.
26. Zašto se u ATM mrežama koriste male ćelije fiksne dužine?
27. 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 kablju $2/3$ brzine svetlosti u vakuumu.

28. Slika je veličine 1024×768 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?
29. Ethernet i bežične mreže imaju izvesne sličnosti i neke razlike. Jedna od karakteristika Etherneteta 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.
30. Bežične mreže se lako instaliraju, zbog čega su jeftine u poređenju s ožičenim mrežama gde troškovi instaliranja daleko nadmašuju cenu opreme. Pa ipak, i one imaju mana. Navedite dve.
31. Navedite dve prednosti i dve mane postojanja međunarodnih standarda za mrežne protokole.
32. 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.
33. Napravite spisak svakodnevnih aktivnosti u kojima koristite računarske mreže. Koliko bi se vaš život izmenio kada bi se sve te mreže odjednom isključile?
34. Ispitajte koje se sve mreže koriste u vašoj školi, na fakultetu ili na radnom mestu. Opišite vrste mreža, njihove topologije i metode komutiranja.
35. 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.
36. Povežite se s Web lokacijom IETF-a, *www.ietf.org*, i pogledajte na čemu rade. Izaберите jedan projekat i napišite na pola strane izveštaj o datom problemu i predloženom rešenju.
37. Standardizacija je veoma važna za mreže. ITU i ISO su glavne zvanične organizacije za standardizovanje. Povežite se s njihovim lokacijama na Webu (*www.itu.org* i *www.iso.org*) i upoznajte se sa standardima na kojima rade. Napišite kratak izveštaj o vrstama proizvoda koje su ove organizacije standardizovale.
38. Internet je sastavljen od velikog broja mreža. Njihov raspored određuje topologiju Interneta o kojoj možete da nađete mnogo podataka na samoj Mreži. Pomoću pretraživača Weba pronađite podatke o topologiji Interneta i napišite kratak izveštaj o tome.