

Računarske mreže i internet

Od veb čitača u mobilnim telefonima do kafea sa javnim bežičnim pristupom internetu, od kućnih mreža sa širokopojasnim pristupom do radnih mesta sa tradicionalnom IT infrastrukturom sa umreženim računarima na svakom stolu, umreženi automobili, umreženi senzori za praćenje stanja životne sredine, interplanetarni internet – izgleda da su računarske mreže neizbežne, a svakodnevno se pojavljuju nove aplikacije koje i dalje šire njihovu sveprisutnost. Čini se da su računarske mreže svuda oko nas! Ova knjiga nudi savremeni uvod u veoma dinamično polje umrežavanja računara, objašnjava principe i nudi praktična znanja koja su neophodna ne samo da biste razumeli današnje mreže, već i one koje će se tek pojaviti.

Ovo prvo poglavlje predstavlja samo uvid u umrežavanje računara i internet. Naš cilj je da damo najopštiji prikaz kako bismo sagledali celu sliku. U ovom uvodnom poglavlju obradićemo i razmotriti osnovu i mnogo toga što se tiče računarskih mreža, pri tome ne gubeći iz vida opštu sliku. Ovo poglavlje predstavlja temelj za preostali deo knjige.

Evo kako će izgledati prikaz računarskih mreža u ovom poglavlju. Pošto predstavimo neke osnovne termine i pojmove, ispitaćemo osnovne hardverske i softverske komponente koje čine računarsku mrežu. Počecemo od pristupnih tačaka (oboda) računarske mreže i razmotriti krajnje sisteme i mrežne aplikacije koje se izvršavaju u mreži. Posle toga prelazimo na jezgro računarskih mreža, istražujemo linkove i komutatore

za prenos podataka, kao i pristupanje mrežama i fizičke medijume koji krajnje sisteme povezuju sa jezgrom mreže. Saznaćete da je internet mreža svih mreža, a naučićete i na koji način su te mreže međusobno povezane.

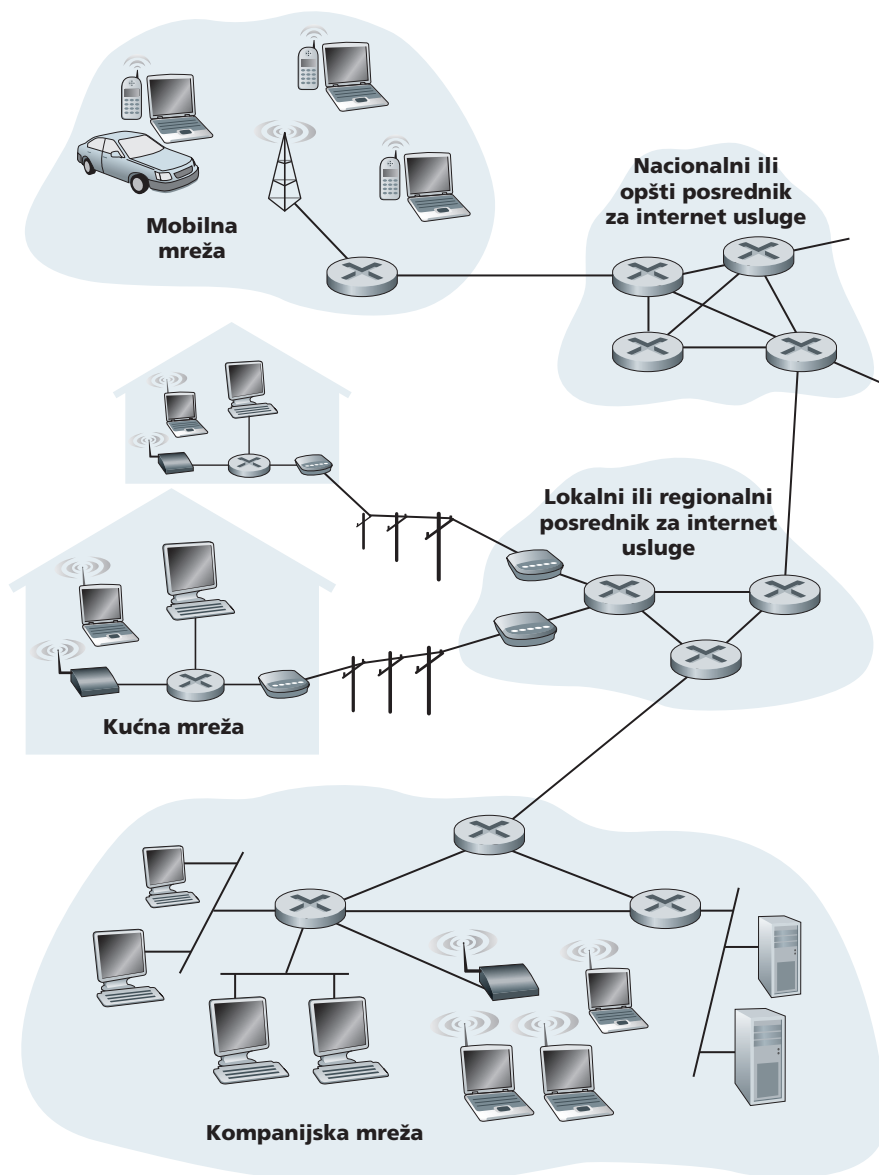
Pošto završimo sa tim uvodom o pristupnim tačkama i jezgru računarskih mreža, u drugom delu ovog poglavlja prelazimo na šire i mnogo apstraktnije sagledavanje računarskih mreža. Ispitaćemo kašnjenje i gubljenje podataka u računarskim mrežama, kao i propusnu moć računarskih mreža i ponuditi jednostavne kvantitativne modele za određivanje propusne moći i kašnjenja od jednog do drugog kraja mreže, modele koji uzimaju u obzir kašnjenja nastala u prenosu, prostiranju i zbog čekanja. Zatim ćemo predstaviti i neke ključne principe u arhitekturi umrežavanja računara, tačnije, slojevitost protokola i modele usluga. Takođe ćemo naučiti da su mreže podložne raznim vrstama napada; razmotrićemo neke od tih napada i način na koji računarske mreže mogu postati mnogo bezbednije. Konačno, ovo poglavlje završavamo kraćom istorijom računarskih mreža.

1.1 Šta je internet?

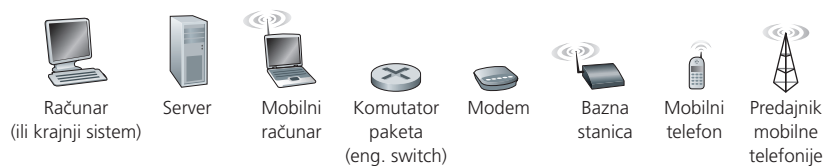
U ovoj knjizi koristimo svima dostupni internet, svojevrsnu računarsku mrežu, kao osnovno sredstvo za razmatranje računarskih mreža i njihovih protokola. Ali šta je to internet? Voleli bismo da damo definiciju interneta u jednoj rečenici, definiciju koju biste mogli da iskoristite u razgovoru sa članovima porodice i prijateljima. Avaj, internet je previše složen i stalno se menja, kako u pogledu svojih hardverskih i softverskih komponenti tako i u pogledu usluga koje pruža.

1.1.1 Podroban opis

Internet je računarska mreža koja međusobno povezuje milione računarskih uređaja širom sveta. Donedavno su većinu ovih uređaja činili tradicionalni stoni PC računari, Linux radne stanice i tzv. serveri koji čuvaju i prenose informacije kao što su veb stranice i elektronska pošta. Međutim, sve više za internet neobičajenih krajnjih sistema (uređaja), kao što su PDA (Personal Digital Assistant) računari, televizori, prenosivi računari, mobilni telefoni, automobili, senzori za praćenje stanja životne sredine, okviri za slike, kućni elektronski i bezbednosni sistemi povezuje se sa internetom. Štaviše, izraz *računarska mreža* počinje da zvuči pomalo zastarelo imajući u vidu sve veći broj netradicionalnih uređaja koji se povezuju sa internetom. U žargonu interneta, svi ovi uređaji nazivaju se **matični računari** (eng. *host*) ili **krajnji sistemi**. U julu 2006. godine internet je koristilo preko 400 miliona krajnjih sistema i taj broj se veoma brzo povećava [ISC 2007].



Legenda:



Slika 1.1 ♦ Neki od delova koji sačinjavaju internet

Krajnji sistemi međusobno su povezani u mrežu **komunikacionim linkovima** i **komutatorima paketa**. U odeljku 1.2 videćete da se komunikacioni linkovi ostvaruju na više načina, a da se izvode korišćenjem različitih fizičkih medijuma, kao što su koaksijalni kablovi, bakarni provodnici, optički kablovi i radio talasi. Različiti linkovi prenose podatke različitim brzinama, pri čemu se **brzina prenosa** linka meri brojem bitova u sekundi. Kada jedan krajnji sistem šalje podatke drugom krajnjem sistemu, polazni krajnji sistem razdvaja te podatke u manje delove i svim tim delovima dodaje određeni blok bajtova u zaglavlje. U žargonu računarskih mreža ovako spakovane informacije nazivaju se **paketi**. Ovi paketi se kroz mrežu šalju do odredišnog krajnjeg sistema, gde se ponovo slažu u prvobitne podatke.

Komutator paketa preuzima paket koji stiže nekim od ulaznih komunikacionih linkova i prosleđuje ga dalje nekim od svojih izlaznih komunikacionih linkova. Postoji više različitih oblika i modela komutatora paketa, ali dva najrasprostranjenija u savremenom internetu su **usmerivači** (ruteri) i **komutatori sloja veze** (svičevi). Zajedničko za obe ove vrste komutatora jeste to da pakete prosleđuju do njihovih konačnih odredišta. O ruterima ćemo detaljnije govoriti u poglavlju 4, a o komutatorima sloja veze u poglavlju 5. Od polaznog krajnjeg sistema do odredišnog krajnjeg sistema, čitav niz komunikacionih linkova i komutatora paketa kojima paketi prolaze poznati su kao **ruta** ili **putanja** kroz mrežu. Prve mreže sa komutiranjem paketa, nastale sedamdesetih godina, predstavljaju najranije pretke savremenog interneta. Tačan obim saobraćaja na internetu teško je proceniti [Odylsko 2003], mada je vodeći američki posrednik za internet usluge (AOL) prijavio da je 2005. godine brzina ulaznog internet saobraćaja u njegovim mrežama bila 250 gigabajta u sekundi [Gill 2005]. Kompanija PriMetrica [Primetrica 2007] procenjuje da je 2006. godine iskorišćenost internacionalnih kapaciteta bila 5 terabajta u sekundi, a da se propusna moć udvostručava približno svake dve godine.

Mreže sa komutiranjem paketa (kojima putuju paketi) po mnogo čemu su slične transportnim mrežama autoputeva, drumova i raskrsnica (kojima putuju vozila). Uzmimo, na primer, fabriku koja treba da isporuči ogroman teret do nekog odredišnog skladišta koje se nalazi hiljadama kilometara daleko. U fabrici se teret razdvaja na manje delove i utovara na više kamiona. Svaki od tih kamiona zatim putuje kroz mrežu autoputeva, drumova i raskrsnica do odredišnog skladišta. U tom skladištu, teret se istovara i grupiše sa ostatkom tereta koji se stigao istom isporukom. Stoga, na mnogo načina, paketi sličje kamionima, komunikacioni linkovi slični su autoputevima i drumovima, komutatori paketa liče na raskrsnice, a krajnji sistemi su slični zgradama. Kao što kamioni putuju putnom mrežom, paketi putuju računarskom mrežom.

Krajnji sistemi pristupaju internetu preko **posrednika za internet usluge** (Internet Service Provider, ISP) i to mogu biti posrednici koje svoje usluge pružaju domaćinstvima, kao što su AOL ili telefonske kompanije i kablovski operateri, zatim posrednici za preduzeća i univerzitete, kao i posrednici kao što je, na primer, kompanija T-Mobile koja obezbeđuje bežični pristup na aerodromima, u hotelima, kafeima i na drugim javnim mestima. Svaki posrednik za internet usluge, u stvari, predstavlja mrežu rutera i komunikacionih linkova. Posrednici za internet usluge krajnjim sistemima nude različite načine za pristupanje mreži, kao što su modemski pristup brzine 56 Kb/s, širokopojasni pristup za domaćinstva kablovskim ili DSL modemima, pristup preko lokalne računarske mreže velike brzine i bežični pristup. Ovi posrednici takođe obezbeđuju pristup internetu onima

koji internet ispunjavaju sadržajem, povezujući njihove veb stranice neposredno sa internetom. Da bi omogućili komunikaciju između korisnika interneta i pristup sadržajima interneta širom sveta, ovi posrednici nižeg reda međusobno su povezani preko nacionalnih i internacionalnih posrednika višeg reda, kao što su AT&T ili Sprint. Posrednike višeg reda sačinjava veći broj rutera velike brzine međusobno povezanih veoma brzim linkovima za koje se koriste optički kablovi. Svakom ISP mrežom, bez obzira na to da li je višeg ili nižeg reda, upravlja se nezavisno, u svakoj se koristi IP protokol (videti u produžetku), a poštuju se izvesna pravila za raspodelu naziva i adresa. Posrednike za internet usluge i njihove međusobne veze detaljnije obrađujemo u odeljku 1.3.

Krajnji sistemi, komutatori paketa i ostali sastavni delovi interneta, koriste **protokole** koji kontrolišu slanje i prijem informacija u okviru interneta. **TCP (Transmission Control Protocol)** i **IP (Internet Protocol)** predstavljaju dva najvažnija internet protokola. Protokol IP utvrđuje format paketa koje ruteri i krajnji sistemi šalju i primaju između sebe. Glavni internet protokoli opšte su poznati pod nazivom **TCP/IP**. Već u ovom uvodnom poglavlju pozabavićemo se ovim protokolima. Ali, to je samo početak – u većem delu ove knjige bavimo se protokolima računarskih mreža!

Imajući u vidu značaj protokola na internetu, veoma je važno da postoji opšta saglasnost o tome šta svaki od tih protokola tačno radi. Za to su zaduženi standardi. Za **internet standarde** zadužena je Tehnička radna grupa za internet (Internet Engineering Task Force, IETF) [IETF 2004]. IETF standardi nazivaju se **RFC dokumenti** (Request For Comments – zahtevi za komentarima). RFC dokumenti nastali su kao opšti zahtevi za komentarima (otuda i njihov naziv) kako bi se rešili problemi pri projektovanju mreža i protokola sa kojima su se suočavali projektanti mreža koje su prethodile internetu. RFC dokumenti puni su tehničkih izraza i veoma su detaljni. Njima su definisani protokoli kao što su TCP, IP, HTTP (za veb) i SMTP (za elektronsku poštu). Postoji skoro 5000 RFC dokumenata. Postoje još neka tela koja se bave standardizacijom mrežnih komponenti, posebno kada su u pitanju mrežni linkovi. Primera radi, grupa IEEE 802 LAN/MAN Standards Committee [IEEE 802 2004] bavi se standardizacijom Ethernet i bežičnih Wi-Fi mreža.

Javno dostupan internet (odnosno, globalna mreža svih mreža, kao što smo ranije već rekli) jeste mreža za koju se obično pomisli kada se kaže internet. Međutim, postoji još mnogo drugih privatnih mreža kao što su mreže koje se koriste u preduzećima ili unutar vladinih institucija, čiji računari ne mogu da razmenjuju poruke sa računarima izvan njihove mreže (osim ukoliko te poruke ne prođu kroz tzv. mrežne barijere koje ograničavaju slobodan tok poruka ka mreži i iz nje). Budući da se u ovim privatnim mrežama koriste iste vrste računara, rutera, linkova i protokola kao i u javno dostupnom internetu, za njih se često koristi izraz **intranet**.

1.1.2 Opis usluga

U prethodnom odeljku upoznali smo mnoge delove koji sačinjavaju internet. Internet možemo da opišemo i iz sasvim drugačijeg ugla – tačnije, kao *infrastrukturu koja određenim aplikacijama obezbeđuje određene usluge*. U te aplikacije ubrajamo elektronsku poštu, pretraživanje veba, trenutnu razmenu poruka, telefoniranje preko interneta (VoIP), internet radio, protok video zapisa, distribuirane igrice, deljenje fajlova između ravnopravnih računara (peer-to-peer, P2P), televizija preko interneta, daljinsko prijav-

ljivanje za rad i još mnogo, mnogo toga. Za ove aplikacije se kaže da su **distribuirane aplikacije** pošto se za njih koristi više krajnjih sistema koji međusobno razmenjuju podatke. Ono što je važno jeste da se te aplikacije izvršavaju na krajnjim sistemima, a ne u komutatorima paketa u jezgri mreže. Kasnije u ovoj knjizi postaće vam jasnije da komutatori paketa samo omogućavaju razmenu podataka između krajnjih sistema i da ne vode računa o aplikacijama iz kojih ti podaci potiču ili koje koriste te podatke.

Objasnićemo malo bolje na šta mislimo kada kažemo infrastruktura koja određenim aplikacijama obezbeđuje određene usluge. Pretpostavimo da imate novu sjajnu ideju za distribuiranu internet aplikaciju od koje bi korist imalo čitavo čovečanstvo ili biste bar vi postali bogati i čuveni. Na koji biste način tu svoju ideju pretvorili u stvarnu internet aplikaciju? Pošto se aplikacije izvršavaju na krajnjim sistemima, biće potrebno da napišete delove programa koji bi se izvršavao na krajnjim sistemima. Mogli biste, na primer, da te delove programa napišete koristeći programske jezike Java, C ili C+. I sad, pošto razvijate distribuiranu internet aplikaciju, neophodno je da ti delovi programa koji se izvršavaju na različitim krajnjim sistemima međusobno razmenjuju podatke. I tu stižemo do najvažnijeg pitanja – onog koje vodi do drugačijeg načina za opisivanje interneta kao platforme za aplikacije. Na koji način da deo jedne aplikacije koji se izvršava na jednom krajnjem sistemu uputi internet da isporuči podatke drugom delu programa koji se izvršava na drugom krajnjem sistemu?

Krajnji sistemi povezani sa internetom obezbeđuju **programske interfejske aplikacija** (Application Programming Interface, API) kojima se utvrđuje način na koji deo softvera koji se izvršava na jednom krajnjem sistemu traži od infrastrukture interneta da isporuči podatke do tačno određenog odredišnog dela softvera koji se izvršava na drugom krajnjem sistemu. Internet API je skup pravila koji polazni deo softvera mora da poštuje tako da internet određene podatke isporuči odredišnom delu softvera. Internet API detaljnije razmatramo u poglavlju 2. Za sada ćemo se poslužiti jednostavnim poređenjem kakve inače često koristimo u ovoj knjizi. Pretpostavimo da Alisa želi da pošalje pismo Bobu koristeći običnu poštu. Naravno da Alisa ne može jednostavno da napiše pismo (podaci) i da ga baci kroz prozor. U stvari, pošta traži da Alisa stavi pismo u kovertu, zatvori kovertu, zalepi markicu u gornji desni ugao kovertu i da, kada sve to završi, koverat ubaci u poštansko sanduče. Drugim rečima, pošta ima sopstveni „poštanski API”, ili skup pravila, koje Alisa mora da poštuje kako bi pošta njeno pismo isporučila Bobu. Slično tome, internet ima API, koji polazni deo softvera mora da sledi kako bi internet isporučio podatke odredišnom delu softvera.

Pošta, naravno, svojim korisnicima nudi više različitih usluga, a među njima su ekspresna isporuka, potvrda o prijemu, obična usluga i još mnogo drugih usluga. Slično tome, internet svojim aplikacijama nudi više različitih usluga. Kada razvijate internet aplikaciju morate da izaberete jednu od tih internet usluga za nju. Internet usluge opisujemo u poglavlju 2, a način na koji internet obezbeđuje te usluge opisujemo u poglavlju 3.

Ovaj drugi opis interneta – u smislu infrastrukture koja distribuiranim aplikacijama obezbeđuje usluge – veoma je važan. Uzrok napretka u razvoju pojedinih delova interneta sve češće se nalazi u potrebama za uslugama koje iskazuju nove aplikacije. Zato je veoma važno stalno imati na umu da je internet infrastruktura u kojoj se nove aplikacije neprestano pronalaze i primenjuju.

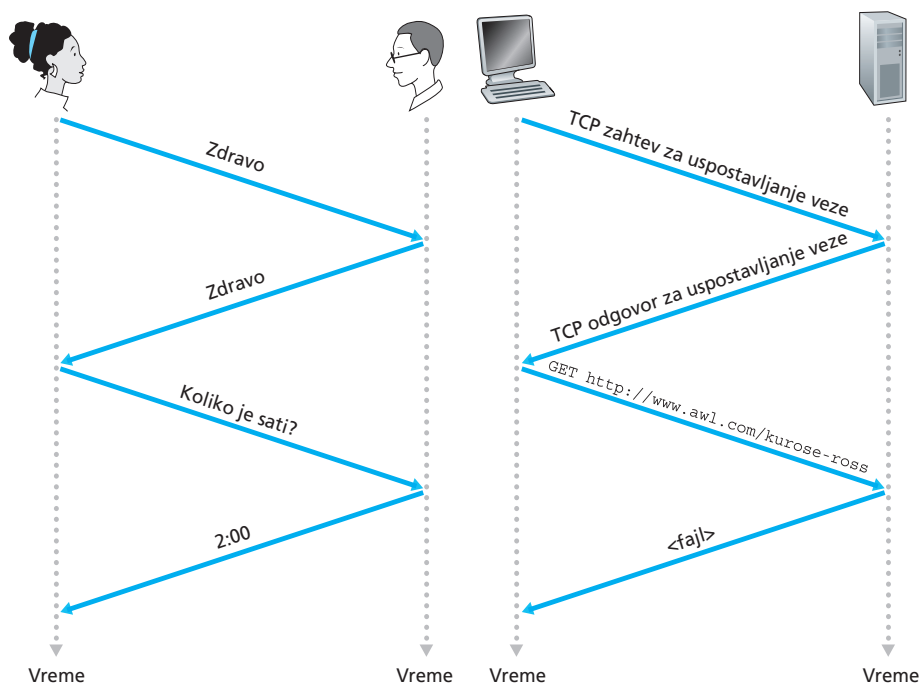
Upravo smo dali dva opisa interneta, jedan sa stanovišta njegovih hardverskih i softverskih sastavnih delova, drugi u smislu infrastrukture kojom se distribuiranim aplikacijama obezbeđuju određene usluge. Ipak, verovatno ste i dalje zbunjeni time šta je internet u stvari. Šta je to komutiranje paketa, TCP/IP ili API? Šta su ruteri? Koje se sve vrste komunikacionih linkova koriste unutar interneta? Šta je distribuirana aplikacija? Kako i zbog čega bi se toster ili meteorološki senzor povezivali sa internetom? Ukoliko ste još uvek pomalo zbunjeni svim tim pitanjima, ne brinite se – svrha ove knjige i jeste da predstavi sastavne delove interneta i principe koji upravljaju time kako i zašto sve to radi. U odeljcima i poglavljima koja slede objasnićemo sve ove važne pojmove i dati odgovore na ta pitanja.

1.1.3 Šta je protokol?

Pošta sada imamo makar osnovnu predstavu o tome šta je internet, razmotrićemo još jednu veoma važnu reč koja se stalno pominje u umrežavanju računara: *protokol*. Šta je protokol? Šta radi? Kako da prepoznate protokol ukoliko se sretnete sa nekim od njih?

Poređenje sa ljudima

Verovatno najjednostavniji način za objašnjenje pojma protokola računarskih mreža jeste poređenje sa ljudima pošto se mi ljudi stalno držimo nekakvih protokola, odnosno pravila ponašanja. Uzmite recimo slučaj kada nekoga treba da pitate koliko je sati. Uobičajeni razgovor prikazan je na slici 1.2. Pravila ponašanja među ljudima (ili makar, dobro vaspitanje) nalaže da sve počinje pozdravom (prvo „Zdravo” na slici 1.2). Uobičajen odgovor bi takođe glasio „Zdravo”. Jasno je da srdačan odgovor „Zdravo” prvoj osobi znači da se razgovor može nastaviti i da može pitati koliko je sati. Drugačiji odgovor na početno „Zdravo” (recimo, „Ostavi me na miru!” ili „Ne razumem!” ili neki odgovor koji nije za štampu) ukazivao bi na to da druga osoba ne želi ili ne može da nastavi razgovor. U tom slučaju, prema pravilima ponašanja među ljudima, prva osoba ne bi ni upitala koliko je sati. Dešava se da prva osoba ne dobije odgovor na svoj pozdrav i u tom slučaju ona odustaje od toga da pita koliko je sati. Vodite računa o tome da u pravilima ponašanja među ljudima važi to da *postoje određene poruke koje šaljemo kao i određeni postupci koje preduzimamo u zavisnosti od dobijenog odgovora i drugih okolnosti* (recimo da ne dobijemo odgovor u toku nekog određenog vremena). Jasno je da poslate i primljene poruke, kao i postupci koje preduzimamo prilikom slanja i primanja tih poruka ili dok čekamo na odgovor imaju ključnu ulogu u pravilima ponašanja među ljudima. Ukoliko bi se ljudi ponašali drugačije (na primer, jedna je osoba dobro vaspitana, ali druga nije, ili jedna razume pojam vremena, a druga ne) razgovor između njih ne bi bio moguć i ne bi se postiglo ništa korisno. Isti važi i za umrežavanje – neophodno je da dva (ili više) uređaja koji međusobno komuniciraju koriste isti protokol kako bi ispunili neki zadatak.



Slika 1.2 ♦ Pravila ponašanja među ljudima i protokol računarske mreže

Razmotrimo sada još jednu sličnost sa ljudima. Pretpostavimo da ste na predavanjima (na predavanju o umrežavanju računara, recimo). Predavač nejasno priča o protokolima i zbunjeni ste. Predavač zastaje i pita: „Ima li nekih pitanja?” (poruka je poslata i primili su je svi studenti koji ne spavaju). Dižete ruku (šaljući nedvosmisleni poruku predavaču). Predavač razume šta želite i nasmeši se, izgovarajući: „Izvolite...” (šalje poruku koja vas ohrabruje da postavite pitanje – predavači *vole* da im se postavljaju pitanja), vi postavljate pitanje (to jest, šaljete svoju poruku predavaču). Predavač sluša vaše pitanje (prima poruku sa vašim pitanjem) i odgovara na njega (šalje poruku sa odgovorom). I iz ovog primera vidite da su prenošenje i primanje poruka, kao i niz uobičajenih postupaka koji se preduzimaju prilikom slanja i prijema tih poruka predstavljaju srž protokola za postavljanje pitanja i odgovaranje na njih.

Mrežni protokoli

Mrežni protokol sličan je pravilu ponašanja među ljudima, osim što poruke razmenjuju i određene postupke preduzimaju hardverske i softverske komponente nekog uređaja (recimo, računara, PDA uređaja, mobilnog telefona, rutera ili nekog drugog uređaja koji može da se umreži). Svime što se dešava na internetu, a obuhvata komunikaciju dva ili više udaljenih samostalnih delova upravlja neki protokol. Na primer, protokoli

koji su hardverski implementirani u interfejsima mrežnih kartica dva fizički povezana računara upravljaju protokom bitova kroz „žicu” između ove dve mrežne kartice; protokoli za kontrolu zagušenja saobraćaja u krajnjim sistemima kontrolišu brzinu kojom se paketi prenose između pošiljaoca i primaoca; protokoli u ruterima određuju putanju kojom paketi putuju od polazišta do odredišta. Protokoli se izvršavaju u svim delovima interneta, pa je upravo zbog toga dobar deo ove knjige posvećen protokolima računarskih mreža.

Kao primer protokola računarskih mreža koji verovatno poznajete, razmotrićemo šta se događa kada pošaljete zahtev veb serveru, odnosno kada u svoj veb čitač upišete URL adresu neke veb strane. Ono šta se dešava prikazano je na desnoj polovini slike 1.2. Prvo, vaš računar šalje poruku sa zahtevom za povezivanje odgovarajućem veb serveru i čeka njegov odgovor. U najvećem broju slučajeva, veb server prima ovaj zahtev i odgovara porukom da je povezivanje moguće. Znajući da sada može da zahteva određeni veb dokument, vaš računar porukom GET šalje naziv veb stranice koju želi da preuzme sa veb servera. Na kraju, veb server šalje tu veb stranicu (fajl) vašem računaru.

Navedeni primeri ponašanja među ljudima i primer mrežnog protokola ukazuju na to da ključni elementi koji definišu protokole jesu razmena poruka i postupci koji se preduzimaju prilikom slanja ili prijema tih poruka:

Protokol definiše format poruka i redosled po kome se te poruke razmenjuju između najmanje dve zasebne celine koje međusobno komuniciraju, kao i postupke koji se preduzimaju posle slanja i/ili prijema određenih poruka ili nekog drugog događaja.

Internet, a i sve druge računarske mreže, izuzetno puno koriste protokole. Prilikom komunikacije se za ispunjavanje različitih zadataka koriste različiti protokoli. Čitajući ovu knjigu saznaćete da su neki protokoli veoma jednostavni i lako razumljivi, dok ima i onih koji su složeni i teško razumljivi. Ovladavanje znanjem o umrežavanju računara znači da se razume šta to protokoli rade, zašto to rade i kako to rade.

1.2 Pristupne tačke mreže

U prethodnom odeljku predstavili smo internet i mrežne protokole na uopšteniji način. Sada želimo da malo dublje uronimo u prikaz sastavnih delova računarske mreže (a interneta posebno). Ovaj odeljak počinjemo od pristupnih tačaka (oboda) mreže i od onih komponenti koje najbolje poznajemo, a to su računari, PDA uređaji, mobilni telefoni i drugi uređaji koje svakodnevno koristimo. U narednom odeljku prelazimo sa tog oboda mreže ka njenom središtu i istražujemo komutiranje i rutiranje paketa u računarskim mrežama.



VRTOGLAVO MNOŠTVO KRAJNJIH SISTEMA NA INTERNETU

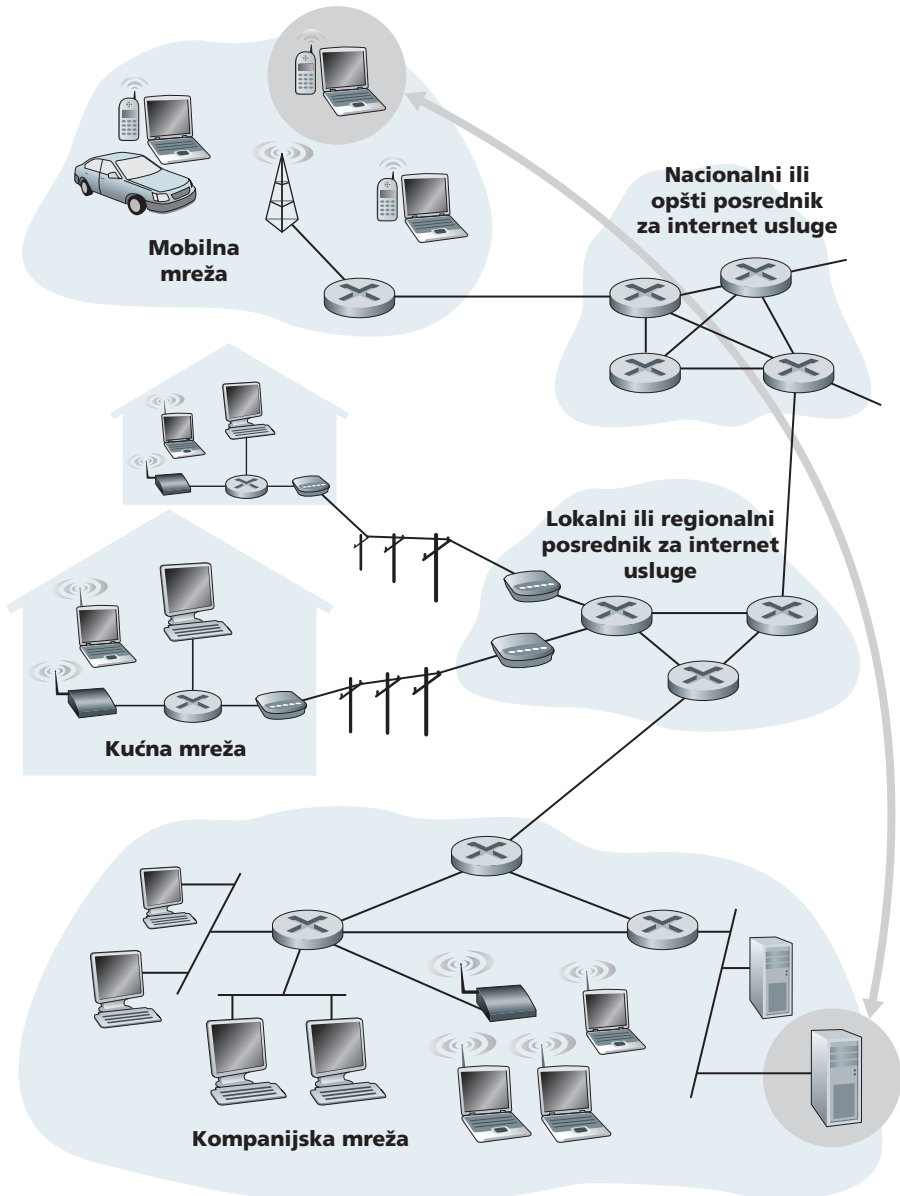
Ne tako davno, skoro jedini uređaji koji su se kao krajnji sistemu povezivali sa internetom bili su tradicionalni računari kao što su stoni računari i moćni serveri. Počevši od kasnih devedesetih godina, pa sve do danas, sve više uređaja različite namene povezuje se sa internetom. Zajednička potreba svih tih uređaja je da šalju digitalne podatke drugim uređajima i da primaju podatke od njih. Zahvaljujući sveprisutnosti interneta, njegovim dobro definisanim (standardizovanim) protokolima i dostupnosti hardvera koji može da se poveže sa internetom, bilo je prirodno da se internet iskoristi za međusobno povezivanje tih uređaja.

Izgleda kao da su neki od tih uređaja stvoreni čisto za zabavu. Digitalni stoni okvir za slike [Ceiva 2007] preuzima digitalne fotografije sa udaljenog servera i prikazuje ih na uređaju koji liči na stari dobri okvir za slike; internet toster preuzima meteorološke informacije sa servera i na vaš jutarnji tost dodaje prognozu vremena za taj dan (prikazujući oblačnost i sunčane periode dana) [BBC 2001]. Drugi uređaji nude korisne informacije – veb kamera prikazuje trenutno stanje u saobraćaju i vremenske prilike na mestu koje vas zanima; kućni uređaji kao što su mašine za pranje veša, frižideri i rerne [Internet Home Alliance 2007] povezani su sa internetom tako da mogu da se nadziru i kontrolišu preko veb čitača. Mobilni telefoni omogućavaju da pretraživanje veba, razmenu e-pošte i instant poruka postignete vrhovima svojih prstiju. Nove vrste umreženih senzorskih sistema obećavaju revoluciju u načinu na koji posmatramo životnu sredinu i postupamo prema njoj. Umreženi senzori ugrađuju se u predmete koje nas okružuju i omogućavaju da nadziramo zgrade, mostove, seizmičke pojave, navike divljih životinja, korita reka i niže slojeve atmosfere [CENS 2007, Culler 2004, CASA 2007]. Takođe, moguće je ugraditi i umrežiti biomedicinske senzore [Schweibert 2001]. Praćeni podaci biće dostupni udaljenim korisnicima u realnom vremenu. RFID nalepnica koja radio talasima šalje podatke ili tanki ugrađeni senzor prikazani na bilo koji objekat omogućavaju da informacije o tom objektu ili sa njega budu dostupne na internetu, što vodi nečemu što se naziva „internet za stvari“ [ITU 2005].

Sećate se iz prethodnog poglavlja da se za računare i ostale uređaje povezane sa internetom, u žargonu računarskih mreža, koristi izraz krajnji sistemi. Zovemo ih tako pošto se nalaze na obodu (krajnjim tačkama) interneta, kao što je prikazano na slici 1.3. U krajnje sisteme interneta spadaju stoni računari (tj. stoni PC računari, Mac računari i Linux sistemi), serveri (tj. veb serveri i serveri za e-poštu) i prenosivi računari (tj. laptopovi, PDA uređaji i telefoni sa bežičnim pristupom internetu). Pored njih, sve više drugih uređaja koji se povezuju sa internetom, povezuju se kao krajnji sistemi (videti izdvojeni tekst).

Krajnji sistemi se takođe nazivaju *matični računari* (eng. *hosts*) pošto predstavljaju maticu za aplikacije (koje se na njima se izvršavaju) kao što su programi za pregledanje sadržaja na internetu, programi za distribuciju sadržaja na internetu (web serveri), programi za čitanje e-pošte i programi za opsluživanje e-pošte (serveri e-pošte). U čitavoj knjizi ravnopravno koristimo izraze matični računar i krajnji sistem; drugim rečima, *matični računar* = *krajnji sistem*. Matični računari dalje se ponekad dele na dve vrste:

klijenti i serveri. To nije uvek slučaj, ali klijenti su obično stoni ili prenosni računari, PDA uređaji i tako dalje, dok su serveri mnogo moćniji računari koji se koriste za čuvanje i distribuciju veb stranica, protok video zapisa, prosleđivanje e-pošte i tome slično.



Slika 1.3 ♦ Međusobna povezanost krajnjih sistema

1.2.1 Klijentski i serverski programi

Sa stanovišta mrežnog softvera, postoji još jedna definicija klijenta i servera, definicija na koju ćemo se pozivati u ovoj knjizi. **Klijentski program** izvršava se na jednom krajnjem sistemu koji zahteva i dobija usluge od **serverskog programa** koji se izvršava na drugom krajnjem sistemu. Model klijenata i servera podrobnije proučavamo u poglavlju 2, pri čemu je nesumnjivo da se, što se tiče internet aplikacija, on neuporedivo najčešće koristi. Veb, e-pošta, prenos fajlova, prijavljivanje za rad na daljinu (na primer, Telnet), diskusione grupe i još mnogo drugih omiljenih aplikacija primenjuju model klijent-server. S obzirom na to da se klijentski program najčešće izvršava na jednom računaru, a serverski na drugom, klijentsko-serverske internet aplikacije su, po pravilu, **distribuirane aplikacije**. Klijentski i serverski program međusobno sarađuju tako što razmenjuju poruke preko interneta. Ruteri, linkovi i ostali sastojci interneta, u ovakvom prikazu interneta, zbirno predstavljaju crnu kutiju kojom se prenose poruke između distribuiranih delova internet aplikacija koje međusobno komuniciraju. Ovakav prikaz interneta predstavljen je na slici 1.3.

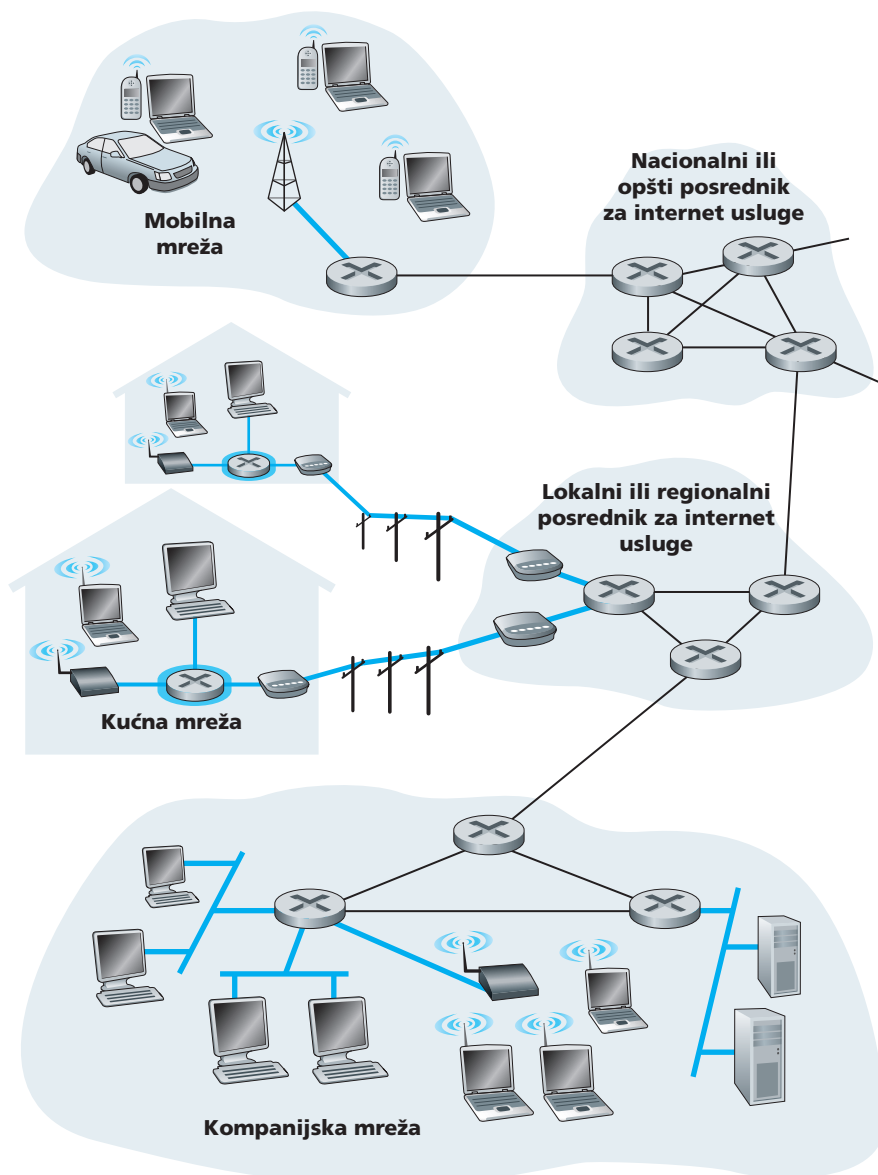
Ipak, savremene internet aplikacije ne obuhvataju samo one klijentske programe koji međusobno sarađuju samo sa serverskim programima. Za sve veći broj savremenih aplikacija koristi se model ravnopravnih računara (peer-to-peer, P2P) u kome krajnji sistemi međusobno sarađuju i pokreću programe koji istovremeno obavljaju i ulogu klijenta i ulogu servera. Na primer, u P2P aplikacijama za razmenu fajlova (kao što su Limewire, eDonkey i Kazaa) program na korisničkom krajnjem sistemu ponaša se kao klijent kada od drugog računara zahteva neki fajl, a kao server kada fajlove šalje drugom računaru. U internet telefoniji, strane koje razgovaraju međusobno su ravnopravne – komunikacija je simetrična, pri čemu obe strane i šalju i primaju podatke. U poglavlju 2 međusobno ćemo porediti i jasnije uočiti razliku između klijent-server arhitekture i P2P arhitekture.

1.2.2. Pristupne mreže

Pošto smo razmotrili aplikacije i krajnje sisteme na „obodu mreže”, razmotrićemo **pristupne mreže** – fizičke linkove koje neki krajnji sistem povezuju sa njegovim **pristupnim ruterom**, koji predstavlja prvi ruter na putanji od tog krajnjeg sistema do bilo kog udaljenog krajnjeg sistema. Na slici 1.4 prikazano je nekoliko vrsta pristupnih linkova od krajnjih sistema do pristupnih rutera; pristupni linkovi istaknuti su podebljanim, osenčenim linijama. Pristupne mreže mogu se podeliti na tri međusobno slične vrste koje se koriste za:

- *pristup građanstva*, kojim se krajnji sistemi u domaćinstvima povezuju u mrežu,
- *pristup kompanija*, kojim se krajnji sistemi u preduzećima ili obrazovnim institucijama povezuju u mrežu,
- *bežični pristup*, kojim se krajnji sistemi (obično su to prenosivi uređaji) bežično povezuju u mrežu.

Ova podela nije toliko kruta i oštra – na primer, krajnji sistemi u nekim preduzećima za pristupanje mogu da koriste tehnologiju koju pripisujemo pristupanju građanstva, ali važi i obrnuto. Opis koji sledi najvećim delom odnosi se na najčešće slučajeve.



Slika 1.4 ♦ Pristupne mreže

Pristup građanstva

Pod pristupom građanstva misli se na povezivanje kućnog krajnjeg sistema (PC računara ili kućne mreže, videti u produžetku) sa pristupnim ruterom. Jedan od načina za pristup građanstva jeste standardni modem koji se preko obične analogne telefonske linije povezuje sa posrednikom za internet usluge za građanstvo (kao što je, na primer, America Online). Kućni modem pretvara digitalne signale iz računara u analogni oblik podesan za prenos preko analogne telefonske linije. Analogne telefonske linije napravljene su od bakarnih provodnika upredenih u parice i to su iste one linije koje se koriste i za obične telefonske razgovore. (O kablovima sa upredenim paricama govorićemo u nastavku ovog odeljka.) Na drugom kraju analogne telefonske linije, modem posrednika za internet usluge ove analogne signale vraća u digitalni oblik podesan za prosleđivanje ruteru. Prema tome, pristupnu mrežu u ovom slučaju čini par modema zajedno sa običnom telefonskom linijom između ta dva modema. Današnji modemi omogućavaju brzine prenosa do 56 kb/s. Međutim, zbog lošeg kvaliteta linija sa upredenim paricama između većine domaćinstava i posrednika za internet usluge, većina korisnika ostvaruje daleko manje stvarne brzine prenosa.

Za mnoge kućne korisnike modemske pristup brzine 56 kb/s previše je spor. Na primer, za preuzimanje jedne trominutne pesme u MP3 formatu potrebno je oko osam minuta. Pored toga, pristupanje običnim modemom zauzima telefonsku liniju korisnika – dok ovu liniju koristi za krstarenje vebom, korisnik ne može da razgovara telefonom. Srećom, nove tehnologije za širokopojasni pristup donele su kućnim korisnicima veće brzine prenosa, uz mogućnost da korisnik istovremeno pristupa internetu i koristi telefonsku liniju za razgovor. Širokopojasni pristup od kuće ostvaruje se na jedan od dva sledeća načina: **digitalnom pretplatničkom linijom** (digital subscriber line, DSL) [DSL 2007] i **hibridno, optičkim i koaksijalnim kablovima** (hybrid fiber-coaxial, HFC) [Cable Labs 2007].

Prema podacima iz marta 2006. godine, u većini razvijenih zemalja preko 50% domaćinstava imalo je širokopojasni pristup, pri čemu je taj broj veći od 80% u Južnoj Koreji i Hong Kongu. SAD i Kina vode u ukupnom broju širokopropusnih linija, pri čemu u ovim zemljama ima preko 40 miliona takvih linija [Point Topic 2006]. Prema istim podacima, oko 60% širokopropusnih linija u SAD i Kanadi ostvareno je korišćenjem HFC kablova, a ostalo su DSL linije. U ostalim državama, preovladava DSL, posebno u Evropi gde je u većini zemlja preko 90% DSL linija.

DSL pristup obično obezbeđuju telefonske kompanije (na primer, Verizon ili France Telecom), ponekad u saradnji sa nekim nezavisnim posrednikom za internet usluge. Po načinu rada sličan običnim modemima, DSL predstavlja novu tehnologiju modema za koju se i dalje koriste obične telefonske linije sa upredenim paricama. Međutim, ograničavanjem udaljenosti između modema korisnika i posrednika za internet usluge, DSL može da prenosi i prima podatke daleko većom brzinom. Brzina prenosa podataka obično nije ista u oba smera, pri čemu je od rutera posrednika za internet usluge do korisnika brzina veća nego u obrnutom smeru. Ova asimetrija brzine prenosa podataka zasniva se na očekivanju da će kućni korisnici verovatnije zahtevati informacije (prenositi podatke u kuću) nego što će ih proizvoditi.

DSL komunikacioni link između kuće i ISP deli u tri zasebna frekventna opsega:

- kanal za preuzimanje podataka (eng. *downstream*) velike brzine, u opsegu od 50 kHz do 1 MHz,

- kanal za predavanje podataka (eng. *upstream*) srednje brzine, u opsegu od 4 kHz do 50 kHz,
- običan dvosmerni telefonski kanal, u opsegu od 0 do 4 kHz.

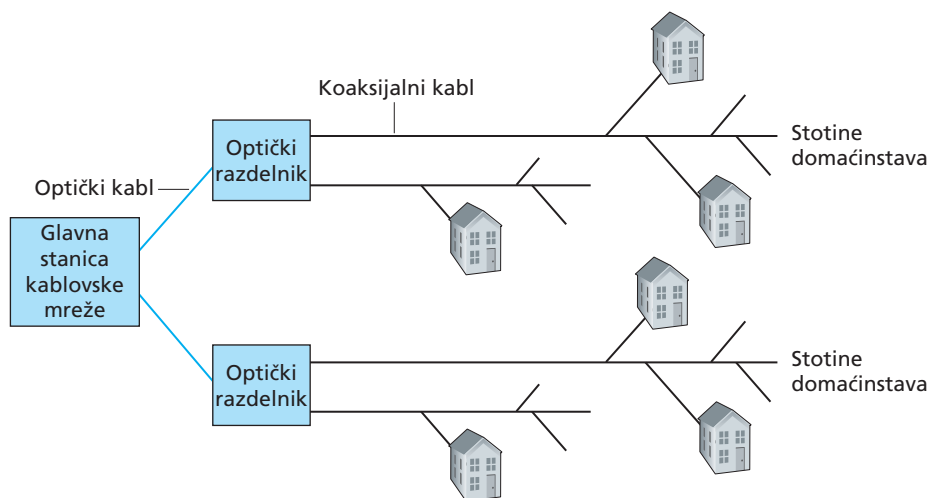
Na ovaj način, jedan DSL link izgleda kao da postoje tri zasebna linka, tako da je DSL linkom moguće istovremeno razgovarati telefonom i biti povezan sa internetom. (Ovu tehniku za multipleksiranje deljenjem frekvencije opisujemo u poglavlju 1.3.1.) Stvarne brzine preuzimanja i predavanja podataka koje korisnik može da ostvari zavise od rastojanja između kućnog modema i ISP modema, prečnika provodnika uporednih parica, nivoa električnih smetnji i drugih činilaca. DSL je namerno projektovan tako, za razliku od običnih modema, da se koristi za kraća rastojanja između kućnih i ISP modema, zbog čega je moguće ostvariti značajno veće brzine prenosa u odnosu na obične modeme. Korisnici koji se nalaze bliže ISP modemima mogu da koriste različite brzine prenosa uz različitu nadoknadu. Na primer, kompanija Verizon nudi brzine prenosa koje se kreću od 768 kb/s do 1,5 Mb/s za preuzimanje podataka i 128 kb/s do 768 kb/s za predavanje podataka. Takođe, postoji čitav niz različitih DSL tehnologija visoke brzine koje se sve više koriste u mnogim zemljama. Na primer, veoma brzi DSL (VDSL), koji se najviše koristi u Južnoj Koreji i Japanu, nudi zadivljujuće brzine od 12 do 55 Mb/s za preuzimanje podataka i 1,6 do 20 Mb/s za predavanje podataka [DSL 2007].

Dok DSL i standardni modemi koriste obične telefonske linije, HFC pristupne mreže predstavljaju dopunu postojećim mrežama koje se koriste za prenos kablovske televizije. U tradicionalnim kablovskim sistemima, glavna kablovska stanica ka domaćinstvima emituje signale kroz distribucionu mrežu koju čine koaksijalni kablovi i pojačivači. Kao što je prikazano na slici 1.5, glavna stanica je optičkim kablovima povezana sa razdelnicima u pojedinim delovima grada, od kojih se klasični koaksijalni kablovi koriste za povezivanje pojedinačnih kuća i stanova. Ovi razdelnici obično služe za priključivanje između 500 i 5000 kuća.

Kao i u slučaju DSL pristupnih mreža i za HFC pristupne mreže neophodni su posebni modemi koji se nazivaju **kablovski modemi**. Kompanije koje obezbeđuju kablovski pristup internetu od svojih korisnika zahtevaju da kupe ili iznajme takav modem. Kablovski modem je najčešće spoljašnji uređaj koji se sa računarom povezuje preko Ethernet porta. (U poglavlju 5 detaljnije razmatramo Ethernet.) Kablovski modemi dele HFC mrežu na dva kanala, na nizvodni i uzvodni kanal. Kao i u slučaju DSL pristupnih mreža, nizvodnom kanalu obično se dodeljuje veća brzina prenosa nego uzvodnom kanalu.

Veoma važna karakteristika HFC pristupnih mreža jeste u tome da se u njoj prenos podataka deli između korisnika. Drugim rečima, svaki paket koji glavna stanica šalje putuje nizvodnim kanalom preko svih linkova do svih domova; a svaki paket koji pošalje krajnji korisnik putuje uzvodnim kanalom do glavne stanice. Zbog toga, ukoliko više korisnika istovremeno preuzima MP3 fajlove preko nizvodnog kanala, stvarna brzina pri kojoj pojedini korisnici preuzimaju te fajlove biće značajno manja od teoretski moguće brzine preuzimanja. S druge strane, ukoliko je samo nekoliko korisnika aktivno i svi oni krstare internetom, dobijaće tražene stranice punom brzinom zato što se retko događa da više korisnika zatraži stranicu u baš istom trenutku. S obzirom na to da se i uzvodni kanal deli, neophodan je distribuirani protokol za istovremeni pristup

kojim se usklađuje prenos i izbegava sukobljavanje zahteva. (Problem sukobljavanja zahteva razmatramo u poglavlju 5 kada govorimo o Ethernet mrežama.) Zagovornici DSL mreža često ističu da DSL pristupna mreža neposredno povezuje pojedine domove i posrednika za internet usluge i da je, stoga, celokupna propusna moć DSL linka između određenog korisnika i posrednika za internet usluge ostavljena tom korisniku i da nije deljena. Pristalice kablovskih mreža, s druge strane, tvrde da dobro projektovane HFC pristupne mreže obezbeđuju veći propusni opseg od DSL mreža. Takmičenje između DSL i HFC pristupnih mreža za veoma brzi pristup od kuće tek se zahuktava, posebno u severnoj Americi. U ruralnim sredinama, gde ni DSL ni HFC mreže nisu dostupne, za povezivanje domaćinstava sa internetom brzinama većim od 1 Mb/s moguće je koristiti satelitske linkove; StarBand i HughesNet su dva posrednika za pristupanje internetu putem satelita.



Slika 1.5 ♦ Hibridna pristupna mreža od optičkih i koaksijalnih kablova

Izuzetna pogodnost DSL i HFC mreža, kao i pristupanja putem satelita, jeste u tome da su njihove usluge **neprekidno dostupne**, drugim rečima, korisnik može da ostavi svoj računar uključen i da bude stalno povezan sa posrednikom za internet usluge, a da istovremeno razgovara telefonom.

Pristup kompanija

U preduzećima i na univerzitetima, za povezivanje krajnjeg sistema i pristupnog rutera obično se koristi lokalna računarska mreža (Local Area Network, LAN). Kao što ćemo videti u poglavlju 5, postoji više vrsta LAN tehnologija. Ipak, tehnologija Ethernet je trenutno ubedljivo najrasprostranjenija tehnologija koja se koristi za pristupanje mreža u kompanijama. Savremena Ethernet tehnologija koristi brzine pristupa od 100 Mb/s ili 1 Gb/s (ili čak i 10 Gb/s). Za međusobno povezivanje većeg broja korisnika, kao i za njihovo povezivanje sa pristupnim ruterom koriste se bakarni provodnici sa upređenim

paricama ili koaksijalni kablovi. Pristupni ruter zadužen je za preusmeravanje paketa čije je odredište izvan lokalne mreže. Kao i HFC pristupne mreže i Ethernet koristi deljeni medijum, tako da krajnji korisnici međusobno dele propusnu moć lokalne mreže. Odnedavno, Ethernet tehnologija polako počinje da koristi tehniku komutiranja podataka. Komutirani Ethernet koristi zvezdastu topologiju sa računarima neposredno povezanim sa „komutatorom” koji omogućava da svi računari istovremeno šalju i primaju podatke koristeći čitavu propusnu moć lokalne mreže. Deljeni i komutirani Ethernet podrobnije razmatamo u poglavlju 5.

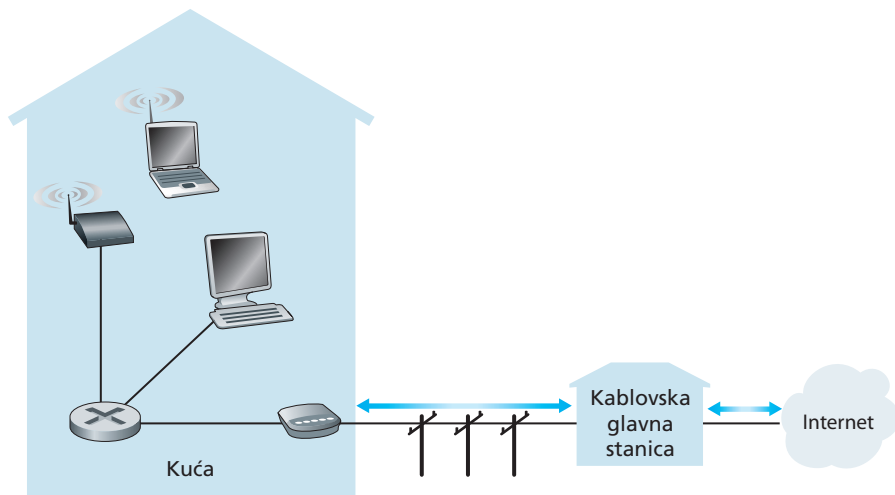
Bežični pristup

Pored internet revolucije i bežična revolucija takođe ima izuzetan uticaj na život i rad ljudi. Danas u Evropi više ljudi ima mobilni telefon nego računar ili automobil. Ovaj trend korišćenja bežične tehnologije se nastavlja, pri čemu mnogi analitičari predviđaju da će bežični (a obično su to i mobilni) uređaji koji se nose u rukama – kao što su mobilni telefoni ili PDA računari – prevladati u odnosu na računare povezane kablovima što se tiče pristupanja internetu. Trenutno postoje dve opšte vrste za bežično pristupanje internetu. U **bežičnim lokalnim mrežama**, korisnici bežičnog pristupa razmenjuju pakete sa baznom stanicom (poznatoj i kao tačka bežičnog pristupa) u prečniku od nekoliko desetina metara. Bazna stanica je obično povezana sa internetom i na taj način služi za povezivanje bežičnih korisnika sa delom mreže u kome se koriste kablovi. U **regionalnim bežičnim pristupnim mrežama**, paketi se prenose preko iste bežične infrastrukture koja se koristi za mobilnu telefoniju, pri čemu baznom stanicom upravlja posrednik za telekomunikacione usluge. Na ovaj način se korisnicima omogućava bežični pristup unutar prečnika od nekoliko desetina kilometara od bazne stanice.

Bežične lokalne mreže, zasnovane na tehnologiji IEEE 802.11 (poznatoj i kao bežični Ethernet ili Wi-Fi), sve više se koriste na univerzitetima, u preduzećima, kafeima i kućama. Mnogu univerziteta instalirali su IEEE 802.11 bazne stanice u svojim prostorijama, tako da studenti mogu da šalju i primaju e-poruke ili da krstare vebom bilo gde iz zgrade (na primer, iz biblioteke, svojih soba, učionica ili hola). U mnogim gradovima, neko ko stoji na raskrsnici može da bude u dometu deset ili dvadeset baznih stanica (za pretraživu mapu 802.11 baznih stanica koje su pronašli i preko kojih su se povezali sa internetom mnogi ljudi koji su uživali u tome, pogledajte [wiggles.net 2007]). Najčešće korišćena tehnologija 802.11, o kojoj ćemo podrobnije govoriti u poglavlju 6, nudi deljeni propusni opseg od 54 Mb/s.

Danas su u mnogim domovima, kombinacijom širokopojasnog kućnog pristupa (kablovskih ili DSL modema) i jeftine bežične LAN tehnologije, dobijene moćne kućne mreže. Slika 1.6 predstavlja šematski prikaz uobičajene kućne mreže. Ovu kućnu mrežu čine jedan prenosivi laptop i PC povezan žičanom linkom; bazna stanica (tačka bežičnog pristupa) koja komunicira sa bežičnim računarom; kablovski modem koji obezbeđuje širokopojasni pristup internetu i ruter koji povezuje baznu stanicu i stacionarni računar sa kablovskim modemom. Ovakva mreža omogućava članovima domaćinstva da imaju širokopojasni pristup internetu, pri čemu jedan od njih može da

se slobodno kreće kroz kuću. Ukupna cena za postavljanje ovakve mreže iznosi manje od 150 dolara (uključujući i kablovski ili DSL modem).



Slika 1.6 ♦ Šematski prikaz uobičajene kućne mreže

Kada internetu pristupate koristeći bežičnu LAN tehnologiju, neophodno je da budete bliži od nekoliko desetina metara od bazne stanice. To je ostvarivo za pristup u stanu ili u internet kafeu ili, uopšteno govoreći, kada ste u nekoj zgradi. Ali šta ako se nalazite na plaži ili u kolima, a potreban vam je pristup internetu? Za ovakav pristup na širem prostoru, pokretni korisnici interneta koriste infrastrukturu mobilne telefonije i preko nje pristupaju baznim stanicama koje su udaljene i nekoliko desetina kilometara. U suštini ovo je slično načinu na koji kućni korisnici preko obične telefonske veze pristupaju internetu, osim što se u ovom slučaju umesto telefonske mreže sa kablovima koristi infrastruktura mobilne telefonije.

Telekomunikacione kompanije izuzetno mnogo ulažu u tzv. treću generaciju (3G) mobilne telefonije, koja obezbeđuje bežični pristup internetu sa komutiranjem paketa na širem prostoru pri brzinama pristupa većim od 1 Mb/s. Dva najvažnija standarda za bežični pristup internetu na širem prostoru su EVDO (Evolution-Data Optimized, u slobodnom prevodu, optimizovana evolucija podataka – nesumnjivo jedan od najgorih akronima ikad smišljenih) i HSPA (High-Speed Downlink Packet Access – pristup za preuzimanje paketa velikom brzinom), pri čemu većina operatera mobilne telefonije nudi (ili namerava da ponudi) jedan ili drugi od ova dva standarda. Kao i uvek, i u ovom slučaju postoji potencijalna „ubistvena” tehnologija koja čeka da u potpunosti pobedi ove standarde. WiMAX [Intel WiMAX 2007, WiMAX Forum 2007], poznat i pod nazivom IEEE 802.16, koji se koristi za velika rastojanja srodan je protokolu 802.11 WiFi o kome smo ranije pričali. WiMAX radi nezavisno od mreža mobilne telefonije i obećava brzine od 5 do 10 Mb/s ili veće na rastojanjima od više desetina kilometara. Mada krajem 2006. godine WiMAX nije bio u široj upotrebi, kompanije Sprint i Nextel su bile spremne da ulože milijarde dolara u razvoj WiMAX tehnologije tokom 2007. godine i kasnije. WiFi, WiMAX i 3G detaljnije razmatramo u poglavlju 6.

1.4.2 Fizički medijumi

U prethodnom pododeljku prikazali smo neke od najvažnijih tehnologija za pristupne mreže koje se koriste na internetu. Opisujući ove tehnologije, naveli smo i fizičke medijume koji se u njima koriste. Na primer, rekli smo da se u HFC pristupnim mrežama delom koriste optički, a delom koaksijalni kablovi. Rekli smo obični analogni modemi 56 kb/s i DSL pristupne mreže koriste kablove sa upredenim bakarnim paricama. Rekli smo i to da se u mrežama sa mobilnim pristupom koriste radio talasi. U ovom odeljku ukratko ćemo opisati ove i druge prenosne medijume koji se često koriste u okviru interneta.

Da bismo pojasnili šta podrazumevamo pod fizičkim medijumom, zamislićemo kako izgleda kratak život jednog bita. Zamislite jedan bit koji putuje od jednog krajnjeg sistema, kroz seriju linkova i ruter, do drugog krajnjeg sistema. Taj naš jadni bit mora da luta okolo i prenosi se jednog mesta na drugo nebrojeno mnogo puta. Izvorni krajnji sistem odašilje taj bit i ubrzo zatim prvi ruter u nizu sličnih prima taj bit; zatim ga taj prvi ruter odašilje dalje, a ubrzo potom prima ga drugi ruter i tako redom. Tako naš bit, putujući od svog izvora da svog odredišta, prolazi kroz čitav niz parova predajnika i prijemnika. Između svih ovih parova predajnika i prijemnika, bit se šalje širenjem elektromagnetnih talasa ili optičkih impulsa kroz neki **fizički medijum**. Fizički medijumi mogu da budu različitih oblika i izgleda, a ne moraju da budu od iste vrste za sve parove predajnika i prijemnika primopredajnog para duž putanje. Primeri fizičkih medijuma su kablovi sa upredenim bakarnim paricama, koaksijalni kablovi, kablovi sa multimodnim optičkim vlaknima, zemaljski i satelitski radio talasi. Fizički medijumi dele se na dve vrste: **usmereni** i **neusmereni medijumi**. Kod usmerenih fizičkih medijuma, talasi se usmeravaju kroz čvrsti medijum kao što su kablovi optičkim vlaknima, kablovi sa upredenim bakarnim paricama ili koaksijalni kablovi. Kod neusmerenih medijuma talasi se šire kroz atmosferu ili kroz vasioni prostor, kao u slučaju bežičnih lokalnih mreža ili digitalnih satelitskih kanala.

Pre nego što predemo na karakteristike različitih tipova medijuma, recimo nekoliko reči i o njihovim cenama. Stvarna cena fizičkog linka (bakarnog ili optičkog kabla i tako redom) obično je zanemarljiva u poređenju sa ostalim troškovima za mrežu. Na primer, troškovi radne snage vezani za instaliranje fizičkih linkova često nekoliko puta premašuju cenu samog materijala. Iz tog razloga, u mnogim novijim zgradama se u svakoj prostoriji istovremeno instaliraju kablovi sa upredenim paricama, optički i koaksijalni kablovi. Čak i ako se u početku koristi samo jedan od ovih medijuma, sva je prilika da će u bliskoj budućnosti koristiti još neki, tako da se na ovaj način smanjuju troškovi za naknadno postavljanje kablova.

Kablovi sa upredenim bakarnim paricama

Najjeftiniji i najrasprostranjeniji usmereni prenosni medijum jesu upredeni bakarni provodnici (parice). Telefonske mreže koriste ove kablove preko stotinu godina. U stvari, za više od 99 procenata žičanih linkova između telefonskog aparata i lokalnog telefonskog komutatora koriste se kablovi sa upredenim bakarnim paricama. Ove kablove ste sigurno već videli u svom domu ili na radnom mestu. Upredena parica sastoji se od

dva ravnomerno spiralno upredena izolovana bakarna provodnika, od kojih je svaki debljine oko 1 mm. Provodnici su upredeni da bi se smanjile elektromagnetne smetnje od sličnog para provodnika u blizini. Najčešće se više ovakvih parica produžava u kabl omotavanjem parica zaštitnim plaštom. Par provodnika čini jednu komunikacioni link. Kablovi sa **neoklopljenim uprednim paricama** (Unshielded Twisted Pairs, UTP) obično se koriste u okviru iste zgrade, to jest, za lokalne računarske mreže. Brzina prenosa podataka za LAN mreže koje koriste upredene parice kreće se od 10 Mb/s do 1 Gb/s. Brzina prenosa koju je moguće postići zavisi od debljine provodnika i rastojanja između predajnika i prijemnika.

Kada se osamdesetih godina pojavila tehnologija optičkih vlakana, mnogi ljudi su počeli da omalovažavaju kablove sa uprednim paricama zbog njihove relativno male brzine prenosa. Neki su čak mislili da će tehnologija optičkih vlakana potpuno potisnuti kablove sa uprednim paricama. Ali upredene parice se nisu tako lako predale. Savremena tehnologija upredenih parica, kao što su kablovi kategorije 5, omogućava brzine prenosa od 1 Gb/s na udaljenostima od nekoliko stotina metara. U svakom slučaju, upredene parice se još uvek najčešće koriste za LAN mreže velike brzine.

Kao što smo već napomenuli, kablovi sa uprednim paricama najviše se koriste za pristup domaćinstava internetu. Videli smo da tehnologija običnih modema omogućava brzine prenosa do 56 kb/s korišćenjem kablova sa uprednim paricama. Takođe, videli smo i to da je DSL (Digital Subscriber Line) tehnologija omogućila korisnicima da iz svojih kuća pristupaju internetu brzinom većom od 6 Mb/s korišćenjem kablova sa uprednim paricama (ukoliko žive blizu modema posrednika za internet usluge).

Koaksijalni kablovi

Slično kablovima sa uprednim paricama i koaksijalni kablovi se sastoje od dva bakarna provodnika, s tim da su provodnici koncentrični umesto paralelni. Takvom konstrukcijom i posebnom izolacijom i plaštom, koaksijalni kablovi omogućavaju veće brzine prenosa. Koaksijalni kablovi veoma često se koriste u sistemima kablovske televizije. Kao što smo već rekli, sistemi kablovske televizije odnedavno se dopunjuju kablovskim modemima koji kućnim korisnicima omogućuju pristup internetu brzinama od 1 Mb/s ili većim. U kablovskoj televiziji i kablovskom pristupu internetu, predajnik premešta digitalni signal u neki određeni frekventni opseg, a dobijeni analogni signal šalje se prema jednom prijemniku ili više njih. Koaksijalni kabl koristi se kao usmereni **deljeni medijum**. Drugim rečima, to znači da istim kablom može da bude povezan veći broj krajnjih sistema, pri čemu svako od njih prima sve ono što šalju svi drugi krajnji sistemi.

Optički kablovi

Optičko vlakno je tanki, savitljivi medijum koji provodi svetlosne impulse, pri čemu svaki impuls predstavlja jedan bit. Optički kabl sa jednim vlaknom podržava izuzetno velike brzine prenosa, čak do nekoliko desetina pa i stotina gigabita po sekundi. Ovi kablovi nisu podložni elektromagnetnim smetnjama, imaju neznatno slabljenje signala do razdaljine od 100 kilometara i veoma teško se prisluškuju. Zahvaljujući ovim karakteristikama, optički kablovi su najbolji vođeni prenosni medijumi za veća rastojanja,