

2. poglavlje

Ethernet tehnologija – principi i standardi

U ovom poglavlju:

- *Ethernet sustav*
- *Razvoj Ethernet standarda*
- *Elementi Ethernet sustava*
- *Princip rada Ethernet sustava*
- *Ethernet paket i Ethernet adresa*
- *Viši mrežni protokoli i Ethernet adresa*
- *Topologija signala i sustavsko vrijeme medija*
- *Proširenje Ethernet sustava pomoću koncentratora*

info

Još od davnih vremena inženjeri razmišljaju o "uredu budućnosti" – sjedite kod kuće u svojoj sobi, a na raspolaganju su vam sva sredstva za rad kao da ste u uredu. Sve radnje koje trebate obaviti izvršavaju se pritskom na tipku daljinskog upravljača ili čak nakon što ih glasno izgovorite.

Vođeni ovom idejom, inženjeri širom svijeta stalno rade na unapređenju komunikacijskih tehnologija, a najveći je napredak postignut u računalnoj industriji.

Ethernet sustav

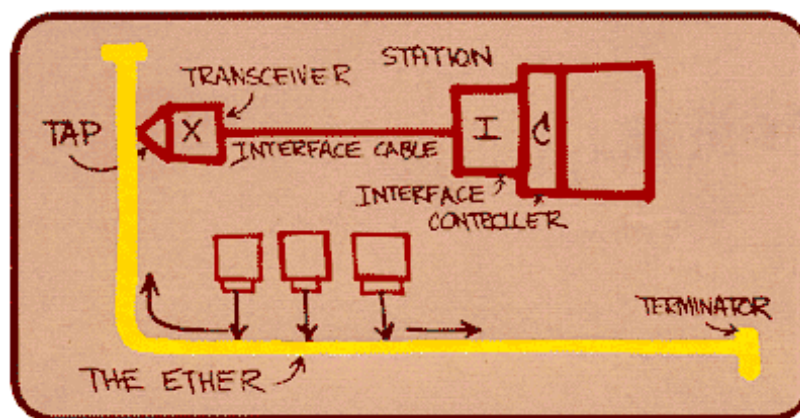
Budući da je danas najčešće korištena tehnologija za lokalne mreže Ethernet, o njoj će biti i najviše riječi. Procjenjuje se da je od 1994. godine instalirano preko 40 milijuna Ethernet čvorova u svijetu. Velika popularnost Etherneta osigurava veliko tržište za Ethernet uređaje, a velika konkurencija uzrok je prihvatljivim cijenama za opremu. Od prvih dana Ethernet standarda, specifikacije i prava na tehnologiju bila su dostupna svakome. Ova otvorenost, kombinirana s jednostavnošću uporabe i robusnošću Ethernet sustava, rezultirali su velikim Ethernet tržištem i to je dodatni razlog zašto je ova tehnologija tako raširena u računalnoj industriji.

Razvoj Ethernet standarda

Ethernet je zamišljen i stvoren u Xerox Palo Alto Research Center u 70-im godinama ovog stoljeća. Osmislio ga je dr. Robert M. Metcalfe s ciljem da podrži rad "ureda budućnosti", a to je uključivalo i izradu jedne od prvih osobnih radnih stanica – Xerox Alto. Prvi Ethernet sustav radio je na otprilike 3 Mbps i bio je poznat kao "pokusni Ethernet".

Slika 2.1

Crtež koji je još davne 1976. godine napravio dr. Robert M. Metcalfe da bi predstavio novi način komunikacije računala na National Computer Conference održanoj u lipnju te godine. Na crtežu su originalni pojmovi upotrijebljeni za opis Etherneta. Od tada je ova terminologija prihvaćena u širokom krugu Ethernet entuzijasta.



(Izvor: The Ethernet Sourcebook, ed. Robyn E. Shotwell / New York: North-Holland, 1985, title page)

Formalne specifikacije za Ethernet objavljene su 80-ih godina od strane konzorcija DEC-Intel-Xerox – DIX). Ovaj pokušaj uključio je pokusni Ethernet u otvoreni, produktivni i kvalitetni sustav koji radi na brzini od 10 Mbps.

Ethernet tehnologija usvojena je za standardizaciju od strane komiteta za lokalne mreže pri Institutu elektrotehničkih i elektroničkih inženjera (Institute of Electrical and Electronics Engineer) i poznata je kao IEEE 802 standard.

Standard je prvi put objavljen 1985. s formalnim nazivom "IEEE 802.3 Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications", što bi otprilike značilo višestruki pristup provjerom nositelja signala s detekcijom sukoba.

U mediju za prijenos podataka (kabel, optičko vlakno ili elektromagnetski val kod bežičnog prijenosa) postoji signal – nositelj podataka. Sva računala spojena u mrežu imaju pristup istom signalu – nositelju, jer su povezana medijem kroz koji signal putuje, a samo jedno od njih u određenom trenutku može emitirati podatke.

Stoga svako računalo prije slanja podataka provjerava stanje nositelja i ako nema sukoba (nitko drugi ne šalje podatke) pošalje svoj paket informacija. Za vrijeme dok paket putuje do svog odredišta (ciljnog računala) nijedno drugo računalo ne može slati podatke jer bi došlo do sukoba. Kad paket stigne na svoje odredište, nositelj ponovno postaje slobodan i neko drugo računalo može poslati svoj paket s podacima.

Ovaj standard prihvaćen je i od strane Međunarodne organizacije za standardizaciju (International Organization for Standardization – ISO), što ga je učinilo svjetski prihvaćenim mrežnim standardom. Od 1985. standard je proširivan da bi podržao nove medije za prijenos podataka (npr. kabel s uvijenim paricama), kao i novi skup specifikacija koje podržavaju brži prijenos – 100 Mbps Fast Ethernet.

Elementi Ethernet sustava

Ethernet sustav sastoji se od tri osnovna elementa:

- ♦ fizičkog medija korištenog za prijenos signala između računala
- ♦ skupa pravila za kontrolu pristupa mediju ugrađenih u svako Ethernet sučelje, a koja dopuštaju skupini računala pravilnu raspodjelu pristupa dijeljenom Ethernet kanalu

- ♦ Ethernet paketa koji se sastoji od standardiziranog skupa bitova iskorištenih za prijenos podataka u Ethernet sustavu.

U sljedećim odjeljcima bit će opisana pravila za prvi element, segmente fizičkog medija, a u nastavku ćemo pogledati i objasniti drugi i treći element.

Princip rada Ethernet sustava

Svako računalo opremljeno Ethernetom, znano i pod imenom stanica, radi neovisno od svih drugih stanica u mreži: ne postoji centralni nadzornik sustava. Sve stanice priključene na Ethernet spojene su pomoću zajedničkog signalnog sustava koji nazivamo medij. Ethernet signali šalju se serijski, bit po bit, putem medija do svake priključene stanice. Da bi poslala podatke, svaka stanica najprije provjerava medij, a kad ustanovi da je medij slobodan, šalje svoje podatke u obliku Ethernet okvira ili paketa.

Nakon svakog slanja paketa, sve stanice u mreži ravnopravno se natječu za mogućnost slanja sljedećeg paketa. Time se osigurava pravilna raspodjela pristupa mediju, a nijedna stanica ne može zauzeti medij samo za sebe. Pristup mediju za slanje podataka određen je mehanizmom kontrole pristupa mediju (Medium Access Control – MAC) ugrađenom u svako Ethernet sučelje u svakoj stanici. Kontrola pristupa mediju temelji se na sustavu nazvanom Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD), odnosno višestruki pristup provjerom nositelja signala s detekcijom sukoba.

CSMA/CD protokol

Ovaj bismo protokol mogli zorno predočiti kao večeru u zatamnjenoj sobi. Svi koji sjede oko stola moraju šutjeti određeno vrijeme prije nego što počnu govoriti (provjera nositelja – Carrier Sense). Kad nastupi tišina, svi imaju jednake šanse da započnu govoriti (višestruki pristup – Multiple Access). Ako dvije osobe započnu govoriti u istom trenutku, obje će detektirati tu činjenicu i prestati govoriti (detekcija sukoba – Collision Detection).

U Ethernet terminologiji, svaka stanica mora čekati dok ne nestane signal na nositelju i tek tada smije započeti emitiranje. Kada neka od stanica emitira, u mediju postoji signal koji se naziva nositelj – *carrier*. Sve

ostale stanice moraju čekati da nestane signal prije nego pokušaju započeti emitiranje. Ovaj se proces naziva provjerom nositelja – *carrier sense*.

Sve su stanice jednake u pogledu mogućnosti slanja paketa u mreži. Nitko ne dobiva viši prioritet od drugih. Mogli bismo reći da vlada demokracija. Otud i značenje pojma višestrukog pristupa – *multiple access*. S obzirom da signalu treba konačno vrijeme da doputuje s jednog kraja Ethernet sustava na drugi, prvi bit emitiranog paketa neće stići istovremeno do svih stanica. Zbog toga je moguća situacija da dvije stanice provjerom ustanove da je medij slobodan i započnu istovremeno emitiranje. Kada se to dogodi, Ethernet sustav ima načina da utvrdi sukob i zaustavi slanje paketa i pripremi se za njegovo ponovno slanje. Ovakav se slučaj naziva detekcijom sukoba – *collision detect*.

CSMA/CD protokol napravljen je tako da omogući ravnopravno sudjelovanje u dijeljenju medija tako da svaki element sustava dobije priliku da koristi mrežu. Nakon svakog slanja paketa, sve stanice koriste CSMA/CD protokol da bi utvrdile koja stanica će sljedeća dobiti pravo za korištenje Ethernet medija.

Sukob

Kao što je ranije opisano, ako više od jedne stanice započne emitiranje u istom trenutku, nastupa sukob. Sve stanice se obavještavaju o tom događaju i trenutno odgađaju emitiranje koristeći specijalno razvijeni algoritam. Dio tog algoritma je da svaka od stanica uključenih u sukob izabire vremenski interval slučajno odabranog trajanja (dakle, svaka različito) za odgodu slanja paketa što sprečava stanice da blokiraju mrežu istovremenim pokušajima slanja.

Mnogi kažu kako je šteta da je u originalnom projektu Etherneta za ovu vrstu događaja izabrana riječ sukob. Da je kojim slučajem nazvana drugačije (npr. "događaj stohastičke arbitracije" – DSA), tada nitko ne bi brinuo zbog događaja DSA na Ethernetu. Ovako, "sukob" zvuči kao da se nešto loše dogodilo, upućujući mnoge na razmišljanje da su sukobi pokazatelj greške u mreži.

Činjenica je da je sukob sasvim normalna i očekivana pojava u mreži, a samo je dokaz da CSMA/CD protokol radi onako dobro kako je i zamišljen. Što je više računala (stanica) spojeno u mrežu i što je veći promet podataka mrežom, za očekivati je da će se pojaviti i više sukoba, kao dio normalnog rada mreže. Izvedba sustava osigurava da se sukobi rješavaju u mikrosekundama (milijuntim dijelovima sekunde). Normalni sukobi ne uzrokuju gubitak podataka.

Ponavljani sukobi za isti paket pokazuju da je mreža preopterećena. Algoritam za određivanje vremena odgode slanja paketa automatski se prilagođava opterećenju na mreži, a nakon 16 neuspjelih pokušaja slanja paketa, paket se odbacuje kao neposlan. Ovo se događa samo u vrlo teškim opterećenjima mreže ili ako u mreži dođe do prekida.

Slanje u najboljoj namjeri

Zanimljiva je činjenica da Ethernet sustav, zajedno s drugim LAN tehnologijama, radi kao sustav za isporuku podataka "u najboljoj namjeri". Da bi se smanjila složenost sustava i troškovi izrade, nema jamstava da su isporučeni točni podaci. Iako je sam sustav projektiran uz upotrebu bitova za provjeru greške, do greške u prijenosu ipak može doći.

Smetnja u obliku električnog šuma može, primjerice, negdje u kablskom sustavu uzrokovati promjenu podataka u paketu koji putuje medijem. Ako je mreža privremeno preopterećena može doći do 16 uzastopnih događanja sukoba, pri čemu se paket koji je namijenjen slanju odbacuje. Bez obzira na upotrijebljenu tehnologiju, nijedan mrežni računalni sustav nije idealan. Viši mrežni protokoli moraju biti projektirani tako da provjeravaju pogreške pri slanju i primanju paketa.

Viši mrežni protokoli provjeravaju točnost podataka uspostavljanjem pouzdanog prijenosa podataka korištenjem brojevnih sekvenci i mehanizmima provjere u paketima koji se šalju mrežom.

Ethernet paket i Ethernet adresa

Srce Ethernet sustava je Ethernet paket koji se koristi za slanje podataka između računala. Paket se sastoji od skupine bitova organiziranih u nekoliko polja. U ova polja spadaju adresno polje, polje podataka promjenjive duljine (od 46 do 1500 bajtova podataka) i polje za provjeru greške u kojem se provjerava integritet bitova u paketu da bi se utvrdilo je li paket stigao netaknut.

Prva dva polja u paketu sastoje se od 48-bitne adrese, nazvane izvorišnom i odredišnom adresom. Institute of Electrical and Electronics Engineer (IEEE) je organizacija koja nadzire dodjelu ovih adresa tako što određuje jedan njezin dio. IEEE to čini tako da dodjeljuje 24-bitnu oznaku nazvanu OUI (Organizationally Unique Identifiers) svakoj organizaciji odnosno tvrtci koja želi proizvoditi Ethernet opremu. Organizacije dalje stvaraju 48-bitnu adresu tako da dodijeljeni OUI koriste kao prva 24 bita adrese. Ova adresa poznata je kao fizička adresa, hardverska adresa ili MAC adresa Ethernet uređaja.

Gore opisana adresa jedinstvena je za svaki proizvedeni Ethernet uređaj i upisuje se u sam uređaj prilikom proizvodnje što znatno pojednostavljuje podešavanje i rad u mreži. S jedne strane, jednoznačno dodijeljene adrese poštedit će vas administracije adresa za različite grupe korisnika koje koriste mrežu. Ako ste ikad pokušali različite radne grupe privoljeti da dobrovoljno prihvate isti skup pravila za rad, shvatit ćete kakva je to prednost.

Kako se koji Ethernet paket šalje po mediju, sve Ethernet stanice gledaju u prvo 48-bitno polje paketa koje sadrži odredišnu ili ciljnu adresu paketa. Stanice uspoređuju ovu adresu s vlastitom adresom. Stanica s istom adresom koja je sadržana u odredišnoj adresi paketa pročitati će cijeli paket i isporučiti ga mrežnom softveru koji radi na tom računalu. Sve ostale stanice prestat će čitati paket kad otkriju da se njihova adresa razlikuje od odredišne adrese paketa.

Grupne i zajedničke adrese

Grupna adresa (*multicast*) dozvoljava da grupa stanica primi isti paket. Mrežni softver može postaviti Ethernet stanicu da očekuje posebnu vrstu grupne adrese. Na taj način moguće je podesiti grupu stanica kao posebnu grupu i dodijeliti joj zajedničku grupnu adresu. Jedan paket poslan na takvu grupnu adresu primit će sve stanice u toj grupi.

Specijalni slučaj grupe adrese je *broadcast* adresa, koja je 48-bitna adresa sastavljena od jedinica. Sve Ethernet stanice koje prime paket s ovakvom adresom pročitat će cijeli paket i isporučiti ga mrežnom softveru u računalu.

Viši mrežni protokoli i Ethernet adresa

Računala priključena na Ethernet mogu slati podatke za aplikacije jedno drugome koristeći više softverske protokole kao što je TCP/IP protokol koji se koristi u Internetu. Paketi viših protokola šalju se u podatkovnom polju Ethernet paketa. Sustav viših protokola i Ethernet sustav dva su neovisna entiteta koji kooperiraju prilikom razmjene podataka između računala.

Viši protokoli imaju svoj sustav adresiranja kao što je 32-bitna adresa korištena u trenutnoj inačici IP protokola. IP temeljeni mrežni softver više razine u nekom računalu brine samo o svojoj IP adresi i može čitati 48-bitnu Ethernet adresu svojeg mrežnog sučelja, te pritom ne zna koje su Ethernet adrese drugih mrežnih stanica.

Da bi sve to moglo raditi, mora postojati način da se otkrije Ethernet adresa druge IP-temeljene stanice u mreži. Za nekoliko viših mrežnih protokola, uključujući i TCP/IP, ovo se obavlja koristeći drugi viši protokol koji se zove Adress Resolution Protocol – protokol za određivanje adresa. Kao ilustraciju suradnje Etherneta i nekih od viših protokola, pogledajmo sljedeći primjer.

Princip rada ARP protokola

Rad ARP protokola je jednostavan. Pretpostavimo da IP-temeljena stanica (stanica "A") s IP adresom 192.0.2.1. želi poslati podatke putem Ethernet sustava drugoj IP-temeljenoj stanici (stanica "B") s IP adresom 192.0.2.2. Stanica "A" šalje paket s *broadcast* adresom koji sadrži ARP upit. ARP upit u osnovi pita: "Hoće li mi, molim, stanica u ovom Ethernet sustavu koja ima IP adresu 192.0.2.2., poslati adresu svog Ethernet sučelja?"

Budući da se ARP upiti šalju u *broadcast* paketu, sve stanice u tom Ethernet sustavu primit će taj paket i proslijediti ga višem protokolu. Samo stanica "B", s IP adresom 192.0.2.2 će odgovoriti, šaljući stanici koja je uputila zahtjev paket sa svojom Ethernet adresom. Sada stanica "A" ima Ethernet adresu stanice "B" i komunikacija na višem protokolu može početi.

Ethernet sustav može prenositi različite vrste podataka različitih viših mrežnih protokola. Jedan Ethernet sustav može prenositi podatke između računala u obliku TCP/IP protokola, kao i Novell ili AppleTalk protokola. Ethernet je jednostavno prijenosni mehanizam koji prenosi podatke između računala; nije ga briga što je u paketima.

Topologija signala i sustavsko vrijeme medija

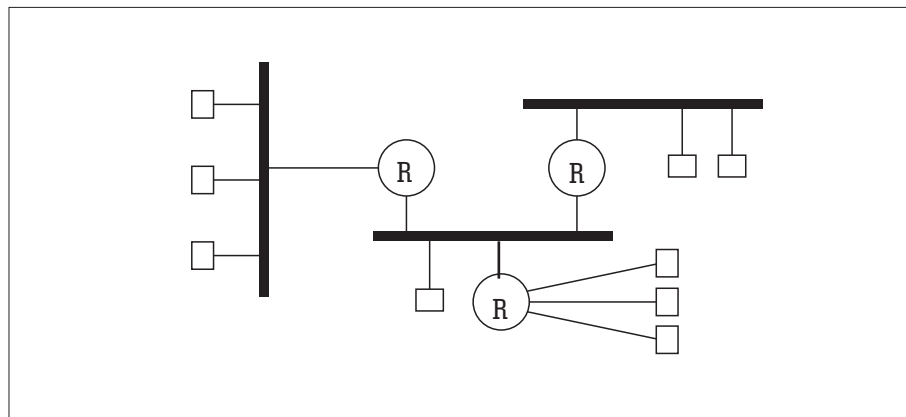
Da bismo razumjeli kako signali putuju u skupini segmenata koji čine Ethernet sustav, potrebno je razumjeti topologiju sustava. Topologija signala u Ethernet sustavu naziva se logičkom topologijom, za razliku od aktualnog fizičkog rasporeda kabela koji čine medij za prijenos signala. Logička topologija Ethernet sustava je jedan kanal (ili sabirnica) koji prenosi signal do svih stanica.

Višestruki Ethernet segmenti mogu biti povezani zajedno i tako činiti veću Ethernet lokalnu mrežu pomoću jednostavnog uređaja koji pojačava i vremenski usklađuje signale na segmentima koje povezuje. Takav uređaj nazivamo prespojnik – *repeater*. Korištenjem prespojnika Ethernet sustav sastavljen od više segmenata može rasti kao "granajuće stablo bez korijena" ("*non-rooted branching tree*"). To znači da svaki segment medija čini individualnu granu kompletnog signalnog sustava. Iako segmenti medija fizički mogu biti spojeni u obliku zvijezde, s više segmenata spojenih na jedan prespojnik, logička topologija još je uvijek jedan Ethernet kanal koji prenosi signal do svih stanica.

Kod medija koji podržavaju višestruko priključivanje (kao što je koaksijalni Ethernet), prespojnik se može postaviti bilo gdje na segmentu. Drugi tipovi segmenata, poznati kao vezni segmenti (*link segment*) mogu imati samo po jedan priključak na svakom kraju medija.

"Bez korijena" znači da rezultirajući sustav povezanih segmenata može rasti u bilo kojem pravcu i da nema specifičnog, korijenjskog segmenta. Najvažnija činjenica je da segmenti nikad ne smiju biti povezani u petlju. Svaki segment mora imati dva kraja, zato što Ethernet sustav ne funkcionira u zatvorenim petljama.

Slika 2.2
Topologija Ethernet
signala. ➔



Slika 2.2 prikazuje nekoliko segmenata medija povezanih s prespojnicima i spojenih na stanice. Signal poslan s bilo koje stanice putuje preko segmenta na kojem je ta stanica i ponavlja se na svim preostalim segmentima. Tako postaje dostupan svim stanicama u Ethernet sustavu.

Kao što je prikazano na slici, fizička topologija može biti u obliku linije ili sabirnice (*bus*) ili u obliku zvijezde (*star*). Tri segmenta povezana na jedan prespojnik fizički su spojeni topologijom u obliku zvijezde.

Bez obzira na koji način su fizički spojeni segmenti medija, oni uvijek logički čine jedan Ethernet kanal po kojem se šalju paketi svim stanicama u tom Ethernet sustavu.

Vrijeme kružnog putovanja signala

Da bi kontrola pristupa mediju radila ispravno, sva Ethernet sučelja moraju biti u mogućnosti odgovoriti na signale jednih drugima unutar određenog vremenskog perioda. Vremensko usklađivanje signala zasniva se na ukupnom vremenu koje je potrebno signalu da stigne s jednog kraja kompletnog sustava medija na drugi i natrag. Ovo vrijeme naziva se vrijeme kružnog putovanja (*round trip time*). Maksimalno vrijeme kružnog putovanja signala na Ethernet kanalu je strogo određeno da bi se osiguralo da do svake stanice mogu stići svi signali generirani u mreži.

Što su dulji segmenti mreže, to je veće ukupno vrijeme putovanja signala. Namjera pravila za projektiranje mrežnih sustava je da osigura zadržavanje vremena kružnog putovanja signala u za to predviđenim granicama. Ako se prekorače dozvoljene granice, računala povezana u mrežu

neće biti u mogućnosti primiti sve signale i dolazi do interferencije (međudjelovanja) signala.

Za svaku vrstu medija koja se koristi za prijenos Ethernet signala postoje strogo utvrđena pravila kojih se treba pridržavati prilikom izgradnje mrežnih sustava. Poseban skup pravila definira povezivanje segmenata različitih medija i višesegmentne mrežne sustave. Propisan je maksimalni broj segmenata i prespojnika za određeni Ethernet sustav, sve da bi se vremena kružnog putovanja signala održala u propisanim granicama.

Proširenje Ethernet sustava pomoću koncentratora

Ethernet tehnologija projektirana je da bude lako proširiva kako bi udovoljila svim mrežnim zahtjevima određene lokacije. Da bi olakšali proširenja sustava, proizvođači opreme razvili su uređaje s višestrukim Ethernet priključcima. Ovi uređaji poznati su kao koncentratori (*hub*), budući da oni predstavljaju koncentrirano mjesto gdje završavaju svi Ethernet segmenti.

Dvije su vrste koncentratora: prespojni (*repeater*) koncentrator i preklopni (*switch*) koncentrator. Kao što smo vidjeli, svaki priključak prespojnog koncentratora povezuje samostalne Ethernet segmente zajedno i time čini proširenu lokalnu računalnu mrežu koja djeluje kao jedan Ethernet kanal. Ukupni broj segmenata i prespojnika u sustavu mora zadovoljiti kriterije vremena kružnog putovanja signala. Druga vrsta koncentratora je preklopni koncentrator čiji rad se zasniva na premošćivanju priključaka o čemu će biti riječi kasnije.

Najvažnija činjenica koju treba zapamtiti u ovom trenutku jest da svaki priključak preklopnog koncentratora predstavlja spoj na Ethernet medij koji radi kao samostalni Ethernet sustav. Za razliku od prespojnog koncentratora, čiji priključci spajaju segmente u jedinstveni Ethernet sustav, preklopni koncentrator omogućuje podjelu grupe Ethernet medija na višestruke Ethernet sustave povezane zajedno pomoću elektronike za preklapanje paketa unutar samog uređaja. Vremena kružnog putovanja za svaki pojedini LAN završavaju na priključku preklopnog koncentratora.

Na ovaj način moguće je povezati veliki broj zasebnih lokalnih računalnih mreža u jedinstvenu cjelinu.

Sažetak

U ovom poglavlju susreli ste se s mnogo pojmova. Počevši time kako je otkriven Ethernet i kako je nastao Ethernet standard, objašnjeni su osnovni principi rada Etherneta, uključujući i mehanizam kontrole pristupa mediju. Opisana je detekcija sukoba i principi njihova otklanjanja, što je osnova normalnog funkcioniranja Etherneta.

Nadalje je objašnjen pojam Ethernet paketa i adrese koja je dodijeljena svakom Ethernet sučelju. Primjerom je opisan način na koji viši protokoli pomoću ARP protokola pronalaze adresu Ethernet sučelja.

Konačno je opisana topologija Ethernet sustava i objašnjeno je zašto Ethernet segmenti korišteni za izgradnju lokalne računalne mreže moraju poštivati ograničenje vremena kružnog putovanja signala. Pravila konfiguracije u IEEE 802.3 standardu definiraju kako kombinirati različite segmente pomoću prespojnika da bismo osigurali da kompletni sustav zadovoljava vremenska ograničenja za Ethernet mrežu. Spomenuto je također da više Ethernet mreža mogu biti povezane s paketnim preklopnicima – preklopnim koncentratorima.
