

# Računarske mreže i mrežne tehnologije

## 1. Ethernet - uvod

- IEEE telo je standardizovalo više tipova lokalnih i gradskih mreža, i to sve pod oznakom **IEEE 802**. Najpoznatije su 802.3 (Ethernet), 802.11 (bežična lokalna mreža), 802.16 (bežična gradska mreža), 802.15 (Bluetooth) itd.
- Mreže 802.3 i 802.11 razlikuju se isključivo u podsloju upravljanja pristupom zajedničkom medijumu (MAC podsloj), dok im je interfejs prema mrežnom sloju potpuno isti.
- **Ethernet** je najstariji tip lokalne mreže, ali se njegove podvarijante koriste i danas, a kako stvari stoje, zbog jednostavnog i jeftinog dizajna, korišće se i u budućnosti.

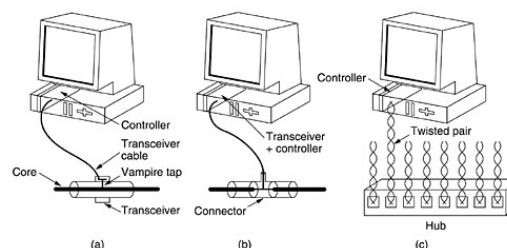
## 2. Kabliranje Etherneta

- Pošto se ime *Ethernet* odnosi na kabl (etar), razmatranje standardnog je dobro početi baš njime.
- Hronološki se prvi pojavio sistem kabliranja **10Base5**, ili tzv. **debeli Ethernet**. Kabl je obično bio žute boje, a veze sa kablom su se ostvarivale preko tzv. ubodnih račvi (*vampire taps*). Oznaka 10Base5 znači da kabl radi brzinom 10Mbps, a 5 je maksimalna dužina kabla u 100-metarskim jedinicama.
- Sledeći sistem je tzv. **10Base2 - tanki Ethernet**, s kablom koji se za razliku od prethodnog lako mogao savijati. Stanice se na njega umesto ubodnim račvama povezuju standardizovanim BNC konektorima koji formiraju T spojeve i daleko su pouzdaniji. Dužina je najviše 185m, a svaki kabl može da podrži samo do 30 računara. Druga teškoća je otežano lociranje prekida u kablju.
- Da bi se prevazišle teškoće vezane za lociranje prekida u kablju, napravljen je novi sistem ožičenja karakterističan za mrežu **10Base-T**. Naime, kablovi iz svih stanica vode u centralni razvodnik (*hub*).

Figure 4-13. The most common kinds of Ethernet cabling.

Name	Cable	Max. seg.	Nodes/seg.	Advantages
10Base5	Thick coax	500 m	100	Original cable; now obsolete
10Base2	Thin coax	185 m	30	No hub needed
10Base-T	Twisted pair	100 m	1024	Cheapest system
10Base-F	Fiber optics	2000 m	1024	Best between buildings

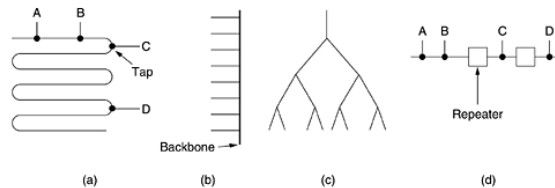
Figure 4-14. Three kinds of Ethernet cabling. (a) 10Base5. (b) 10Base2. (c) 10Base-T.



- Sistem 10Base-T je brzo preuzeo primat, zbog jednostavnosti i niske cene. Kod 10Base-T sistema moguće je koristiti dve vrste kabla: **upređenu paricu kategorije 3** (najveća dozvoljena dužina 100m) i **kategorije 5** (najveća dozvoljena dužina 200m) - UTP, *Unshielded Twisted Pair*.
- Četvrti sistem kabliranja Etherneta je **10Base-F**, zasnovan na optici. Ova varijanta je skupa, ali je izuzetno otporna na smetnje, a dužina kabla može biti i do 2000m.

- Da bi se ostvarile Ethernet mreže na većem lokalitetu, obavezna je upotreba **repetitora**. **Repetitor je uređaj koji radi u fizičkom sloju**, a njegov zadatak je pojačavanje (regeneracija) signala i ponovno slanje u oba smjera. Sa gledišta mrežnog softvera, niz segmenata povezanih repetitorima ne razlikuje se od jedinstvenog kabela.
- Na slici su prikazani razni načini ožičenja zgrade.

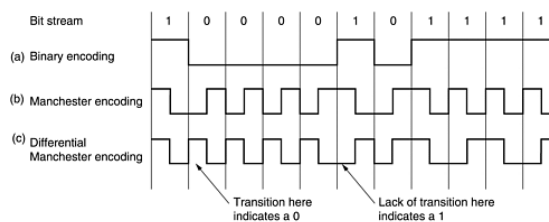
Figure 4-15. Cable topologies. (a) Linear. (b) Spine. (c) Tree. (d) Segmented.



### 3. Mančester kodiranje

- Ni u jednoj verziji Etherneta ne koristi se direktno binarno kodiranje (0V za bit 0, 5V za bit 1) jer to dovodi do zabune jer primalac ne može da razlikuje neaktivnost primaoca od bita 0. Recimo 00010000 se može tumačiti i kao 10000000 ili 01000000.
- Potreban je sistem koji će pouzdano utvrditi početak, kraj i sredinu bita **bez spoljnog sata**.
- **Mančester kodiranjem** se period svakog bita deli na dva jednaka intervala. Bit 1 se šalje tako što se tokom prvog intervala napon drži na visokom nivou, a tokom drugog na niskom. Bit 0 obrnuto - prvo nizak pa visok.
- Međutim, za Mančester kodiranje je potreban **duplo veći propusni opseg** jer za mrežu od 10Mbps signal treba da se menja 20 miliona puta u sekundi.
- Druga varijanta je **diferencijalno Mančester kodiranje**. U nejm je bit 1 naznačen nepostojanjem prelaza na početku intervala, a bit 0 prelazom na početku intervala. Za diferencijalno kodiranje potrebna je složenija oprema, ali je i manje podložna greškama.

Figure 4-16. (a) Binary encoding. (b) Manchester encoding. (c) Differential Manchester encoding.

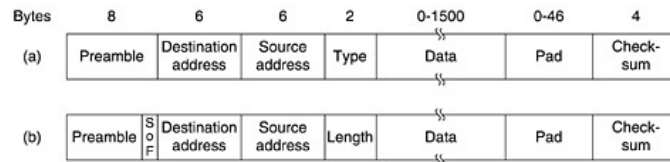


- Obično Mančester kodiranje se koristi u svim Ethernet mrežama. Viši napon signala iznosi 0.85V, a niži -0.85V (u odsustvu signala, napon je tačno 0V).

## 4. Protokol MAC podsloja za Ethernet

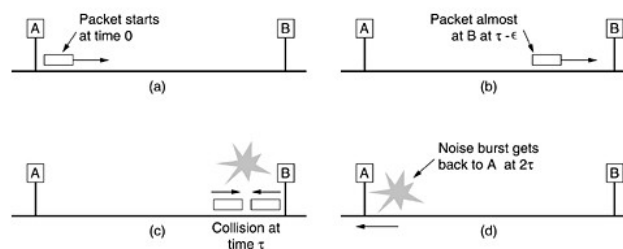
- Na slici je prikazana originalna struktura **DIX okvira** (DIX - DEC, Intel, Xerox). Svaki okvir počinje preambulom dužine 8 bitova (10101010). Kada se taj niz kodira tehnikom Manchester, dobija se tokom 6.4μs pravougaoni talas frekvencije 10MHz koji primaocu omogućava da se sinhronizuje.

Figure 4-17. Frame formats. (a) DIX Ethernet. (b) IEEE 802.3.



- Okvir sadrži adrese izvorišta i odredišta, koje su **6-bajtnje (48 bita)** - tzv. **MAC adrese**. Takođe su definisane vrednosti adresa za *multicasting* i *broadcasting*.
- Type** daje informaciju pošiljaocu šta da radi sa okvirom.
- Zatim sledi polje **Data**, dužine do 1500 bajtova. Osim što postoji maksimalna dužina okvira, postoji i minimalna dužina, a to je u Ethernet standardu **64 bajta**. Ako poruka nema tu dužinu, dopunjuje se do 64 bajta.
- Zašto postoji ograničenje za minimalnu dužinu okvira?** Odgovor je dat na slici. U trenutku 0, stanica A počinje da šalje okvir. Neka je vreme potrebno da okvir stigne do drugog kraja mreže  $\tau$ . Upravo pre nego što stigne okvir, u trenutku  $\tau - \epsilon$ , stanica B počinje da emituje, i odmah dolazi do kolizije. Stanica B tada generiše 48-bitni rafalni šum da bi upozorila druge stanice, pri čemu taj šum stiže do stanice A za približno  $2\tau$ .
- Ako stanica šalje veoma kratak okvir, može se desiti da će ukoliko dođe do sukoba, stanica završiti emitovanje pre nego što joj stigne obaveštenje o sukobu, pri čemu bi **stanica neispravno mogla da zaključi da je emitovanje uspelo**.

Figure 4-18. Collision detection can take as long as  $2\tau$ .



- Zato **vreme slanja svakog okvira mora biti veće od  $2\tau$** . Utvrđeno je da pri 10Mbps, na maksimalnih 2500m i sa najviše 4 repetitora, vreme obilaska iznosi 50μs, pa pošto pri 10Mbps jedan bit traje 100ns, dolazi se do minimalnog okvira od 500 bitova, tj. oko **64 bajta**.
- Sa porastom brzine mreže, minimalna dužina okvira mora da raste, ili da se maksimalna dužina kabla smanji.
- Konačno, u polje **Checksum** se smešta 32-bitna CRC kontrolna suma.

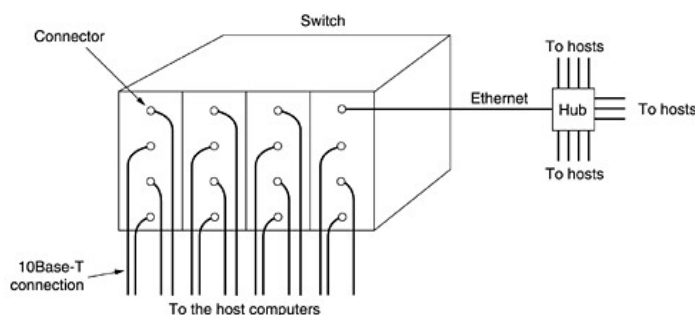
## 5. Algoritam binarnog eksponencijalnog odustajanja

- Slično protokolu  $p$ -trajni CSMA, kod Ethernet-a se, u slučaju kolizije pri slanju okvira bira određeni period čekanja pre ponovnog emitovanja.
- Vremenska jedinica je podešena na min. dužinu okvira od 64 bajta, odnosno 51.2 $\mu$ s.
- Naime, **posle prvog sukobljavanja**, svaka stanica propušta 0 ili 1 vremenski interval (verovatnoća 0.5) do ponovnog pokušaja emisije. Posle **drugog sukobljavanja** (ako do njega dođe), bira se između 0,1,2 ili 3 vremenska intervala (verovatnoća 0.25) pre ponovne emisije itd.
- **U opštem slučaju, posle  $i$  sukoba bira se slučajan broj iz intervala 0 do  $2^i-1$ .**
- Nakon 10 ponovljenih sukoba, algoritam se resetuje

## 6. Komutirani Ethernet

- Što je više stanica uključeno u Ethernet, saobraćaj postaje sve gušći. Jedan od načina prevazilaženja zastoja je povećanje brzine prenosa, recimo sa 10Mbps na 100Mbps. Međutim, ako se uzme u obzir tempo razvoja multimedije, to svakako nije dovoljno.
- Postoji drugi, elegantniji način borbe protiv povećanog saobraćaja, a to je primena tzv. **skretnice (switch)**. Ona na osnovnoj ploči obično ima 4 do 32 **linijske kartice**, od kojih svaka funkcioniše kao *hub* i ima jedan do 8 konektora. Svaki konektor povezuje jedan umreženi računar preko upredene parice i spoja 10Base-T.

Figure 4-20. A simple example of switched Ethernet.



- Kada stanica želi da pošalje Ethernet okvir, linijska kartica na koju je računar priključen proverava da li je poslani okvir namenjen računaru na istoj toj kartici. Ako jeste, okvir se kopira na njega. Ako nije, okvir se **preko brze osnovne ploče** (reda Gbps) šalje kartici na koju je određeni računar priključen.
- Svaka kartica poseduje svoj sopstveni **domen sukobljavanja**, nezavisno od ostalih kartica.
- Neke vrste kartica svakom ulaznom priključku dodeljuju poseban **bafer**, koji sukobljavanja može dosta da proradi.
- **Ukupan protok podataka često je i za red veličine veći od od protoka u sistemu 10Base-T sa jedinstvenim domenom sukobljavanja.**

## 7. Brzi Ethernet (IEEE802.3u, 100Mbps)

- Iako je 10Mbps u početku izgledalo kao ogromna cifra u odnosu na tada standardne linkove od 56kbps, ubrzo se pojavila potreba za još većim brzinama.
- Predložena industrijska rešenja **FDDI** (*Fiber Distributed Data Interface*) i *Fibre Channel* koristila su **optički prsten**, pa iako su i danas široko korišćeni za mrežne okosnice (*backbones*), nisu se probili do lokalne mreže, pre svega zbog visoke cene.
- Standard za tzv. **brzi Ethernet** (*fast Ethernet*) zvanično je usvojen 1995. godine pod oznakom **IEEE802.3u**. Potpuno je kompatibilan sa prethodnim standardom.
- Osnovna zamisao pri projektovanju brzog Etherneta bila je da se zadrže postojeći formati okvira, interfejsi i proceduralna pravila, ali **skratiti trajanje jednog bita sa 100ns na 10ns**.
- Glavni problem projekatanta bila je **odgovarajuća vrsta žice**.
- Upredena parica treće kategorije (UTP-3) ima nedostatak da ne može da prenese podatke brzinom 200 megaboda (100Mbps uz Manchester kodiranje) na daljinu od 100m. Nasuprot tome, UTP-5 može s lakoćom da prenese podatke i na mnogo veću udaljenost.
- Na kraju je odlučeno da se ostave sve 3 vrste kabla (UTP-3, UTP-5 i optički), s tim što je UTP-3 modifikovan da bi mogao da podrži 100Mbps.

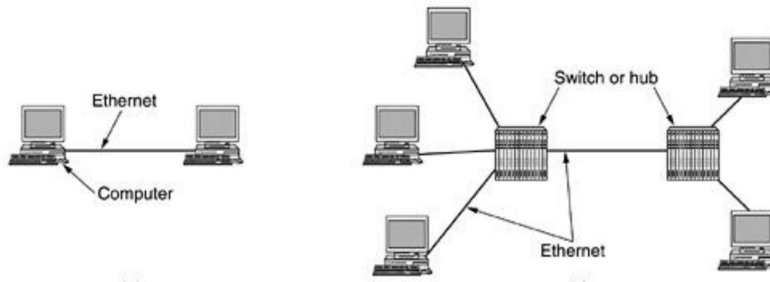
**Figure 4-21. The original fast Ethernet cabling.**

Name	Cable	Max. segment	Advantages
100Base-T4	Twisted pair	100 m	Uses category 3 UTP
100Base-TX	Twisted pair	100 m	Full duplex at 100 Mbps (Cat 5 UTP)
100Base-FX	Fiber optics	2000 m	Full duplex at 100 Mbps; long runs

- Sistem sa UTP-3, pod imenom **100Base-T4**, radi uz brzinu signala od 25MHz, tako da ovaj sistem može da ostvari 100Mbps samo uz 4 upredene parice, na sledeći način:  
Od 4 upredene parice, jedna uvek vodi ka razvodniku (*hub-u*), druga od njega, dok se preostale dve koriste po potrebi. Potreban propusni opseg se ostvaruje tako što se **ne koristi Manchester kodiranje** jer uz savremenu opremu to nije više potrebno. Osim toga, emituje se signal sa 3 naponska nivoa (0,1,2), tako da sa 3 kabla u jednom smeru to daje  $3^3=27$  simbola, što je dovoljno za 4 bita + višak.
- **Prenošenjem 4 bita pomenutom frekvencijom od 25MHz postiže se 100Mbps**. Osim toga, na četvrtoj parici je uvek povratni signal brzine 33.3Mbps.
- Sistemi **100Base-TX** i **100Base-FX** ne poseduju ograničenja propusnog opsega, pa omogućavaju full-duplex način rada.
- **100Base-TX radi pouzdano pri brzini sistemskog sata od 125MHz** i poseduje samo 2 parice po stanici - ka *hub-u* i od njega.
- Standard za IEEE802.3u dozvoljava da se stanice međusobno “dogovore” o uspostavljenoj brzini (10 ili 100Mbps), pa mreže mogu biti sastavljene od raznorodnih stanica.

## 9. Gigabitni Ethernet (IEEE802.3z, 1Gbps)

- Isti cilj kao i IEEE802.3u – povećati brzinu 10 puta, uz očuvanje kompatibilnosti
- Sve konfiguracije koriste veze od tačke do tačke, a ne deljeni kabl! **Svaki kabl spaja tačno dva uređaja!**



- Dva režima: **half-duplex** i **full-duplex**
- **Potpuni dupleks režim** je omogućen kada su računari povezani na *switch* (skretnica u udžbeniku Tanenbaum) pa uopšte nema sukobljavanja jer funkcioniše baferisanje ulaza
- **Poludupleksni režim** se koristi kada su računari povezani *hub*-om (razvodnik u udžbeniku). Sukobljavanje je moguće, pa se koristi standardni protokol CSMA/CD. Pošto se najmanji 64-bajtni okvir sada šalje 100 puta brže nego kod 10Mbit Ethernet-a, morala bi da se smanji najveća dozvoljena dužina okvira sa 2500m na svega 25m.
- **Proširenje nosioca podataka** je tehnika koja hardverski proširuje okvir do 512 bajtova (uemsto ranijih 64 bajta) i tako omogućava dužinu kabla do 200m
- Slabo iskorišćenje veze (u najgorem slučaju 46 korisnih bajtova od 512, svega 9%) rešava se tzv. **bujicom okvira (frame bursting)**, kada se pošiljaocu omogućava da odjednom prenese **ulančanu sekvencu više okvira**.
- Kabliranje gigabitnog Ethernet-a:

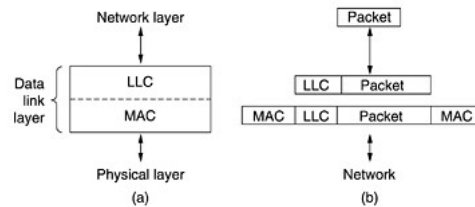
Name	Cable	Max. segment	Advantages
1000Base-SX	Fiber optics	550 m	Multimode fiber (50, 62.5 microns)
1000Base-LX	Fiber optics	5000 m	Single (10 $\mu$ ) or multimode (50, 62.5 $\mu$ )
1000Base-CX	2 Pairs of STP	25 m	Shielded twisted pair
1000Base-T	4 Pairs of UTP	100 m	Standard category 5 UTP

- Najpopularnija varijanta kabliranja je svakako 1000Base-T, koji koristi 4 parice UTP-5 tipa. Istovremeni prenos 4 simbola koji se kodiraju pomoću 5 naponskih nivoa (00, 01, 10, 11 i jedan dodatni za upravljanje). Dakle, ukupno 8 bita sa frekvencijom od 125MHz daje 1000Mbps.
- Danas postoji standard i za 10Gbps Ethernet IEEE802.3ae
- Takođe, za *High Performance Computing* sisteme koristi se Infiniband

## 8. IEEE802.2 Upravljanje logičkom vezom

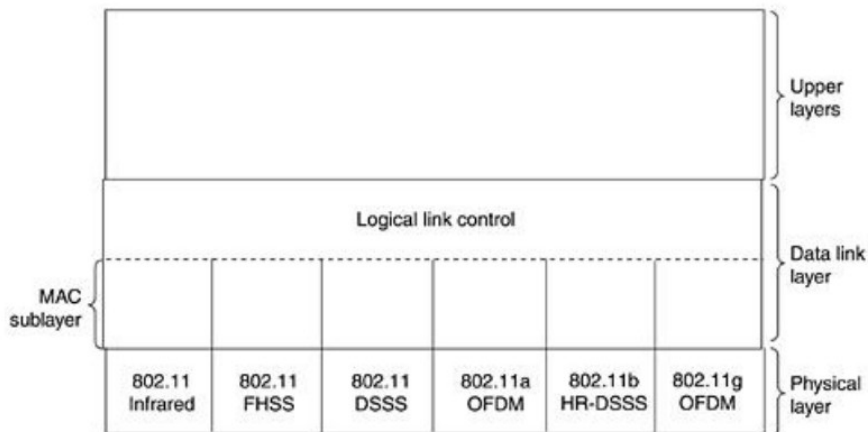
- **Ethernet sam po sebi ne omogućava tzv. pouzdanu komunikaciju.** Najviše što može da ponudi je usluga datagrama, što je ponekad sasvim dovoljno, npr. pri prenosu IP paketa. Kada se prenosi IP paket, garancija se niti traži, niti očekuje.
- Ipak, postoje sistemi kod kojih je poželjno imati protokol sloja veze koji ipravlja greške i upravlja tokom. IEEE je definisao takav protokol, smestivši ga iznad protokola za Ethernet i drugih protokola mreže 802. To je **protokol za upravljanje logičkom vezom** (*Logical Link Control - LLC*).

Figure 4-24. (a) Position of LLC. (b) Protocol formats.



- **Uloga LLC-a je da skriva razlike između raznih vrsta mreža 802 i postavi jedinstven interfejs prema mrežnom sloju.**
- LLC obezbeđuje tri vrste usluga:
  - nepouzdanu uslugu datagrama
  - uslugu datagrama s potvrdom prijema
  - pouzdanu uslugu uz uspostavljanje direktne veze

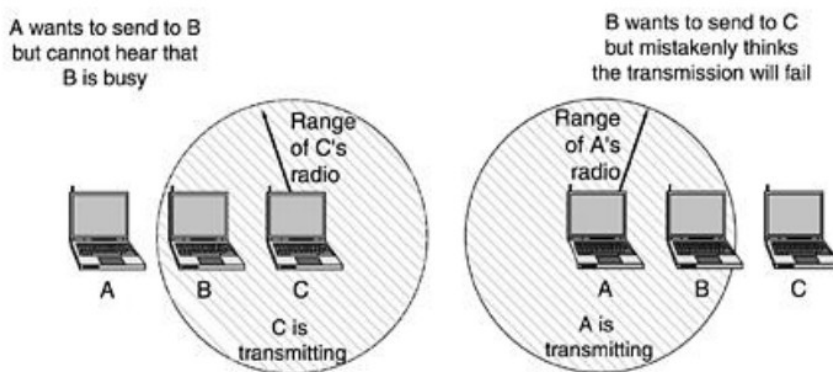
## 9. BEŽIČNE LOKALNE MREŽE



- FHSS – *Frequency Hopping Spread Spectrum*
- DSSS – *Direct Sequence Spread Spectrum*, slično CDMA kod mobilne telefonije
- OFDM – *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*, 52 kanala, slično kao ADSL, koristi se QPSK i ponekad QAM kada je prijem dobar

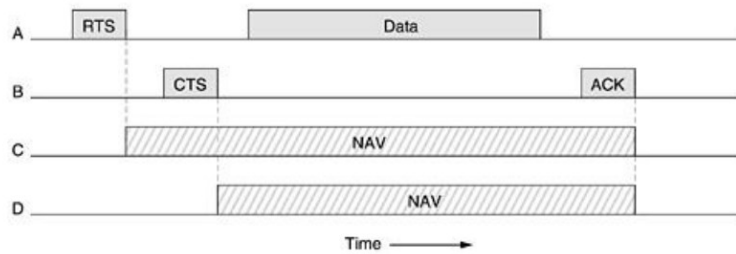
### 9.1 Protokol MAC podsloja mreže 802.11

- MAC podsloj za 802.11 i Ethernet su potpuno različiti
- Problem skrivene stanice i problem izložene stanice - ne može da se koristi standardni CSMA/CD pristup

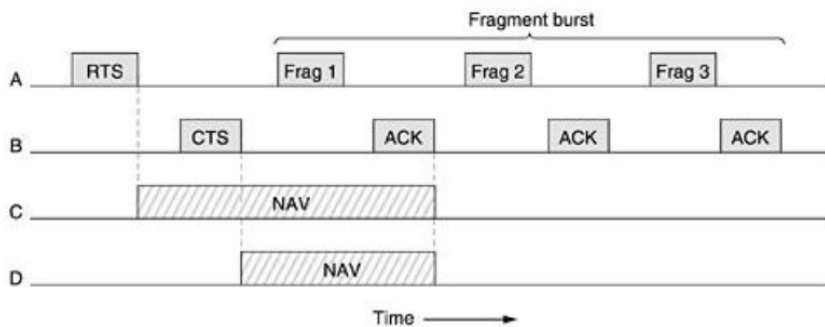


- **Distribuirana koordinativna funkcija (Distributed Coordination Function, DCF)** je režim u kome nema centralizovanog upravljanja, slično Ethernet-u
- **Jedinstvena koordinativna funkcija (Point Coordination Function, PCF)** je režim u kome bazna stanica upravlja svim događajima u svojoj ćeliji
- Kada se koristi **DCF režim**, može da se radi na dva načina:
  1. **CSMA/CA (CSMA with Collision Avoidance)** - Stanica osluškuje kanal i emituje ako nema saobraćaja. Ako okvir propadne, ponavlja se slanje koristeći algoritam binarnog eksponencijalnog odustajanja.
  2. **MACAW** - kao na slici. NAV je *Network Allocation Vector* koji predstavlja dogovor da se stanica na izvesno vreme (koje može da pročita iz RTS ili CTS okvira) utiša.

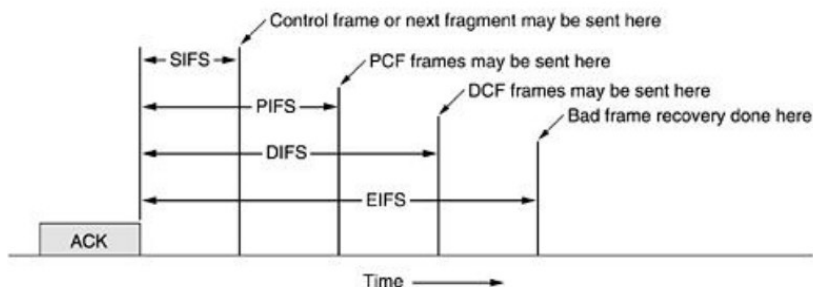




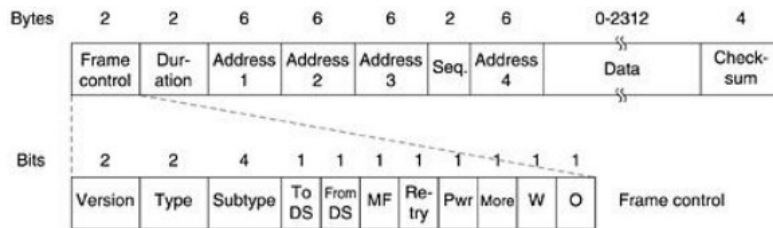
- **Bežične mreže su bučne i nepouzdanе**, pa je verovatnoća da se pojave greške daleko veća nego kod *Ethernet*-a. Recimo, ako je učestalost pojave greške po bitu  $p$ , verovatnoća da se uspešno pošalje ceo okvir od  $n$  bitova je  $(1-p)^n$ . Recimo, ako je  $p=10^{-4}$ , verovatnoća da se primi *Ethernet* okvir od 12144 bitova u ispravnom stanju je svega 30%!
- Način da se ovaj problem donekle reši je **fragmentacija okvira**, jer je tada, u slučaju greške, moguće ponavljati ne cele okvire, već samo fragmente. Dakle, posle RTS-CTS uspostavljanja veze šalje se **bujica framenata (fragment burst)**.



- Kod **PCF režima**, bazna stanica difuzno emituje tzv. *beacon frame* 10 ili 100 puta u sekundi. Taj okvir sadrži parametre kao što je redosled skakanja po frekvencijama, parametre za sinhronizaciju itd.
- Bazna stanica takođe ima mogućnost da “**uspava**” **pokretnu stanicu**, zbog štednje baterije.
- Režimi DCF i PCF mogu čak da funkcionišu zajedno, u istoj ćeliji! To se postiže tačnim definisanjem vremenog intervala između uzastopnih okvira. **xIFS (InterFrame Spacing)**



## 9.2 Struktura okvira u mrežama 802.11



- *Type* – podaci, kontrola ili upravljanje
- *Subtype* – recimo RTS ili CTS
- *To DS/From DS* – da li okvir ide ka ili od međučelijskog distributivnog sistema
- *MF* – da li ima još fragmenata
- *PWR* – napajanje
- *MF* – da li ima još okvira
- *W* – okvir šifrovan WEP algoritmom (*Wired Equivalent Privacy*)
- *R* – prijemnik mora da se drži redosleda okvira
- **Četiri adrese!** Dve predstavljaju ulaznu i izlaznu baznu stanicu.

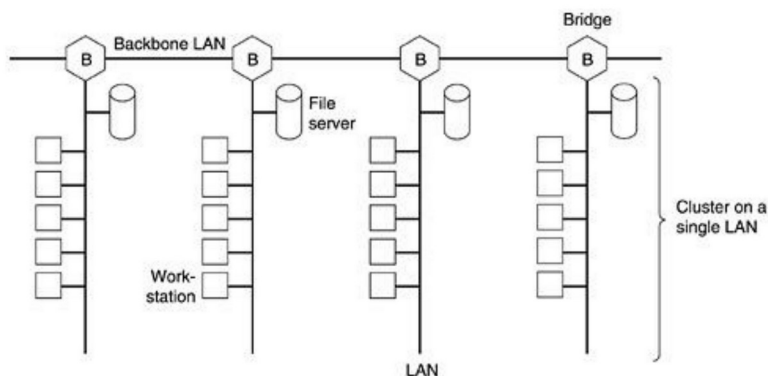
## 9.3 Usluge bežičnog LAN-a

- Distribucione usluge bazne stanice:
  1. Usluge povezivanja (*Association*) - kada pokretna stanica dolazi u domet bazne stanice
  2. Usluga razvezivanja (*Dissociation*) - vezu može da raskine ili bazna ili pokretna stanica
  3. Usluga ponovnog povezivanja (*Reassociation*) - kada se promeni podrazumevana bazna stanica
  4. Usluga distribuiranja (*Distribution*) - ako je određište u okviru iste ćelije, okvir se šalje bežično, a ako to nije slučaj kablom
  5. Usluga integrisanja (*Integration*) - kada se okvir šalje recimo 802.3 mrežom, format se mora prevesti
- Usluige aktivnosti unutar ćelije
  1. Usluga provere identiteta (*Authentication*) - pokretna stanica verifikuje identitet tako što vraća testni okvir baznoj stanici šifrovan odgovarajućom šifrom
  2. Brisanje identiteta (*Deauthentication*) - prilikom napuštanja ćelije
  3. Privatnost (*Privacy*) - Šifrovanje algoritmom RC4
  4. Isporuka podataka (*Data Delivery*) - ne garantuje isporuku, to se prepušta višim slojevima

## 10. KOMUTIRANJE U SLOJU VEZE

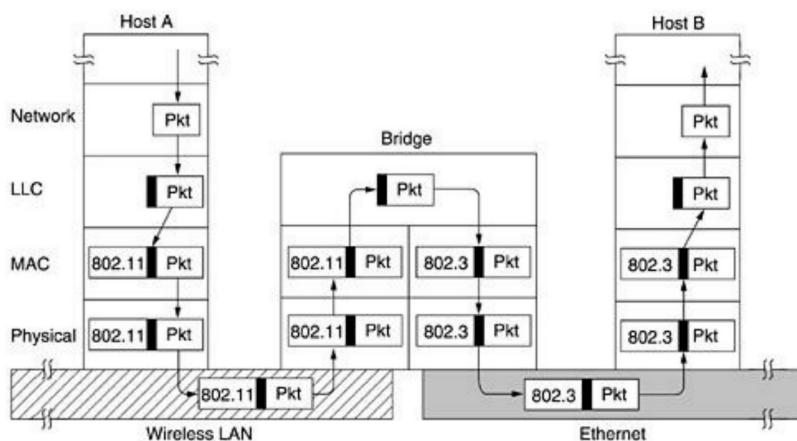
### 10.1 Most (Bridge)

- **Mrežni mostovi** omogućavaju povezivanje više lokalnih mreža i rade u sloju veze podataka, tj. ne bave se sadržajem paketa i adresama mrežnog sloja (npr. IP adresama)!
- **Ruteri (usmerivači)** pregledaju adrese u paketima (recimo IP) i prema njima prave putanje i više usmeravanje.
- Razlozi zbog kojih u jednoj organizaciji može biti više lokalnih mreža:
  1. Različite interne potrebe organizacionih jedinica
  2. Prostorna razućenost (npr. više zgrada)
  3. Prilagođavanje strukture mreže saobraćaju



4. Rastojanje među računarima preveliko (>2.5 km za Ethernet)
5. Pouzdanost rada
6. Mostovi doprinose opštoj bezbednosti podataka i saobraćaja

### 10.2 Mostovi između mreža 802.x i 802.y

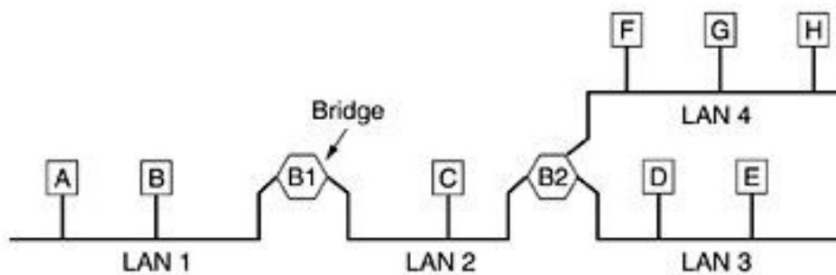


Na slici je prikazan most između mreža 802.3 i 802.11. Problemi koji se rešavaju mostovima su sledeći:

1. Svaka 802.x mreža koristi drugačiji format okvira. Recimo polje *Duration* iz 802.11 ne postoji u 802.3
2. Lokalne mreže obično ne rade istom brzinom

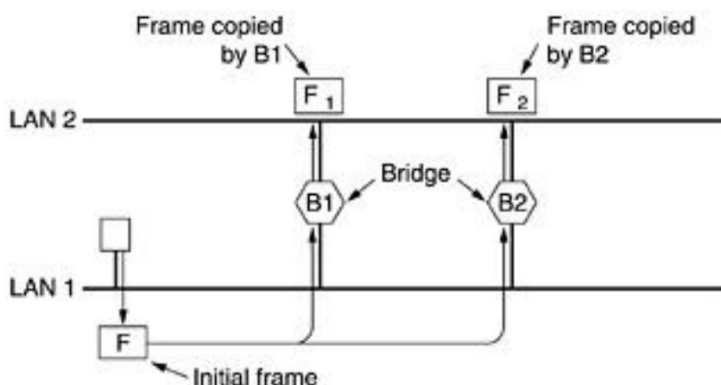
3. Kod različitih mreža je dozvoljena različita maksimalna dužina okvira. Treba naglasiti da u sloju veze nije dozvoljeno rasparčavanje okvira!
4. Sigurnost podataka je takođe problem. Recimo 802.11 i 802.16 imaju ugrađeno šifrovanje, dok ga 802.3 (Ethernet) nema
5. Koncept kvaliteta usluge. 802.11 i 802.16 ga poseduju, dok ga 802.3 nema.

### 10.3 Povezivanje lokalnih mreža



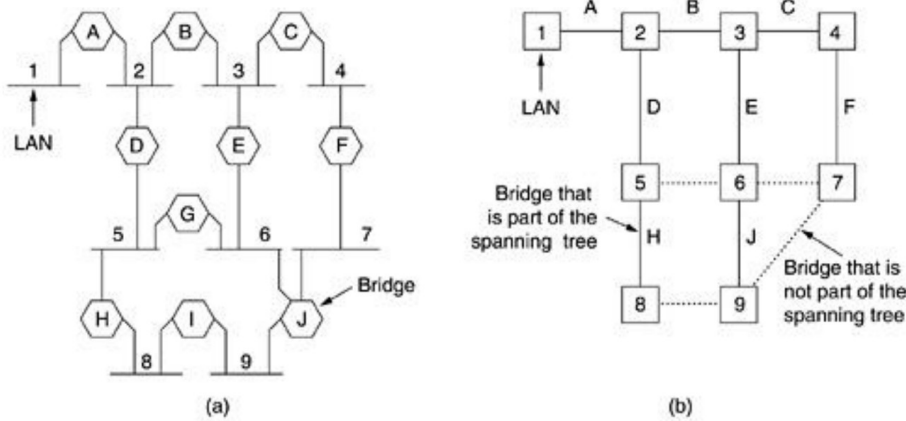
- Mostovi moraju da budu **potpuno nevidljivi** i hardveru i softveru!
- Most koristi svoju **tabelu ključeva** da bi doneo odluku da li da pristigli okvir odbaci ili prosledi
- Kada se most prvi put uključi, tabela ključeva je prazna. Primenjuje se **algoritam plavljenja**, kada se okvir šalje na sve mreže osim na onu sa koje je došao
- **Transparentni mostovi** primenjuju algoritam **backward learning** i vremenom nauče koji okvir ide na koju mrežu
- Odrednice tabele imaju svoje trajanje zbog **mreža promenljive topologije**
- Pravila:
  1. Ako su odredišna i izvorišna mreža identične, okvir se odbacuje
  2. Ako odredišna i izvorišna mreža nisu identične, okvir se prosleđuje
  3. Ako je odredišna adresa nepoznata, okvir se šalje svim mrežama

### 10.4 Mostovi u razgranatom stablu

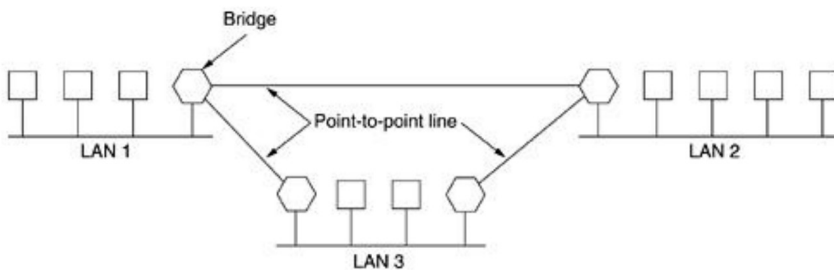


- Problem postojanja petlje dat je na slici. Okvir **F ima nepoznato odredište**. Rezultat je večno ciklično kopiranje okvira sa mreže na mrežu
- Rešenje problema je u međusobnoj komunikaciji mostova

- Ako se svaka mreža predstavi čvorom, a svaki most granom, moguće je konstruisati **razgranato stablo** (*spanning tree*). Autor algoritma je Radia Perلمان.
- Most sa najnižim serijskim brojem postaje koren stabla.



## 10.5 Daljinski mostovi



- Služe za povezivanje dve ili više udaljenih lokalnih mreža
- Međusobne veze su linije od tačke do tačke, recimo PPP

## 10.6 Virtual LAN (VLAN)

Virtual LAN (Local Area Network) je logička podmreža koja može grupisati skup uređaja sa različitih fizičkih LAN lokalnih mreža. Veće poslovne računarske mreže često postavljaju VLAN-ove kako bi ponovo podelile svoju mrežu radi boljeg upravljanja saobraćajem.

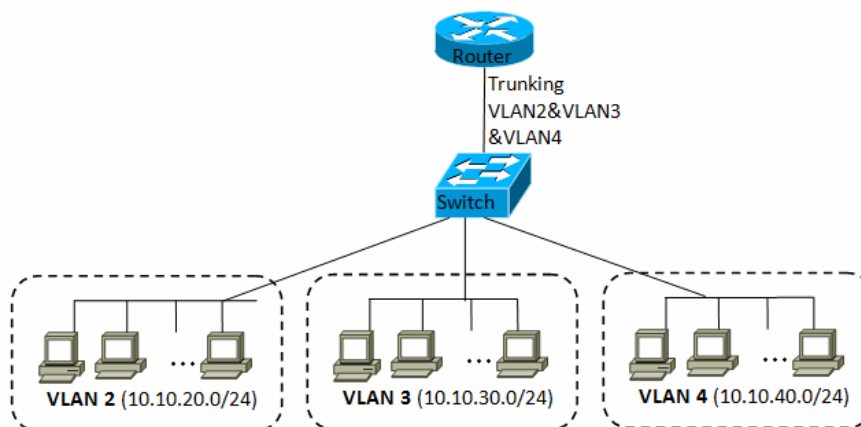


Figure 12.5. 802.1Q trunk between the router and the switch

Nekoliko različitih vrsta fizičkih mreža podržava virtuelne LAN mreže, uključujući i Ethernet i Wi-Fi .

## Prednosti VLAN-a

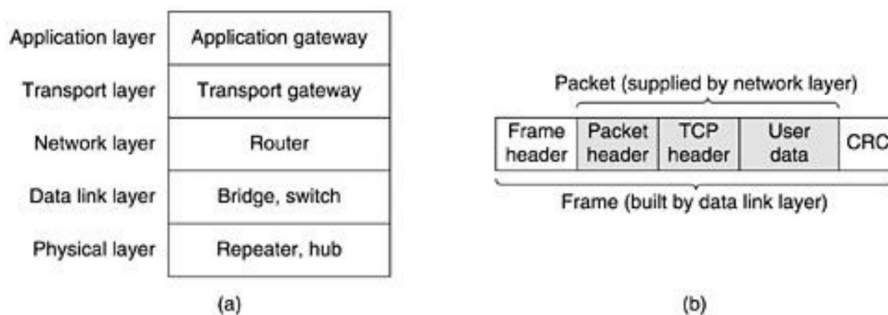
Kada se ispravno podese, virtualni LAN-ovi mogu poboljšati ukupne performanse zauzetih mreža. VLAN-ovi su namijenjeni grupisanju klijentskih uređaja koji najčešće komuniciraju jedni sa drugima. Saobraćaj između uređaja podjeljen u dve ili više fizičkih mreža obično treba rukovoditi mrežnim ruterima, ali sa VLAN-om se saobraćaj može efikasnije rukovoditi mrežnim switch-evima.

## Statički i dinamički VLAN-ovi

Mrežni administratori često pozivaju na statičke VLAN-ove kao *VLAN-ove zasnovane na portovima*. Statički VLAN zahteva od administratora da dodeli pojedinačne portove sa mrežnog switch-a na određenu virtuelnu mrežu. Bez obzira koji je uređaj na tom portu, postaje član iste unapred dodeljene virtuelne mreže.

Dinamički VLAN dodeljuje članstvo na osnovu nekih karakteristika uređaja (MAC adresa isl.)

## 10.7 Repetitori, hub-ovi, mostovi, switch-evi, ruteri, mrežni prolazi



- Glavna razlika između *switch*-eva i mostova je u tome što se na switch obično priključuju pojedinačni računari, dok se na most povezuju čitave mreže.
- Savremeni *switch*-evi počinju da prosleđuju okvir čim iz njegovog zaglavlja izvuku adresu (prolazne skretnice, eng. *cut-through switch*)
- Transportni prolaz recimo prevodi TCP/IP u ATM
- Mrežni prolaz na nivou aplikacije prevodi npr. e-mail poruke u SMS poruke