

L2 tehnologije

Milan Bjelica

2018.

Outline

- ▶ PPP
- ▶ DOCSIS
- ▶ Ethernet
- ▶ EEE
- ▶ GEAPON
- ▶ komutatori
- ▶ VLAN
- ▶ MPLS
- ▶ data centri
- ▶ WLAN, WPAN
- ▶ WNoC

IETF RFC 1547

Requirements for an Internet Standard Point-to-Point Protocol

December 1993

PPP, RFC 1547

Jednostavnost:

pošto je na DLL, ne sme biti složeniji od IP

nema potrebe za ispravljanjem greške, kontrolom toka, ni označavanjem sekvence

→ veća je verovatnoća da će različite implementacije biti interoperabilne

PPP, RFC 1547

Transparentnost:

ne smeju se postavljati ograničenja pred podatke koji se prenose

podaci se moraju preneti neizmenjeni

→ bit stuffing, <ESC>

PPP, RFC 1547

Uokviravanje (razgraničavanje):

prijemnik mora biti u stanju da odredi početak i kraj okvira;
unutar njega, svakog bajta, a u njemu, svakog
pojedinačnog bita

PPP, RFC 1547

efikasno korišćenje kapaciteta linka → mali *overhead*

efikasna obrada → jednostavan format okvira

MUX protokola viših slojeva → 16 b u zaglavlju

detekcija (ne i korekcija) greške → CRC, *checksum* ili sl.

PPP, format okvira



FLAG – 0111 1110

ADR – 1111 1111

CF – 0000 0011

PPPoE

PPP over Ethernet

protokol za enkapsuliranje PPP okvira u Ethernet okvire
primena u DSL – omogućava p2p između DSLAM i
kućnog „modema”

Data-Over-Cable Service Interface Specifications

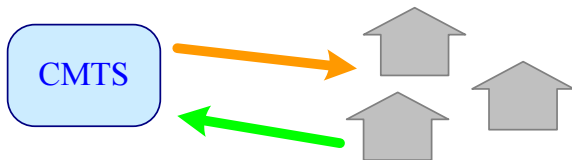
standard za tzv. kablovski internet – pristup internetu preko infrastrukture CATV

aktuelna je verzija 3.1 (oktobar 2013.) – kompatibilnost naniže

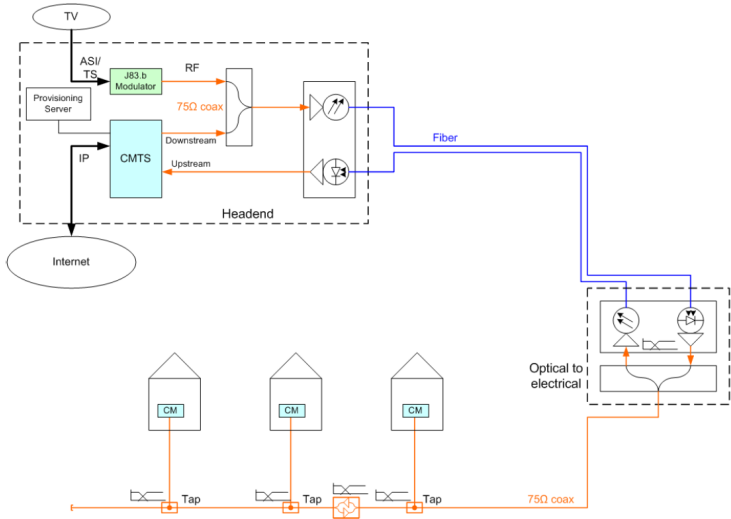
DOCSIS, mreža

topologija je razgranato stablo

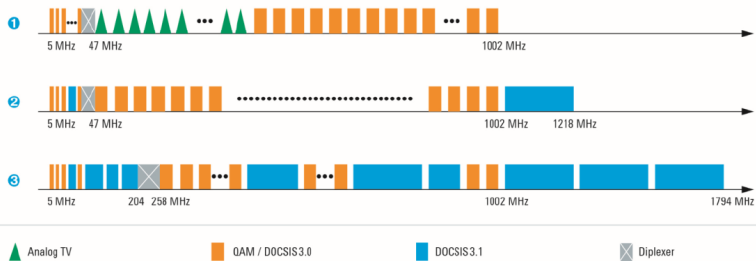
HFC (*Hybrid Fiber-Coax*)



DOCSIS, HFC



DOCSIS, raspored kanala



1: DOCSIS 3.0

2: DOCSIS 3.1, inicijalna faza

3. DOCSIS 3.1, finalna faza

Izvor: Rohde & Schwarz

DOCSIS, stari uplink

TDMA: svaki kanal podeljen je u vremenske slotove, a oni dalje u minislotove

dve grupe minislotova: zahtevi za slanje i pojedinačni tokovi saobraćaja

zahtevi za slanje šalju se po principu slučajnog pristupa – može doći do sudara

odgovor ide po downlinku, posle njega sledi slanje u dodeljenom minislotu

sudar se detektuje tako što izostane odgovor; posle njega se pokreće binary exponential backoff i pokušava ponovo

DOCSIS, da rezimiramo

TDMA + FDMA / CDMA

slučajni pristup

arbitraža

Najnovije: OFDM(A)

Ethernet

najznačajnija L2 tehnologija

IEEE Std. 802.3

razlozi za uspeh:

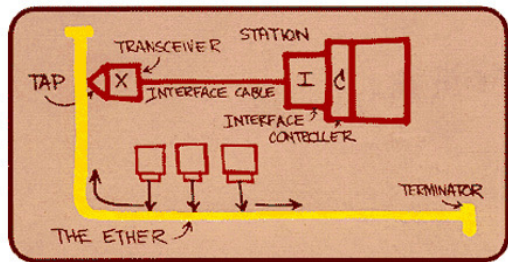
protok

cena

jednostavnost

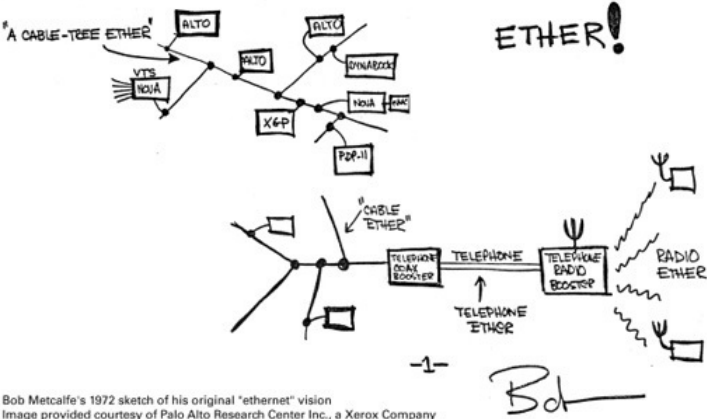


Ethernet, početak



Robert Metcalfe, početak sedamdesetih godina XX veka

Ethernet, vizija

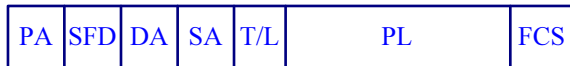


Bob Metcalfe's 1972 sketch of his original "ethernet" vision
Image provided courtesy of Palo Alto Research Center Inc., a Xerox Company

Ethernet, format okvira



Ethernet, struktura okvira



Preambula – 7×10101010

Start of Frame Delimiter – 10101011

DA, SA – MAC adresa / LAN adresa / fizička adresa
6 B, hex zapis, npr. **E6-E9-00-17-BB-4B**

FF-FF-FF-FF-FF-FF rezervisana za širokodifuziju

Type – 2 B, MUX za NL

Ethernet, struktura okvira



PL / Data – min 46, max 1500 B
ako je kraće od 46 B – *padding*

FCS – CRC, 4 B

IFG – 12 B, između dvaju okvira

Ethernet, FCS

generatorski polinom je CRC-32 (0x82608EDB)

$$x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$$

ireducibilan, ali ne i primitivan nad GF(2)

HD = 4 → može detektovati do tri greške u okviru maksimalne dužine

ostatak pri deljenju se invertuje i prenosi kao FCS

Ethernet, parametri

CSMA/CD

Binary Exponential Backoff

n sukcesivnih sudara:

uzima se $K \in \{0, 1, 2, \dots, 2^n - 1\}$, $n \leq 10$

čeka se $K \cdot 512 T_b$

Ethernet, parametri

servis bez uspostave veze (CL) – nema „rukovanja”

nepouzdan servis – nema garancija da će se okvir isporučiti

→ ukoliko je provera CRC negativna, okvir se odbacuje, bez obaveštavanja pošiljaoca i primaoca

zbog ovoga je jednostavan i jeftin

standard IEEE 802.3 obuhvata specifikaciju Phy-L i DLL

Ethernet, varijante

oznaka	sredina	topologija
10BASE5	coax, 50 Ω	bus
10BASE2	coax, 50 Ω	
10BASE-T	UTP Cat3	star
100BASE-TX	UTP Cat5	
100BASE-T4	UTP Cat3	
1000BASE-T	UTP Cat5e	
10GBASE-T	UTP Cat5e	
⋮	⋮	
100GBASE-ER4	SMF	

Ethernet, 100BASE-TX

linijski kod MLT-3

0: ostaje tekuća vrednost napona

1: $\pm U \rightarrow 0$

$0 \rightarrow \pm U$ (AMI)

Ethernet nekad i sad

bus

switched star

CSMA/CD :

nema potrebe za MAC

sudari

nema sudara

ostao je isti format okvira

Energetski efikasan Ethernet

ICT su **veliki** potrošač električne energije

Ethernet linkovi pojedinačno ne troše mnogo, ali ih ima mnogo

IEEE 802.3az

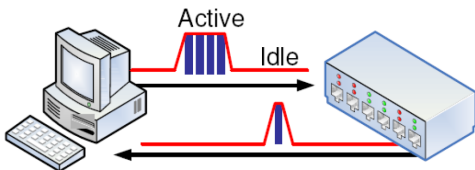


Izvor: ieee.org

EEE, ideja

uvodi se neaktivno stanje (*Low Power Idle*) u kome se isključuju nepotrebni elektronski sklopovi

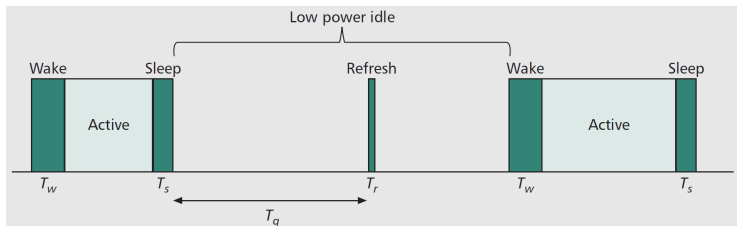
u LPI se ulazi kada Tx nema okvira za slanje



Izvor: Mike Bennett, IEEE

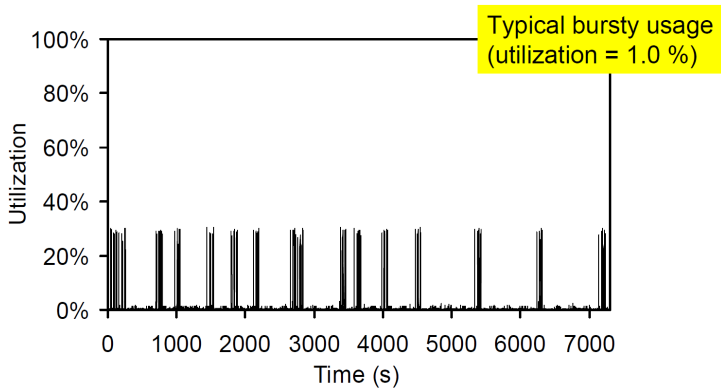
→ time se smanjuje potrošnja energije

EEE, tajming



Izvor: Ken Christensen, "IEEE 802.3az: The Road to Energy Efficient Ethernet", *IEEE Communications*

EEE, izvodljivost



Izvor: Hugh Barras *et al.*, IEEE

GEPON

Gigabit Ethernet pasivne optičke mreže

protok do 10 Gb/s u oba smera

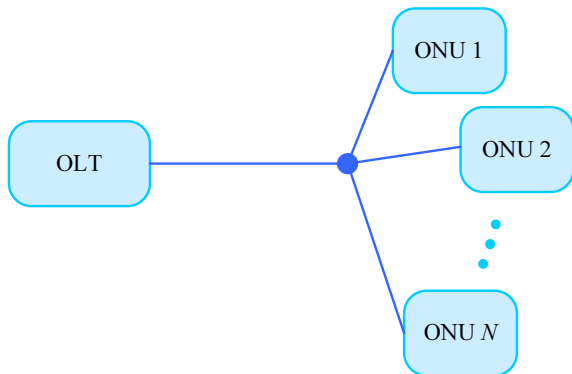
Ethernet okviri

pasivna infrastruktura

} ⇒ +100

standard IEEE 802.3av

GEAPON, topologija

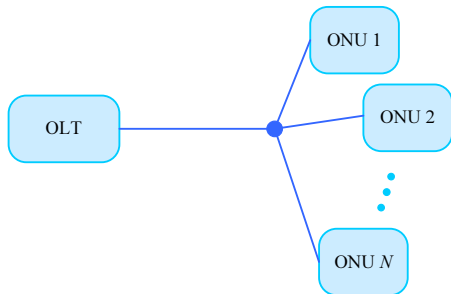


OLT – opt. linijski terminal

ONU – opt. mrežna jedinica

+ pasivni sabirač/razdelnik snage, „feeder” i „drop” kablovi

GEAPON, prenos



DL i UL su razdvojeni po principu WDM

ONU se uzajamno ne „vide“

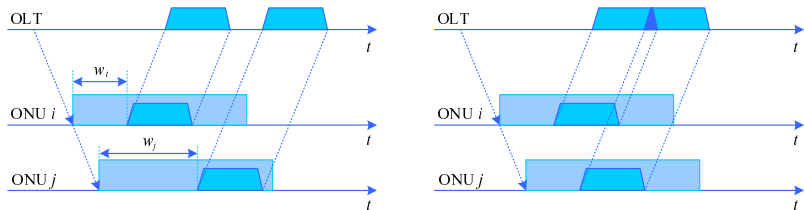
DL: jedan Tx, adresiranje za Rx

UL: više Tx koji se nadmeću za pristup kanalu

GEAPON, registracija ONU

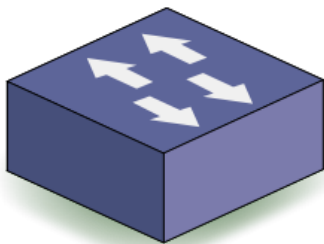
- ▶ OLT periodično otvara prozor pronalaženja (**GATE**)
- ▶ ONU čekaju slučajno vreme, te šalju **REGISTER_REQ**
- ▶ OLT potvrđuje registraciju slanjem **REGISTER**
- ▶ OLT šalje **GATE** s podatkom o dodeljenom vremenskom slotu za pristup UL
- ▶ ONU potvrđuje prijem slanjem **REGISTER_ACK**

GEPON, uspešna i neuspešna registracija



neuspeh akko je $|(t_i + w_i) - (t_j + w_j)| \leq T$

Komutatori



prosleđuju saobraćaj s dolaznih linkova na odgovarajuće odlazne

transparentni za hostove i rutere

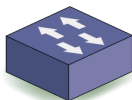
Komutatori, funkcije

filtriranje: treba li okvir proslediti na neki interfejs, ili ga odbaciti

prosleđivanje: na koji interfejs treba propustiti okvir

nema sudara

Tabela komutiranja

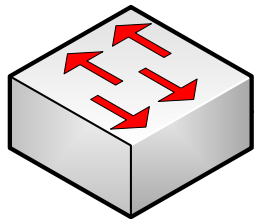


Adresa	Interfejs	Vreme
62-FE-F7-11-89-A3	1	9:32
7C-BA-2B-B4-91-10	3	9:36
⋮		

popunjava se automatski, dinamički i autonomno
(*self-learning*)

plug and play

Komutatori, self-learning



IF3

DA: ...

SA: 7C-BA-2B-B4-91-10

Komutatori, funkcionisanje

- (1) Nema unosa sa željenom DA: okvir se prosleđuje na sve IF, osim na onaj s kog je došao
- (2) Postoji unos, ali ukazuje na dolazni IF: okvir dolazi iz segmenta LAN u kome je njegovo odredište, pa se filtrira (odbacuje)
- (3) Postoji unos različit od dolaznog IF: okvir se prosleđuje ka odredištu

Komutatori, nije sve tako idealno

Switch Poisoning – napad na L2

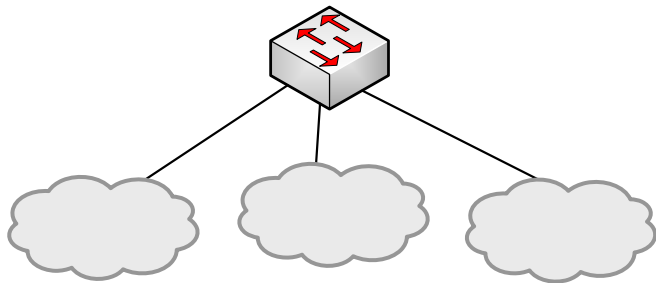
napadač generiše ogroman broj okvira s lažnim SA
tabela se popunjava ovim unosima, a brišu se legitimne
adrese

okviri koji potiču od legitimnih korisnika sada potpadaju
pod pravilo (1) i prosleđuju se svima, pa i napadaču

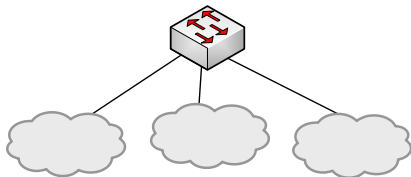
Vitruelne lokalne mreže (VLANs)

motivacija:

u mnogim institucijama, lokalne mreže se organizuju hijerarhijski – svako odeljenje ima svoju mrežu, koja je s mrežama drugih odeljenja povezana preko nadređenog komutatora



VLAN, motivacija

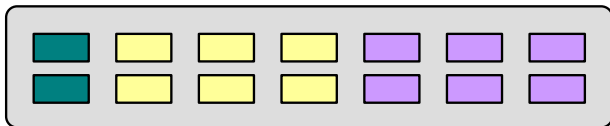


mane: nemogućnost izolovanja saobraćaja,
neefikasno korišćenje komutatora,
vezanost korisnika za fizičku infrastrukturu

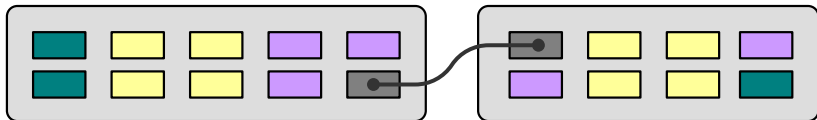
VLAN, port-based

na konfigurabilnim komutatorima mogu se definisati različite *virtuelne* lokalne mreže po zajedničkoj *fizičkoj* infrastrukturi

administrator mreže dodeljuje interfejse komutatora pojedinim VLAN



VLAN trunking



VLAN, IEEE 802.1Q



Tag Protocol Identifier (2 B) = $0x8100$

Tag Control Information (2 B): VLAN ID (12 b)

Priority (3 b)

Multiprotocol Label Switching

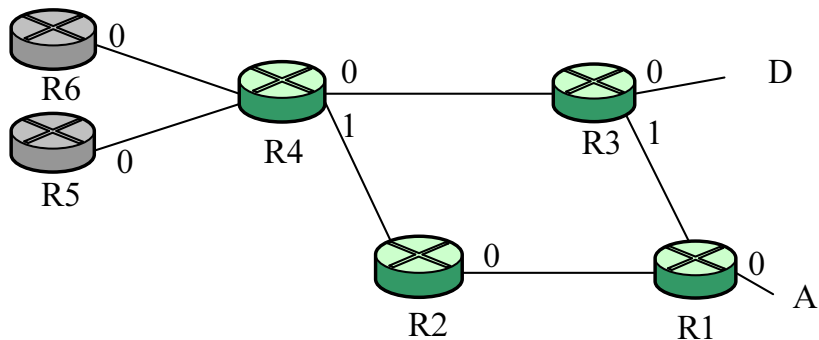
rutiranje (L3) se isključivo zasniva na adresi odredišta
obrada zaglavlja IP paketa u ruterima je zahtevna

cilj: unaprediti brzinu rada rutera uvođenjem labele fiksne dužine (kao u VC)

MPLS, format okvira



MPLS, primer



Traffic Engineering

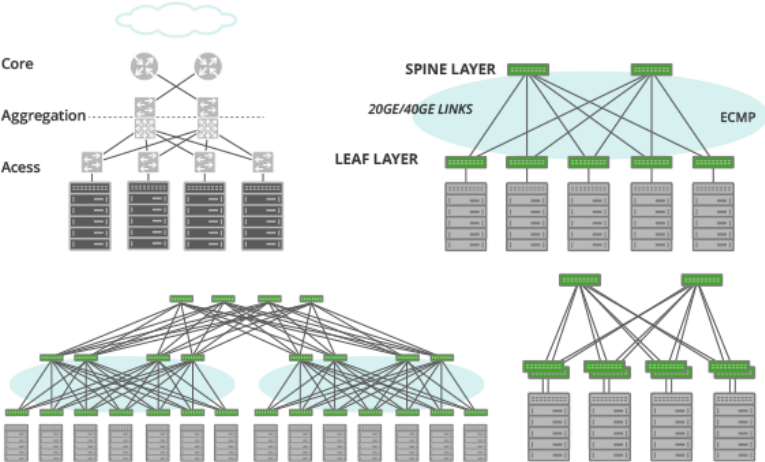
VPNs

Data centri



Izvor: MIT Technology Review

Data Center Networking

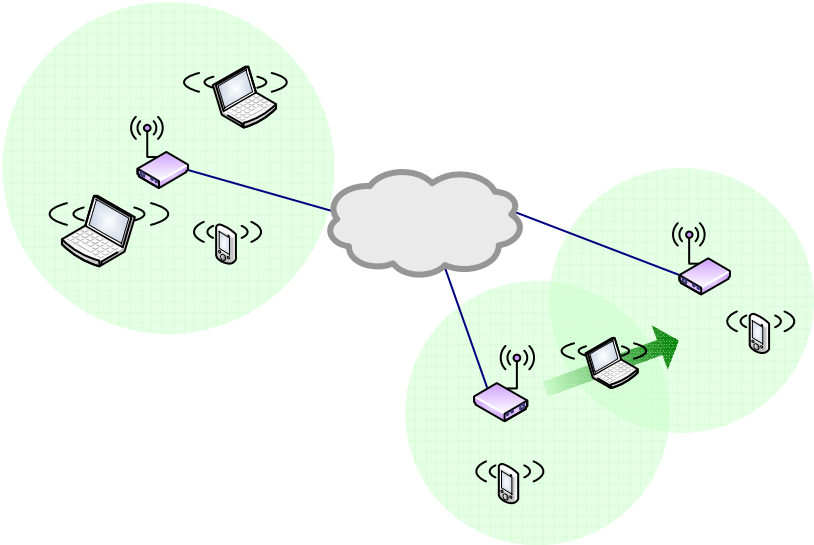


Izvor: Cumulus Networks

Data centri, tendencije umrežavanja

- ▶ potpuno povezane topologije, umesto hijerarhijskih
- ▶ modularna realizacija (kontejneri)
- ▶ rutiranje
- ▶ optička komutacija

Elementi WLAN



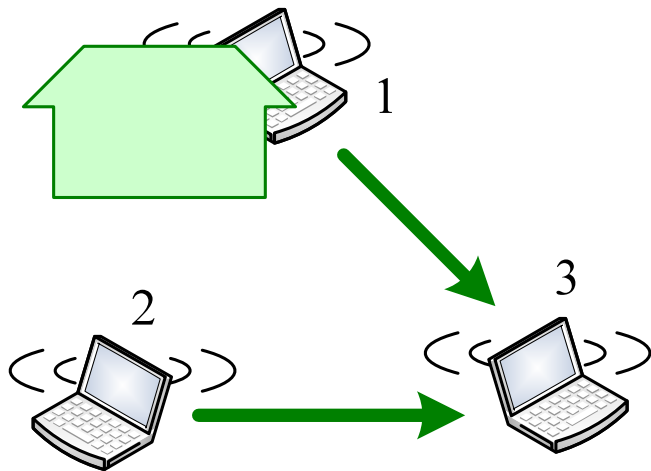
Klasifikacija WLAN

- ▶ *single-hop*, s infrastrukturom
- ▶ *single-hop*, *ad hoc*
- ▶ *multi-hop*, s infrastrukturom
- ▶ *multi-hop*, *ad hoc*

Podsećanje na karakteristike radio kanala

- ▶ slabljenje pri prostiranju
- ▶ interferencija
- ▶ prostiranje po više putanja

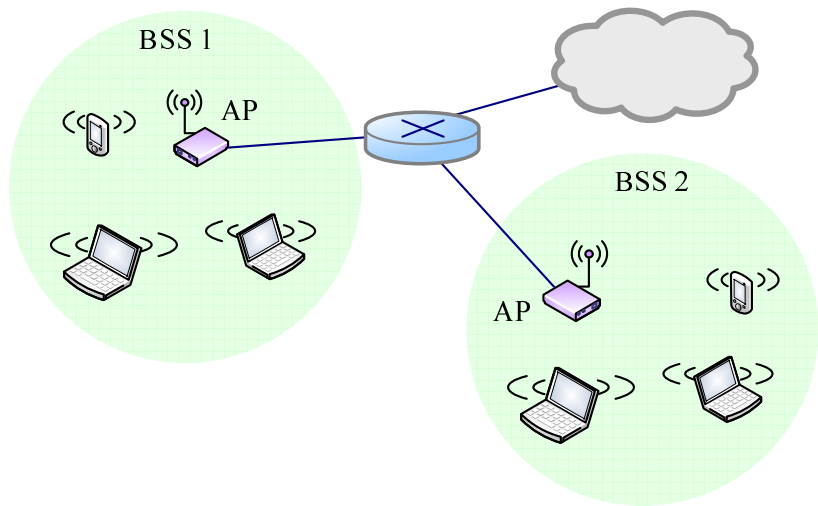
Skriveni terminal



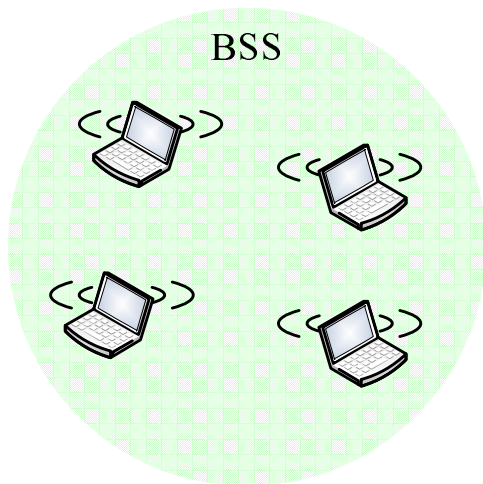
WiFi: IEEE Std. 802.11

Standard	Frekvencijski opseg	Protok
802.11a	5,1-5,8 GHz	do 54 Mb/s
802.11b	2,4-2,485 GHz	do 11 Mb/s
802.11g	2,4 GHz	do 54 Mb/s
802.11n	2,4 GHz ili 5 GHz	do 135 Mb/s
802.11ac	5 GHz	do 780 Mb/s

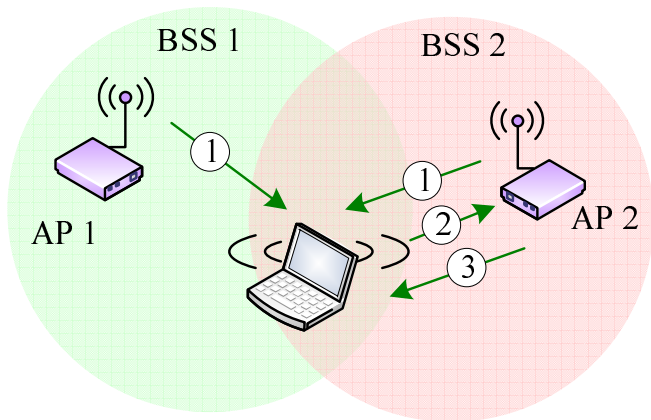
Arhitektura IEEE 802.11 LAN



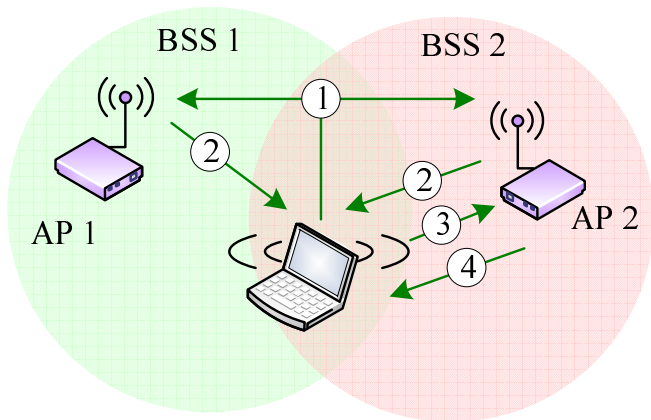
IEEE 802.11 ad hoc mreža



IEEE 802.11 pasivno skeniranje



IEEE 802.11 aktivno skeniranje



IEEE 802.11 MAC protokol

CSMA/CA – CSMA w. collision avoidance

nema detekcije sudara – oprema je jeftinija

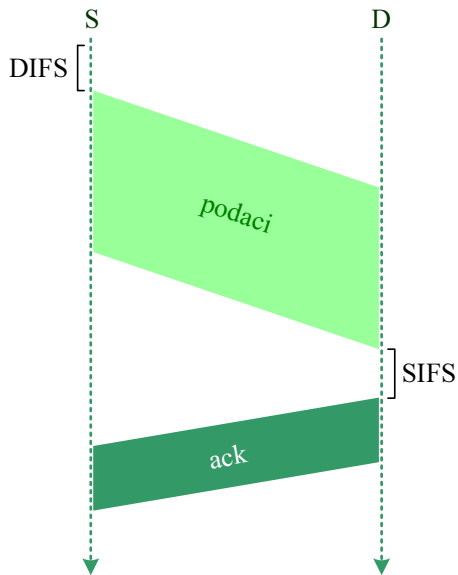
problem skrivenih terminala

okviri se šalju kompletni

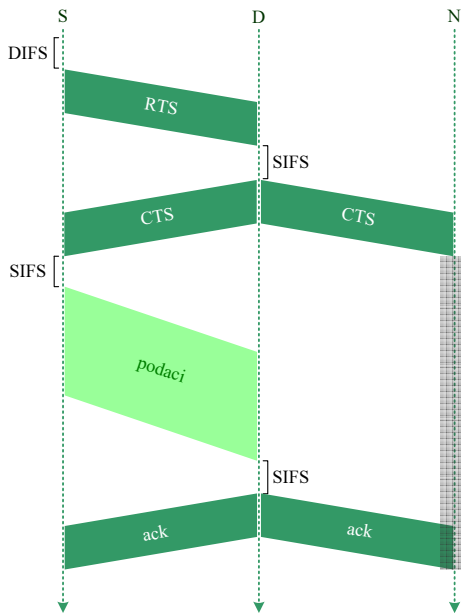
IEEE 802.11 CSMA/CA

1. Ako je kanal slobodan, okvir se emituje posle isteka DIFS;
2. Ako je kanal zauzet, čeka se da se oslobodi i potom se odbrojava slučajno izabrano vreme;
3. Po isteku ovoga vremena, emituje se okvir i čeka potvrda prijema;
4. Kada se dobije potvrda, pošiljalac zaključuje da je okvir stigao do odredišta. Ukoliko ima još okvira za slanje, vraća se na korak 2. Ukoliko se potvrda ne bude primila, vraća se na 2 i pokreće retransmisiju s tim što vreme čekanja bira iz šireg intervala.

IEEE 802.11 potvrda prijema



IEEE 802.11 MAC, šira slika



IEEE 802.11 struktura okvira



WPAN

alternativa kablovima

IEEE Std. 802.15.1 **Bluetooth**

IEEE Std. 802.15.4 **Zigbee**

Bluetooth

ad hoc

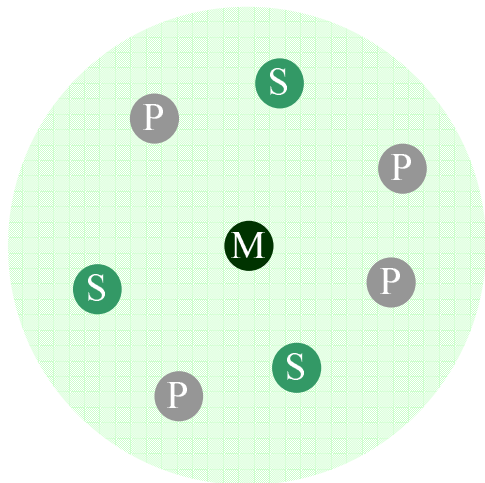
2,4 GHz, nelicencirani opseg (ISM)

TDM, trajanje slota $625 \mu\text{s}$

FHSS, 79 kanala

protok do 4 Mb/s

Bluetooth pikomreža



Zigbee

kraći domet

manji protok – do 250 kb/s

primena u automatizaciji i senzorskim mrežama

Zigbee, DLL

„beacon” okviri

~ CSMA/CA

rezervacija slotova

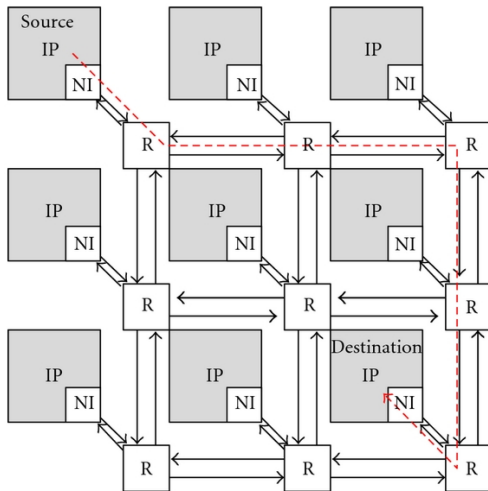
Mreže na čipu

povezuju jezgra procesora

ranije – magistrale; sada – bežično

prednosti (W)NoC: veća frekvencija takta, manje kašnjenje, veći protok, manji broj logičkih kola

WNoC



Izvor: hindawi.com

WNoC, parametri

Naziv	Vrednost
Domet	0,1 – 10 cm
Gustina čvorova	10 – 1000 cm ⁻²
Protok	10 – 100 Gb/s
Kašnjenje	1 – 100 ns
Potrošnja energije	1 – 10 pJ/b
BER	10 ⁻¹⁵