

Glava 6: Nivo linka

Ciljevi:

- Shvatanje principa servisa nivoa linka:
 - detekcija, korekcija greške
 - dijeljenje zajedničkog kanala: višestruki pristup
 - adresiranje nivoa linka
 - pouzdani prenos podataka, kontrola protoka: *urađeno!*
 - LAN mreže: Ethernet, VLAN
- Mreža datacentra
- Upoznavanje sa implementacijom različitih tehnologija nivoa linka

1

Nivo linka

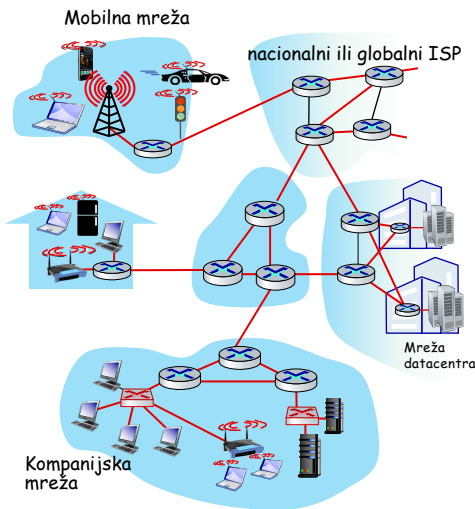
- **Uvod, servisi**
- Detekcija i korekcija greške
- Protokoli višestrukog pristupa
- LAN
 - MAC adresiranje
 - Ethernet
 - VLAN
 - Switch
- WiFi
- Mreža data centra

2

Nivo linka: Uvod

Terminologija:

- Hostovi i ruteri su **čvorišta**
- Komunikacioni kanali koji povezuju susjedna čvorišta duž komunikacionih puteva su **linkovi**
 - žični linkovi
 - bežični linkovi
 - LAN-ovi
- Paket nivoa 2 se zove okvir (*frame*), u kome je enkapsuliran datagram



Nivo linka ima odgovornost transfera datagrama od jednog čvorišta do susjednog čvorišta na linku

6: Nivo linka 6-3

3

Nivo linka: kontekst

- Prenos datagrama različitim protokolima nivoa linka preko različitih linkova:
 - npr., WiFi na prvom linku, *MPLS* na međulinkovima, Ethernet na poslednjem linku
- Svaki protokol nivoa linka omogućava različite servise
 - npr., može ili ne može obezbijediti pouzdan prenos preko linka

6: Nivo linka 6-4

4

Servisi nivoa linka

□ Kreiranje frejmova, pristup linku:

- Enkapsulacija datagrama u frejm, dodavanje zaglavlja/začelja
- Pristup kanalu ako je zajednički medijum
- "MAC" adrese se koriste u zaglavlju frejmova za identifikaciju izvora, destinacije
 - Različito od IP adresa!

□ Pouzdana predaja između susjednih čvorišta

- Već smo to radili!
- Često se ne koriste preko linkova sa niskom vjerovatnoćom greške po bitu (optika, neke bakarne upredene parice)
- Bežični linkovi: visoke vjerovatnoće greške

P: Zašto pouzdanost i na nivou linka i od kraja do kraja?

6: Nivo linka 6-5

5

Servisi nivoa linka (više)

□ Kontrola protoka:

- Podešavanje brzina slanja čvorišta

□ Detekcija greške:

- Greške izazvane slabljenjem signala, šumom.
- Prijemnik detektuje prisustvo grešaka, signalizira pošiljaocu da odradi retransmisiju i odbacuje frejm

□ Korekcija greške:

- Prijemnik identifikuje i *koriguje* greške na bit(ima) bez novog sortiranja ili retransmisije frejmova

□ Half-duplex i full-duplex

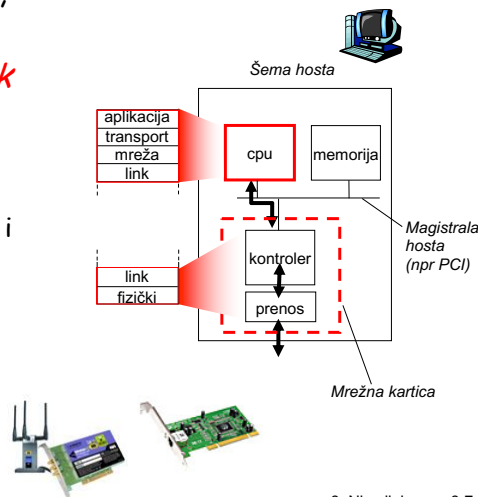
- sa *half duplex*-om, čvorišta na oba kraja linka mogu da šalju podatke, ali ne u isto vrijeme

6: Nivo linka 6-6

6

Gdje se implementira nivo linka?

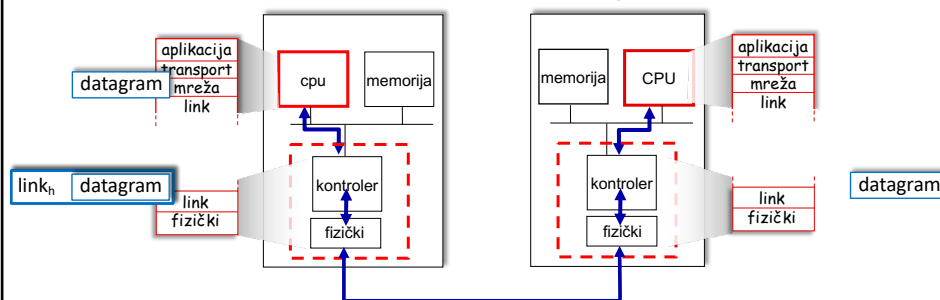
- u svakom hostu, switchu, ruteru,...
- mrežni adapter (*network interface card* NIC)
 - Ethernet kartica, PCMCIA kartica, 802.11 kartica
 - Implementira fizički nivo i nivo linka
- Povezan na sistemsku magistralu
- kombinacija hardware, software, firmware



6: Nivo linka 6-7

7

Komunikacija adaptera



- Predajna strana:
 - Pakuje datagram u frejm
 - U zaglavlju dodaje bite za provjeru greške, kontrolu protoka, pouzdani prenos
- Prijemna strana
 - Traži greške, kontrolirše sekvencionalnost, ...
 - izvlači datagram, prosleđuje ga višem nivou prijemne strane

6: Nivo linka 6-8

8

Nivo linka

- Uvod, servisi
- **Detekcija i korekcija greške**
- Protokoli višestrukog pristupa
- LAN
 - MAC adresiranje
 - Ethernet
 - VLAN
 - Switch
- WiFi
- Mreža data centra

6: Nivo linka 6-9

9

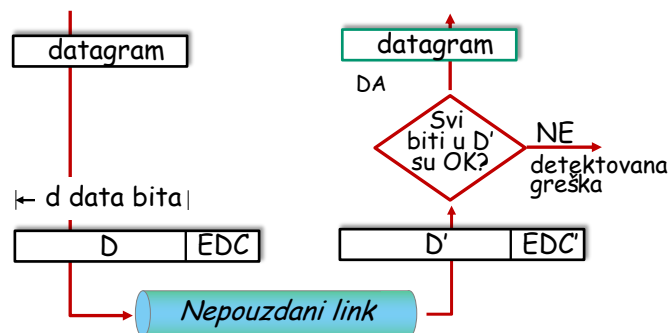
Detekcija greške

EDC= Biti detekcije i korekcije greške (redundansa)

D = Podaci zaštićeni provjerom greške, mogu uključivati polja zaglavlja

Detekcija greške nije 100% pouzdana!

- protokol može propustiti neke greške
- veće EDC polje vodi boljoj detekciji i većoj mogućnosti korekcije

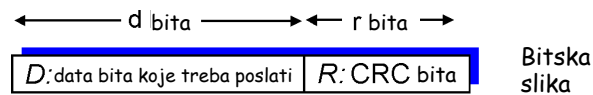


6: Nivo linka 6-10

10

Cyclic Redundancy Check

- data biti, D , kao binarni brojevi
- Izabere se $r+1$ bita dug generator, G
- cilj: izabrati R CRC bita, takvih da je
 - $\langle D, R \rangle$ tačno djeljivo sa G (po modulu 2)
 - Prijemniku je poznato G , dijeli $\langle D, R \rangle$ sa G . Ako ostatak nije nula: greška je detektovana!
 - Može detektovati sve grupe grešaka manje od $r+1$ bita
- Vrlo široka primjena u praksi (Ethernet, WiFi,...)



$D * 2^r \text{ XOR } R$ Matematička formula

6: Nivo linka 6-11

11

Nivo linka

- Uvod, servisi
- Detekcija i korekcija greške
- **Protokoli višestrukog pristupa**
- LAN
 - MAC adresiranje
 - Ethernet
 - VLAN
 - Switch
- WiFi
- Mreža data centra

6: Nivo linka 6-12

12

Linkovi i protokoli višestrukog pristupa

Dva tipa "linkova":

- *point-to-point*
 - PPP (*Point to Point Protocol*) za dial-up pristup
 - *point-to-point* linkovi između *Ethernet switch*-a i hosta
- *broadcast* (zajednički medijum)
 - tradicionalni *Ethernet*
 - *upstream HFC*
 - WiFi, 4G/5G, satelit



13

Protokoli višestrukog pristupa

- Jedan dijeljeni kanal
- Dva ili više simultanih prenosa izazivaju interferenciju
 - **kolizija** ako čvorište primi dva ili više signala u istom trenutku

Protokol višestrukog pristupa

- distribuirani algoritam koji utvrđuje kako čvorišta dijele kanal, odnosno koje čvorište može da šalje
- komunikacija oko dijeljenja kanala se prenosi preko samog kanala!
 - nema *out-of-band* kanala za koordinaciju

6: Nivo linka 6-14

14

Idealni protokol višestrukog pristupa

Difuzni kanal brzine prenosa R b/s

1. Kada čvorište želi da šalje, ono to može brzinom R .
2. Kada M čvorišta žele da šalju, svaki može da šalje prosječnom brzinom R/M
3. Potpuno decentralizovan:
 - nema specijalnog čvorišta za koordinaciju prenosa
 - nema sinhronizacije taktova, slotova
4. Jednostavan

6: Nivo linka 6-15

15

Podjela MAC (Medium Access Control) protokola

Tri široke klase:

- **Dijeljenje kanala**
 - Podijeliti kanal na manje djelove (vremenske slotove, frekvenciju, kod)
 - Dodijeliti djelove kanala čvorištu na ekskluzivno korišćenje
- **Slučajan pristup**
 - Kanal se ne dodjeljuje, dozvoljava kolizije
 - Oporavak od kolizija
- **“Uzimanje prava slanja”**
 - Čvorišta uzimaju pravo slanja. Čvorišta sa većim potrebama mogu uzimati pravo slanja više puta.

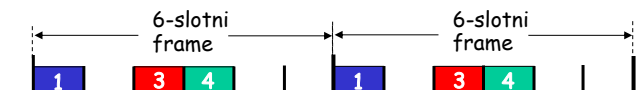
6: Nivo linka 6-16

16

MAC protokoli dijeljenja kanala: TDMA

TDMA: *time division multiple access*

- Pristup kanalu u vremenskim "ciklusima"
- Svaka stanica dobija slot fiksne dužine (dužina = vremenu prenosa paketa) u svakom krugu
- Neiskorišćeni slotovi su slobodni
- LAN sa 6 stanica: 1,3,4 imaju paket, slotovi 2,5,6 su slobodni



- TDM (*Time Division Multiplexing*): kanal se dijeli na N vremenskih slotova, po jedan po korisniku; neefikasan za nisko opterećenje i korisnike koji kratko vrijeme zauzimaju resurse

6: Nivo linka 6-17

17

Protokoli slučajnog pristupa

- Kada čvorište ima paket za slanje
 - prenosi punom brzinom prenosa na kanalu R.
 - nema *a priori* koordinacije između čvorišta
- Dva ili više čvorišta šalje → "kolizija",
- **MAC protokol slučajnog pristupa** specificira:
 - Kako detektovati koliziju
 - Kako se oporaviti od kolizije (npr., preko zakašnjelih retransmisija)
- Primjeri ovih MAC protokola:
 - *slotted* ALOHA, ALOHA
 - CSMA, CSMA/CD, CSMA/CA

6: Nivo linka 6-18

18

Slotted ALOHA

Pretpostavke

- Svi frejmovi su iste veličine
- Vrijeme je podijeljeno na slotove jednakih dužina trajanja potrebnog za prenos jednog frejma
- Čvorišta počinju da šalju odmah na početku slota
- Čvorišta su sinhronizovana
- ako 2 ili više čvorišta šalju u slotu, sva čvorišta detektuju koliziju

Funkcionisanje

- Kada čvorište dobije novi frejm za slanje, šalje ga u narednom slotu
 - Nema kolizije, čvorište može slati frejm u narednom slotu
 - Ako se desi kolizija, čvorište ponovo šalje frejm u svakom narednom slotu sa vjerovatnoćom p do uspjeha

6: Nivo linka 6-19

19

Slotted ALOHA

Čvor 1 1 1 1 1

Čvor 2 2 2 2

Čvor 3 3 3 3

| K | P | K | K | P | K | P | U | U |

K: kolizija
U: uspjeh
P: prazan

Za

- jedno aktivno čvorište može kontinualno slati punom brzinom kanala
- visoko decentralizovano: samo slotovi u čvorištima treba da budu sinhronizovani
- jednostavan

Protiv

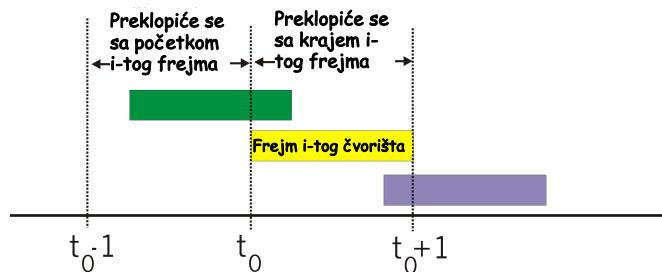
- kolizije, gubitak slotova
- prazni slotovi
- čvorišta moraju biti u mogućnosti da detektuju kolizije u kraćem vremenu od vremena prenosa paketa
- sinhronizacija takta
- efikasnost 37%

6: Nivo linka 6-20

20

Obična (unslotted) ALOHA

- *unslotted* Aloha: jednostavnija, nema sinhronizacije
- Kada se frejm kreira odmah se šalje
- Vjerovatnoća kolizije raste:
 - Frejm poslat u t_0 ulazi u koliziju sa ostalim frejmovima poslatim u $[t_0-1, t_0+1]$
- Efikasnost 18%



21

CSMA (Carrier Sense Multiple Access)

CSMA: "slušaj prije nego pošalješ":

- Ako je kanal slobodan: šalji kompletan frejm
- Ako je kanal zauzet, odloži slanje
- Analogija: ne prekidaj nekog dok priča!

6: Nivo linka 6-22

22

CSMA kolizije

Kolizije se još uvijek mogu pojaviti:

Propagaciono kašnjenje može izazvati da dva čvorišta ne čuju da je ono drugo aktivno

kolizije:

Čitavo vrijeme prenosa paketa je izgubljeno

napomena:

Uloga rastojanja & kašnjenja uslijed propagacije određuje vjerovatnoću kolizije



Vrijeme t_0

↓

t_1

6: Nivo linka 6-23

23

CSMA/CD (Collision Detection)

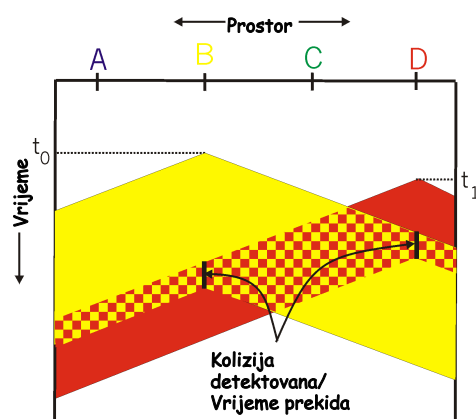
CSMA/CD: "oslušivanje prisustva nosioca"

- Detekcija kolizije u kratkom vremenu
- Prenosi u koliziji se prekidaju tako da se beskorisno korišćenje kanala smanjuje
- Detekcija kolizije:
 - Laka u žičnim LAN-ovima: mjerenje snage signala, upoređenje poslatih i primljenih signala
 - Teško u WLAN-ovima: prijemnik čuti dok se šalje
- analogija: ljubazna konverzacija

6: Nivo linka 6-24

24

CSMA/CD detekcija kolizije



6: Nivo linka 6-25

25

MAC protokoli "Uzimanje prava"

MAC protokoli dijeljenja kanala:

- Dijele kanal efikasno i fer pri visokim opterećenjima
- Neefikasni na niskim opterećenjima: kašnjenje u pristupu kanala, 1/N dio opsega je dodijeljen čak i ako je samo jedno čvorište aktivno!

MAC protokoli slučajnog pristupa

- Efikasni pri niskom opterećenju: jedno čvorište može koristiti kompletan kanal
- Visoko opterećenje: kolizija preovladava

Protokoli "uzimanja prava"

Traže najbolje iz oba prethodna slučaja!

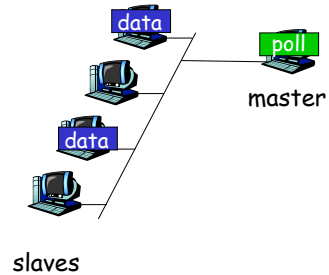
6: Nivo linka 6-26

26

MAC protokoli “Uzimanje prava”

Polling:

- master čvorište “proziva” slave čvorišta da šalju
- problemi:
 - *polling* zaglavlje
 - kašnjenje
 - nepouzdanost zbog otkaza mastera



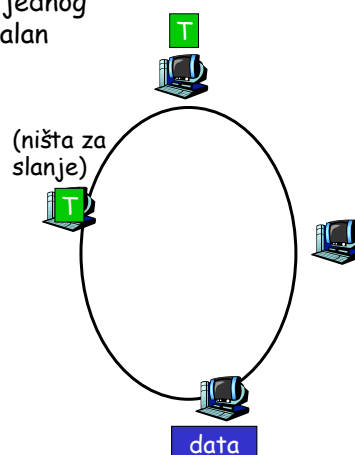
6: Nivo linka 6-27

27

MAC protokoli “Uzimanje prava”

Prosleđivanje tokena:

- Kontrolni token se prosleđuje od jednog čvorišta do drugog na sekvencionalan način.
- token poruke
- problemi:
 - token zaglavlje
 - kašnjenje
 - nepouzdanost zbog gubitka tokena



6: Nivo linka 6-28

28