

Računalniške komunikacije

2020/21

povezavna plast
storitve povezavne plasti,
protokoli za dostop do medija

Pridobljeno znanje s prejšnjih predavanj

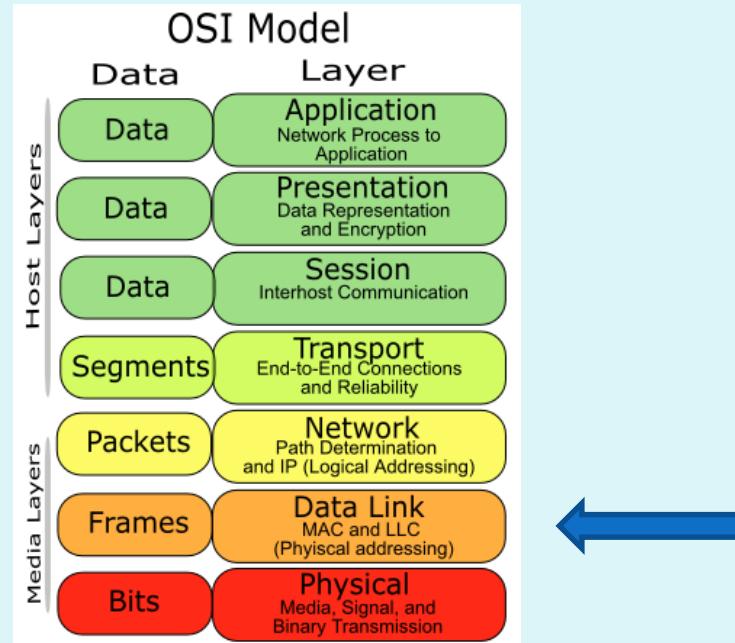
- definicija omrežij (fizična in storitvena)
- komponente omrežja (končni sistemi, jedro, povezave)
- načini priklopa v omrežje (modem, DSL, kabelski, optični, ozičeni-Ethernet, brezžični- 3G/4G/802.11)
- vrste omrežij glede na delovanje: povezavno, nepovezavno
- kaj je to komunikacijski protokol
- plasti, pari procesov na plasteh, odnosi med nadrejenimi/podrejenimi plastmi
- ISO/OSI in TCP/IP model ter njune plasti
- naloge fizične plasti
- vrste prenosnih medijev
- modulacije (amplitudna, frekvenčna, fazna, kvadratna)
- razumevanje in risanje konstelacijskega diagrama

Kje smo?

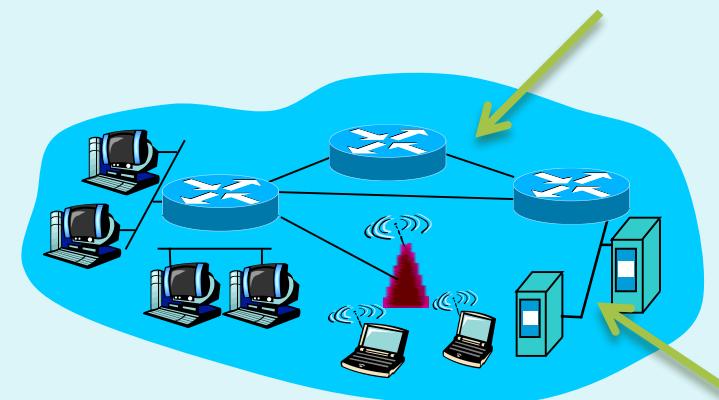
- **fizična plast:** plast, ki določa način kodiranja bitov v signal
 - modulacije valovanj: amplitudna, frekvenčna, fazna, kvadratna
- **prenosni medij:** naprava, ki omogoča razširjanje valovanja
 - tipi medijev: bakreni, optični, brezžični (radijski, IR, Bluetooth)



Povezavna plast



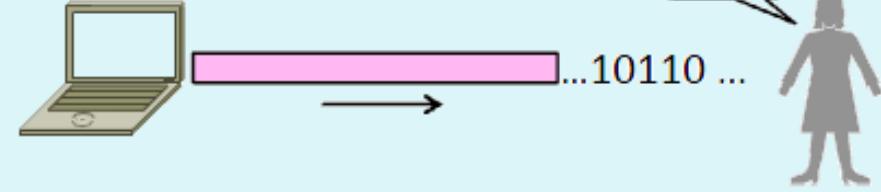
- enota, ki se prenaša na povezavni plasti je OKVIR (angl. *frame*)
- NALOGA povezavne plasti:
prenos okvirja *po povezavi med sosednjima vozliščema* (računalnik, usmerjevalnik) upoštevajoč **tip medija**



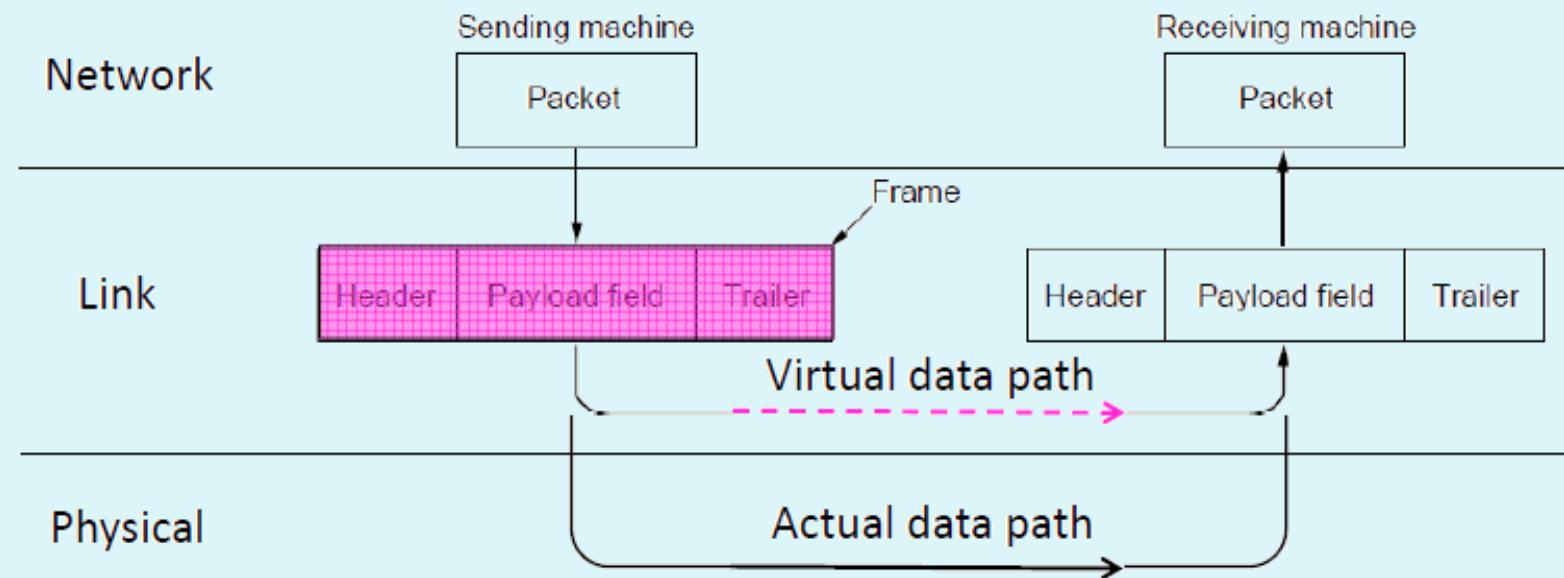
Storitve povezavne plasti

- povezavna plast **lahko** izvaja:
 1. **okvirjanje datagramov**: podatkom višje plasti se doda glava in določi struktura
 2. **zaznavanje in odpravljanje napak**: z dodatnimi biti lahko zaznavamo, ali je prišlo do napake pri prenosu okvirja; v določenih primerih jo lahko odpravimo
 3. **dostop do medija**: če je medij deljen, se uporablja MAC protokol (*media access control*) in ustrezeno naslavljjanje udeležencev
 4. **zagotavljanje zanesljive dostave**: uporaba potrjevanja in ponovnega pošiljanja v primeru napake pri prenosu na povezavi
 5. **kontrola pretoka**: usklajevanje hitrosti pošiljanja glede na procesorske sposobnosti prejemnika

Kaj je okvir?



- "enota" podatkov na povezavni plasti
- opredeljuje začetek in konec prenesenih podatkov
- podatkom doda glavo (*header*) in rep (*trailer*), ki so potrebni za uspešen prenos



Protokoli na povezavni plasti

- komunikacija je lahko sestavljena iz različnih omrežnih povezav in medijev -> uporaba **različnih protokolov!**
- vsak protokol definira **svojo obliko** izmenjanih podatkov med vozlišči
- **primeri** protokolov:
 - Ethernet
 - wireless LAN (802.11)
 - token ring
 - PPP

Analogija iz realnega sveta

- cilj potovanja: pot iz Loma na morje v Koper



potnik je "podatkovni paket"

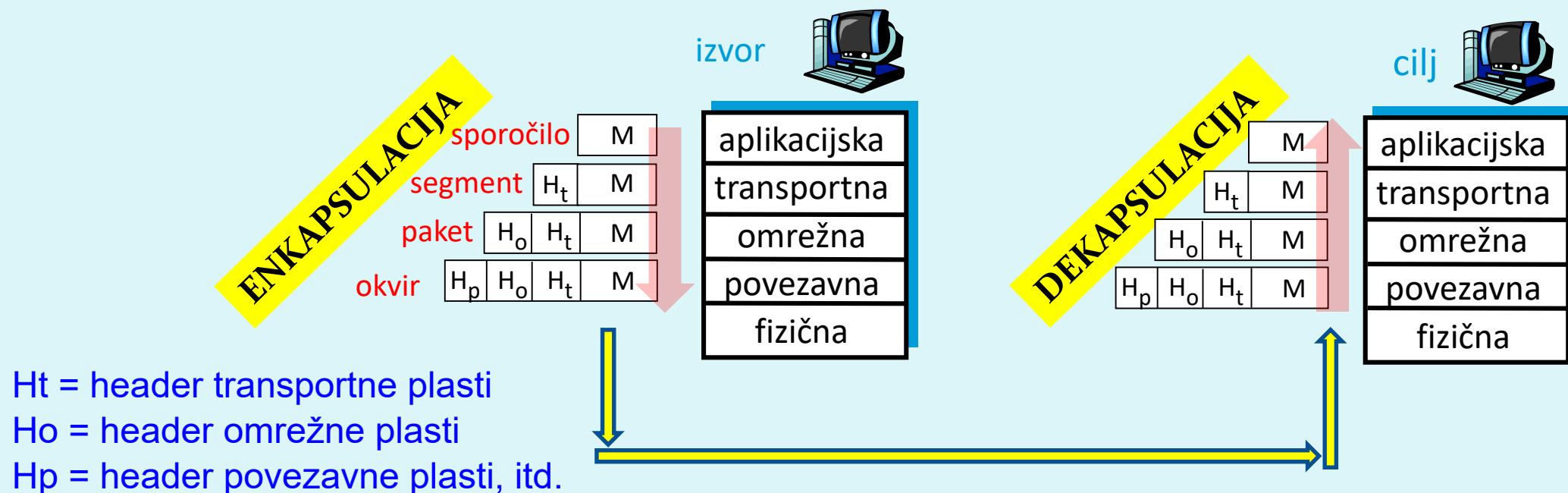
del poti je "komunikacijska povezava"

začetek in cilj sta "končni vozlišči"

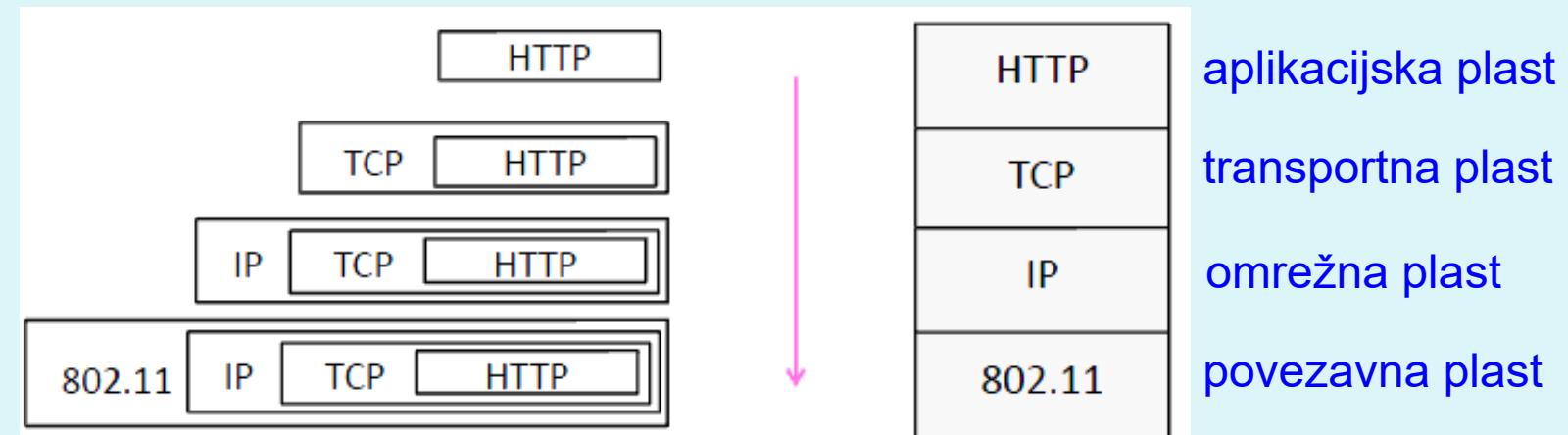
način prevoza je "protokol povezavne plasti"

naš organizator potovanja od začetka do cilja je "usmerjevalni protokol" omrežne (3. plasti!)

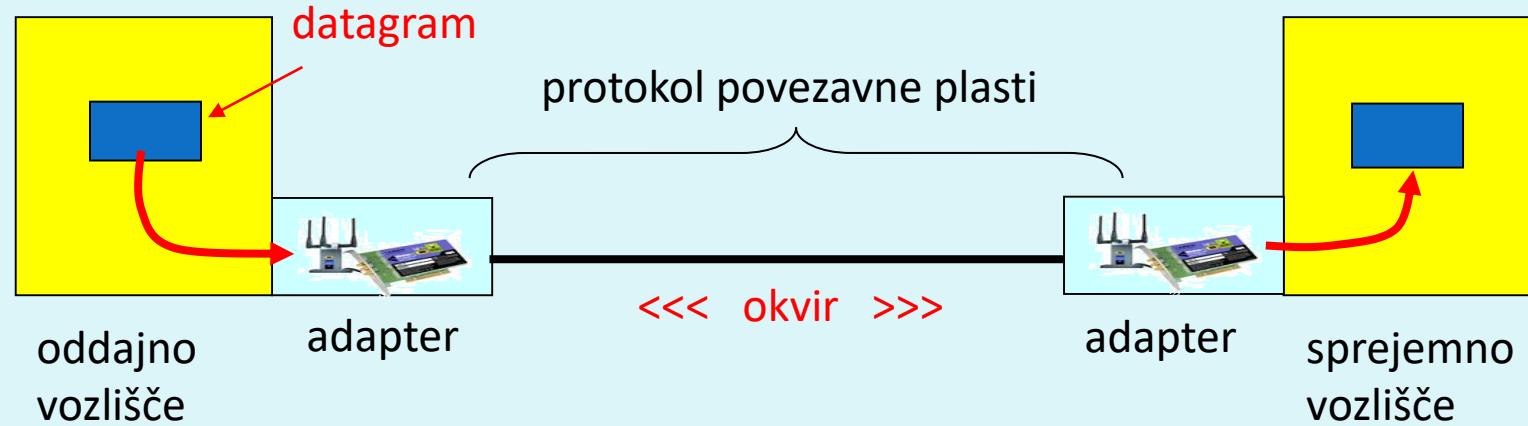
Enkapsulacija in dekapsulacija



Enkapsulacija: primer



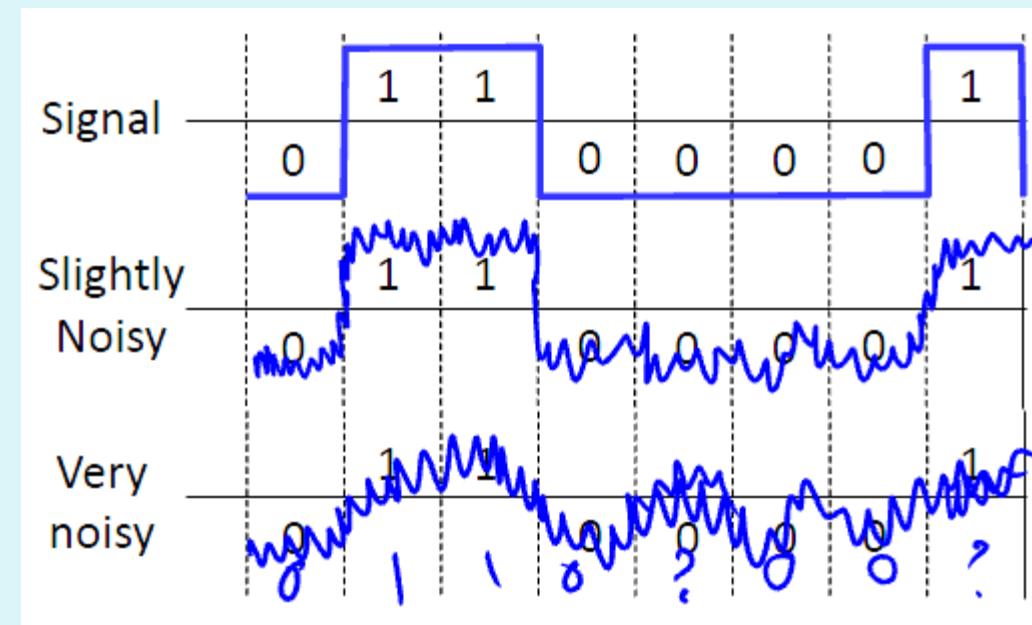
Implementacija povezavne plasti



- **oddajnik:** enkapsulacija datagrama v okvir, detekcija, kontrola pretoka ...
 - enkapsulacija: podatki se zapakirajo v okvir, izpolnijo se dodatna kontrolna polja (naslovi pošiljatelja, prejemnika itd.)
- **sprejemnik:** preveri napake, pretok, dekapsulacija.

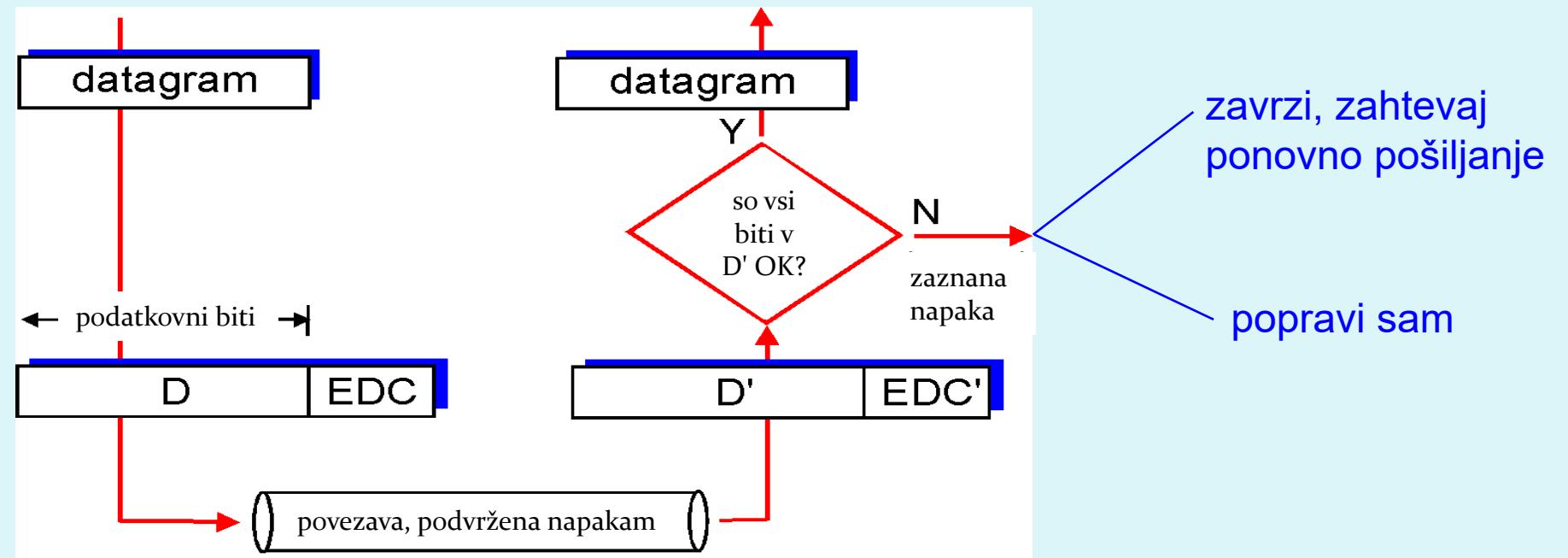
Zaznavanje in odpravljanje napak (1/5)

- zakaj je potrebno?
 - motnje na kanalu: presluh, slabljenje, šum
 - signal se lahko okvari, da prejemnik zamenja vrednosti 0 in 1



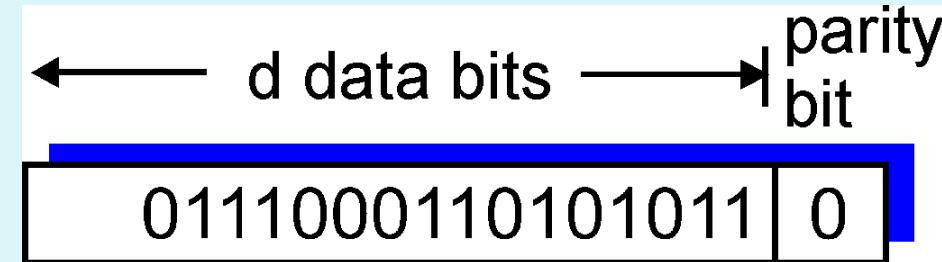
Zaznavanje in odpravljanje napak (2/5)

- Podatkom (D) dodamo še dodatne bite za preverjanje pravilnosti (EDC - *Error Detection Code*)
 - protokol za popravljanje ni popoln, lahko spregleda napake,
 - več EDC bitov omogoča boljšo detekcijo/popravljanje



Zaznavanje in odpravljanje napak (3/5)

- parnost: dodamo 1 paritetni bit
 - soda/liha paritetna shema
 - primer: liha paritetna shema (pariteta=0, če imamo v podatkih liho število enic in 1, če imamo sodo število enic)

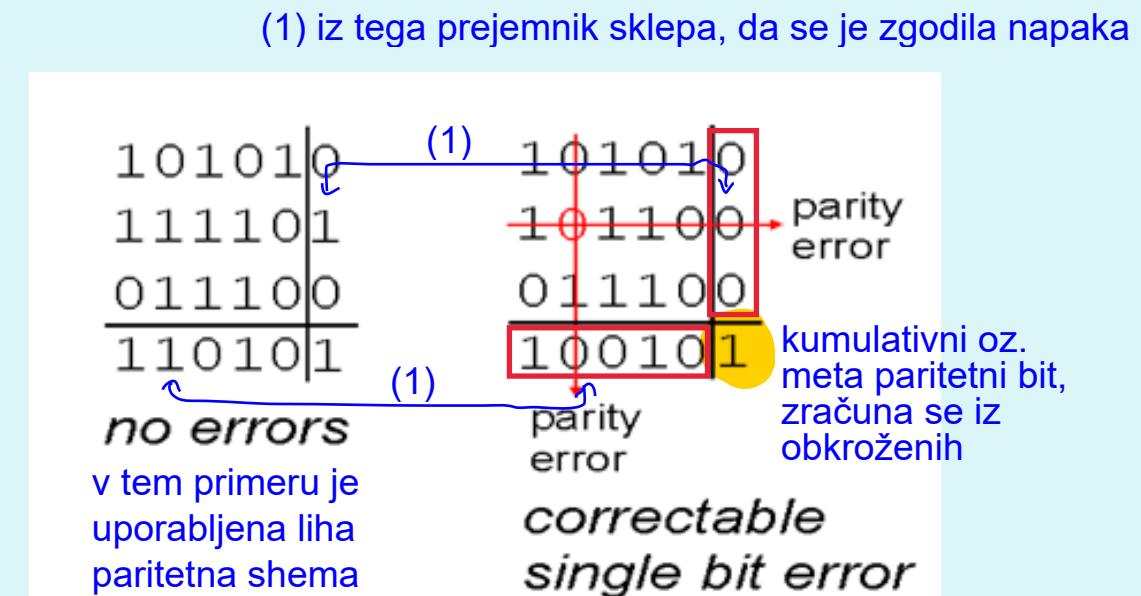
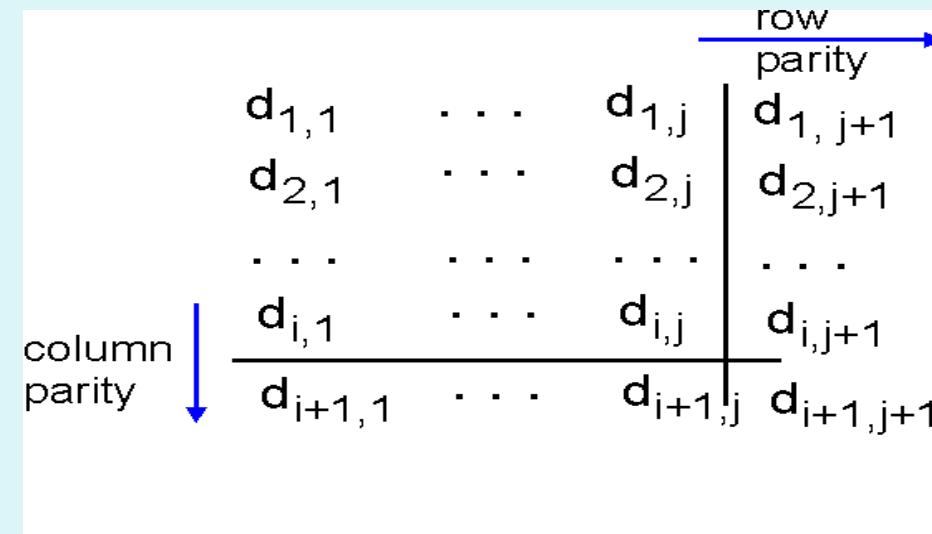


- ker imamo tu liho število enic, dodamo na koncu 0
- pri sodi paritetni shemi bi dodali na koncu 1

- uspešnost?
 - omogoča samo zaznavanje lihega števila napak ta metoda je precej primitivna

Zaznavanje in odpravljanje napak (4/5)

- parnost v 2 dimezijah: dodamo paritetne bite za vsako vrstico in stolpec
 - omogoča zaznavanje in odpravljanje enojnih ali celo dvojnih napak
 - (možno tudi zaznavanje napak v paritetnih bitih)



Popravljanje s Hammingovo kodo

- Primer: podatek=0101, dodamo 3 kontrolne bite
 - izračun kontrolnih bitov s sodo paritetno shemo

- 7 bit code, check bit positions 1, 2, 4
- Check 1 covers positions 1, 3, 5, 7
- Check 2 covers positions 2, 3, 6, 7
- Check 4 covers positions 4, 5, 6, 7

0 1 0 0 1 0 1 →
1 2 3 4 5 6 7

$$p_1 = 0+1+1 = 0, \quad p_2 = 0+0+1 = 1, \quad p_4 = 1+0+1 = 0$$

pravilen prenos

→ 0 1 0 0 1 0 1
1 2 3 4 5 6 7

$$p_1 = 0+0+1+1 = 0, \quad p_2 = 1+0+0+1 = 0, \\ p_4 = 0+1+0+1 = 0$$

Syndrome = 000, no error

Data = 0 1 0 1

pri pravilnem prenosu izračuna XOR za
bite 1, 3, 5, 7 za p1 in če sindrom na koncu
pride 000, ni prišlo do napake

iz sindroma dobimo mesto,
kjer je prišlo do napake

korekcija napake

→ 0 1 0 0 1 1 1
1 2 3 4 5 6 7

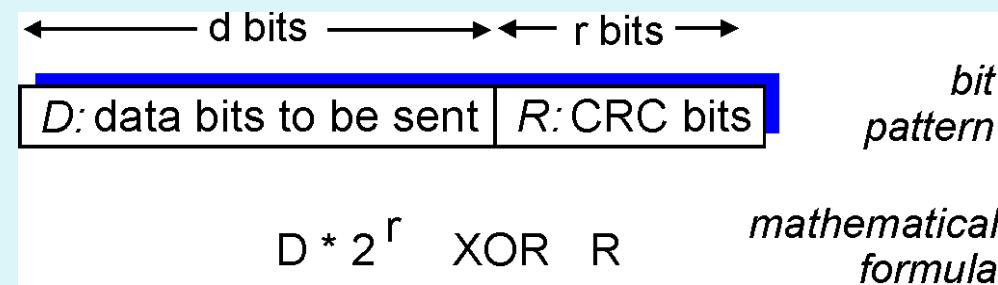
$$p_1 = 0+0+1+1 = 0, \quad p_2 = 1+0+1+1 = 1, \\ p_4 = 0+1+1+1 = 1$$

Syndrome = 1 1 0, flip position 6

Data = 0 1 0 1 (correct after flip!)

Zaznavanje in odpravljanje napak (5/5)

- uporaba kontrolnih vsot:
 - CRC (angl. *Cyclic Redundancy Check*): matematična metoda, ki uporablja polinome. Uporablja r dodatnih bitov, sposobna zaznati in popraviti napake do r+1 bitov



- kasneje (transportna plast) bomo spoznali še eno kontrolno vsoto - Internetna kontrolna vsota

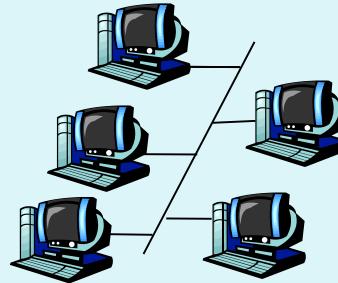
Storitve povezavne plasti

- povezavna plast izvaja:
 1. **okvirjanje datagramov:** podatkom višje plasti se doda glava in določi struktura
 2. **zaznavanje in odpravljanje napak:** z dodatnimi biti lahko zaznavamo, ali je prišlo do napake pri prenosu okvirja; v določenih primerih jo lahko odpravimo
 3. **dostop do medija:** če je medij deljen, se uporablja MAC protokol (*media access control*) in ustrezeno naslavljjanje udeležencev
 4. **zagotavljanje zanesljive dostave:** uporaba potrjevanja in ponovnega pošiljanja v primeru napake pri prenosu na povezavi
 4. **kontrola pretoka:** usklajevanje hitrosti pošiljanja glede na procesorske sposobnosti prejemnika

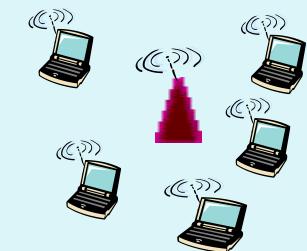


Protokoli za dostop do skupinskega medija

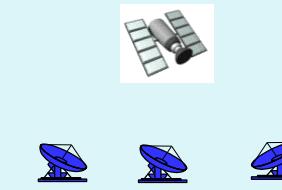
- dve vrsti povezav:
 - *dvotočkovna (point-to-point)* povezava: vsaka povezava ima le enega pošiljatelja in prejemnika (npr. protokola PPP, HDLC)
 - *oddajna (broadcast)* povezava: deljeni medij, več vozlišč komunicira naenkrat (npr. Ethernet, Wireless LAN)



deljeni kabel



deljen frekv. spekter
(e.g., 802.11 WiFi)



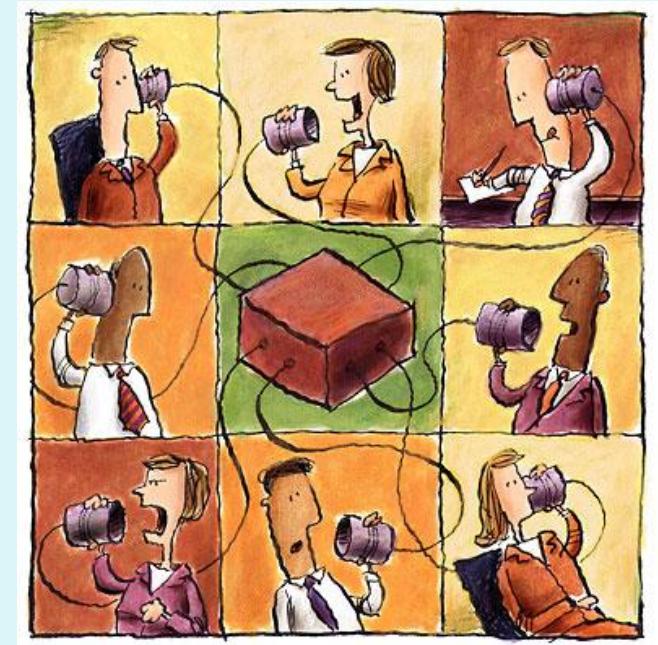
deljen satelitski
signal



analogija: pogovor na
zabavi (medij: zrak,
ki prenaša govor)

Protokoli za dostop do skupinskega medija

- oddajni (broadcast) kanali:
 - potreben protokol za koordinacijo dostopa (kdo lahko govori), t. i. *multiple access*
- principi iz realnega sveta, ki jih upoštevamo:
 - daj vsakemu priložnost, da govori
 - ne odgovarjaj, razen če te kdo ne ogovori
 - ne izvajaj monologov (ne monopoliziraj pogovora)
 - dvigni roko, če imaš vprašanje
 - ne prekinjaj nekoga, ko ta govori
 - ne spi, ko ti nekdo govori
- če dve vozlišči oddajata naenkrat, pride do TRKA ali KOLIZIJE (signal se preplete in okvari)



Protokol za dostop do skupinskega medija

Za **idealni protokol**, ki upravlja dostop do kanala s hitrostjo R velja:

1. če oddaja eno samo vozlišče, oddaja s hitrostjo R
(izkoristek: eno vozlišče lahko izkoristi polno kapaciteto)
 2. če oddaja M vozlišč, oddajajo s povprečno hitrostjo R/M
(pravičnost: vsak pride do svojega deleža kapacitete)
 3. protokol je decentraliziran
(kolektivnost: ni centralnega vozlišča, ki ga upravlja)
 4. je enostaven
- centraliziran: ima neko centralno vozlišče
- decentraliziran: porazdeljen, nima centralnega vozlišča, kjer bi se vse srečevalo

Izogibanje in razreševanje kolizij

1. delitev kanala (ni kolizij):

kanal razdelimo na "podkanale" (frekvečno ali časovno) in vsakega dodelimo paru vozlišč

2. naključni dostop (kolizije so):

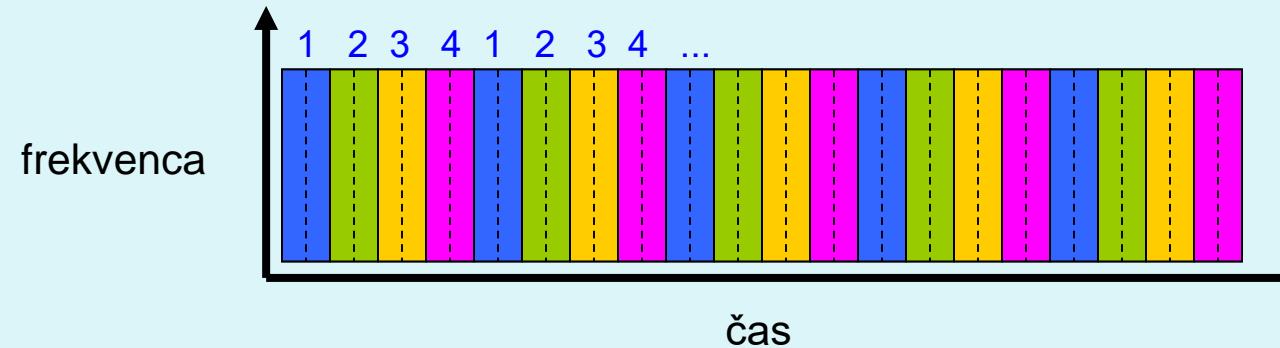
vsak lahko oddaja kadarkoli, če pride do kolizije, jo razrešujemo

3. izmenični dostop (ni kolizij):

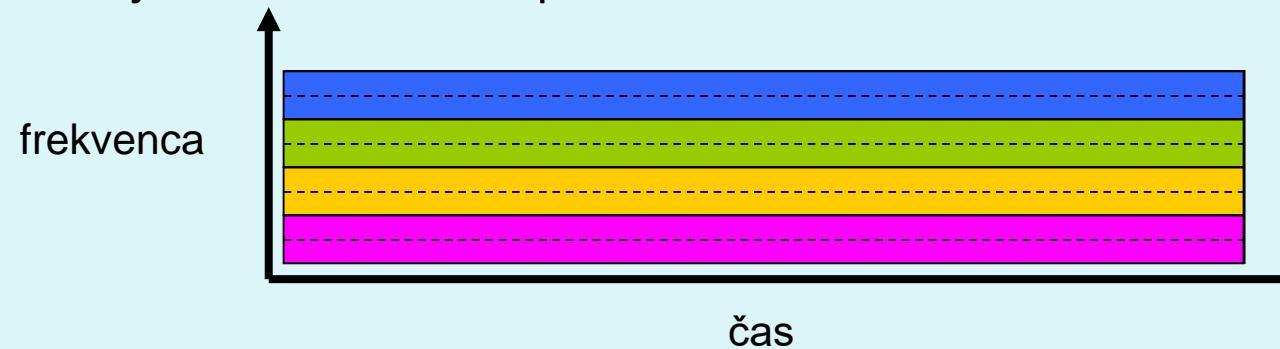
vozliščem izmenično dodelujemo pravico do pošiljanja

1. Delitev kanala

- TDMA (Time Division Multiple Access) *delitev po času*
 - v vsakem “krogu” vsaka postaja dobi enak časovni interval (1 paket)



- FDMA: Frequency Division Multiple Access *delitev po frekvenci*
 - vsaka postaja ima svoj fiksen frekvenčni pas



1. Delitev kanala

- pošteno in učinkovito pri visoki obremenitvi
- pri majhni obremenitvi se pojavlja neizkoriščenost kanala
- potrebno čakanje na vrsto
- upoštevanje smernic za *idealni protokol*:
 1. če oddaja eno samo vozlišče, oddaja s hitrostjo R 
 2. če oddaja M vozlišč, oddajajo s povprečno hitrostjo R/M 

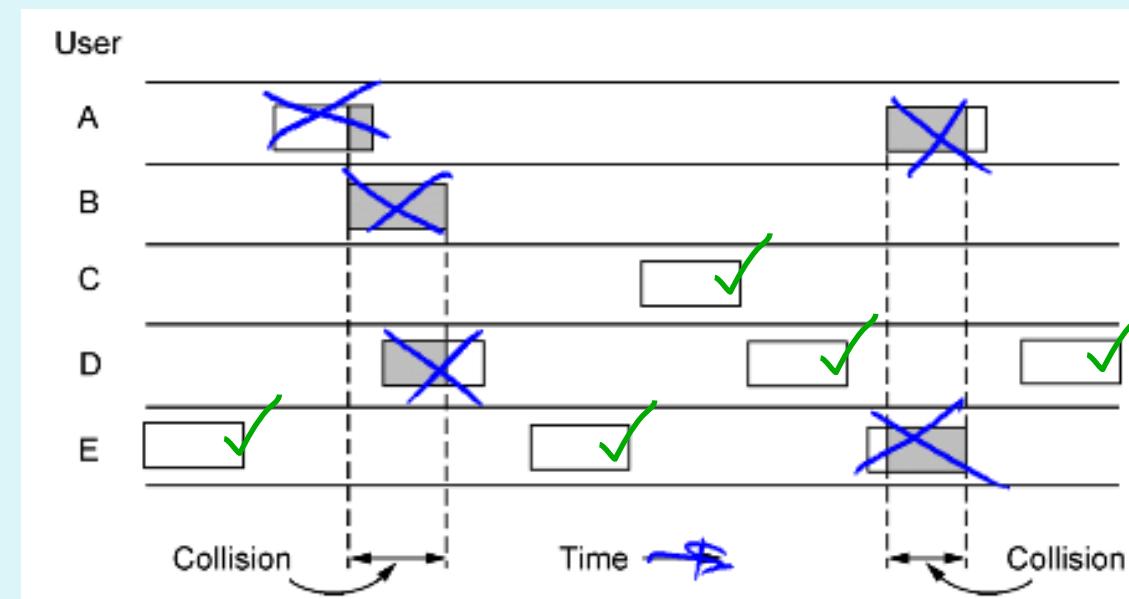
2. Protokoli za naključni dostop

naključni oz. sočasni dostop oz. kolizijski protokoli

- Določajo:
 - kako zaznati kolizijo
 - kako ukrepati ob koliziji
- Kadar želi vozlišče pošiljati, uporabi polno razpoložljivo hitrost kanala R . Pred pošiljanjem ni koordinacije med vozlišči.
- Primeri MAC protokolov z naključnim dostopom:
 - ALOHA
 - razsekana ALOHA
 - CSMA, CSMA/CD, CSMA/CA

ALOHA

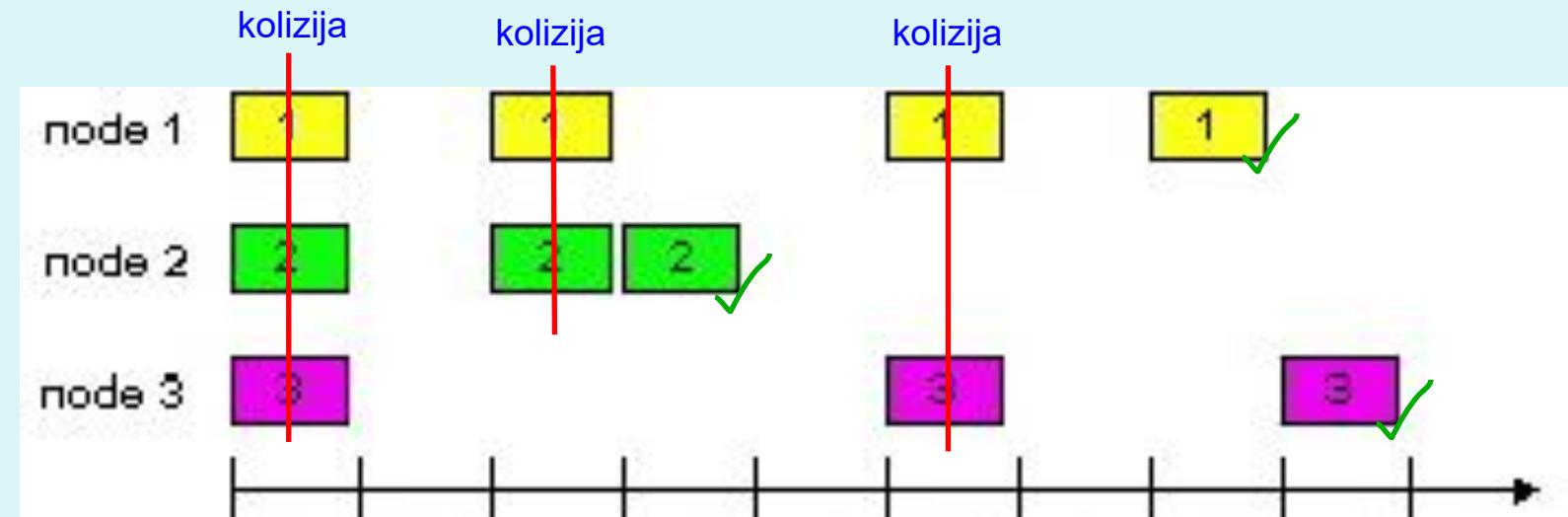
- paket je ranljiv ves čas oddajanja (čas je zvezen)
- preprost, ni sinhronizacije
- obravnavanje kolizije:
 - paket se pošlje do konca (!) in ponovno pošlje po preteku naključnega intervala časa



Razsekana ALOHA

(ang. slotted ALOHA)

- čas je razsekan na enake časovne intervale (v katerih je možno poslati 1 okvir)
- vozlišča so sinhronizirana, pošiljajo samo ob začetku intervalov,
- če pride do kolizije:
 - vozlišče pošlje ponovno okvir v naslednjem intervalu z verjetnostjo p
- +: vozlišče lahko uporablja celo hitrost R , enostaven
- -: prazni/kolizijski intervali so neuporabni, potrebna je sinhronizacija časa

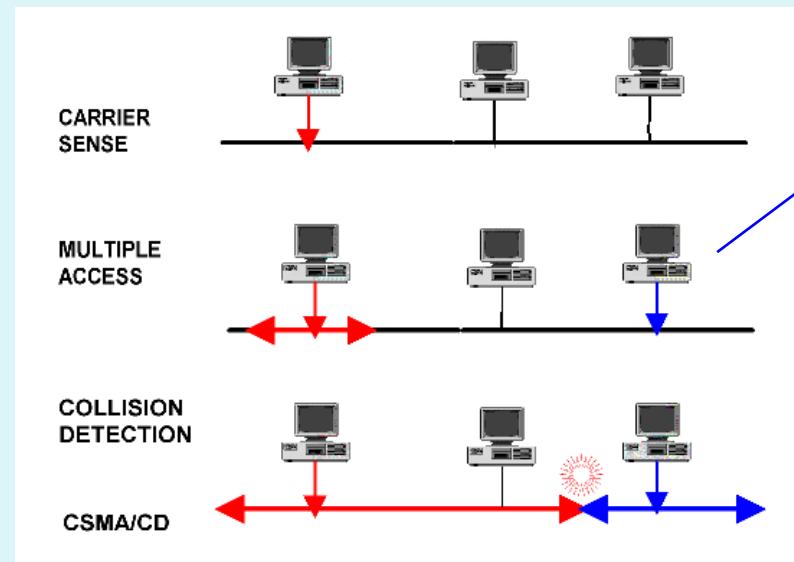


Učinkovitost ALOHA in razsekana ALOHA

- učinkovitost: delež časa, v katerem je bilo oddajanje uspešno
- ALOHA:
 - nizka prepustnost (18%)
- razsekana ALOHA:
 - boljša prepustnost (37%)
- upoštevanje smernic za *idealni protokol*:
 1. če oddaja eno samo vozlišče, oddaja s hitrostjo R 
 2. če oddaja M vozlišč, oddajajo s povprečno hitrostjo R/M 
 3. enostavnost? (potrebna sinhronizacija)

CSMA

- **Carrier Sense Multiple Access**
 - vztrajni: če je kanal zaseden, posluša dokler se ne sprosti
 - nevztrajni: šele po času ponovno prisluhne
 - p-vztrajni: vztrajno posluša, ko se kanal sprosti, z verjetnostjo p odda paket
- princip:
 - poslušaj, ali že kdo govori, preden spregovoriš (zaznavaj druge pošiljatelje)



ker signal potrebuje nekaj časa, da pride po mediju, lahko ta ne sliši in začne pošiljati, nato pa pride do kolizije

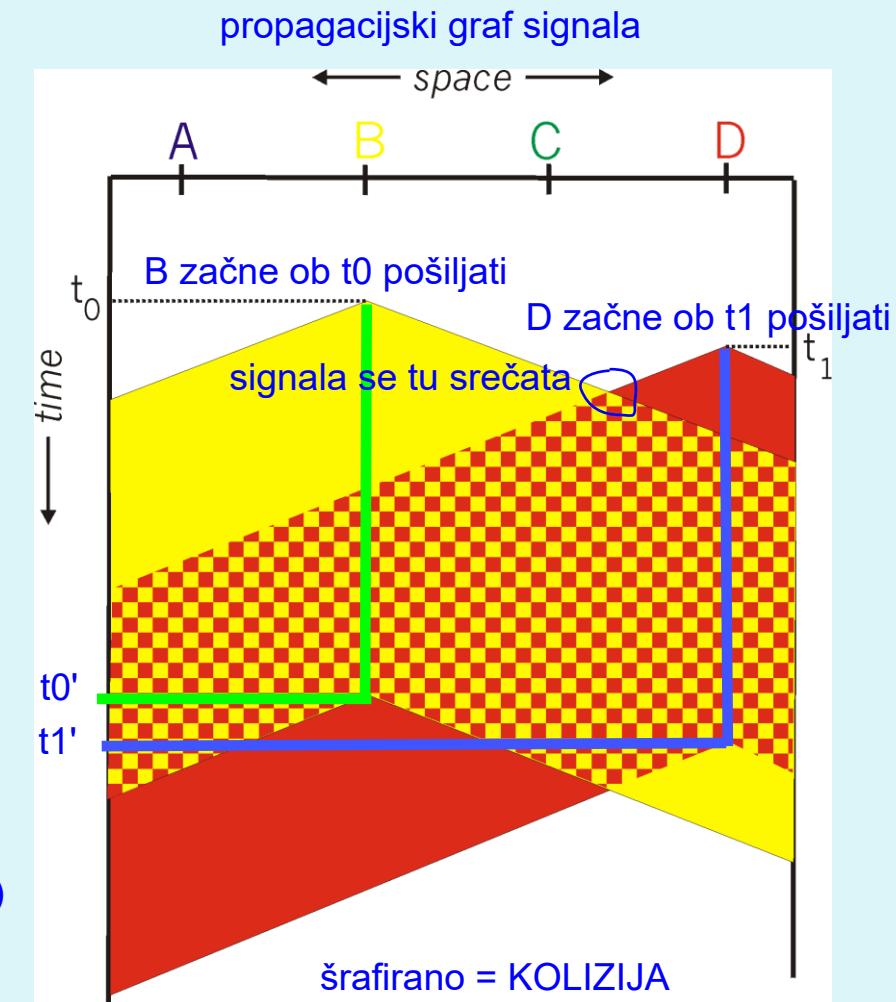
CSMA

- zakaj je sploh potrebno zaznavanje kolizij, če velja princip poslušanja obstoječih govorcev?

- odgovor: zaradi propagacijske zakasnitve signalov skozi prostor medija
- slika: CSMA

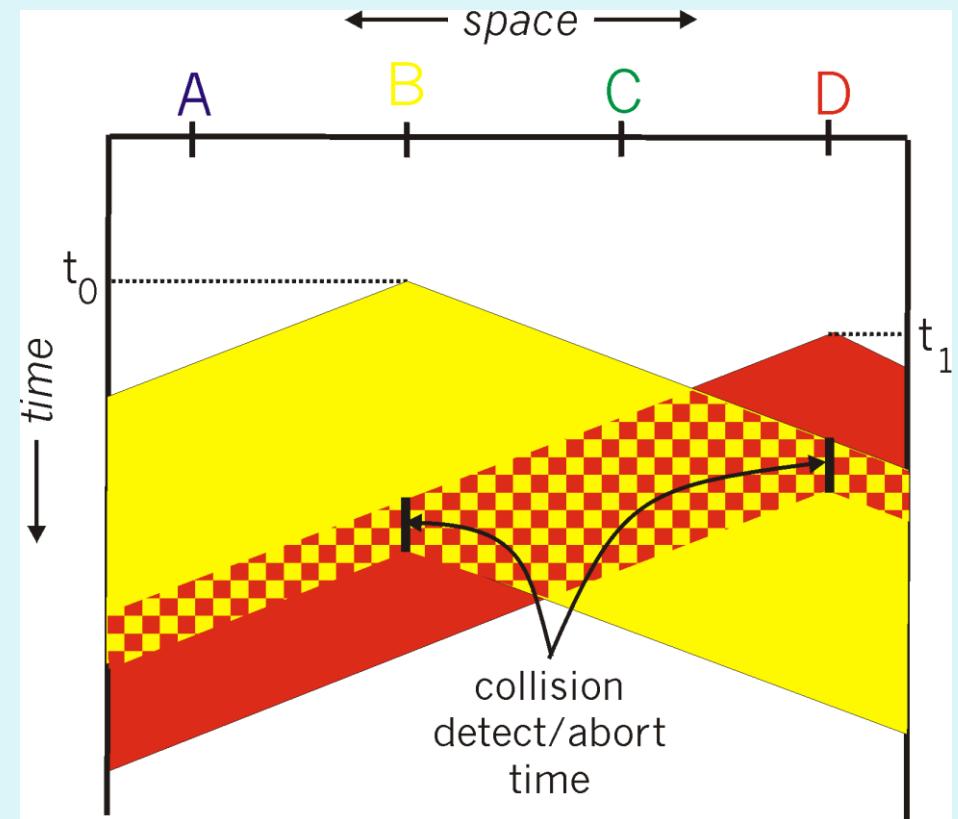
čas pošiljanja B = $t_0' - t_0$
čas pošiljanja D = $t_1' - t_1$

A, B, C, D - končni sistemi (računalniki, naprave ...)



CSMA/CD

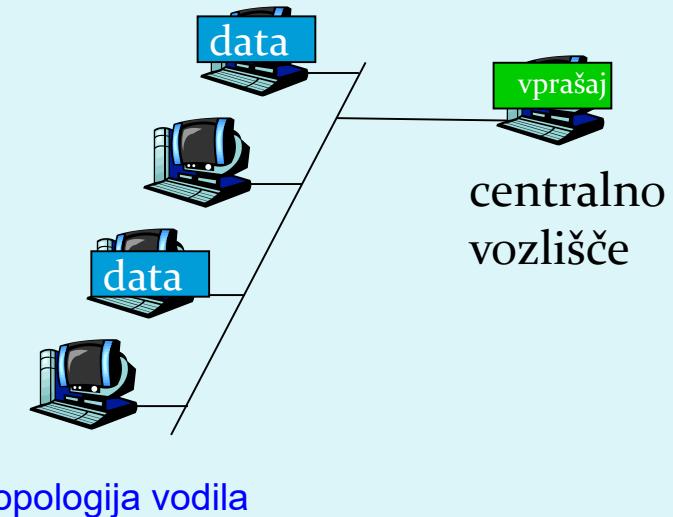
- zaznavanje kolizij (CD) omogoči prekinitve komunikacije v primeru kolizije in s tem hitrejšo sprostitev kanala
- princip: če vskočiš komu v besedo, nehaj govoriti (prekini kolizijo)
- uporaba jam signala za obveščanje ostalih vozlišč, naj ne pošiljajo
- Primer: 802.3 Ethernet
 - B pošilja, dokler ne zazna kolizije, nato preneha pošiljati



3. Protokoli za izmenični dostop

- Namesto faze boja za medij je faza rezervacije. Dva pristopa:

1. rezervacija s centralnim vozliščem (polling)
 - zakasnitev
 - enotna točka odpovedi (centralno vozlišče)

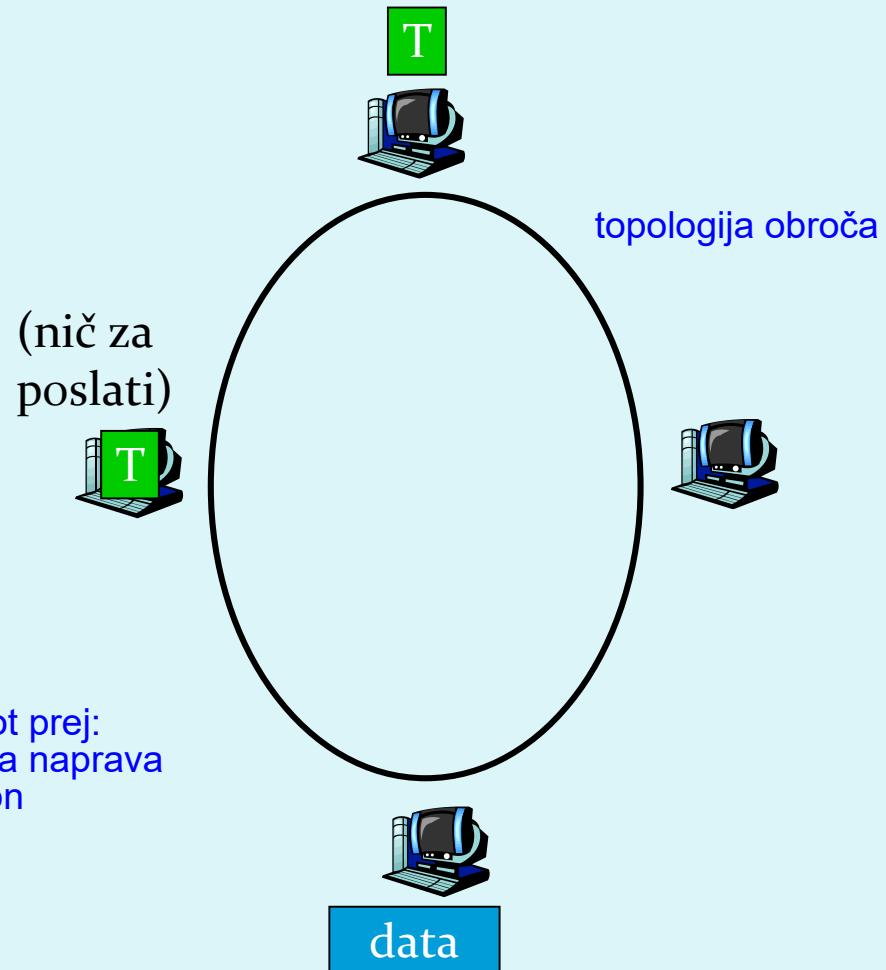


centralno vozlišče daje besede; pove, kdo je na vrsti; POLLING - sprašuje, če ima kdo kaj za poslati

v primeru, da centralno vozlišče crkne lahko po nekaj časa tišine druga naprava prevzame vlogo centralnega vozlišča - kot backup

3. Protokoli za izmenični dostop

2. rezervacija z žetonom, ki kroži (token)
 - zakasnitev
 - enotna točka odpovedi (žeton)

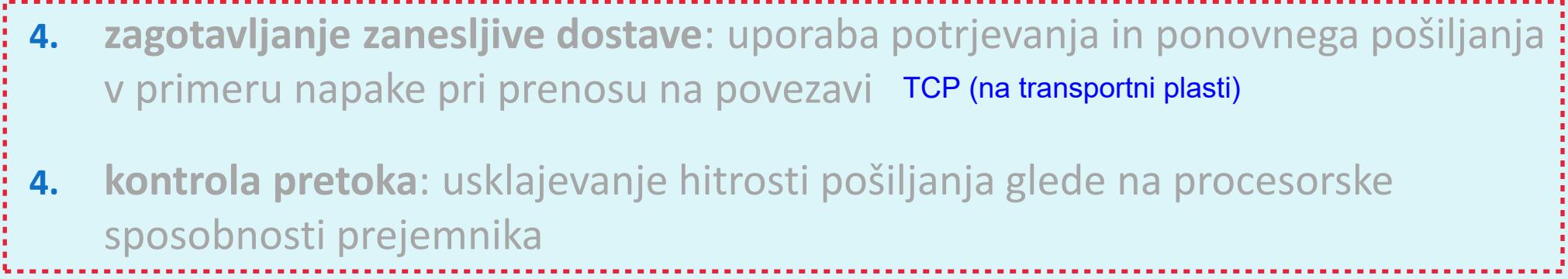


v primeru okvare žetona podobno kot prej:
če je nekaj časa tišina v kanalu, neka naprava
postane "backup" in ustvari nov žeton

3. Protokoli za izmenični dostop

- primer: Vodilo in obroč z žetonom (FDDI, Token Ring)
- upoštevanje smernic za idealni protokol (najboljša kombinacija):
 1. če oddaja eno samo vozlišče, oddaja s hitrostjo R 
 2. če oddaja M vozlišč, oddajajo s povprečno hitrostjo R/M  hitrost je malo manj kot R/M zaradi koordinacije žetonov, zakasnitev, ipd.
 3. vendar: koordinacija žetonov doprinaša k zakasnitvi 
 4. enostaven
 5. decentraliziran

Storitve povezavne plasti

- povezavna plast izvaja:
 - okvirjanje datagramov:** podatkom višje plasti se doda glava in določi struktura 
 - zaznavanje in odpravljanje napak:** z dodatnimi biti lahko zaznavamo, ali je prišlo do napake pri prenosu okvirja; v določenih primerih jo lahko odpravimo 
 - dostop do medija:** če je medij deljen, se uporablja MAC protokol (*media access control*) in ustrezeno naslavljjanje udeležencev 
 - zagotavljanje zanesljive dostave:** uporaba potrjevanja in ponovnega pošiljanja v primeru napake pri prenosu na povezavi **TCP** (na transportni plasti) 
 - kontrola pretoka:** usklajevanje hitrosti pošiljanja glede na procesorske sposobnosti prejemnika
- protokoli, ki jih bomo obravnavali, se s tem ne ukvarjajo (razen TCP)



Naslednjič gremo naprej!

- povezavna plast
 - naslavljanje na povezavni plasti
 - Ethernet
 - stikala
 - PPP protokol

