



Preddiplomski studij

Računarstvo

Komunikacijske mreže

3.

Komunikacijski protokoli podatkovne poveznice

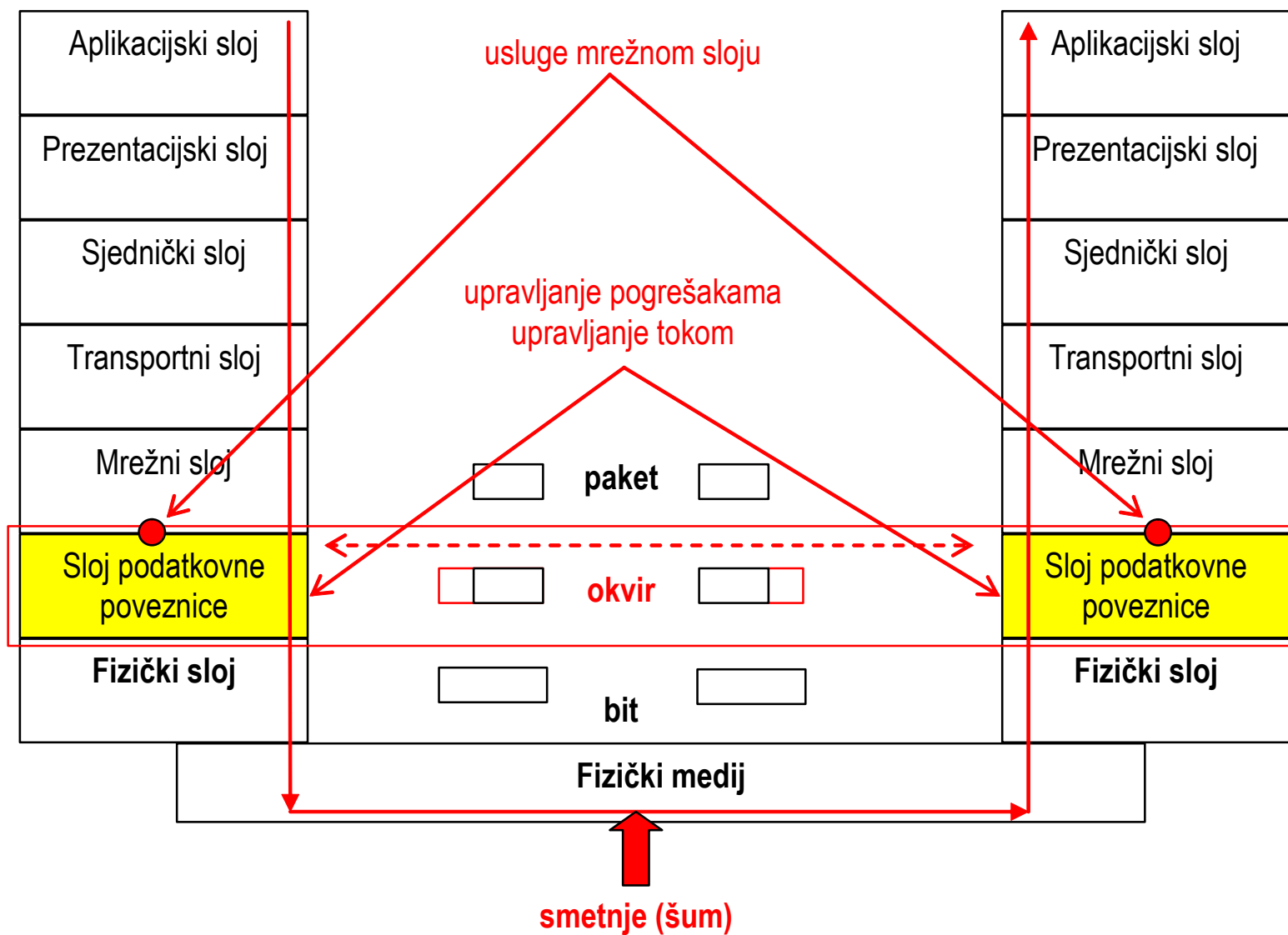
Lokalna mreža

Ak.g. 2011./2012.

- ◆ Komunikacijski protokoli podatkovne poveznice
 - Osnovni modeli komunikacijskih protokola
 - Učinkovitost podatkovne poveznice: iskoristivost kanala
- ◆ Komunikacija u lokalnoj mreži
 - Podsloj upravljanja pristupom mediju
 - Podsloj upravljanja logičkom poveznicom
- ◆ Normiranje lokalnih mreža
- ◆ Lokalna mreža Ethernet, IEEE 802.3

Komunikacijski protokoli podatkovne poveznice

Podsjetimo se



Skup pravila i formata za postupak razmjene informacije između entiteta u mreži kojim se ostvaruje usklađenost predajnog i prijamnog entiteta te zaštita od mogućih pogrešaka u prijenosu i kvarova na sustavima i prijenosnim medijima.

U sloju podatkovne poveznice:

- razmjena okvira
- upravljanje pogreškama
- upravljanje tokom

Komunikacijski protokoli podatkovne poveznice uvode načela koja se primjenjuju i na višim slojevima!

- ◆ Komunikacijski protokoli podatkovne poveznice mogu omogućiti transparentan prijenos:
 - znakova (okteta), npr. ASCII-znakova
znakovni protokol (engl. *byte-oriented protocol*)

ili

- bilo kakve kombinacije bita
bitovni protokol (engl. *bit-oriented protocol*)
što je važnije za mreže!

Jednosmjerni protokol:

- ◆ okviri s podacima (podatkovni okviri) prenose se od sustava A do sustava B – jednosmjerni tok podataka:
 - Jednosmjerni protokol bez ograničenja
 - Jednosmjerni protokol “stani i čekaj”
 - Jednosmjerni protokol za kanal sa smetnjama (ARQ, PAR)

Dvosmjerni protokol:

- ◆ okviri s podacima prenose se od sustava A do sustava B i u suprotnom smjeru, od sustava B do sustava A – dvosmjerni tok podataka
 - dvosmjerni protokol za kanal sa smetnjama

engl. *Unrestricted Simplex Protocol*

Način rada:

- ♦ predajnik u sustavu A šalje podatkovne okvire, a prijemnik u sustavu B prima ih bez ograničenja
- ♦ jednosmjerni tok podatkovnih okvira od A prema B i jednosmjerna komunikacija (kanal od A prema B)

Idealizacija:

- ♦ predajnik i prijemnik uvijek spremni
- ♦ prijenos bez pogrešaka
- ♦ obrada beskonačno brza
- ♦ spremnici beskonačni

Tanenbaum: utopijski protokol!

engl. *Simplex Stop-and-Wait Protocol*

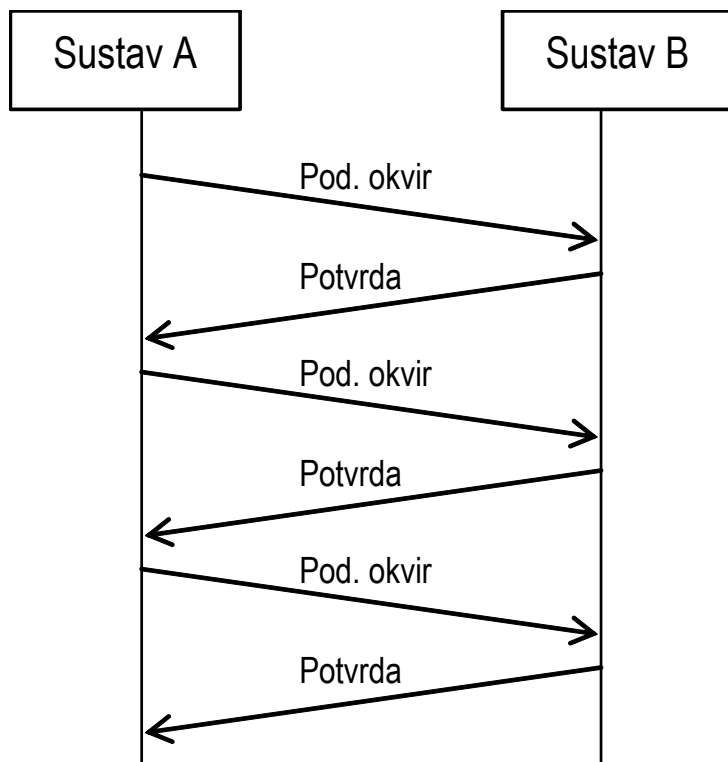
Način rada:

- ♦ predajnik u sustavu A pošalje podatkovni okvir, pa stane s odašiljanjem i čeka upravljački okvir s potvrdom od prijemnika u sustavu B, da bi poslao sljedeći podatkovni okvir
- ♦ jednosmjerni tok podatkovnih okvira od A prema B, a dvosmjerna komunikacija (kanal od A prema B i povratni kanal od B prema A)

Korak prema stvarnosti:

- ♦ obrada realnog trajanja
- ♦ spremnici konačnog kapaciteta, **ali prijenos bez pogrešaka!**

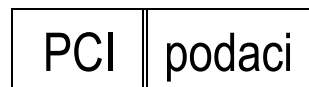
Jednosmjerni protokol "Stani i čekaj" (2)



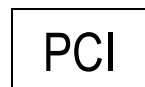
Dvije vrste okvira

- ◆ podatkovni okvir (okvir s podacima)
- ◆ upravljački okvir (potvrda)

Zaustavljanje predajnika nakon odašiljanja okvira i čekanje na potvrdu sprječava preopterećenje prijamnika



podatkovni okvir



upravljački okvir (potvrda u PCI)

Stvarnost:

- ◆ pogreške u prijenosu mogu izazvati oštećenje ili gubitak podatkovnog okvira ili potvrde

Način rada:

- ◆ ako primi ispravan podatkovni okvir, prijamnik vraća pozitivnu potvrdu, a ako primi oštećeni okvir, vraća negativnu potvrdu
- ◆ kad dobije pozitivnu potvrdu, predajnik šalje sljedeći podatkovni okvir, a kad dobije negativnu potvrdu ponavlja prethodno poslani podatkovni okvir
- ◆ uvodi se vremenska kontrola da ne bi gubitak podatkovnog okvira ili potvrde izazvao bi beskonačno čekanje

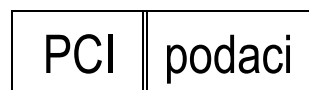
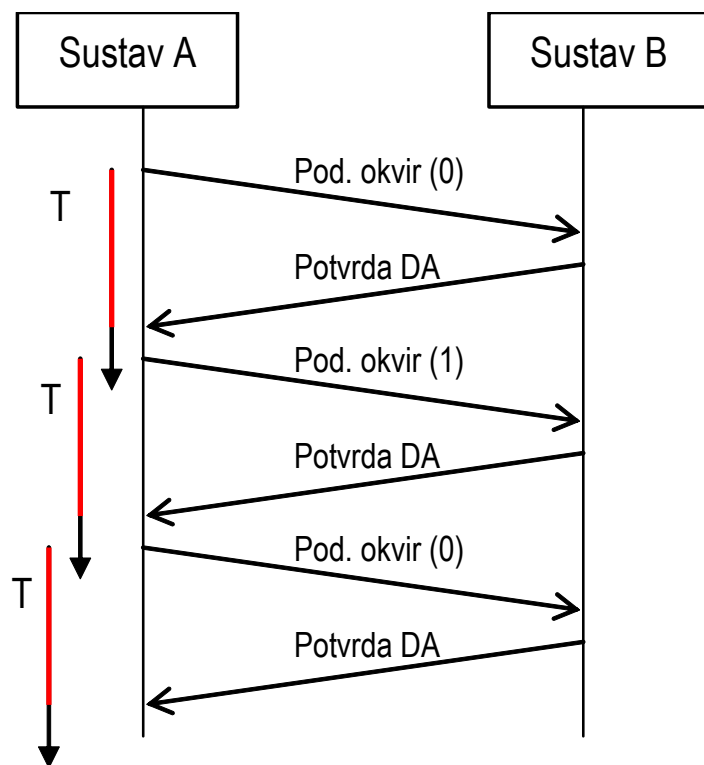
Rješenje:

- ◆ numeracija okvira omogućuje njihovo razlikovanje
 - predajnik zna koji okvir mora poslati, a prijamnik koji je okvir primio
 - izbjegava se gubitak ili višestruki prijam istog podatkovnog okvira
- ◆ numeracija okvira rješava se u okviru protokolne upravljačke informacije (PCI)

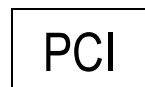
Slijedni broj (engl. *sequence number*):

- ◆ označava okvire u slijedu ($0, 1, \dots, 2^n-1$ ili $2^n-1, 2^n-2, \dots, 0$)
- ◆ najkraći slijedni broj duljine 1 bit (alternirajući bit, 0/1)
označava okvire naizmjenično s 0, 1, 0, 1, ...

Jednosmjerni protokol za kanal sa smetnjama (3)



podatkovni okvir
(slijedni broj u PCI)



upravljački okvir (potvrda u PCI)

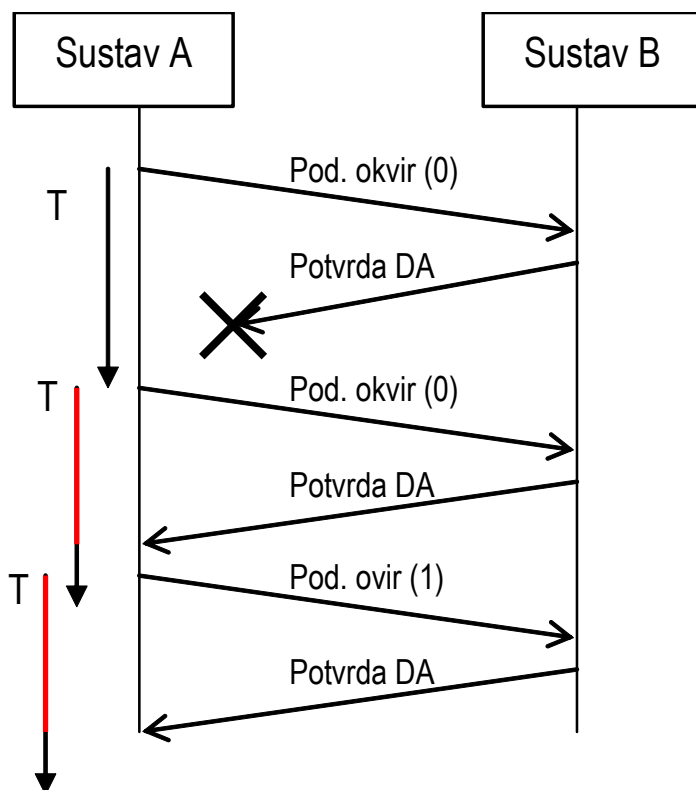
Ovakvi protokoli nazivaju se:
Automatski zahtjev za
ponavljanjem (engl. *Automatic
Repeat reQuest*, **ARQ**)

i

Pozitivna potvrda s
ponavljanjem (engl. *Positive
Acknowledgment with
Retransmission*, PAR)

Potvrda ispravnih podatkovnih
okvira naizmjenično označenih
slijednim brojevima 0,1

Jednosmjerni protokol za kanal sa smetnjama (4)



Gubitak upravljačkog okvira s potvrdom

- ♦ prvi poslani okvir označen slijednim brojem 0 nije potvrđen na vrijeme
- ♦ predajnik ponavlja isti okvir
- ♦ prijemnik zna da je taj okvir već primio pa će ga potvrditi predajniku, ali ga neće isporučiti mrežnom sloju

engl. *Full-Duplex Protocol, Bidirectional Protocol*

Način rada:

- ◆ dvosmjerni tok podatkovnih okvira od A prema B i od B prema A i dvosmjerni tok upravljačkih okvira s potvrdom (kanal od A prema B i kanal od B prema A)

Učinkovito rješenje:

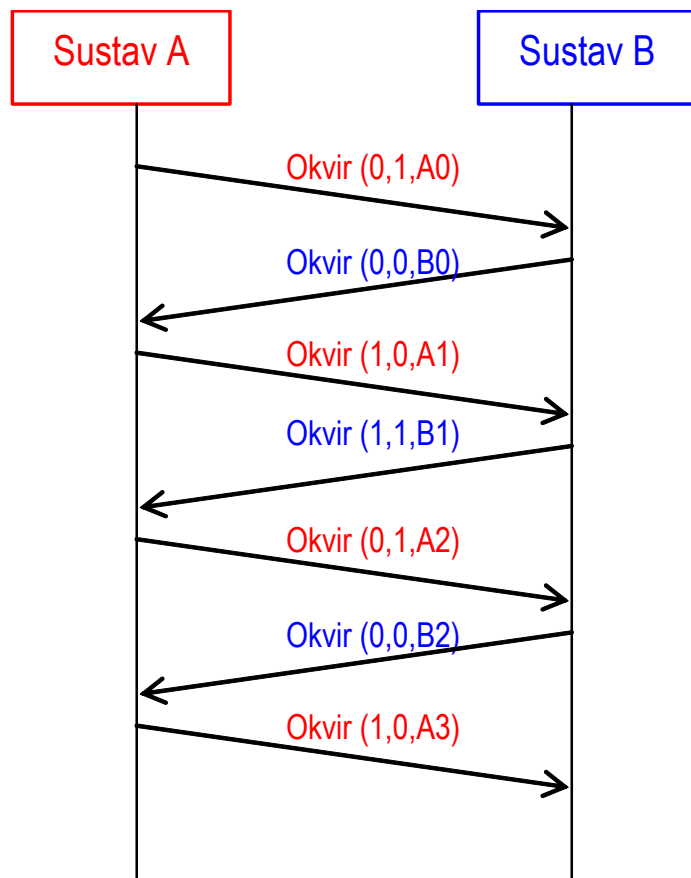
- ◆ dvosmjerni protokol s **jedinstvenim okvirom** u kojem su sadržani i podaci koji se šalju (polje podataka) i potvrda primljenih podataka (protokolna upravljačka informacija)

Primjer

Protokol s alternirajućim bitom (engl. *alternating bit protocol*):

- ◆ okviri su označeni naizmjenično slijednim brojevima 0 i 1
- ◆ protokolna upravljačka informacija sadrži dva polja:
 - slijedni broj okvira koji se šalje (0 ili 1)
 - potvrda: slijedni broj zadnjeg ispravno primljenog okvira (0 ili 1)
- ◆ svaki sustav (A, B) i predaje i prima okvire s podacima:
 - odašilje okvire na načelu “stani i čekaj” tako da šalje “okvir po okvir” (dok ne primi potvrdu za prethodne, ne šalje okvir s novim podacima)
 - potvrđuje zadnji ispravno primljeni okvir

Dvosmjerni protokol za kanal sa smetnjama (3)



Okvir (x, y, z):

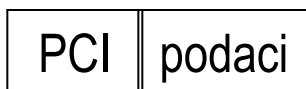
- ◆ x – broj okvira koji se šalje
- ◆ y – broj zadnjeg ispravnog primljenog okvira
- ◆ z – podaci

A šalje 0, potvrđuje 1, podaci A0

B šalje 0, potvrđuje 0, podaci B0

A šalje 1, potvrđuje 0, podaci A1

...



jedinstveni okvir (slijedni broj i potvrda u PCI)

Problem:

- ◆ komunikacija “okvir po okvir” izrazito je neučinkovita kod duljih relacija s većim kašnjenjem

Naznaka rješenja:

- ◆ odašiljanje više okvira bez čekanja potvrde
- ◆ slijedni brojevi poslanih, a nepotvrđenih okvira zapisani u tzv. **klizećem prozoru** (engl. *sliding window*)
- ◆ prozor je ograničene veličine ($n > 1$)
- ◆ po primitku potvrde za $m \leq n$ okvira, prozor “klizi” prema m novih okvira, čime se omogućuje njihovo odašiljanje

Koje je veličine prozor u prethodnom primjeru protokola?

1. Kako na propusnost utječe količina upravljačke informacije?

- polje podataka: n_p bita
- protokolna upravljačka informacija: n_c bita
- protokolna jedinica podataka: $n = n_p + n_c$ bita
- **protokolni dodatak (engl. overhead):** $n_c / (n_c + n_p)$
- brzina prijenosa: c bit/s
- **maksimalna propusnost:** $c (1 - n_c / (n_c + n_p))$

2. U kakvim bi se uvjetima prijenosa mogla postići maksimalna propusnost?

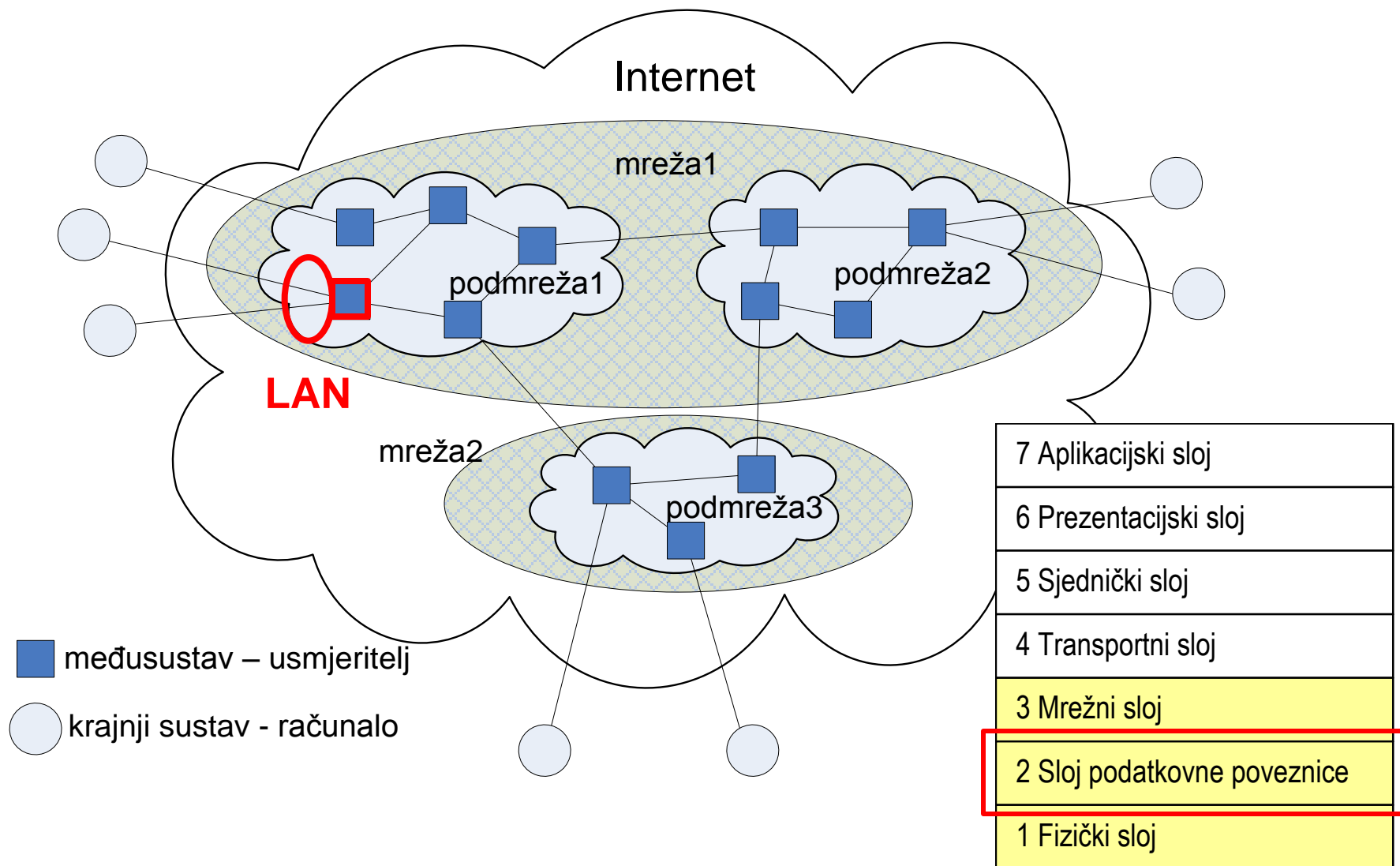
3. Na što utječu udaljenost komunicirajućih sustava i vrsta prijenosnog medija?

4. Kako na propusnost utječe veličina protokolne jedinice podataka?
5. Kolika je maksimalna propusnost koju se može postići protokolom "stani i čekaj":
 - na komunikacijskom kanalu kapaciteta $c = 1\text{ Gbit/s}$,
 - pri prijenosu okvira duljine $n = 10\text{ kbit}$,
 - uz propagacijsko kašnjenje $d = 2\text{ }\mu\text{s}$ i
 - uz pretpostavku da je upravljački s okvir s potvrdom zanemarivo kratki, kao i obrada na izvoru i odredištu?

1. Nacrtajte vremenski dijagram za protokol “Stani i čekaj”, s označenim vremenima obrade u predajniku i prijamniku, prijenosa okvira i propagacijskim kašnjenjem.
2. Primjenjuje se dvosmjerni protokol s alternirajućim bitom kao u primjeru (pp 17 od 50). Okvir (1,0,A1) primljen je oštećen. Nacrtajte i objasnite slijedni dijagram.
3. Primjenjuje se dvosmjerni protokol s alternirajućim bitom kao u primjeru (pp 17 od 50). A i B započinju slanje okvira (0,1,A0) i (0,1,B0) istodobno. Nacrtajte i objasnite slijedni dijagram.

Lokalna mreža

Lokalna mreža i pristup Internetu ...



Problem: zašto?

- ♦ ostvariti povezivanje ograničenog broja **stanica** (krajnjih sustava/uređaja, najčešće **računala**) unutar zgrade ili skupine susjednih zgrada, u pravilu uz dobre uvjete komuniciranja (malo kašnjenje, mala vjerojatnost pogreške)

Funkcionalnost: što?

- ♦ lokalna mreža (engl. *Local Area Network*, LAN), uz ostvarivanje većih i velikih brzina prijenosa

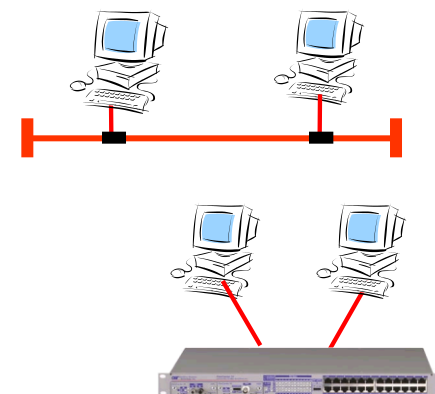
Izvedba: kako?

- ♦ Ethernet, IEEE 802.3

Literatura: “Osnovne arhitekture mreža”, 4. Lokalne mreže

Fizički sloj:

- ♦ izvorno: dijeljeni medij (koaksijalni kabel) na koji su spojene, sve stanice – topologija sabirnice, a zatim
- ♦ parica s prvim komunikacijski uređajem paričnim obnavljačem (engl. *hub*) – topologija zvijezde
- ♦ način rada: razašiljanje (engl. *broadcast*)
 - jedna stanica šalje okvir
 - sve stanice primaju okvir
- ♦ **problem pristupa mediju:**
 - kako dodijeliti medij jednoj stanici ako više istodobno želi slati okvir?



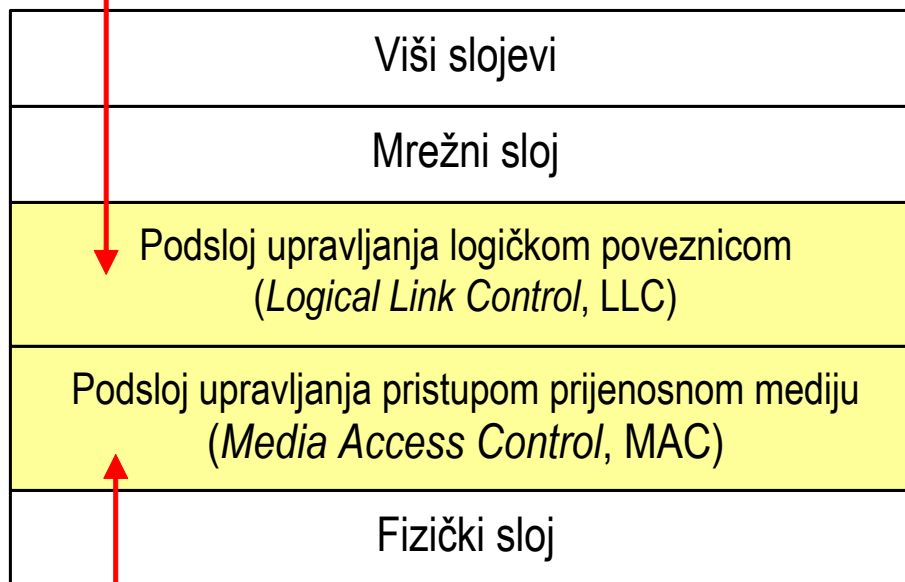
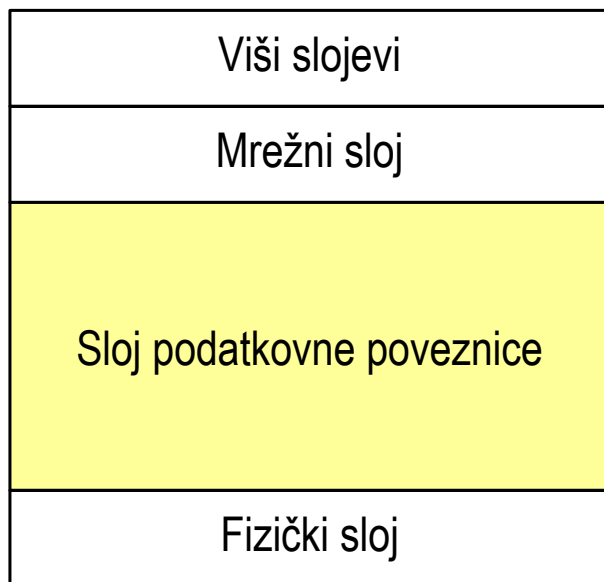
Sloj podatkovne poveznice:

- ◆ podsloj upravljanja pristupom mediju
(*Media Access Control, MAC*)
 - dodjela medija stanici radi odašiljanja podataka
 - **specifično rješenje** za svaku vrstu lokalnih mreža
- ◆ podsloj upravljanja logičkom poveznicom
(*Logical Link Control, LLC*)
 - razmjena jedinica podataka između dvije stanice
 - **jednako rješenje** za sve vrste lokalnih mreža, neovisno o načinu upravljanja pristupom mediju

Sloj podatkovne poveznice u lokalnoj mreži (2)



Izmjena jedinica podataka između stanica



IEEE 802

Višestruki pristup: više stanica pristupa istom mediju

Podsloj MAC

- ◆ **dinamička** dodjela prijenosnog medija stanici u lokalnoj mreži (na zahtjev, po potrebi)
- ◆ izvodi se na mrežnoj kartici stanice ili u priključku mrežnog uređaja (port)
- ◆ **pristupni protokoli:**
 - pravila koja određuju redoslijed pristupanja mediju
- ◆ **upravljanje pristupom mediju:**
 - centralizirano ili **distribuirano**
- ◆ **pristup mediju:**
 - prozivka (*polling*) ili **slučajni pristup (*random access*): ALOHA, CSMA/CD**

ALOHA – paketska radijska mreža (Abramson, 1970)

- ◆ stanica šalje podatke kad god ih ima, potpuno decentralizirano i slučajno
- ◆ kad više stanica pošalje podatke istodobno, sukobljeni okviri će se međusobno uništiti
- ◆ nakon što ustanovi da je okvir uništen, stanica će ponoviti slanje podataka
- ◆ problem: slaba iskoristivost kanala zbog čestih sudara okvira
- ◆ Rješenja:
 - uvođenje vremenskih odsječaka (*Slotted ALOHA*)
 - smanjivanje mogućnosti sudara i otkrivanje sudara (CSMA/CD)

CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection*)

- ◆ prije slanja okvira stanica ustanovljava da li je medij zauzet mjerenjem napona - osluškivanje signala nositelja (*Carrier Sense*)
- ◆ više stanica pristupa mediju (*Multiple Access*) te može istodobno ustanoviti da je medij slobodan i poslati okvir
- ◆ na mediju se događa i otkriva sudar okvira (*Collision Detection*)
- ◆ ukoliko otkrije sudar, stanica ga označava posebnim nizom bita (*jam signal*) te ponavlja pokušaj nakon isteka slučajnog vremena

Podsloj LLC

- ◆ omogućuje protokolima mrežnog sloja da dijele podatkovnu poveznicu, tj. multipleksira/demultipleksira pakete mrežnog sloja – svakom mrežnom protokolu dodijeljena posebna SAP
- ◆ izveden kao upravljački program ili programski modul mrežnog uređaja
- ◆ usluge:
 - nespojna usluga bez potvrde primitka okvira (u većini LAN-ova)
 - nespojna usluga s potvrdom primitka okvira (u posebnim izvedbama mreža)
 - spojna usluga (iznimno rijetko)

DSAP (8 okteta)	SSAP (6 okteta)	Upravljačka polje (8 ili 16 okteta)	Korisnička informacija (varijabilno)
---------------------------	---------------------------	---	--

LLC PCI:

adresna informacija

DSAP - odredišna točka pristupa usluzi (*Destination* SAP)

SSAP - izvorišna točka pristupa usluzi (*Source* SAP)

upravljačko polje

upravljanje logičkom poveznicom (ovisno o vrsti LLC PDU)

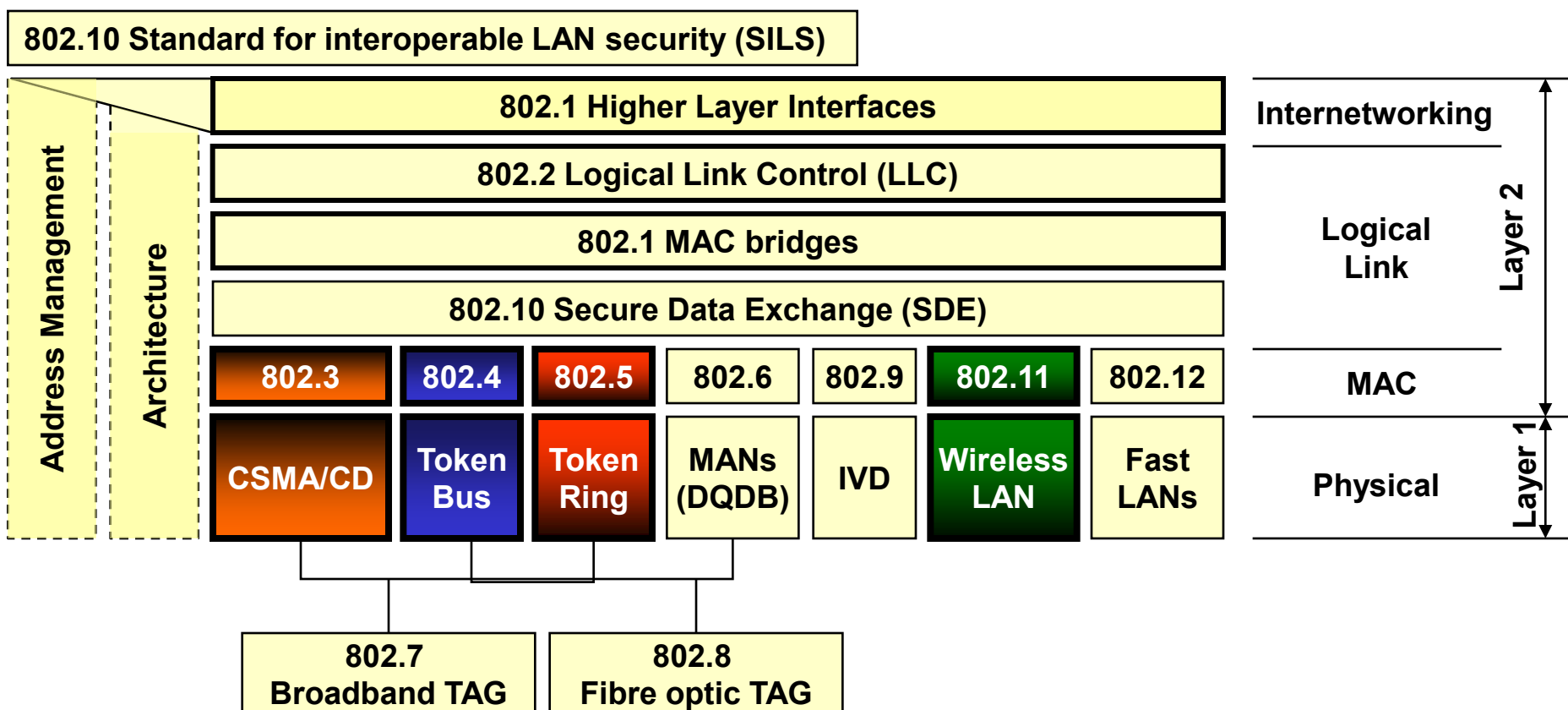
LLC SDU:

korisnička informacija

PDU mrežnog sloja, npr. datagram protokola IP

Odbor IEEE 802

Lokalna mreža IEEE 802.3, Ethernet



1xx Byyy Z

brzina prijenosa podataka:

- 1 Mbit/s
- 10 Mbit/s
- 100 Mbit/s
- 1000 Mbit/s = 1Gbit/s

način prijenosa signala medijem:

- BASE – prijenos u osnovnom pojasu
- BROAD – širokopojasni prijenos

najveća dozvoljena duljina segmenta izražena u jedinicama od po 100 metara:

- 5
- 2
- 36

odnosno slovo koje opisuje korišteni medij:

- T (twisted pair) – upredena parica
- F (fiber) – optičko vlakno
- L (long) – optičko vlakno, laseri za veće valne duljine
- S (short) – optičko vlakno, laseri za manje valne duljine

- ◆ brzina 10 Mbit/s
 - 10BASE5 - debeli koaksijalni kabel, topologija: sabirnica **FER 1985**
 - 10BASE2 - tanki koaksijalni kabel, topologija: sabirnica **FER 1985**
 - 10BASE-T - upredena parica (UTP, STP), topologija: zvijezda
 - 10BASE-F - optičko vlakno, topologija: zvijezda
 - 10BROAD36 – širokopojasni koaksijalni kabel: sabirnica
- ◆ brzina 100 Mbit/s
 - 100BASE-T - Fast Ethernet, topologija: zvijezda **FER 2007**
- ◆ brzina 1 Gbit/s
 - 1000 BASE-X - Gigabit Ethernet, topologija: zvijezda **FER 2007**

- ◆ Ethernet je definirao i razradio industrijski konzorcij DIX (Digital, Intel, Xerox):
 - prijenosni medij: koaksijalni kabel
 - fizička topologija: sabirnica
 - upravljanje pristupom: CSMA/CD
 - dvije norme: Ethernet I (1980) i Ethernet II (1982)
- ◆ IEEE 802.3 nastavio rad koji je započeo DIX:
 - ista načela
 - okviri različiti, zbog usklađivanja s drugim normama za lokalne mreže
- ◆ za obje vrste lokalnih mreža koristi se naziv Ethernet
- ◆ neki parametri uvjetovani su stanjem tehnologije u 80-tima

Ethernet	Preambula (8 okteta)	Odredište (6 okteta)	Izvorište (6 okteta)	Tip (2 okteta)	Podaci (46 - 1500 okteta)	FCS (4 okteta)
----------	--------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	--------------------------	-------------------------------------	--------------------------

IEEE 802.3	Preambula (7 okteta)	SoF (1)	Odredište (6 okteta)	Izvorište (6 okteta)	Duljina (2 okteta)	LLC i podaci (46 - 1500 okteta)	FCS (4 okteta)
------------	--------------------------------	-------------------	--------------------------------	--------------------------------	------------------------------	---	--------------------------

Odredišna adresa (48 bita, bitovi 0-47)

Najviši 47. bit: "0" – adresa pojedine stanice

"1" – adresa skupine stanica (engl. *multicast address*)

46. bit: "0" – globalno administrirana adresa (sklopovski unos)

"1" – lokalno administrirana adresa (mrežni administrator)

Svi bitovi 0-47: "1" – adresa svih stanica (engl. *broadcast address*)

Polje podataka:

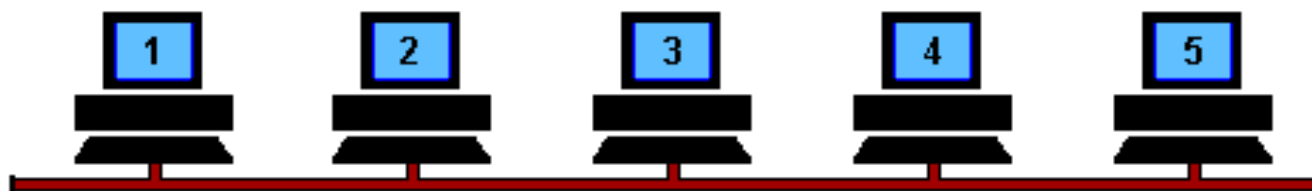
- ◆ ako je količina podataka manja od 46 okteta, provodi se punjenje do 46 okteta

Duljina okvira:

- ◆ minimalna duljina okvira je 72 okteta uz adrese od 6 okteta ($8+6+6+2+46+4$), odnosno 64 okteta uz adrese od 2 okteta ($8+2+2+2+46+4$)
- ◆ okvir treba biti takve duljine da:
 - jamči otkrivanje sudara i olakšava njihovo prepoznavanje,
 - sprječava odašiljanje novog okvira prije nego li je prethodni stigao do odredišta, čime se smanjuje broj potencijalnih sudara.

1-ustrajni CSMA/CD (engl. 1-persistent CSMA/CD)

- ♦ vjerojatnost prijenosa okvira $p = 1$ ako je kanal slobodan
- ♦ nakon svakog okvira čeka se vrijeme potrebno za prienos 96 bita (12 okteta) kako bi se postigao razmak između sukcesivnih okvira (engl. *interframe gap*, *IFG*), zašto?
- ♦ nema potvrde, zašto?

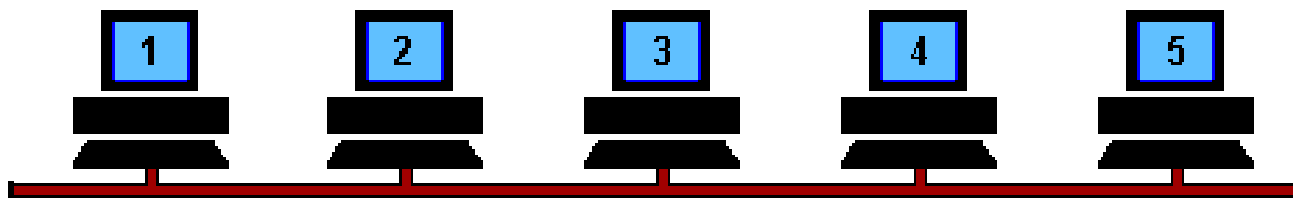


Stanice 2 i 4 razmjenjuju okvire:

- stanica 2 ustanovljava slobodan kanal i šalje okvir stanici 4
- stanica 4 ustanovljava slobodan kanal i šalje okvir stanici 2

otkrivanje i označavanje sudara – *jam signal*

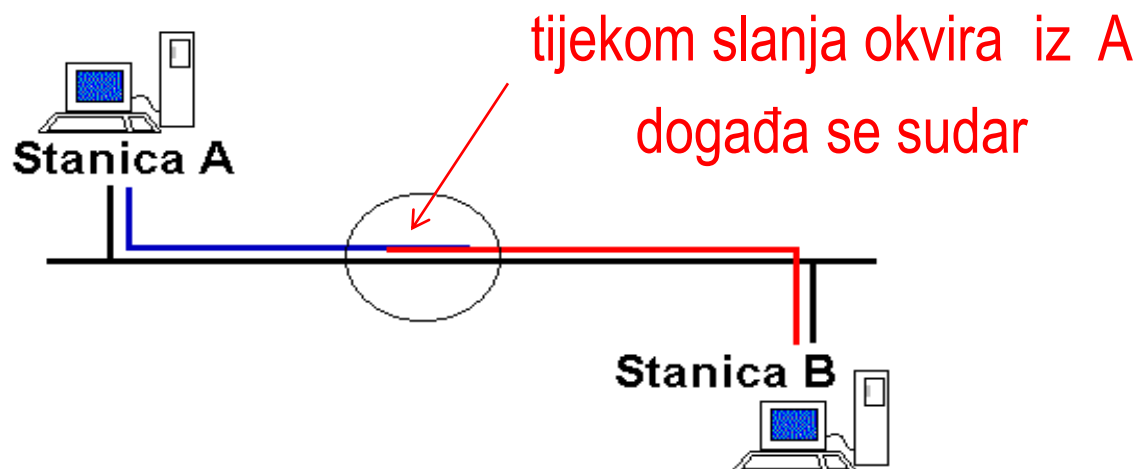
- ◆ nakon otkrivanja sudara (povećani napon na mediju), stanica obustavlja prijenos okvira i odašilje signal zagušenja (*jam signal*)
- ◆ istražite kakve je duljine i sadržaja niz bita koji predodčuje *jam signal*!



stanice 2 i 5 pokušavaju istodobno poslati okvire,
dolazi do sudara

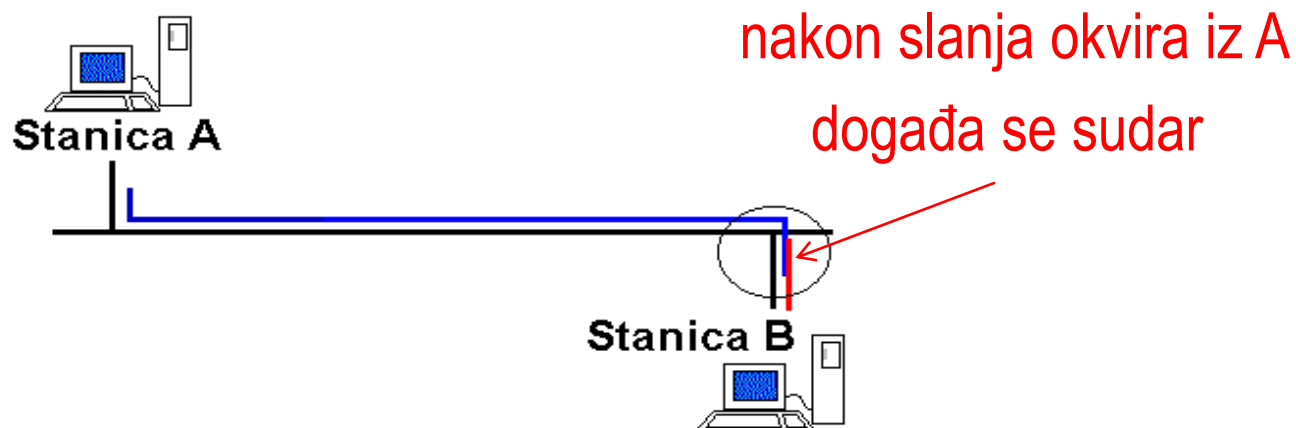
Rani sudar:

- ♦ stanica A ustanovljava da je kanal slobodan i šalje okvir
- ♦ tijekom slanja okvira stanica A osluškuje medij, pa otkriva sudar i odašilje *jam* signal
- ♦ stanica A ponavlja pokušaj slanja okvira nakon isteka slučajnog vremena



Kasni sudar:

- ◆ stanica ustanovljava da je kanal slobodan i šalje okvir
- ◆ tijekom slanja okvira stanica A ne otkriva sudar
- ◆ do sudara dolazi nakon što je stanica A završila slanje okvira
- ◆ stanica A prestala je sa slanjem okvira i nije svjesna da je došlo do sudara – **kako postići sigurno otkrivanje sudara?**



Teorijski:

- ♦ minimalno vrijeme potrebno za sigurno otkrivanje sudara jednako je dvostrukom trajanju prijenosa d :
 - prvi bit okvira stiže neposredno ispred prijamne stanice (d), a zadnji bit okvira još nije poslan
 - otkriveni sudar propagira se unatrag do predajne stanice ($2d$)

Praktički:

- ♦ minimalno vrijeme je veće zbog dodatnog kašnjenja u komunikacijskim uređajima kojima prolazi signal (npr. obnavljači signala):
 - 50 μ s za brzinu prijenosa 10 Mbit/s na udaljenost od 2500 m
 - minimalna duljina okvira 500 bita → 512 bita (64 x 8)

Zahtjev:

- ◆ okvir treba imati fiksnu duljinu, neovisno o brzini prijenosa

Posljedica:

- ◆ ako je duljina okvira fiksna, kraći je domet na većim brzinama – zašto?
- ◆ CSMA/CD načelo nije prikladno za velike brzine prijenosa (Gigabit Ethernet)

eksponencijalni porast vremena ponavljanja
(engl. *exponential backoff*) – zašto?

- ◆ nakon otkrivanja sudara, stanica ponavlja pokušaj nakon isteka slučajnog vremena r :

$k = \min(10, \text{brojPokusaja})$

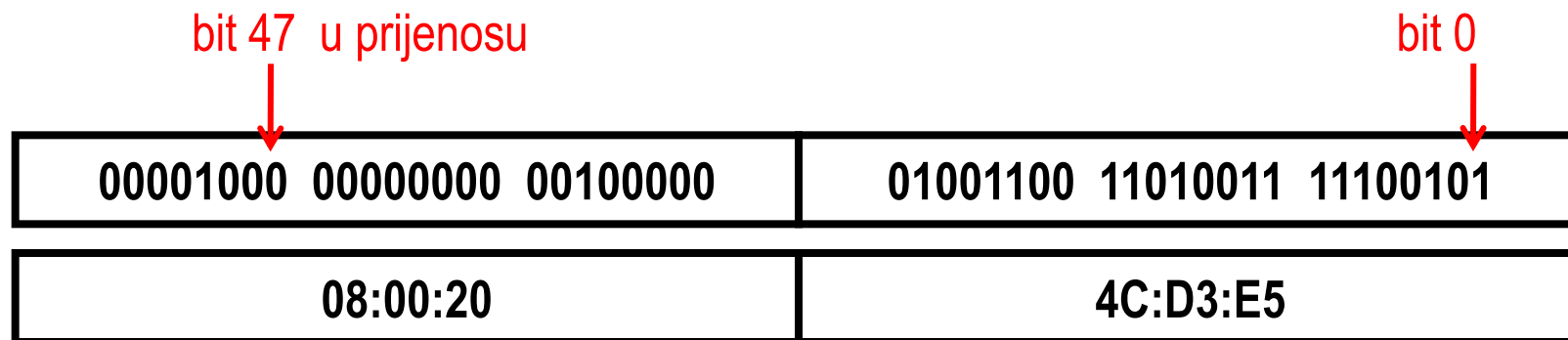
$r = \text{random}(0, 2^k - 1) \times \text{vremenskiOdsjecak}$

random vraća slučajni cijeli broj, s ravnomjernom raspodjelom između 0 i eksponencijalno rastuće gornje granice

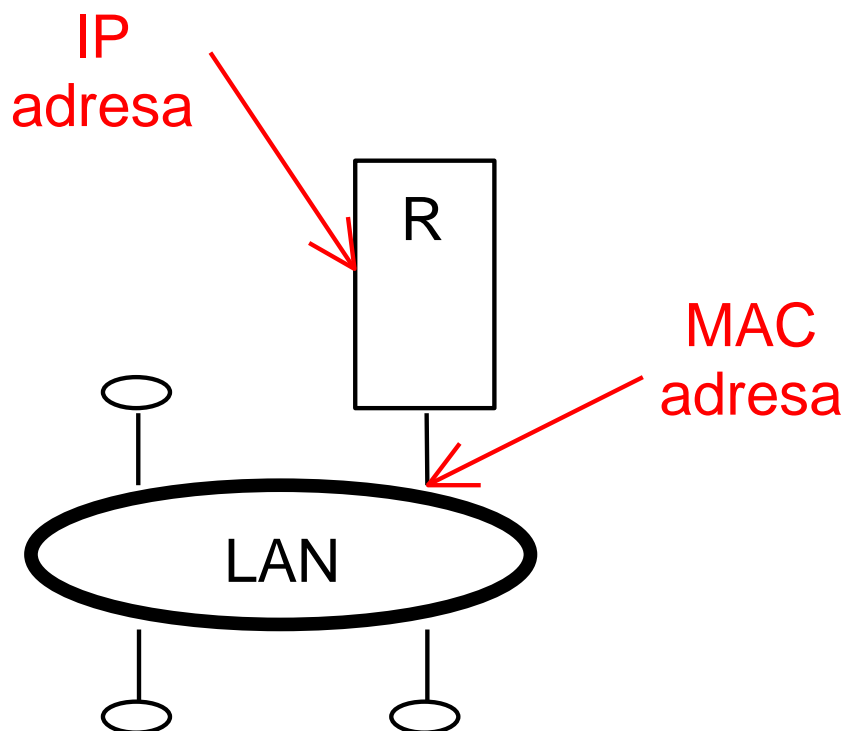
$\text{vremenskiOdsjecak} = \text{vrijeme prijenosa 512 bita}$

- ◆ koje su moguće vrijednosti r nakon trećeg pokušaja?

- ◆ svaka mrežna kartica ima svoju sklopovsku MAC adresu
 - 48 bita (MAC-48 identifikator)
 - prva tri okteta: jednoznačni identifikator organizacije - proizvođača
 - druga tri okteta: identifikator mrežnog sučelja NIC (*Network Interface Card*)
- ◆ MAC adrese se zapisuju u heksadekadskoj notaciji
 - primjer: 08 00 20 4C D3 E5



Kakve adrese treba imati računalo spojeno na lokalnu mrežu putem koje pristupa Internetu?



- ♦ **MAC-adresa**
sloj podatkovne poveznice
- ♦ **IP-adresa**
mrežni sloj
- ♦ uz pridruživanje:
MAC-adresa – IP-adresa

IEEE 802.4 Token Bus

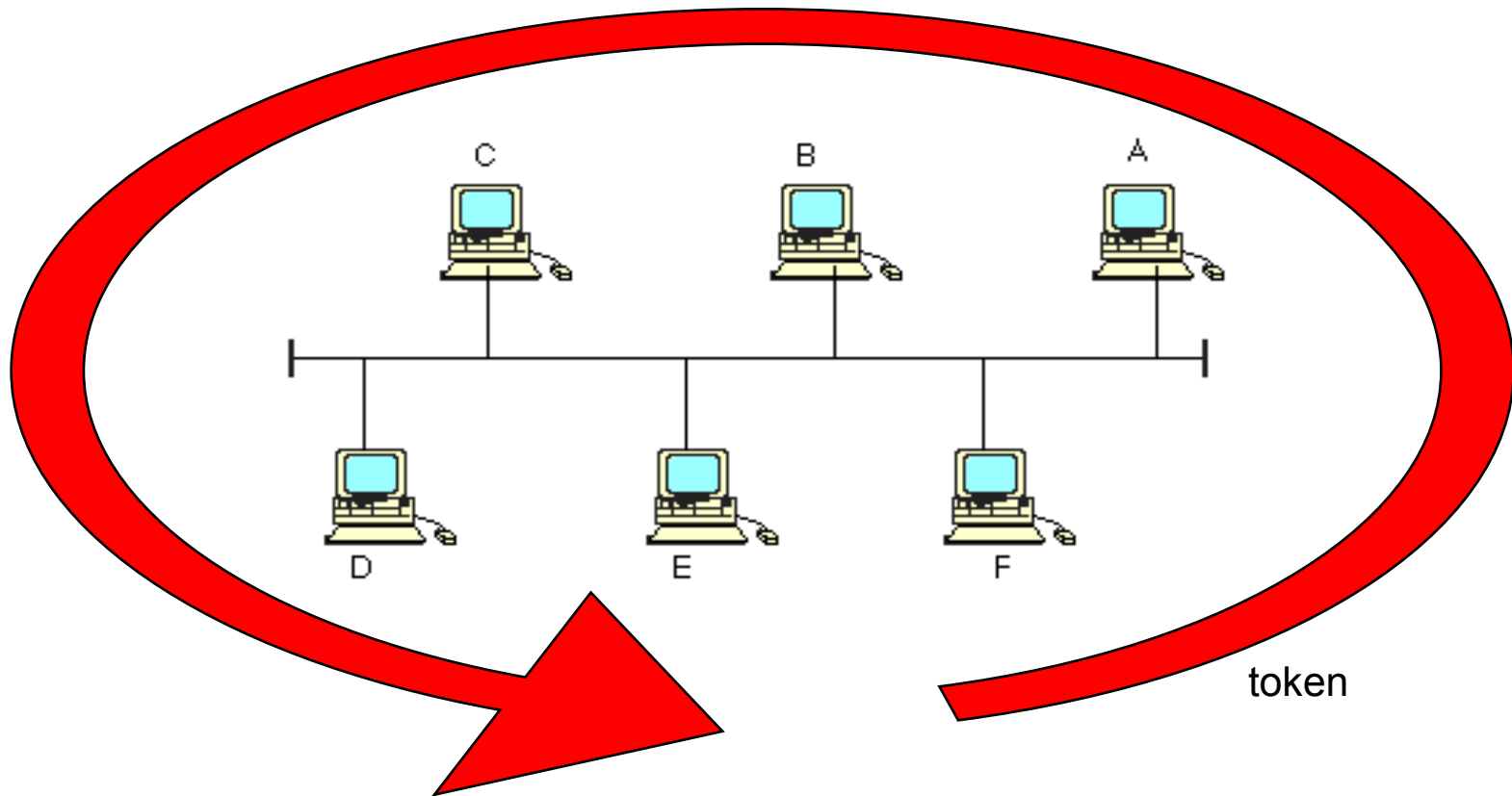
IEEE 802.5 Token Ring

Za pristup mediju primjenjuje se prozivka (engl. *polling*):

- ♦ pravo slanja okvira s podacima se označava znakom (engl. *token*) koji kruži između stanica
- ♦ znak: kratki pristupni okvir
- ♦ kad stanica dobije pravo, tj. primi znak, može poslati okvir
- ♦ pravo se ciklički prenosi narednoj stanici u slijedu

fizička topologija: sabirnica

logička topologija: prsten



IEEE 802.5 Token Ring

fizička topologija: prsten

logička topologija: prsten

