

Računalniške komunikacije

*Povezavna
plast*



Vsebina

Plast	Podatkovna enota	Opis
aplikacijska	sporočilo	Visoko nivojski API.
predstavitvena		Predstavitev podatkov, kompresija, enkripcija/dekripcija.
sejna		Upravljanje sej (dvosmerna izmenjava informacij).
transportna	segment	Povezave med vozlišči, zanesljivost.
omrežna	datagram	Prenos med več vozlišči v omrežju, logično naslavljanje.
povezavna	okvir	Prenos okvirjev med dvema omrežnima napravama, povezanima s fizično plastjo, fizično naslavljanje.
fizična	bit	Prenos toka bitov po prenosnem mediju.



Vsebina

- Povezavna plast
- Storitve povezavne plasti
 - Okvirjanje datagramov
 - Zanesljivost dostave
 - Nadzor pretoka
 - Obravnava napak
 - Dostop do skupnega kanala
- Primeri

Povezavna plast

- Namen povezavne plasti
 - zanesljiv prenos podatkov (okvirja)
 - zanesljiv: potrjevanje prenosa, prenos brez napak
 - po fizični plasti (prenosni kanal)
 - dvotočkovna povezava, vodilo, brezžična
 - do ciljne naprave
 - kako nasloviti napravo v skupinskih kanalih?



Povezavna plast

- Heterogenost povezav
 - povezave v omrežju lahko uporabljajo različne protokole
 - 802.3 Ethernet, 802.11 WiFi, token ring, slip, ppp



- potnik je *podatkovni paket*
- del poti je *komunikacijska povezava*
- način prevoza je *protokol povezavne plasti*
- organizator potovanja od začetka do konca je *usmerjevalni protokol omrežne plasti*

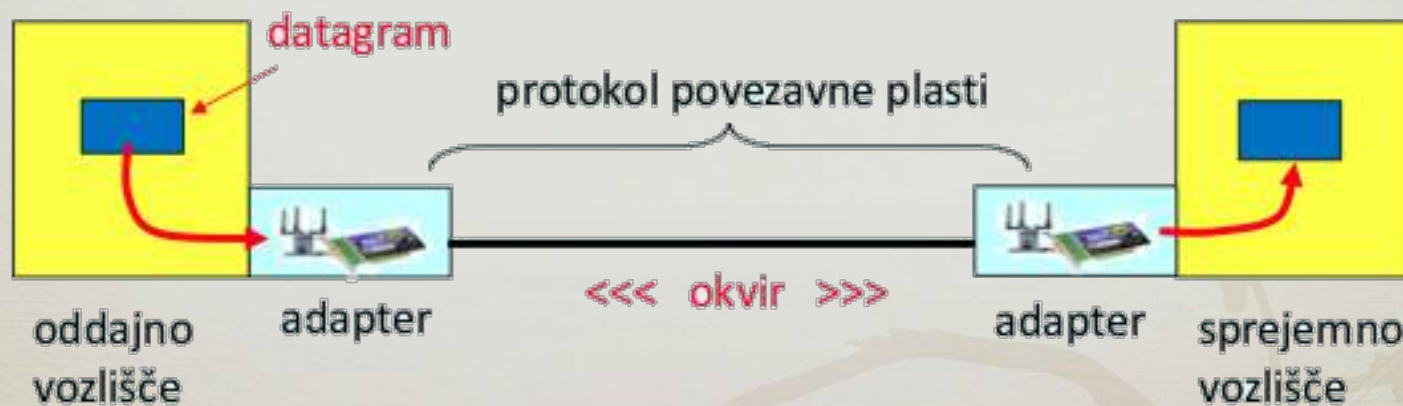
Povezavna plast

- Oddajnik

- enkapsulacija datagrama v okvir
- detekcija trkov, kontrola pretoka

- Sprejemnik

- dekapsulacija okvirja
- preveri napake, kontrola pretoka



Povezavna plast

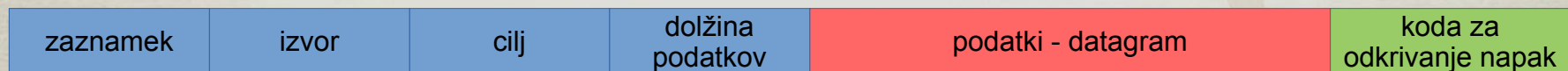
- **Storitve povezavne plasti**
 - okvirjanje datagramov (enota omrežne plasti)
 - zanesljivost dostave
 - nadzor pretoka
 - obravnava napak
 - dostop do (skupnega) prenosnega kanala



Okviranje datagramov

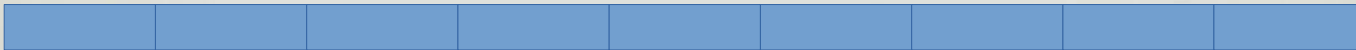
- Okvir (frame)

- protokolarna podatkovna enota povezavne plasti
- funkcionalnosti
 - okvirja / enakapsulira datagram
 - naslavlja napravo (skupinski kanal)
 - vsebuje kodo za preverjanje napak
- sestava okvirja
 - odvisna od protokola: glava + podatki + rep



Okviranje datagramov

- Začetek in konec okvira
 - zaznavanje začetka (in konca) okvira
 - **časovni razdelki** (time slots)
 - čas razdeljen na razdelke, ki so namenjeni prenosu
 - prepovedan začetek prenosa sredi razdelka



Okviranje datagramov

- Začetek in konec okvira
 - **redundantno kodiranje** na fizični plasti
 - npr. uporaba dveh bitov za zapis enega
 - 00 ... začetek, 01 ... 0, 10 ... 1, 11 ... konec
 - slab izkoristek kanala

Okviranje datagramov

- Začetek in konec okvira
 - **štetje znakov**
 - v glavi okvira podamo dolžino datagrama
 - napaka pri prenosu dolžine lahko zmede prenos
 - primer
 - okvir: dolžina + datagram

5 2 1 3 6 3 3 7 4 2 6 7 4 2 1 9 8

5 2 1 3 6 3 6 7 4 2 6 7 4 2 1 9 8 ... ?

Okviranje datagramov

- Začetek in konec okvira
 - posebni znaki
 - znakovno orientirani protokoli
 - posebni znaki za začetek in konec okvirja
 - podobno ubežnim kodam v nizih v programskih jeziki

Protokol BSC – binary synchronous protocol

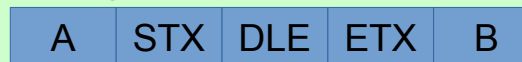
Kodiranje

- DLE STX ... začetek okvirja
- DLE ETX ... konec okvirja
- DLE DLE ... DLE

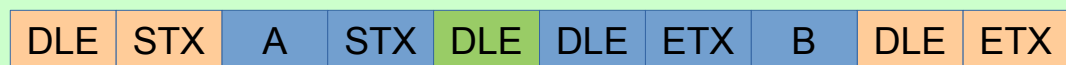
Oddajnik

- generira začetek in konec okvirja
- za vsak DLE v datagramu vrine DLE

datagram



okvir



Sprejemnik

- vsak prvi DLE briše
- če sledi STX/ETX gre za začetek/konec

Okviranje datagramov

- Začetek in konec okvira
 - posebna zaporedja bitov
 - bitno orientirani protokoli
 - znano zaporedje bitov kot zaznamek za začetek okvirja
 - pogosto se uporablja 01111110,
na vsakih 5 zaporednih 1 vrinemo 0

Začetek okvira: 01110

Na vsaki 2 zaporedni 1 vrinemo 0

datagram

1 0 1 1 0 0 1 1 1 0 0 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 1

okvir

0 1 1 1 0 1 0 1 1 0 0 0 1 1 0 1 0 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 0 0 0 0 1 0 1 1 1 0

Zanesljivost dostave

- Potrjevanje
 - **ack** (acknowledge) ... pozitivna potrditev
 - potrditev pravilnosti prenosa
 - **nack** (not acknowledge) ... negativna potrditev
 - zanikanje pravilnosti prenosa
 - potrebno je ponoviti prenos
- Časovna kontrola (time out)
 - časovnik (timer)
 - interni mehanizem sprejemnika/oddajnika, da po določenem času prekine dejavnost

Zanesljivost dostave

- Sprotno potrjevanje
 - oddajnik odda naslednji okvir, šele kot dobi potrditev za predhodnega (send and wait)
 - ne more priti do zasičenja sprejemnika
 - zagotavlja originalno zaporedje okvirjev
 - počasnost prenosa, ker je veliko čakanja



Zanesljivost dostave

- Potrjevanje s tekočim pošiljanjem
 - oddajnik ne čaka na potrditev, ampak kar pošilja okvire
 - boljša izkoriščenost, možno zasičenje sprejemnika
 - potreben je dodatni mehanizem za nadzor pretoka



Nadzor pretoka

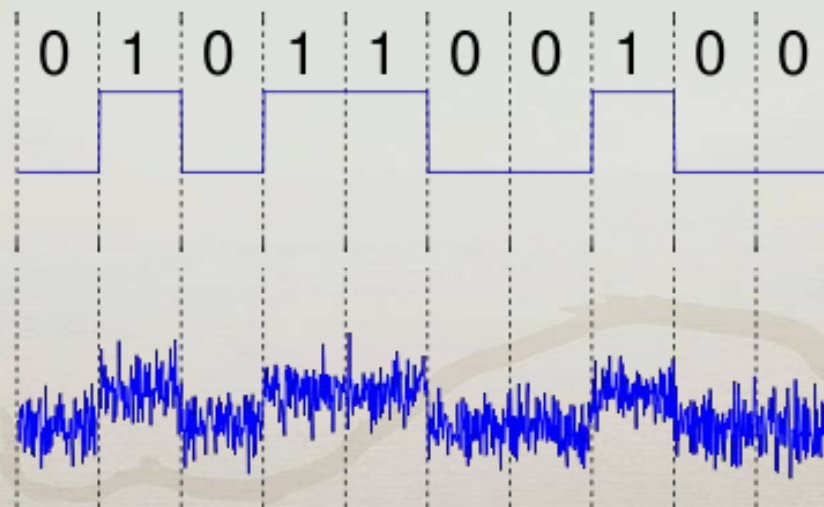
- Nadzor pretoka (flow control)
 - preprečevanje zasičenja sprejemnika v primeru prehitrega oddajanja
 - **XON/XOFF** – transmit on/off
 - sprejemnik oddajniku pošilja nadzorni sporočili
 - xoff: ustavi pošiljanje
 - xon: nadaljuj pošiljanje
 - opazuje svoje čakalne vrste in ustrezno reagira

Nadzor pretoka

- Nadzor pretoka
 - drseče okno
 - oddajnik lahko pošlje največ W okvirov brez potrditve
 - sprotno potrjevanje je enakovredno $W=1$
 - zaporedno označevanje paketov, oznake do $2W$

Obravnava napak

- Zaznavanje in odpravljanje napak
 - koda za detekcijo napak (error detection code)
 - dodatni biti v okviru
 - omogoča zaznavo nekaterih napak pri prenosu okvirja
 - v določenih primerih jo lahko celo odpravimo
 - $n = m + r$ (velikost okvira = podatki + redundantni biti)



Obravnava napak

- Vrste napak
 - **enojna** napaka
 - sprememba enega bita
 - 00001010 → 0**1**001010
 - **dvojna** napaka
 - sprememba dveh bitov
 - 00001010 → 0**1**0010**00**
 - **bločna** napaka (burst error)
 - sprememba zaporedja bitov
 - znotraj zaporedja so dovoljeni pravilni prenosi
 - 00001010 → 0**1**001**100**

Obravnava napak

- Parnost: paritetni bit
 - **liha** paritetna shema
 - 0: liho število enic v podatkih, sicer 1
 - **soda** paritetna shema
 - 0: sodo število enic v podatkih, sicer 1

niz	lps	sps
10010100	0	1
01101010	1	0

- uspešnost?
 - omogoča zaznavanje lihega števila napak

Obravnava napak

- Parnost v 2 dimenzijah: paritetni biti
 - podatke razvrstimo v 2D tabelo: vrstice in stolpci
 - dodamo paritetne bite za vsako vrstico in stolpec
 - zaznavanje in odpravljanje enojnih napak



Obravnava napak

- Hammingovo kodiranje
 - m ... št. podatkovnih bitov, r ... št. paritetnih bitov
 - pogoj: $m + r + 1 \leq 2^r$
 - koda (pošiljatelj)
 - paritetni biti so na pozicijah 2^i , kjer $i = 0, 1, \dots, r-1$
 - na ostalih pozicijah so podatkovni biti
 - bit na poziciji k vpliva na i -ti paritetni bit p_{2^i} , če je v $\text{bin}(k)$ prižgan i -ti bit
 - detekcija (prejemnik)
 - izračuna sindrom, enako kot paritetne bite
 - sindrom pove mesto napake

Obravnava napak

- Hammingovo kodiranje

- $m = 4, r = 3$

- pozicije kontrolnih bitov: 1, 2, 4

- koda: $p_1 p_2 d_3 p_4 d_5 d_6 d_7$

- soda pariteta: $p_1 d_3 d_5 d_7, p_2 d_3 d_6 d_7, p_4 d_5 d_6 d_7$

$p_1 p_2 d_3 p_4 d_5 d_6 d_7$	$p_1 d_3 d_5 d_7$
0 1 1 0 0 1 1	0 1 0 1
	$p_2 d_3 d_6 d_7$
	1 1 1 1
	$p_4 d_5 d_6 d_7$
	0 0 1 1

pravilen prenos

$p_1 p_2 d_3 p_4 d_5 d_6 d_7$	$p_1 d_3 d_5 d_7$	s_1
0 1 1 0 0 1 1	0 1 0 1	0
	$p_2 d_3 d_6 d_7$	s_2
	1 1 1 1	0
	$p_4 d_5 d_6 d_7$	s_4
	0 0 1 1	0

prenos z napako

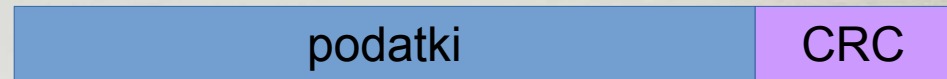
$p_1 p_2 d_3 p_4 d_5 d_6 d_7$	$p_1 d_3 d_5 d_7$	s_1
0 1 1 0 0 1 1	0 1 0 1	0
	$p_2 d_3 d_6 d_7$	s_2
	1 1 0 1	1
	$p_4 d_5 d_6 d_7$	s_4
	0 0 0 1	1

Obravnava napak

- Ciklična redundančna koda

- CRC, cyclic error-detecting redundancy check

- n -bitna koda



- detekcija vseh bločnih napak, do dolžine n bitov

- delež odkritih daljših napak: $1 / (1-2^{-n})$

- generirni polinom (generator polynomial)

- dvojiški polinom

- stopnje n , št. členov $n + 1$

Obravnava napak

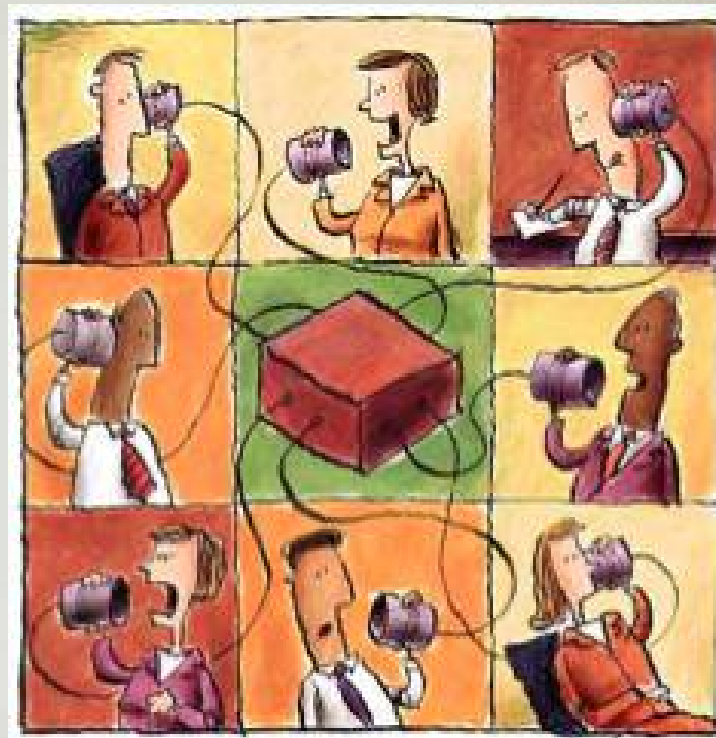
- Ciklična redundantna koda
 - CRC-1
 - generator = $x + 1$, soda paritetna shema
 - CRC-8, CRC-16, CRC-32 (Ethernet), CRC-64
 - primer
 - $g(x) = x^2 + 1$
 - podatek: 000101110

kodiranje	preverjanje	preverjanje
00010111000 101	00010111011 101	00010011011 101
00011000 101	00011011 101	00111011 101
01100 101	01111 101	010011 101
0110 101	0101 101	00111 101
011	000	010

Dostop do skupnega kanala

- **Pravila bontona – izogibanje trkom**

- daj vsakemu priložnost, da govori
- ne govori, razen če te kdo ne ogovori
- ne izvajaj monologov
- dvigni roko, če imaš vprašanje
- ne prekinjaj nekoga, ko ta govori
- ne spi, ko ti nekdo govori



- **Trk oz. kolizija**

- ko dve vozlišči oddajata naenkrat
- signal se preplete in okvari

Dostop do skupnega kanala

- Idealni protokol – smernice
 - **izkoristek**
 - če oddaja samo eno vozlišče, oddaja z največjo hitrostjo
 - **pravičnost**
 - če oddaja več vozlišč, si enakomerno porazdelijo pasovno širino oz. kapaciteto
 - **kolektivnost**
 - protokol je decentraliziran
 - **enostavnost**

Dostop do skupnega kanala

- Protokoli za dostop do medija
 - **delitev kanala** – ni trkov
 - kanal razdelimo na „podkanale“ in jih dodelimo vozliščem
 - protokoli: TDMA, FDMA
 - **izmenični dostop** – ni trkov
 - vozliščem izmenično dodeljujemo pravico do pošiljanja
 - protokoli: poizvedovanje (polling), podajanje žetona (token passing)
 - **naključni dostop** – trki so
 - vsak lahko oddaja kadarkoli; če pride do trka, ga razrešimo
 - protokoli: ALOHA, razsekana ALOHA, CSMA, CSMA/CD, CSMA/CA

Dostop do skupnega kanala

- Delitev kanala

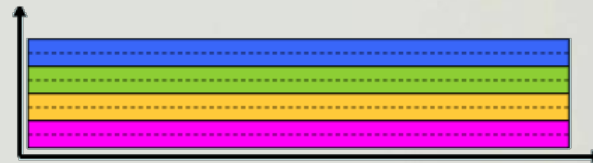
- **TDMA** (time division multiple access)

- vsako vozlišče dobi enak časovni interval



- **FDMA** (frequency division multiple access)

- vsako vozlišče ima svoj frekvenčni pas



- lastnosti

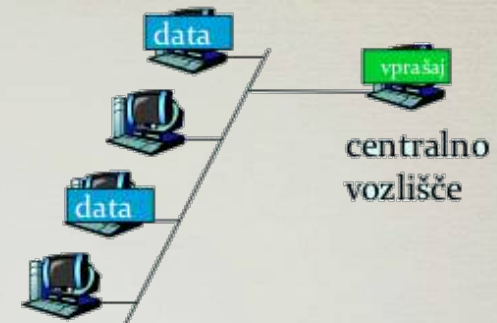
- visoka obremenitev: pošteno in učinkovito
 - nizka obremenitev: neizkoriščenost kanala, čakanje

Dostop do skupnega kanala

- Izmenični dostop

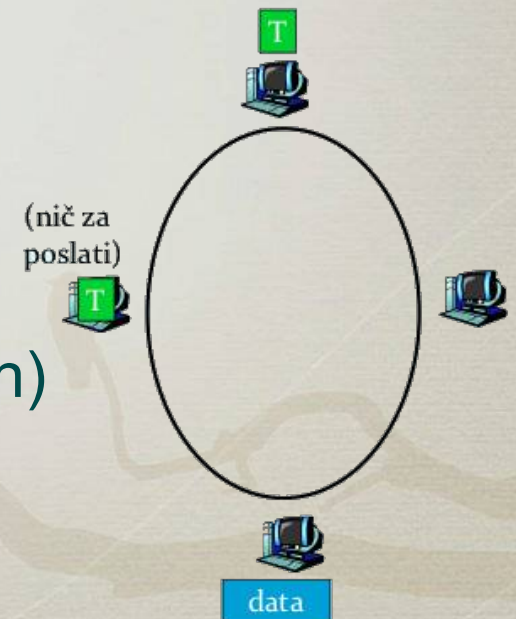
- **poizvedovanje** (polling)

- centralno vozlišče (master) sprašuje, kdo želi oddajati
 - zakasnitev
 - enotna statična točka odpovedi



- **podajanje žetona**

- rezervacija z žetonom, ki kroži
 - zakasnitev
 - enotna dinamična točka odpovedi (žeton)
 - FDDI, token ring 802.5



Dostop do skupnega kanala

- Naključni dostop

- **ALOHA**, 1970

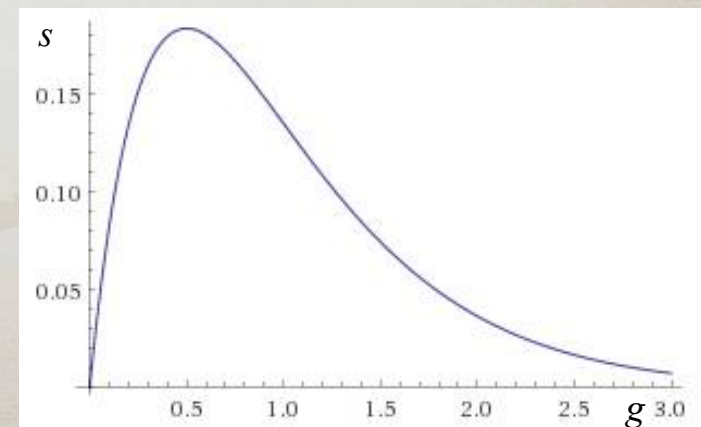
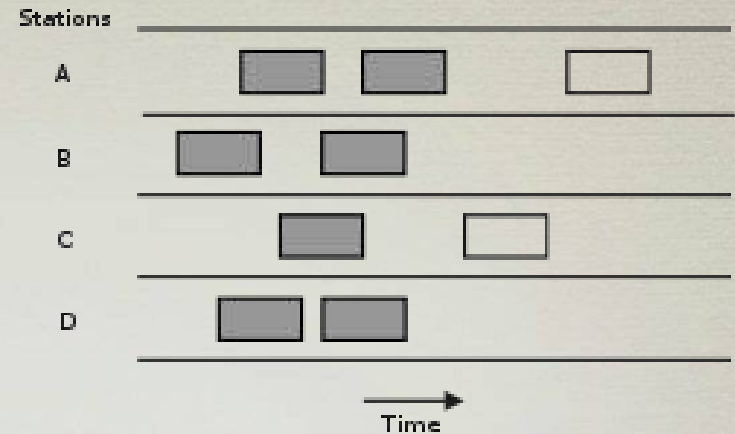
- preprost, ni sinhronizacije

- paket se lahko pošlje kadarkoli
 - paket se pošlje do konca in je ranljiv ves čas oddajanja
 - v primeru trka se po preteku naključnega časa, ponovno pošlje

- največja izkoriščenost 18%

- g ... pričakovano št. poskusov v času paketa

- $s = g \cdot e^{-2g}$



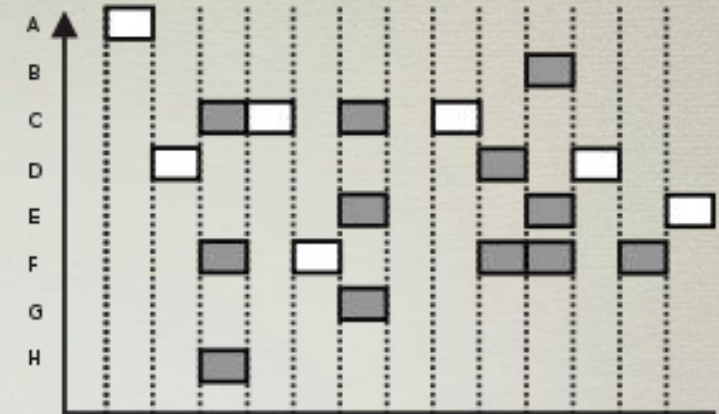
Dostop do skupnega kanala

- Naključni dostop

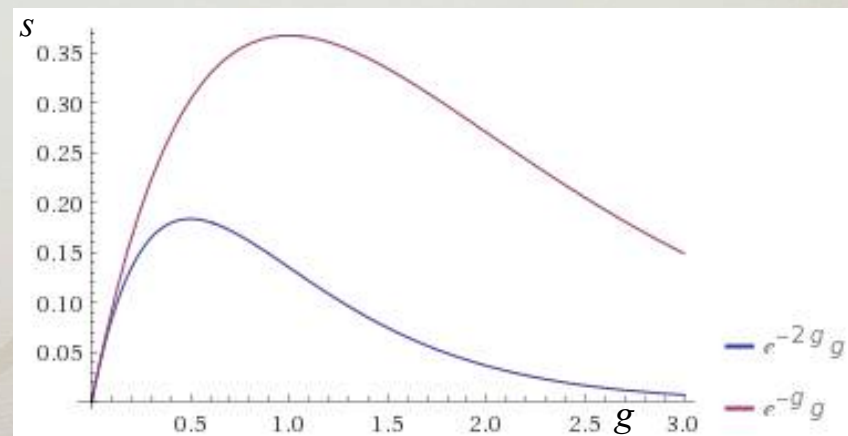
- Razsekana ALOHA

- čas razdeljen na enake časovne intervale, v katerih je možno poslati okvir
 - potrebna je sinhronizacija časa
 - trk: paket se ponovno pošlje v naslednjem intervalu z verjetnostjo p
 - največja izkoriščenost 36%

- $s = g \cdot e^{-g}$



Slotted ALOHA protocol (shaded slots indicate collision)



Dostop do skupnega kanala

- Naključni dostop

- **CSMA**, *carrier sense* multiple access

- zaznava prenosa pred oddajo

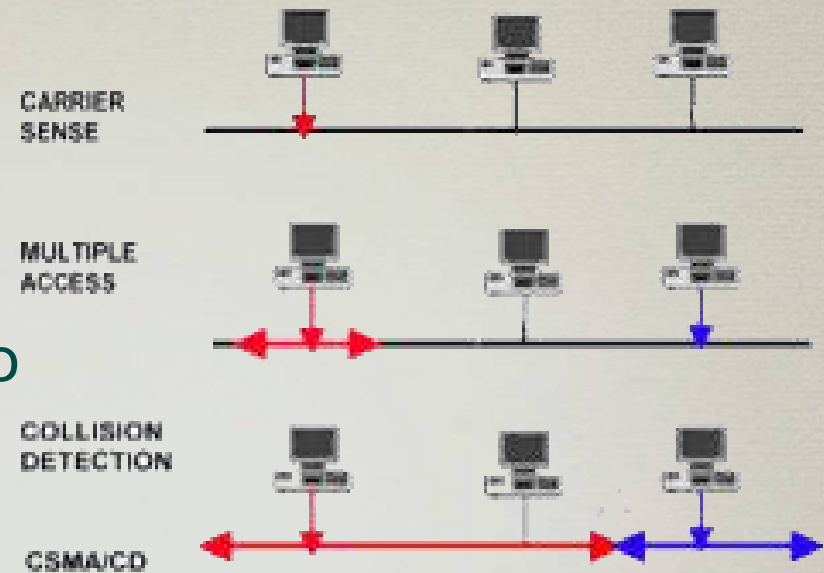
- odda le, če je kanal prost
 - obravnava zasedenosti

- **nevztrajni**

- malo počaka, nato ponovno poskuša
 - velika izkoriščenost
 - možne velike zakasnitve okvirov

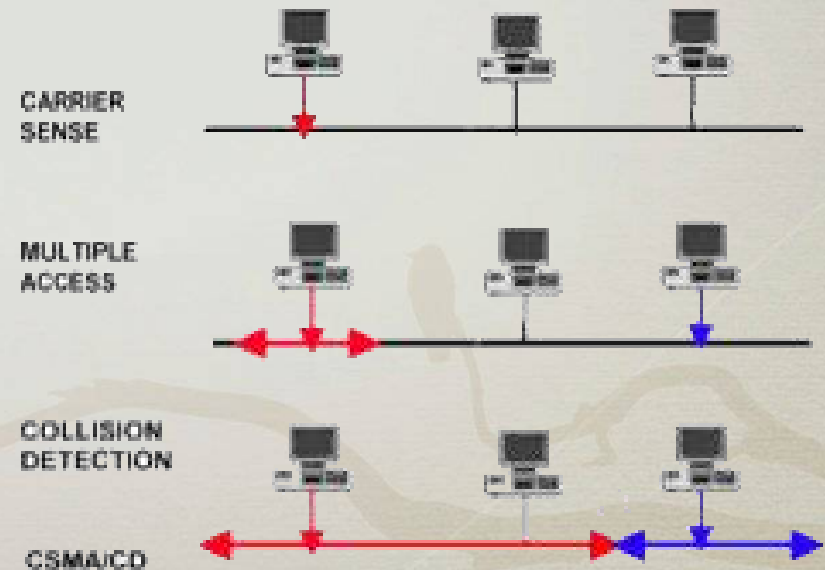
- **vztrajni**

- če je kanal zaseden, posluša dokler se ne sprost
 - nato odda z verjetnostjo p , sicer še malo počaka
 - izkoriščenost 52%



Dostop do skupnega kanala

- Naključni dostop
 - **CSMA/CD, IEEE 802.3 Ethernet**
 - vztrajni CSMA z zaznavanjem trkov (collision detection)
 - takoj ko zazna trk, ustavi oddajanje
 - izkoriščenost 60%



Dostop do skupnega kanala

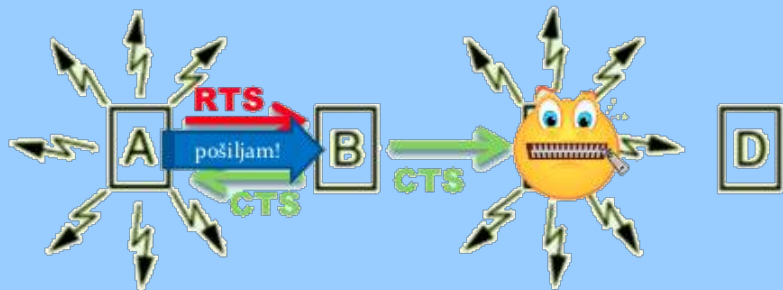
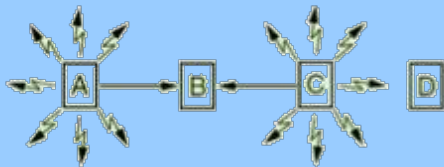
- **Naključni dostop**
 - **CSMA/CA, IEEE 802.11 WiFi**
 - vztrajni CSMA z izogibanjem trkov (collision avoidance)
 - kadar imajo vozlišča različna območja pokritosti
 - zaznavanja trkov ni, ker je težavno
 - **porazdeljeno koordiniranje**
 - pred oddajo posluša kanal vnaprej določen čas
 - če je kanal ves čas bil prost, potem odda okvir
 - sicer malo počaka (naključni čas)
 - sprotno potrjevanje: sprejemnik nazaj pošlje potrditev
 - **točkovno (centralno) koordiniranje**
 - posebni znaki/signali za rezervacijo kanala, opsijska uporaba
 - RTS (request to send): „želim pošiljati“
 - CTS (clear to send): „izvoli, pošiljaj“; sporoči tudi, kdo lahko pošilja in koliko časa

Dostop do skupnega kanala

- Naključni dostop
 - problemi in rešitve

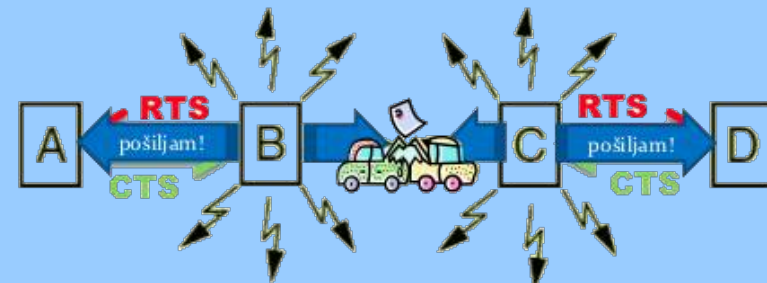
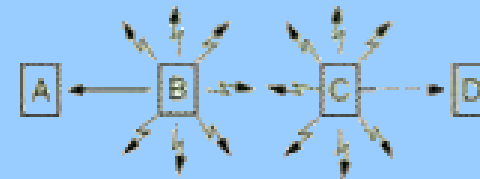
problem skritih vozlišč

- vozlišči A in C nista v dosegu
- vseeno lahko povzročita kolizijo v vmesnem vozlišču B



problem izpostavljenih vozlišč

- vozlišči B in C sta v dosegu
- vendar lahko brez trkov komunicirata z A in D



Računalniške komunikacije

*Povezavna
plast*

Primeri protokolov



SLIP

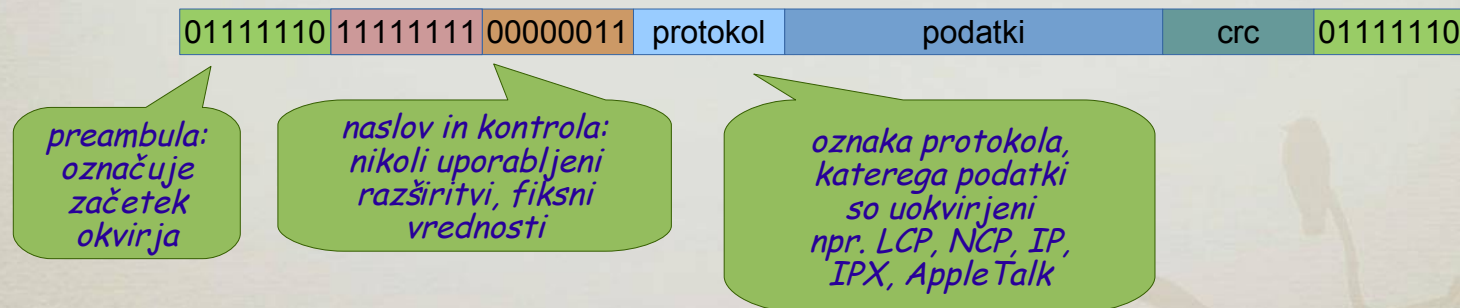
- Serial line internet protocol, 1984
 - za dvotočkovni kanal
 - povezava preko telefonske linije / serijskih vrat
 - potrebno vnaprej nastaviti IP naslov uporabnika
 - ne nudi: nadzora pretoka, avtentikacije
 - okvir: IP paket + zaznamek za konec okvirja

znakovno orientiran

- *konec okvirja: END = 0xC0*
- *ubežna sekvenca, ESC = 0xDB*
- *znak 0xC0: 0xDB, 0xDC*
- *znak 0xDB: 0xDB, 0xDD*

PPP

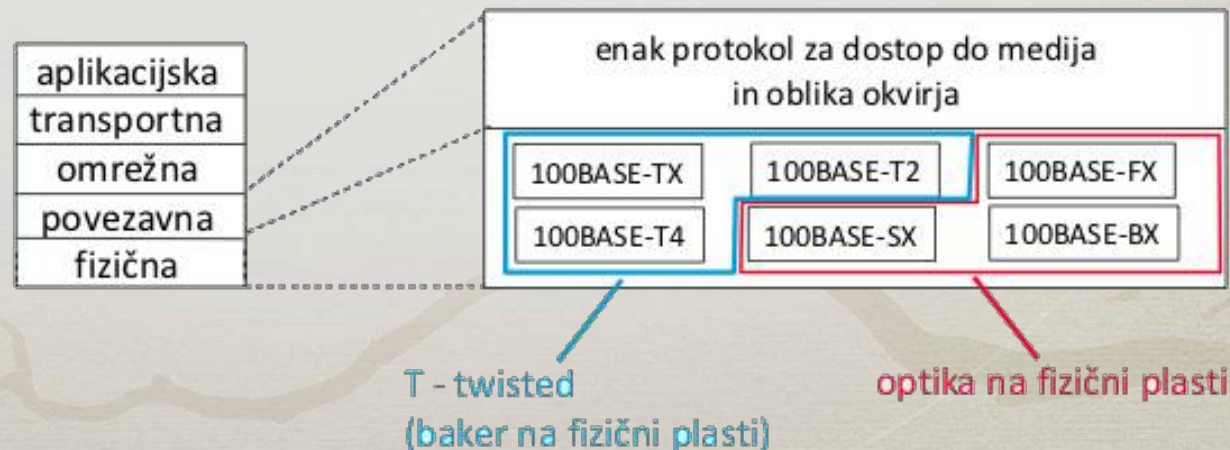
- Point-to-point protocol
 - nadzor nad napakami
 - določitev IP naslova ob vzpostavitvi povezave
 - avtentikacija
 - okvirjanje, enkripcija, kompresija



802.3 Ethernet

- Omrežje Ethernet

- enostavno, hitro, poceni
- skupni kanal
 - naprave opazujejo okvire in sprejmejo le tiste, ki so naslovljene na njih
- hitrosti: 2/10/100 Mbps, 1/10 Gbps
- oznake: hitrost + BASE + medij

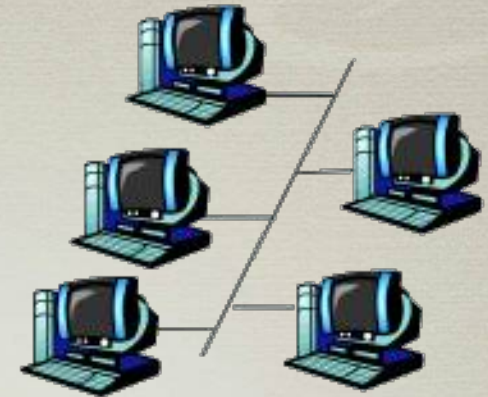


802.3 Ethernet

- Topologija

- **vodilo** (včasih)

- ista kolizijska domena
 - koaksialni kabel s T-priključki in terminatorji
 - okvara kjerkoli povzroči odpoved celotnega omrežja



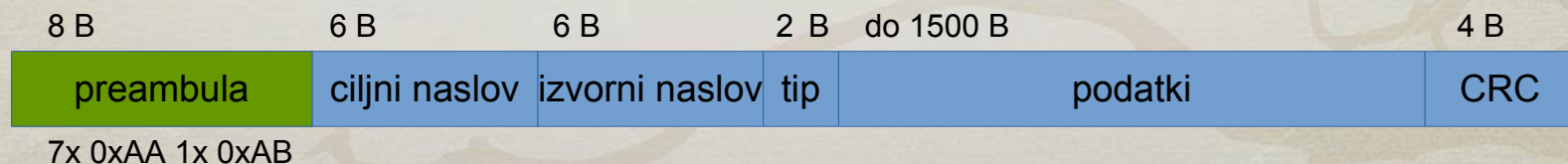
- **zvezda** (danes)

- zvezdišče (hub): ista kolizijska domena
 - stikalo (switch): zmanjšuje kolizije



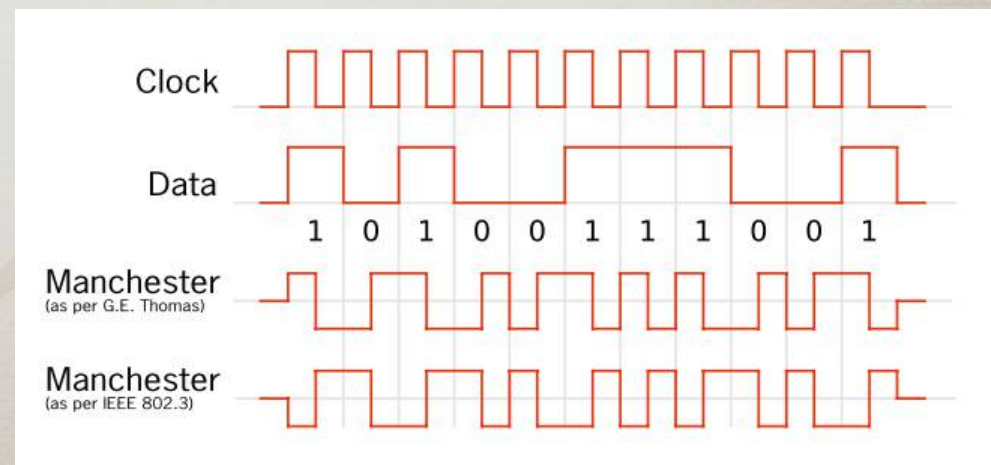
802.3 Ethernet

- Lastnosti protokola
 - nepovezavni
 - ni rokovanja, vmesnik kar pošlje okvir
 - nezanesljivi
 - ni potrjevanja in ponovnega pošiljanja
 - kontrola pravilnosti okvirja preko CRC
 - za pravilen vrstni red in prenos skrbijo višje plasti
 - okvir
 - preambula: sinhronizacija ur prejemnika in oddajnika



802.3 Ethernet

- Lastnosti protokola
 - vztrajni CSMA/CD
 - posluša pred oddajo, v primeru trka preneha
 - če je več trkov, vsakič dlje čaka
 - eksponentno čakanje (exponential backoff)
 - po i -tem trku čaka do 2^i okvire
 - ob trku uporabi motilni signal (jam), da oznani trk drugim
 - Manchestersko kodiranje za 10 Mb/s
 - vsak bit vsebuje prehod



802.11 WiFi

- Standardi IEEE 802.11

Standardi IEEE 802.11

standard	lastnosti
802.11a	do 120 m, do 54 Mb/s
802.11b	do 140 m, do 11 Mb/s
802.11g	do 140 m, do 54 Mb/s
802.11n	do 250 m, do 600 Mb/s
802.11ac	do 866 Mb/s
802.11ad	do 6750 Mb/s
802.11af, ah, ...	še v razvoju

802.11 WiFi

- **Vključevanje v WLAN**
 - **aktivna izbira** pristopne točke (access point – AP)
 - *probe*: Je v bližini kakšen AP?
 - *probe response*: Jaz sem AP
 - *association request*: Rad bi se pridružil
 - *association response*: Kar izvoli
 - **pasivna izbira**
 - AP periodično oddaja *beacon frame*
 - Jaz sem AP in podpiram naslednje hitrosti prenosa itd.
 - Naprava lahko odgovori z *association request*

802.11 WiFi

- Format okvirja

2 B	2B	6 B	6 B	6 B	2 B	6 B	do 2312 B	4 B
ktrl.	traj.	naslov 1	naslov 2	naslov 3	zap.	naslov 4	podatki	CRC

ktrl.	kontrola okvirja (... , tip okvirja: RTS, CTS, ...)
traj.	trajanje (za CTS)
naslov 1	MAC naslov prejemnika
naslov 2	MAC naslov oddajnika
naslov 3	MAC naslov usmerjevalnika, kamor je priključen AP
zap.	zaporedje
naslov 4	v adhoc načinu
podatki	paket višje plasti
CRC	kontrolna koda

Naslavljanje naprav

- MAC – media access control
 - vsak vmesnik ima **unikaten** in **fiksen** naslov
 - 6 bajtov, hex zapis, npr. **B8-8D-12-15-4D-CC**
 - **oznaka proizvajalca** + **oznaka vmesnika**
 - broadcast naslov: FF-FF-FF-FF-FF-FF

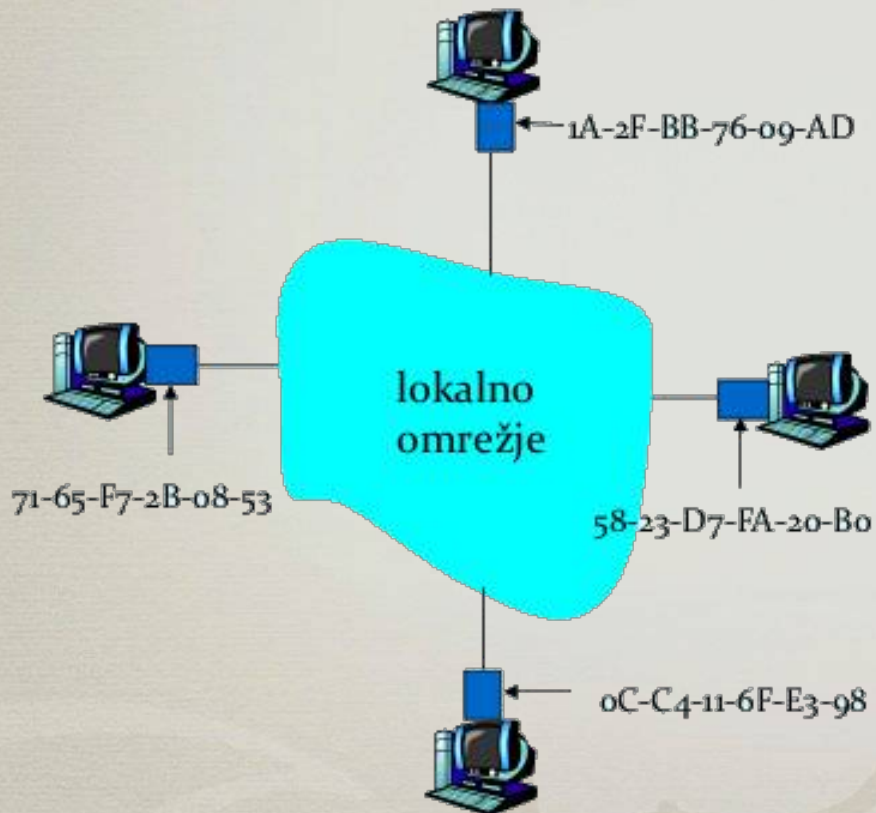


Obstaja še EUI
(extended unique identifier),
ki je razširitev MAC.



Naslavljanje naprav

- MAC – media access control
 - naprave ignorirajo okvire, ki jim niso namenjeni



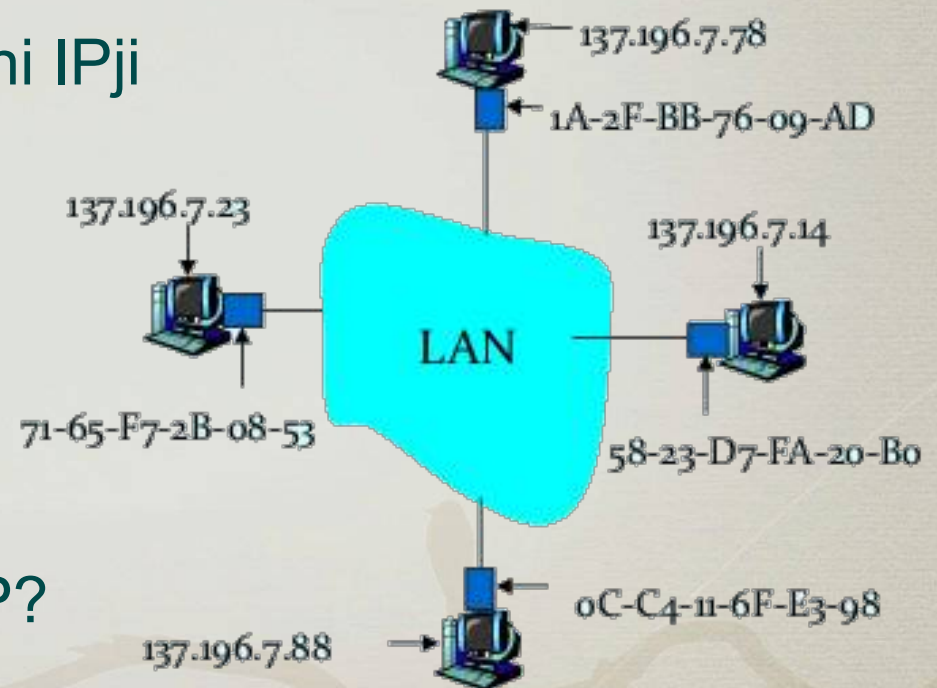
*Težava
Omrežna plast za naslavljanje
uporablja IP naslov.
Povezavna pa MAC naslov.
Kako priti do njega?*



ARP

- Razreševanje naslovov v lokalnem omrežju

- ARP – address resolution protocol
- preslikovalna tabela naslovov IP v MAC
 - preslikujejo se samo lokalni IPji
 - vsebuje: IP, MAC, TTL



- poizvedba (ARP request)

- broadcast: kdo ima dani IP?

- odgovor (ARP response)

- dani IP odgovori z MAC naslovom, naslovi le original

ARP

- ARP spoofing (poisoning)
 - vrsta napada
 - okvir z lažnim izvornim MAC naslovom
 - naj ostali mislijo, da sem jaz prehod
 - posledica je zastrupljena ARP tabela
 - IP naslov prehoda se preslika v napadalčev MAC
 - pasiven napadalec
 - posluša in posreduje promet naprej
 - aktiven napadalec
 - spreminja in posreduje promet naprej (man-in-the-middle)
 - DoS napad
 - napadalec poveže IP naslov prehoda žrtve z neveljavnim MAC

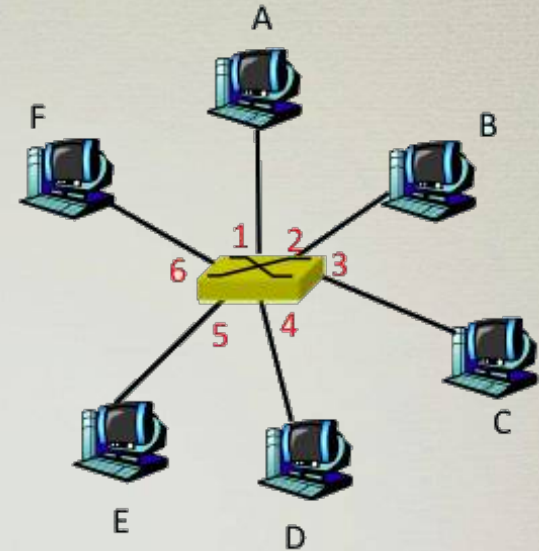
Stikalo

- Lastnosti

- več vmesnikov (vrat)
- stikalna tabela
 - format: mac, vrata, ttl

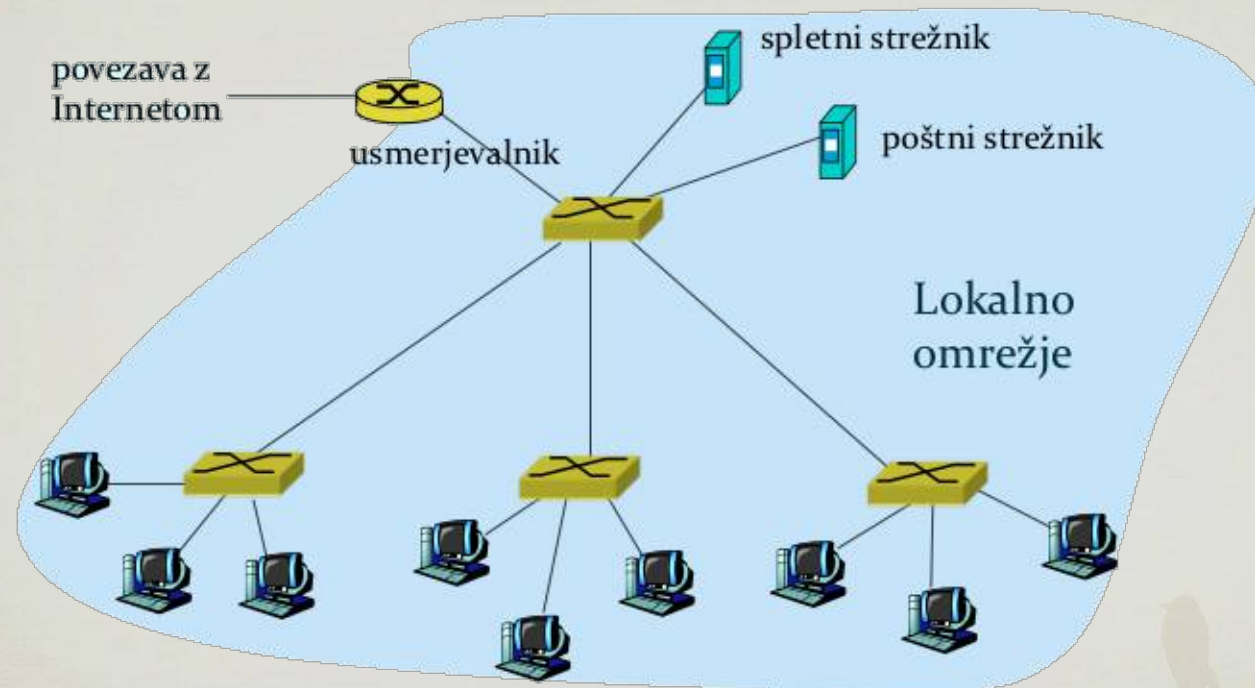
- Ob prejemu ovirja

- samostojno polnjenje tabele
- **poplavljanje** (na vsa vrata): če ne pozna prejemnika
- **posredovanje** (na izbrana vrata): če pozna prejemnika
- **filtriranje**: če je okvir namenjen izvornim vratom



Stikalo

- Hierarhija stikal



Stikalo

- Navidezno lokalno omrežje (VLAN)
 - managed switch
 - eno stikalo deluje kot več stikal
 - vmesniki so grupirani
 - izolacija: vsaka skupina deluje kot svoje omrežje
 - usmerjanje
 - med VLANi je potrebno promet usmerjati
 - to je naloga usmerjevalnika (omrežna plast)