Povezavna plast

Enota, ki se prenaša na povezavni plasti je **okvir(ang. frame)**.
Naloga povezavne plasti je prenos okvirja po povezavi med **sosednjima vozliščema** upoštevajoč tip medija.

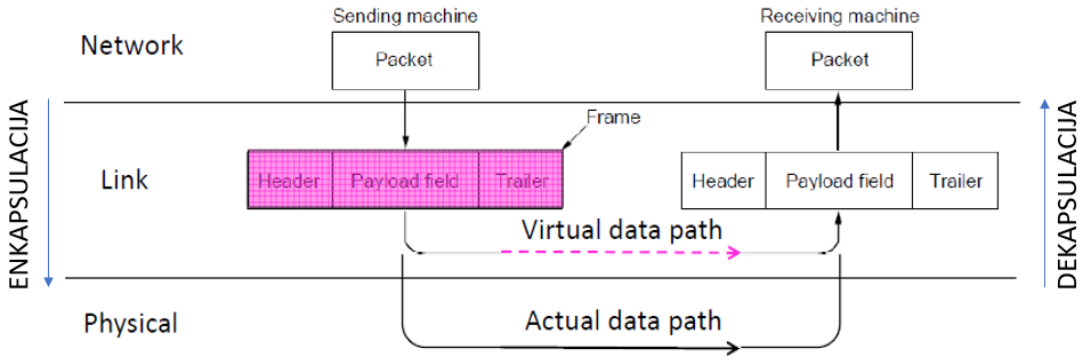
Storitve povezavne plasti

Lahko se izvaja(nek protokol lahko uporablja 2., 4. in 5. ali pa ne):

1. **okvirjanje datagramov:** podatkom višje plasti se doda glava in določi struktura. Pove kje se neko sporočilo začne oz. konča
2. **zaznavanje in odpravljanje napak:** z dodatnimi biti lahko napake zaznavamo, v določenih primerih pa jih lahko odpravimo
3. **dostop do medija:** če je medij deljen (npr. Wi-Fi), se uporablja **M**edia **A**ccess **C**ontrol protokol in ustrezno naslavljanje udeležencev. Poteka borba, kdo lahko kdaj govori - potreben je nek sistem
4. **zagotavljanje zanesljive dostave: potrjevanje** in **ponovno pošiljanje** v primeru napake
5. **kontrola pretoka:** usklajevanje hitrosti pošiljanja glede na procesorske sposobnosti prejemnika. Sistem, da se za hitrost zmenita prejemnik in pošiljatelj, da oba dohitevata

Okvir

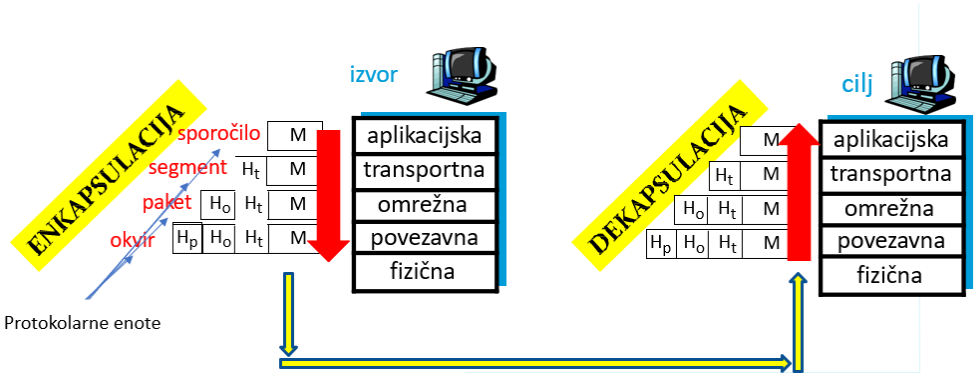
Je enota podatkov na povezavni plasti(zaporedje bitov). Opredeljuje začetek in konec prenesenih podatkov.



Protokoli na povezavni plasti

Komunikacija je lahko sestavljena iz različnih omrežnih povezav in medijev. To narekuje **uporabo različnih protokolov** npr. Ethernet, Wireless LAN(802.11), token ring, PPP itd

Enkapsulacija in dekapsulacija



Implementacija povezavne plasti

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

Zaznavanje in odpravljanje napak

Potrebno je zaradi:

- Motenj na kanalu(presluh, slabljenje in šum)
- Okvare signala

Napaka se zgodi, ko enko preberemo kot ničlo ali obratno.

EDC

Podatkom(D) dodamo še dodatne bite za preverjanje pravilnosti(EDC - *Error Detection Code*).
EDC se izračuna na D in D'(prejeti podatki), če se EDCja ne ujemata je prišlo do napake.Protokol za popravljanje ni popoln, lahko spregleda napake. Več EDC bitov omogoča boljšo detekcijo/popravljanje.

Parnost

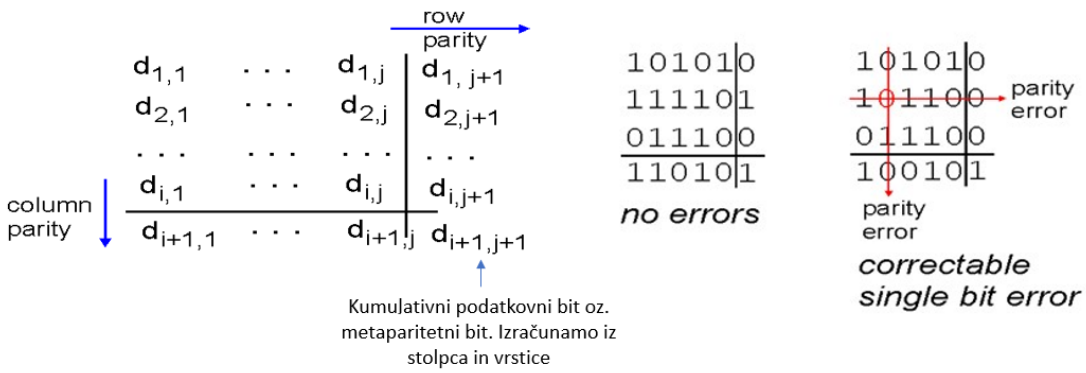
Dodamo 1 paritetni bit. Vrednost bita je odvisna od števila enic v podatkih in paritetne sheme.
Poznamo sodo in liho paritetno shemo:

- liha: če je liho število enic v podatkih je pariteta=0, če ne pa je pariteta=1
- soda: če je sodo število enic v podatkih je pariteta=0, če ne pa je pariteta=1

Omogoča zaznavanje le lihega števila napak.

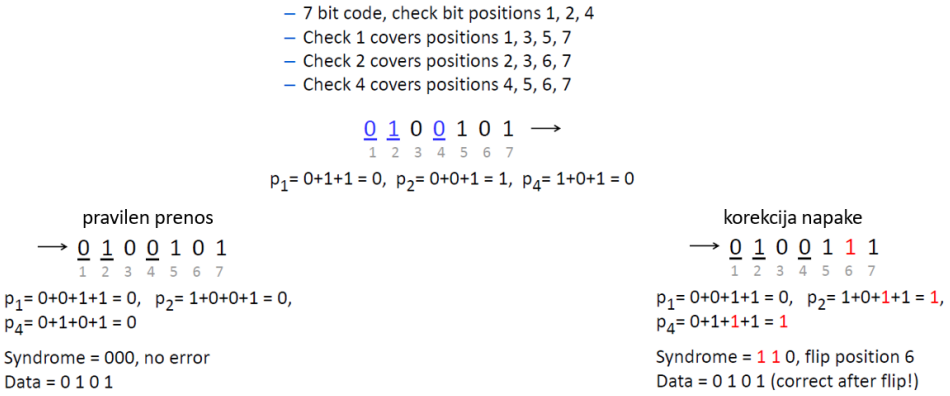
Parnost v dveh dimenzijah

Dodamo paritetne bite za vsako vrstico in stolpec. Omogoča zaznavanje in odpravljanje enojnih ali dvojnih napak.



Hammingova koda

Uporablja se, ko je komunikacija kritična in si ne moremo privoščiti ponovnega poššiljanja. Zelo požrešna, saj je skoraj 50% podatkov kontrolnih bitov. Za iračun bitov uporablja sodo paritetno shemo.



Kontrolna vsota

Cyclic **R**edundancy **C**heck (CRC) je matematična metoda, ki uporablja polinome. Uporablja ***r*** dodatnih bitov in je sposobna zaznati in popraviti napake do ***r + 1*** bitov. ***r*** izberemo sami. Ponavadi je ***r=32*** in zato je tudi oznaka CRC32.
Ethernet in PPP uporabljata CRC, vendar Ethernet napak ne odpravlja. Če se tu ne skrbi za popravljanje, se za to skrbi na transportni plasti(tako je v večini primerov).

Protokoli za dostop do skupinskega medija

Dve vrsti povezav:

- **dvotočkovna(point-to-point):** vsaka povezava ima le enega pošiljatelja in enega prejemnika(npr. protokola PPP in HDLC).
- **oddajna(broadcast):** deljeni medij, več vozlišč komunicira naenkrat(npr. Ethernet in Wireless LAN). Potreben protokol za koordinacijo dostopa, t. i. ***multiple access***

Principi iz realnega sveta, ki jih upoštevamo:

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

Če dve vozlišči oddajata naenkrat pride do **trka oz. kolizije**, signal se preplete in okvari.

Protokol za dostop do skupinskega medija

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

- **izkoristek:** če oddaja samo eno vozlišče, oddaja s hitrostjo R
- **pravičnost:** če oddaja M vozlišč, oddajajo s povprečno hitrostjo R/M
- **kolektivnost:** protokol je decentraliziran
- je enostaven

Centraliziran protokol: vsa logika protokola je zbrana v eni točki (server). Ni zaželeno, ker mora tudi server pošiljati nadzorne podatke, ki ne prispevajo komunikaciji in izgubljajo čas, vsi ostali pa so odvisni od njega.

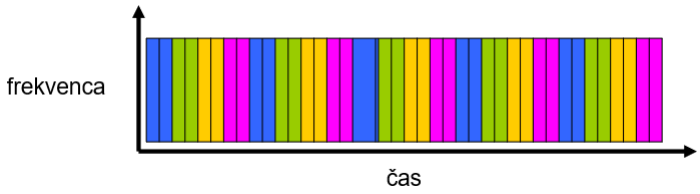
Izogibanje in razreševanje kolizij

Protokoli za:

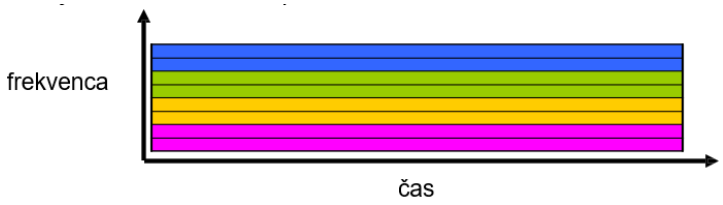
- **delitev kanala:** ni kolizij. Kanal razdelimo na "podkanale" (frekvenčno ali časovno) in vsakega dodelimo paru vozlišč
- **naključni dostop:** so kolizije. Vsak lahko oddaja kadarkoll, če pride do kolizije jo razrešujemo
- **izmenični dostop:** ni kolizij. Vozliščem izmenično dodeljujemo pravico do pošiljanja

Delitev kanala

TDMA(Time Division Multiple Access): v vsakem "krogu" vsaka postaja dobi enak časovni interval. Eden govori, drugi so tiho.



FDMA(Frequency Division Multiple Access): vsaka postaja ima svoj fiksen frekvenčni pas. Vsi govorijo, vsak na svoji frekvenci.



"*Če oddaja eno samo vozlišče oddaja s hitrostjo R*" . to pri nobenem od TDMA(vsak pošilja manj časa, tako da ni maksimalna hitrost) in FDMA(pas se deli, tako da ni maksimalna hitrost) ne drži.
"*Če oddaja M vozlišč, oddajajo s povprečno hitrostjo R/M*". Drži pri FDMA in TDMA.

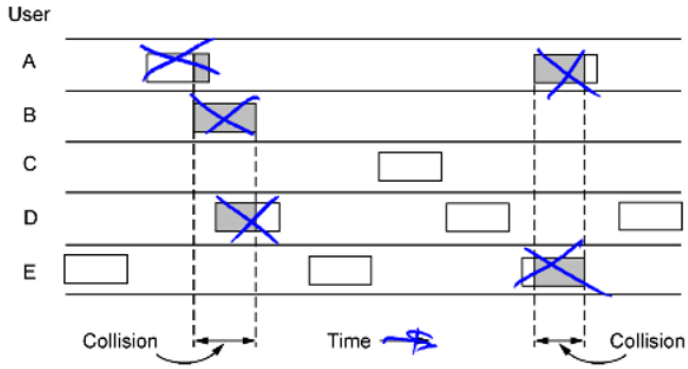
Protokoli za naključni dostop

Določajo kako zaznati in kako ukrepati ob koliziji.

Kadar želi vozlišče pošiljati, uporabi polno hitrost kanala. Pred pošiljanjem ni koordinacije med vozlišči.
Primeri MAC protokolov z naključnim dostopom: ALOHA, razsekana ALOHA, CSMA, CSMA/CD, CSMA/CA

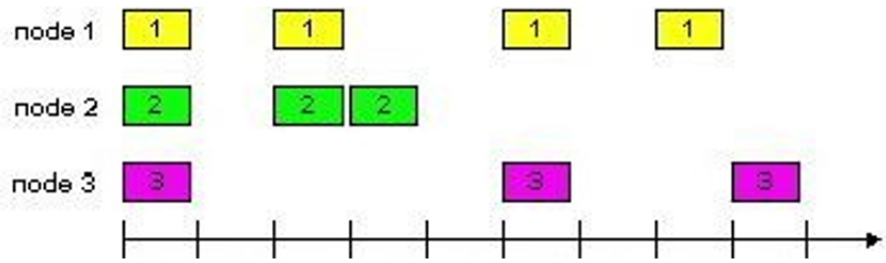
ALOHA

- 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
- Učinkovitost: 18%



Razsekana(slotted) ALOHA

- Čas je razsekan na enake intervale v katerih je možno poslati 1 okvir
- Vozlišča so sinhronizirana, pošiljajo le ob začetku intervalov
- Če pride do kolizije vozlišče ponovno pošlje okvir v naslednjem intervalu z verjetnostjo ***p***
- Protokol enostaven, vozlišče lahko uporablja celo hitrost R
- Težava je, da so prazni/kolizijski intervali neuporabni in potrebna je sinhronizacija časa(težko izvedljiva v letih, ko se je uporabljala)
- Učinkovitost: 37%



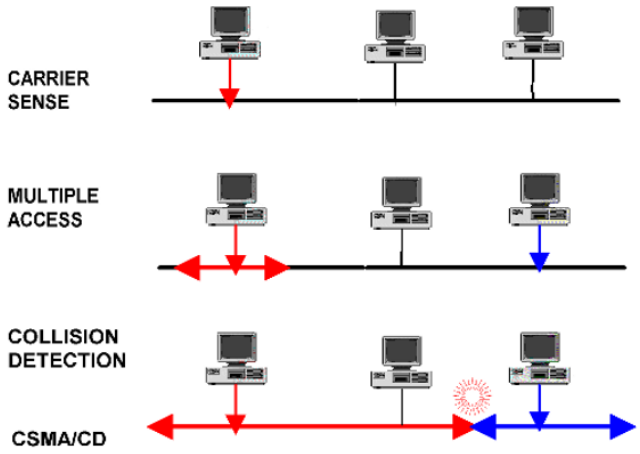
"*Če oddaja eno samo vozlišče oddaja s hitrostjo R*". Drži pri obeh različicah ALOHA-e
"*Če oddaja M vozlišč, oddajajo s povprečno hitrostjo R/M*". Ne drži pri nobeni različici ALOHA-e
"*Je enostaven*". ALOHA: drži, razsekana ALOHA: problem le pri potrebni sinhronizaciji časa

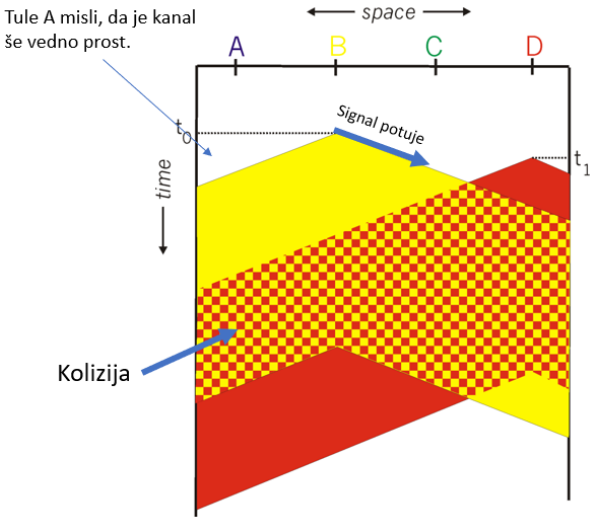
CSMA(Carrier Sense Multiple Access)

Poslušaj ali že kdo govori, preden spregovoriš.

- **vztrajni:** če je kanal zaseden, posluša dokler se ne sprosti
- **nevztrajni:** šele po nekem času ponovno prisluhne
- **p-vztrajni:** vztrajno posluša, ko se kanal sprosti z verjetnostjo ***p*** odda paket

Težave se pojavijo zaradi propagacijske zakasnitve signala(če nekdo že pošilja, še ni nujno, da je signal prišel do nekega drugega vozlišča in tako to vozlišče misli, da je kanal prost).





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

- Zaznavanje kolizij omogoči prekinitev komunikacije in hitrejšo sprostitev kanala v primeru kolizije.
- Uporaba jam signala za obveščanje ostalih vozlišč naj ne pošiljajo. Tisti, ki prvi zazna kolizijo takoj pošlje veliko število enic in ničel, da pokvari vse druge podatke(povozi CRC).
- Primer: 802.3 Ethernet

Protokoli za izmenični dostop

Namesto faze boja za medij poteka faaza rezervacije.
Dva pristopa:

- rezervacija s centralnim vozliščem(polling) - poizvedovanje.
  - Centralno vozlišče(koordinator komunikacije) vsakega vpraša če ima kaj za poslat)
  - Centralno vozlišče je tudi enotna točka odpovedi
- rezervacija z žetonom(token), ki kroži
  - centralizirano, topologija obroča
  - tisti, ki ima žeton govori
  - potrebno je nekako ukrepati, če se žeton izgubi/pokvari(enotna točka odpovedi)
  - koordinacija žetonov doprinaša k zakasnitvi

"Če oddaja eno samo vozlišče oddaja s hitrostjo R". Drži.
"Če oddaja M vozlišč, oddajajo s povprečno hitrostjo R/M". Drži.
"Vendar:" oba imata težavo z zakasnitvijo in enotno točko odpovedi.

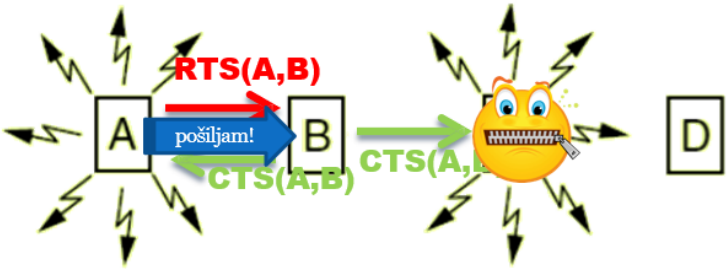
Dostop do brezžičnega medija

CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)

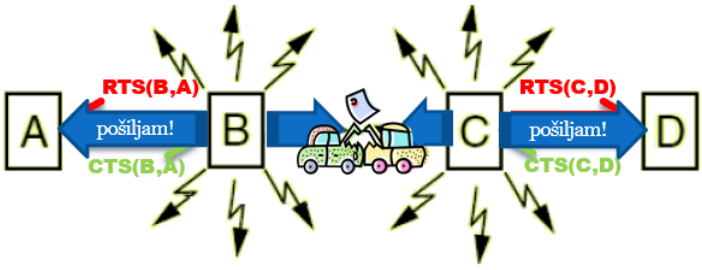
- Uporabljen v 802.11 WiFi
- Protokol za naključni dostop
- Izogibanje trkom z usklajevanjem časov pošiljanj
- Carrier Sense(CS) ne deluje dobro, ker imajo dostopne točke različna področja pokritosti - ne slišijo vsi vse, odvisno ali so v dosegu
    - okvir se pošlje v celoti, kolizija se ne zaznava
- Uporaba signalov za rezervacijo medija
    - **RTS**(Request To Send)
    - **CTS**(Clear To Send)

Poznamo dve posebni situaciji:

- **skriti terminali(hidden terminals)**
    - A in C sta vzajemno skrita - nista v dosegu
    - A in C lahko vendarle ustvarita kolizijo v točki B

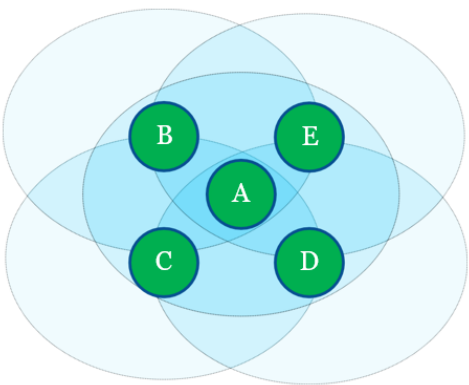


- **izpostavljeni terminali(exposed terminals)**
    - B in C sta v dosegu - sta izpostavljena
    - Ustvarjata trke v vmesnem prostoru
    - Vendar ne ustvarjata trkov pri pošiljanju B->A in C->D



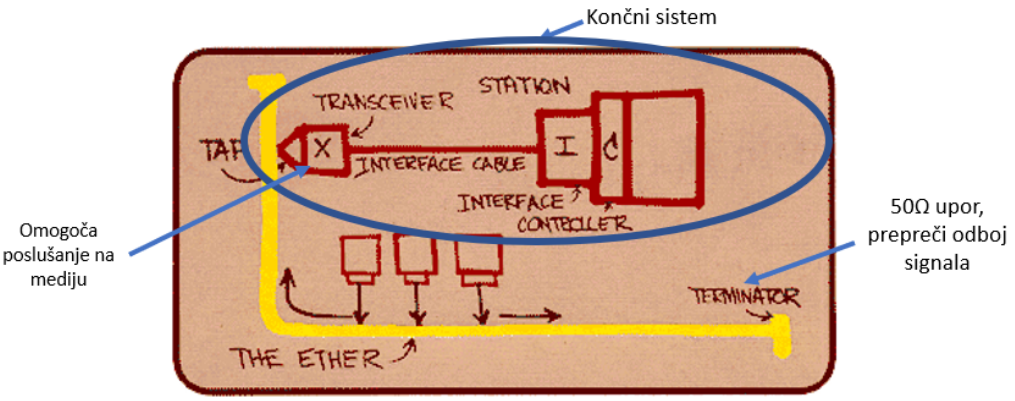
Primer:

- kadar pošilja B -> C, ali lahko pošilja A -> D? **Ne.**
- kadar pošilja B -> C, ali lahko E -> D? **Da.**
- kadar pošilja B -> A, ali drži, da ne more pošiljati nihče drug? **Da.**
- kadar pošilja A -> B, ali lahko C -> A? **Ne.**
- kadar pošilja A -> B, ali lahko D pošilja komurkoli? **Načeloma da, a brez koristi.**



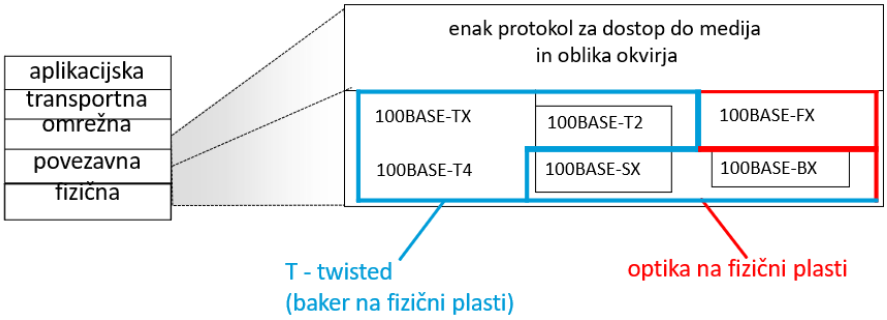
Ethernet

Hiter(hitrost do 100 Gbps), poceni in enostavnejši v primerjavi z drugimi.



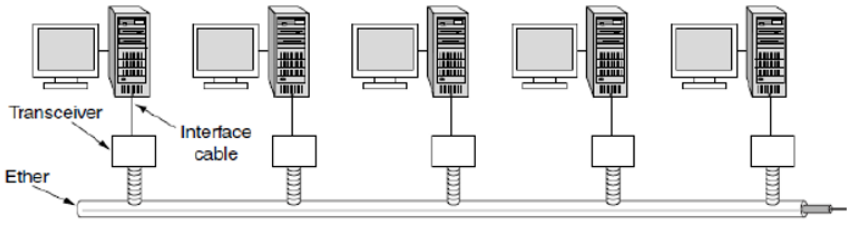
Ethernet tehnologije

Različni **standardi** in **fizični mediji**(baker, optika), vendar imajo vsi isto obliko okvira in MAC protokol.
Oznaka: **hitrost** + **BASE**(osnovna frekvenca) + **medij**

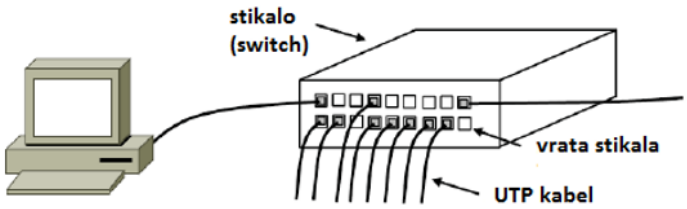


Ethernet skozi čas

Zgodnji Ethernet



Sodobni Ethernet



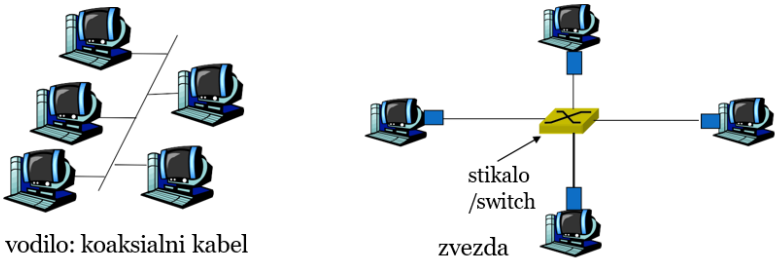
Razvoj topologije Etherneta

Včasih - topologija vodila(bus):

- vsi vmesniki v isti kolizijski domeni
- najprej koaksialno vodilo(coax), nato topologija zvezda(naprave hub - razdelilec/zvezdišče)
- Če se kabel pretrga je konec (Single Point of Failure)

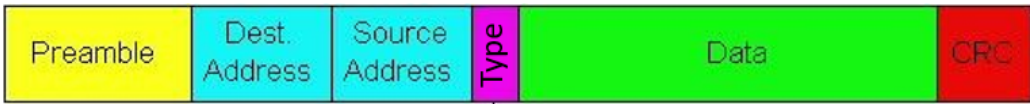
Danes - topologija zvezde:

- Okoli leta 2000
- Stikalo v centru
- Ločene kolizijske domene
- Možne različne različice Etherneta na vsakem kraku zvezde



Okvir Ethernet

Nekdo da okvir na medij. Vsi ga vidijo, prebere ga le tisti od kogar je destination address (ali pa če gre za broadcast naslov), drugi ga zavržejo. Lahko pa beremo tudi okvirje, ki niso namenjeni nam tako da omrežno kartico nastavimo na **promiscuous mode**.
MTU - Maximum Transsmision Unit, tj. velikost okvirja na povezavni plasti. Vsi se morajo zmeniti za MTU, ponavadi je okoli 1500.



- **Preambula:** (7x 10101010 in 1x 10101011, skupaj (7+1)B), namenjena sinhronizaciji ur in hitrosti oddajnika ter prejemnika. Znamenje, da prihajajo pomembni podatki
- **Destination Address:** (6B), MAC naslov prejemnika
- **Source Address:** (6B), MAC naslov
- **Type:** (2B), polje za multipleksiranje. Pove kateri protokol je enkapsuliran v podatkih
- **Data:** (od 46 do 1500B pri MTU = 1500), podatki
- **CRC:** (4B), kontrolna vsota, če ni vredu se paket zavrže. 4B=32b -> CRC32

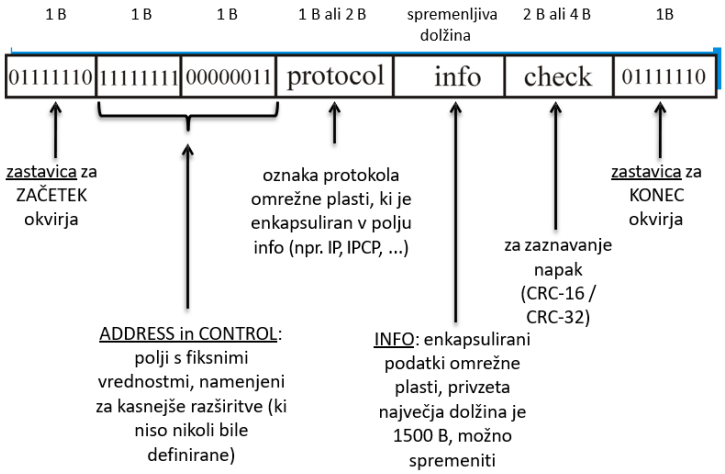
Kaj ponuja Ethernet?

- **nepovezavna storitev:** vmesnik pošlje brez faze vzpostavljanja.
- **nezanesljiva storitev:**
  - kontrola pravilnosti se izvaja s CRC
  - potrjevanje in ponovno pošiljanje se ne uporabljata
  - za vrstni red in prenos vseh podatkov skrbita omrežna in transportna plast
- **Uporablja CSMA/CD:** posluša pred oddajo, v primeru trka preneha
  - uporablja se eksponentno povečevanje čakanja na naslednjo oddajo(exponential backoff)
    - ob koliziji pošlje **jam signal**(motnjo, ki okvari CRC), da drugi vedo, da je prišlo do kolizije in nehajo oddajati
    - pri 1. koliziji po čakanju 0-1 časovnega intervala zopet pošlje okvir
    - pri 2. koliziji po čakanju 0-3 časovnega intervala zopet pošlje okvir
    - pri 3. koliziji po čakanju 0-7 časovnega intervala zopet pošlje okvir...
  - Učinkovitost rabe medija je 85-100%

Protokol PPP(Point-to-Point Protocol)

- Povezavni protokol
- Se ne uporablja na oddajnih(broadcast) povezavah, temveč na povezavah med dvema točkama (1 pošiljatelj in 1 prejemnik)
- Ni potrebe po protokolu za dostop do medija in MAC naslovih
- Primeri uporabe: klicni dostop, ISDN, SONET/SDH, X.25...

Okvir PPP



Transparentnost podatkov

Želimo, da so podatki v okvirju PPP lahko poljubne oblike. Če podatki vsebujejo niz *01111110*, ki pomeni začetek/konec okvirja se uporabi vrivanje(stuffing). Pošiljatelj pred *01111110* vrine ubežno kodo(escape sequence) *01111101*, ki jo prejemnik pri sprejemu odstrani.

Naslavljanje naprav na povezavni plasti

Naprave imajo naslove sestavljene iz 48bitov = 6 Bajtov(fizični naslov ali MAC naslov):

- Naslove zapišemo z 12 šestnajstiškimi znaki, npr.: 5C-66-AB-90-75-B1
- možnih je 2^48 naslovov, prva polovica je ID proizvajalca, druga pa ID adapterja (podjetje zakupuje pakete po 2^24 naslovov)
- MAC naslov je zapečen v adapterju(omrežni kartici) in je unikaten

Uporaba naslovov MAC

Naprave morajo razpoznati ali je okvir na mediju namenjen njim. Tako opazujejo vse okvirje in sprejmejo le tiste, ki so naslovljeni na njih. Naslov **FF-FF-FF-FF-FF-FF** je poseben naslov **broadcast**(naslovi vse naprave).

Vendar pa naslavljanje računalnikov v Internetu poteka z IP naslovi(omrežna plast) in ne MAC naslovi.

- MAC naslovi so fizični in stalni za napravo
- IP naslovi so logični in zamenljivi

ARP(Address Resolution Protocol)

Če želimo nasloviti neko napravo A, jo omrežna plast naslovi z ustreznim IP naslovom in preda povezavni plasti. Povezavna plast pa naslavlja z MAC naslovi. Da lahko takšno komunikacijo uspešno izpeljemo potrebujemo ARP, ki preslika naslove IP v naslove MAC.
Vsako vozlišče ima ARP tabelo, ki vsebuje 3 podatke(naslov IP, naslov MAC in TTL). ARP deluje le na lokalnem podomrežju in ne celem internetu. Omenjeno ARP tabelo napolnimo z uporabo paketov ARP query.

Nastanek tabele ARP

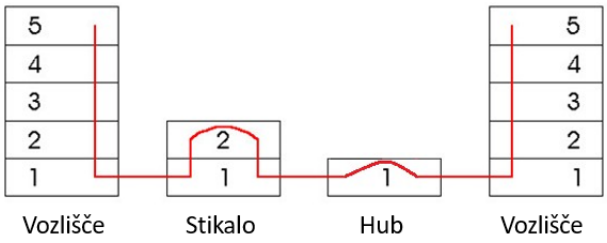
A želi poslati datagram vozlišču B, od katerega še nima MAC naslova v tabeli ARP. A naredi naslednje:

1. A pošlje paket za ARP poizvedbo (ARP request/query), ki vsebuje naslov IP vozlišča B, ki ga naslovi na vse vmesnike (broadcast, FF-FF-FF-FF-FF-FF)
2. ARP poizvedbo prejmejo vsa vozlišča, priključena na medij
3. Iz naslova IP v poizvedbi vmesnik B zazna, da paket sprašuje po njem
4. B odgovori vmesniku A z odgovorom ARP(ARP response) v katerem pošlje svoj naslov MAC(pri tem naslovi samo vozlišče A)
5. A shrani novi podatek v svojo tabelo

Aktivna oprema(naprave)

- **repeater:** ponavljalec(ojačevalec) signala (deluje na fizični plasti)
- **hub:** razdelilec/zvezdišče, ponavlja signal na vseh ostalih vratih, ne shranjuje okvirjev, ista kolizijska domena
- **switch** omrežno stikalo, *preklaplja* med priključenimi segmenti, shranjuje okvirje in aktivno ukrepa na podlagi vsebine.
    - je transparentno uporabniku
    - opravlja **posredovanje**, **poplavljanje** in **filtriranje**

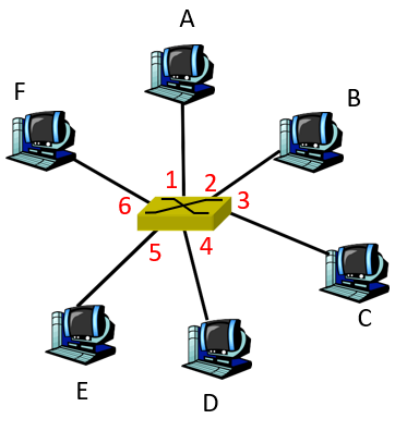
	Hub	Stikalo
Izolacija prometa	Ne	Da
Potrebna konfiguracija?	Ne	Ne



Stikalo

- dopušča več hkratnih povezav in dvosmerno(full duplex) povezavo z vozlišči
- stikalo uporablja stikalno tabelo(switch table, CAM table, FIB), da se odloči na katera vrata poslati okvir

naslov MAC	vrata	TTL



stikalo s 6 vmesniki

Uporaba stikalne tabele

Stikalo se po priklopu uči, kje je dosegljiv kateri vmesnik in samo vnaša zapise v stikalno tabelo. Kadar stikalo sprejme okvir si za nekaj časa zapomni lokacijo pošiljatelja.

Različne akcije pri sprejemu okvirja:

- **Poplavljanje** na vsa vrata (flooding, če ne vemo, kje je prejemnik)
- **Posredovanje** na izbrana vrata (če vemo, kje je prejemnik)
- **Fitriranje** (okvir je namenjen istim vratom, zavržemo ga)

Povezovanje stikal

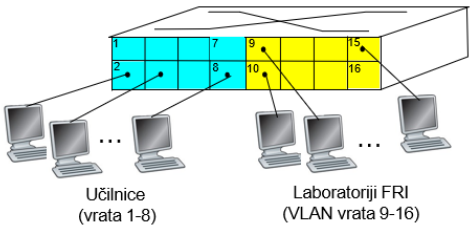
Stikala lahko medsebojno povežemo. Pravilnega posreedovanja se naučimo z učenjem stikalnih tabel. Stikalo ne dela razlike med usmerjevalnikom, računalnikom ali drugim stikalom, saj niti ne ve kaj je na drugi strani vmesnika/vrat.

Virtualna lokalna omrežja (VLAN)

Slabosti uporabe stikal znotraj podjetja:

- uporaba enega samega stikala pomeni pomanjkanje izolacije prometa(manj broadcasta=boljši performance, boljša varnost)
- uporaba več stikal je cenovno draga rešitev
- premik uporabnika na drugo lokacijo zahteva fizično vzpostavitev nove povezave

Rešitev: uporaba virtualnih lokalnih omrežij (Virtual Local Area Network). Stikalo, ki podpira VLANe omogoča uporabo različnih navideznih lokalnih omrežij na isti fizični omrežni infrastrukturi (= delitev omrežja na več navideznih podomrežij).



zgornje deluje enako kot več posameznih stikal