

ISO-OSI medel

| <i>Datagr.</i> | ISO-OSI | TCP-IP | <i>prot.</i> |
|----------------|----------------|---------------|----------------------|
| podatki | aplikacijska | aplikacijska | HTTP, DNS, POP3, SSH |
| podatki | predstavitvena | | |
| podatki | sejna | | |
| seg-menti | prenosna | transportna | TCP, UDP |
| paketi | omrežna | internetna | IP, ICMP |
| okvirji | povezavna | povezovalna | MAC, PPP |
| biti | fizična | | |

Fizična plast

Naloge:

- kodiranje bitov** z neko fizikalno veličino (*signalom*) za prenos po mediju (*baker, optika, radijski, IR, ...*)
- prenos posameznih bitov** v analogni ali digitalni obliki
- prenos celotnega signala** (zaporedja bitov po mediju)
- pretvorba signala** v obliko, ki je primerna za prenos po mediju

Modulacija

- amplitudna* (1: velika amplituda, 0: majhna ampituda)
- frekvenčna* (1: visoka frekvenca, 0: nizka frekvenca)
- fazna* (1: zakodiramo z fazo 0°, 0: z fazo 180°)
- kvadratna*
 - kombinacija amplitudne in fazne modulacije
 - 4 fazni koti 0°, 90°, 180° 270°
 - 2 nivoja amplitude
 - 8 kombinacij faze in amplitude → 3 bite
 - lahko imamo tudi več faznih kotov in amplitud in naenkrat zakodiramo do 6 bitov

Povezavna plast

Lahko (ne pa njuno) opravlja naloge: okvirajanje datagramov, zaznavanje in odpravljanje napak, dostop do medija, zagotavljanje zanesljive dostave, kontrola pretoka.

Okvirjanje datagramov

Okvir je *enota* na povezavni plasti. Določa začetek in konec prenesenih podatkov.

Zaznavanje in odpravljanje napak

dodamo bite za preverjanje pravilnosti (EDC - Error Detection Code)

- soda/liha pariteta** vseh 1 skupaj s pariteto je sodo/liho (*omogoča le zaznavanje lihega števila napak*)
- dvo dimenzionalna pariteta** dodamo praitetni bit za vsako vrstico in vsak stolpec + kumulativni/meta paritetni bit je pariteta paritetnih bitiv (*omogoča zaznavanje in odpravljanje enojnih napak in zaznavanje dvojnih napak*)
- Hammingova koda** Paritetni biti *p* imajo indekse 2^{*i*} in jih postavimo na mesta, ki jih določajo indeksi. Vmes vstavimo bite podatkov *d*. Vsak paritetni bit *p_i* pokriva *i* bitov od svoje pozicije naprej, nato preskoči *i* bitiov in tako naprej. Število 1, ki jih paritetni bit pokriva mora biti sodo.

| | | | | | | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. |
| | <i>p</i> ₁ | <i>p</i> ₂ | <i>d</i> ₁ | <i>p</i> ₄ | <i>d</i> ₂ | <i>d</i> ₃ | <i>d</i> ₄ |
| <i>p</i> ₁ | ✓ | | ✓ | | ✓ | | ✓ |
| <i>p</i> ₂ | | ✓ | ✓ | | | ✓ | ✓ |
| <i>p</i> ₄ | | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

Ko prejmemo sporočio, preverimo paritetne bite in definiramo:

$$p'_i = \begin{cases} 1 & \text{paritetni bit } p_i \text{ napačen} \\ 0 & \text{sicer} \end{cases}$$

Nato izračunamo sindrom:

$$[\dots p'_4 \; p'_2 \; p'_1]_{(2)} = \# \text{ bita, ki ga je treba obrniti}$$

- Cyclic Redundancy Check - CRC** z *r* paritetnimi biti lahko popravi do *r* + 1 napak
- Internet checksum** uporablja se na transportni plasti

Dostop do skupinskega medija

Imamo dve vrsti povezav: **dvotočkovna** (le en pošiljatelj in prejemnik - PPP, DHLC) in **oddajna** (več vozlišč komunicira naenkrat - Ethernet, Wireless LAN).

Kanal lahko delimo na več načinov:

Delitev kanala

Time Division Multiple Access TDMA, Frequency Devision Multiple Access FDMA *Ni kolizij*

Sočasni/naključni dostop (kolizijski)

- ALOHA** Če pride do kolizije, se paket po naključnem času ponovno pošlje.
- razsekana ALOHA** Čas je razsekan na časovne intervale. V vsakem intervalu se lahko pošlje en paket. Če pride do kolizije, se v nasldnjem intervalu pošlje ponovno z verjetnostjo *p*.
- Carrier Sense Multiple Access - CSMA** Poslušaj ali že kdo oddaja preden začeneš oddajati sam.
- Carrier Sense Multiple Accerss Collision Detection - CSMA/CD** Če zaznaš kolizijo nehaj oddajati in pošlji motilni signal.

Izmenični dostop

- Rezervacija s centralnim vozliščim (pooling):** centralno vozlišče zaporedno dodeluje medij posameznim vozliščem (*zakasnitev, ena točka odpovedi*)
- Rezervacija z žetonom, ki kroži (token)** (*zakasnitev, ena točka odpovedi - žeton*)

Dostop do brezžičnega medija

Protokol 802.11 (WiFi) za dostop do medija uporablja **Carrier Sense Multiple Accerss Collision Avoidance - CSMA-CA**.

Uporablja signala:

- Request To Send - RTS**
- Clear To Send - CTS**

Terminal, ki želi pošiljati najprej pošlje RTS in čaka na CTS. Ko terminal prejme CTS, ne bo oddajal toliko časa kot traja, da se prenese en paket.

Protokoli na povezavni plasti

Ethernet

Okvir ethernet:

| <i>pream-bula</i> | <i>ponorni nalosv</i> | <i>izvorni naslov</i> | <i>tip</i> | <i>podatki</i> | <i>CRC</i> |
|-------------------|-----------------------|-----------------------|------------|----------------|------------|
| 8B | 6B | 6B | 2B | 1500B | 4B |

Ethernet ponuja:

- nepovezavna storitev
- nezanesljiva storitev (*kontrola pravilnosti se izvaja s CRC a brez popravljanja, potrjevanje in ponovno pošiljanje se ne uporabljata*)
- uporablja CSMA/CD (*pri vsaki koliziji se čakanje eksponentno poveča* 0 – 1, 0 – 3, 0 – 7, 0 – 15, ...)

Point to Point Protocol - PPP

Povezavni protokol; imamo le enega pošiljatelja in prejemnika.

Okvir PPP:

| <i>zastavica za začetek</i> | <i>address</i> | <i>control</i> | <i>protokol</i> | <i>podatki</i> | <i>CRC</i> | <i>zastavica za konec</i> |
|-----------------------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|------------|---------------------------|
| 1B | 1B | 1B | 1B/2B | ≤1500B | 2B/4B | 1B |

Poja “address” in “control” se ne uporabljata.

Pred niz 01111110 (zastavica) urivamo *ubežno kodo* 011111101.

Naslavljanje naprav na povezavni plasti

Vsaka naprava ima fizični naslov (Media Access Control - MAC) iz 48 bitov.

Naslov FF-FF-FF-FF-FF-FF je **broadcast** (prejemniki so vsi).

Address Resolution Protocol - ARP

Vsaka naprava ima ARP tabelo [IP | MAC | TTL]

Če naprava želi ugotoviti MAC druge naprave, pošlje **ARP poizvedbo** (*Moj max je y, kdo ima IP x?*) na broadcast naslov. Naparava, ki ima ta IP odgovori z **ARP odgovorom** (*Jaz imam IP x in oj MAC je z.*). Nato si obe napravi shranita MAC naslove v ARP tabelo.

Stikalo

Stikalo uporablja **stikalno tabelo** [MAC | vrata | TTL], da se odloči, na katera vrata poslati okvir. Ko prejme kak okvir, si zapomni lokacijo pošiljatelja in okvir:

- poplavi** na vsa vrata razen na tista iz katerih je prišel okvir (*če ne ve, na katerih vratih je prejemnik*)
- posreduje** na izbrana vrata (*če ve, na katerih vratih je prejemnik*)
- filtriria** / zavrže okvir (*če je namenjen istim vratom iz katerih je prišel*)

Omrežna plast

Lahko omogoča:

- zagotovljena dostava paketov
- dostava v zagotovljenem času
- dostava v pravem vrstnem redu
- zagotovljena spodnja meja pasovne širine
- največja dovoljena varianca zakasnitve (jitter)
- varno komunikacijo (zaupnost integriteto podatkov, avtentikacijo)

Storitve interneta

| | | <i>zagotovljene storitve</i> | | | | |
|-----------------|------------------------|------------------------------|------------|---------|-----|---------------|
| Omrežje | Model | pas. širina | brez izgub | vr. red | čas | obv. o zamaš. |
| <i>Internet</i> | best effort | × | × | × | × | × |
| <i>ATM</i> | CBR constant bit rate | const | ✓ | ✓ | ✓ | ni izguba |
| <i>ATM</i> | ABR available bit rate | min | × | ✓ | × | ✓ |

Usmerjevalnik

Naprava, ki deluje na omrežni plasti in skrbi za transport datagrama po *jedru omrežja*. Povezuje ralične medije in portokole.

Funkcije usmerjevalnika:

- Posredovanje paketov**/forwarding: prenos na pravi izhodni vmesnik glede na destinacijo paketa in **posredovalno tabelo**.
- Usmerjanje**/routing: določanje poti paketov od izvora do cilja. Usmerjevalniki s poočjo usmerjevalnih protokolov najdejo najcenejšo pot.

Povezavna omrežja / navidiezni vodi

Faze pri vzpostavitvi navideznega voda: *vzpostavitev, tok podatkov, rušenje*

Usmerjevalniki usmerjajo pakete glede na *št. voda* v paketu in posredovalno tabelo [vhodni vmesnik | vhodna št. voda | izhodni vmesnik | izhodna št. voda].

Nepovezavna / datagramska omrežja

Ni faze vzpostavljanja povezave. Paket lahko do cilja pride po različnih poteh.

Usmerjevalniki usmerjajo glede na ciljni (IP) naslov in usmerjevalno tabelo [predpona naslova | vmesnik].

Internet Protocol - IP

Paket IPv4

Dolžina glave brez “možnosti” je 20B.

| | | | | | | | |
|-----------------------|---------------|--------------|----|-----------------|-----------------|--------------|----|
| 4b | 4b | 4b | 4b | 4b | 4b | 4b | 4b |
| Verzija | Dolžina glave | Tip storitve | | Skupna dolžina | | | |
| Identifikacija | | | | Zastav. | Zamik fragmenta | | |
| TTL | | Protokol | | Kontrolna vsota | | | |
| Izvorni IP naslov 32b | | | | | | | |
| Ponorni IP naslov 32b | | | | | | | |
| Možnosti | | | | | | Zpolnjevanje | |
| Podatki | | | | | | | |

Fragmentacija

IP datagram se mora enkapsulirati v omejene okvirje (MTU) povezavne plasti. Zato se IP paket razbije na več manjših. Da fragmente lahko sestavimo nazaj se uporabljajo polja v glavi:

- ID**: pri vseh fragmentih enak
- Zastavica MF**: 0, če je to zadnji fragment; 1, sicer

- Offset**: enota za odmik je 8 Byte

Podomrežja

| Razred | Začetek naslova | Maska |
|--------|-----------------|---------------|
| A | 0 xxxxxxx | 255.0.0.0 |
| B | 10 xxxxxx | 255.255.0.0 |
| C | 110 xxxxx | 255.255.255.0 |
| D | 1110 xxxx | - |
| E | 11110 xxx | - |

Posebni naslovi

- Privatni (24 bitni) 10.0.0.0/8
- Privatni (20 bitni) 172.16.0.0/12
- Privatni (16 bitni) 192.168.0.0/16
- Povratna zanka (localhost) 127.0.0.0/8
- Link-local 169.254.0.0/16

Posebni naslovi v lokalnem omrežju

- Naslov omrežja: *1. naslov v omrežju (same ničle)*
- Hosts: *vsí naslovi vmes*
- Broadcast: *zadnji naslov v omrežju (same enke)*

Dinaminčno dodeljevanje naslovov - DHCP

Ko se naprava priključi v omrežje, pošlje **DHCP discover**, DHCP strežnik(i) odgovori(jo) z **DHCP offer**, naprava izbere IP iz ponudbe in pošlje **DHCP request**, končno strežnik potrdi z **DHCP ACK**.

Internet Control Message Protocol - ICMP

Sporočilo je enkapsulirano v paketu IP. Uporablja se za sporočanje napake, nedosegljivosti, protokola, vrat, ...

Traceroute pošlje vrsto paketov z TTL=1,2,3,... vsakič ko paketu poteče TTL router pošlje nazaj ICMP sporočilo.

Network Address Translation - NAT

Lokalne naslove slika v globalne in obratno.

To doseže z NAT preslikovalno tabelo [globalni naslov, port | zasebni naslov, port].

Vsak zahtevek ima izvorni in ponorni port/vrata.

IPv6

Naslovi so razdeljeni (:) na 8 blokov po 16 bitov. Zaporedje blokov samih ničel lahko krajšamo z “::”,

Dolžina glave je vedno 40B.

| 4b | 4b | 4b | 4b | 4b | 4b | 4b | 4b |
|------------------------|---------------|----|------------|-------------|----|-----------|----|
| Verzija | Traffic class | | Flow label | | | | |
| Payload len | | | | Next header | | Hop limit | |
| Izvorni IP naslov 128b | | | | | | | |
| Ponorni IP naslov 128b | | | | | | | |
| Podatki | | | | | | | |

Novo polje “flow label” (vrsta toka) za zagotavljanje kakovosti storitev za posebne tokove podatkov.

Prehodni mehanizmi

- Dvojni silkad**: Vse naprave imajo IPv4 in IPv6. Če je na poti kakšno IPv4 vozlišče, se bo proromet vmes pretvarjal v IPv4.
- Tuneliranje**: Če je na poti kakpno IPv4 vozlišče se IPv6 paket enkapsulira v IPv4.

Usmerjanje

Usmerjevalni algoritmi so lahko:

- centralizirani** (*imajo podatke o celem omrežju*) ali **decentralizirani** (*imajo podatke le o sosednjih vozliščih*)
- prilagodljivi** (*lahko prilagajajo cene povezav glede na zasičenost*) ali **naprilagodljivi**

Decentralizirano usmerjanje

Vsako vozlišče pozna ceno povezave do svojih sosedov. Hrani **vektor razdalj**, **vektorje razdalj svojih sosedov** in **posredovalno tabelo** [cilj | cena | via sosed].

Ko vozlišče prejme vvektor razdalj svojega sosedu, izračuna nov vektor razdalj *če lahko do nekega vozlišča pride ceneje prek nekega sosedu, posodobi posredovalno tabelo*.

Usmerjevalniki so povezani v **avtonomne sisteme - AS** v katerih uporabljajo isti **INTRA-AS** usmerjevalni protokol.

- Routing Information Protocol - RIP** usmerjanje z vektotrem razdalj (na 30s, 180s+ → prekinjena povezava), cena je število skokov, max cena je 15M
- Open Shortest Path First - OSPF** obvestila se s poplavljanjem posredujejo po celem sistemu, vsak potem preračuna najkrajše poti
- Interior Gateway Routing Protocol - IGRP** Cisco-va izboljšava RIP; cena je odvisna od pasovne širine, zakasnitve, obremenitve, MTU in zanesljivosti.

Za povezovanje AS mad seboj se uporablja **INTER-AS** usmerjevalni protokol, ki pa morabiti enak v celem omrežju.

- Border Gateway Protocol - BGP** omogoča, da omrežja oglašujejo svojo prisotnost drugim omrežjem

