



Komunikacije v avtomatiki
Omrežni sloj

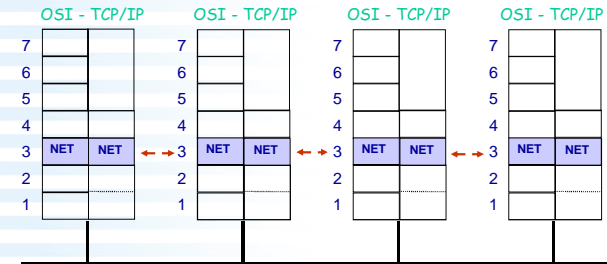
Stanislav Kovačič



<http://vision.fe.uni-lj.si>

2013/14

Uvod - ISO OSI, TCP/IP 1/3



Bistvena naloga omrežnega sloja:

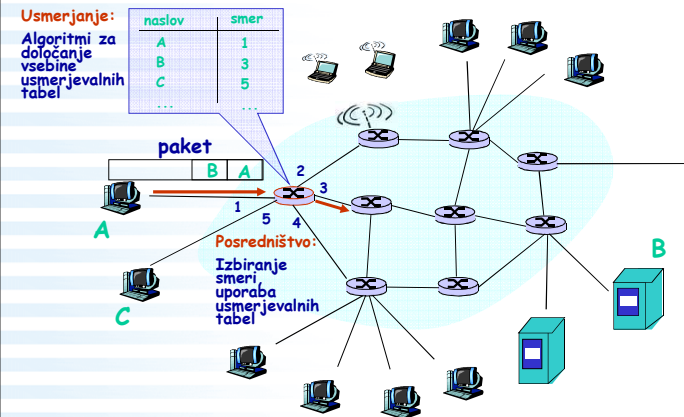
povezljivost končnih vozlišč - zagotavljanje poti prenosa med poljubnima končnima vozliščema, za kar je potrebno

- Usmerjanje
- Naslavljanje
- Povezovanje omrežij

Uvod - naloge omrežnega sloja 2/3

- **Usmerjanje:** zagotavljanje poti prenosa
 - usmerjevalni algoritmi
 - določanje vsebin usmerjevalnih tabel (kako?)
 - protokoli
 - izvajanje usmerjanja, posredništvo (kam?)
- **Naslavljanje (komu?):** razlikovanje vozlišč
 - naslovni prostor, oblika in pomen naslova
- **Medomrežno povezovanje:** povezovanje omrežij med seboj

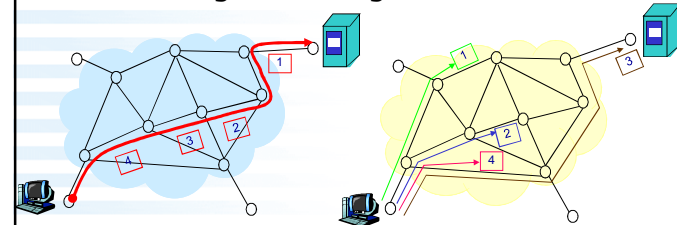
Uvod: usmerjanje <-> posredništvo 3/3



Iz vsebine

- Delovanje omrežij
- Algoritmi usmerjanja
- Protokol IP
- Naslavljanje, IP (CIDR, NAT, DHCP)
- ICMP, OSPF, RIP

Delovanje omrežja



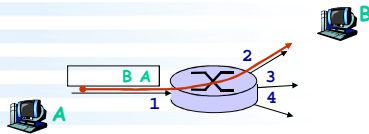
Povezaven tip omrežja (Angl. **Connection oriented**)

- vzpostavitev, vzdrževanje in sproščanje povezave
- vsi paketi gredo po isti poti

Nepovezaven tip omrežja (Angl. **Connectionless**) – datagram

- vsak paket je samostojna podatkovna enota
- vsak paket gre do ponora neodvisno od drugih paketov

Usmerjanje v nepovezavnem omrežju



Vsak paket vsebuje **naslov izvirnega in ponornega vozlišča**.

Naloga usmerjevalnika je, da pošlje paket naprej v **"pravo" smer**.

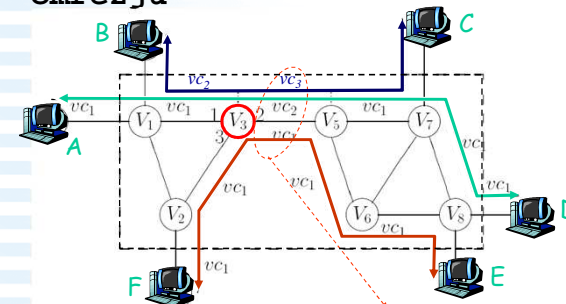
Usmerjevalnik se odloča na podlagi **naslova ponornega vozlišča**.

| Vozlišče | Smer |
|----------|------|
| A | 1 |
| B | 2 |
| C | 3 |
| ... | |

Pravilo usmerjanja (algoritem) "deluje" ob določanju vsebine usmerjevalnih tabel.

To je t.i. **datagram** način
Tako deluje Internet

Usmerjanje v povezavnem omrežju



V omrežju imamo tri aktivne povezave:

- $B \leftrightarrow C$
- $A \leftrightarrow D$
- $F \leftrightarrow E$

Po fizični povezavi $V_3 - V_5$ gredo tri navidezne povezave vc_1, vc_2, vc_3

Usmerjanje v povezavnem omrežju

Vsak paket vsebuje oznako **navidezne povezave**, ki ji pripada

Oznaka navidezne povezave loči pakete na isti **fizični povezavi**

Usmerjevalnik skrbi za preslikavo:

Prihod(priključek, navidezna povezava) → Odhod(priključek, navidezna povezava)

Usmerjevalna tabela vozlišča 3 Pravilo usmerjanja (algoritem) "deluje" ob vzpostavitvi prenosne poti - "zveze".

| Prihod | | Odhod | |
|--------|-----|-------|-----|
| smer | vc | smer | vc |
| 1 | vc1 | 2 | vc2 |
| 1 | vc2 | 2 | vc3 |
| 3 | vc1 | 2 | vc1 |

Usmerjevalniki ne delujejo na osnovi naslova končnega ponornega vozlišča.

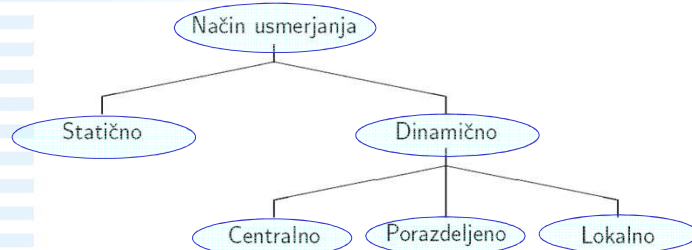
To je t.i. navidezni tokokrog "Virtual circuit"
Tako npr. deluje ATM

Delovanje omrežij - zaključek

- V **povezavnem omrežju** se pot paketom določi na začetku (**vzpostavitev**) komunikacije, potem pa ostane za čas trajanja komunikacije nespremenjena, dokler se zveza ne sprosti.
- V **nepovezavnem (datagram) omrežju** se pot paketom določa sproti za vsak posamezen paket na osnovi naslova končnih vozlišč.
- **Povezavno omrežje** temelji na visoko zmogljivih vmesnih vozliščih. Končna vozlišča so lahko preprosta (npr. telefonski aparat)
- **Nepovezavno omrežje** temeljijo na zmogljivih končnih vozliščih (računalnikih).

Algoritmi usmerjanja

Naloga: **določanje vsebin usmerjevalnih tabel**



Dinamično:

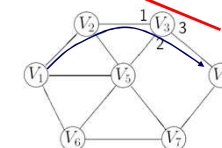
vsebine usmerjevalnih tabel se sproti prilagajajo spremembam v omrežju.

Lokalno (izolirano) usmerjanje 1/2

Vozlišča si ne izmenjujejo usmerjevalnih tabel ali delov tabel

- 1) Najenostavnejše je **preplavljanje** / ali **selektivno preplavljanje**:
 - Pošlji v vse smeri ali v tiste smeri, ki vodijo "bližje" cilju.
- 2) Druga možnost: Minimizacija časa bivanja paketa v vozlišču
- 3) Tretja možnost: **vzratno učenje**

Vozlišče V_1 pošilja paket vozlišču V_4 preko V_2 in preko V_3



Pri vsakem prehodu skozi vozlišče se števec poveča

Lokalno (izolirano) usmerjanje 2/2

Vzratno učenje – pri prehodu skozi vozlišče se števec poveča

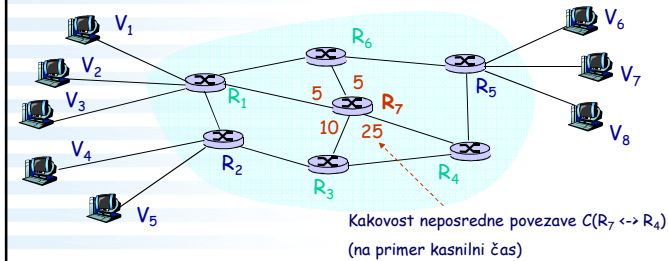
Usmerjevalna tabela vozlišča V_3

| prej | | | potem | | |
|----------|-------------|------|----------|-------------|------|
| Vozlišče | Ocena smeri | Smer | Vozlišče | Ocena smeri | Smer |
| V_1 | 3 | 2 | V_1 | 1 | 1 |
| V_2 | 0 | 1 | V_2 | 0 | 1 |
| V_3 | - | - | V_3 | - | - |
| V_4 | 0 | 3 | V_4 | 0 | 3 |
| V_5 | 2 | 1 | V_5 | 2 | 1 |
| V_6 | 3 | 2 | V_6 | 3 | 2 |
| V_7 | 2 | 3 | V_7 | 2 | 3 |

Potem, ko pride paket do V_3 iz smeri 1

| | | |
|---------------|---------------|---------|
| V_4 (ponor) | V_1 (izvor) | $N = 1$ |
|---------------|---------------|---------|

Porazdeljeno usmerjanje 1/6



Sosednja vozlišča si izmenjujejo tabele ali dele usmerjevalnih tabel
Posredno, preko sosednjih vozlišč, se postopoma ustvarijo
najboljše vsebine tabel – smeri pošiljanja – za vsa vozlišča.

Porazdeljeno usmerjanje 2/6

Deli vsebin usmerjevalnih tabel sosednjih vozlišč vozlišča R_7

| R_1 | | R_3 | | R_4 | | R_6 | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| V_i | C_i | V_i | C_i | V_i | C_i | V_i | C_i |
| V_1 | 10 | V_1 | 40 | V_1 | 60 | V_1 | 25 |
| V_2 | 20 | V_2 | 50 | V_2 | 70 | V_2 | 35 |
| V_3 | 20 | V_3 | 50 | V_3 | 70 | V_3 | 35 |
| V_4 | 30 | V_4 | 40 | V_4 | 60 | V_4 | 45 |
| V_5 | 40 | V_5 | 60 | V_5 | 70 | V_5 | 55 |
| V_6 | 120 | V_6 | 80 | V_6 | 60 | V_6 | 30 |
| V_7 | 100 | V_7 | 60 | V_7 | 30 | V_7 | 20 |
| V_8 | 110 | V_8 | 70 | V_8 | 40 | V_8 | 20 |
| itd | itd | itd | itd | itd | itd | itd | itd |

Tabele npr. vsebujejo kasnilne čase C_i poti (seštevke kasnilnih časov vseh zaporednih povezav) do končnih vozlišč, smeri pošiljanja, ipd.

Porazdeljeno usmerjanje 3/6

Primer trenutne vsebine usmerjevalne tabele vozlišča R_7

| V_i | C_i | Smer |
|-------|-------|-------|
| V_1 | 15 | R_1 |
| V_2 | 25 | R_1 |
| V_3 | 40 | R_6 |
| V_4 | 35 | R_1 |
| V_5 | 60 | R_3 |
| V_6 | 35 | R_6 |
| V_7 | 25 | R_4 |
| V_8 | 55 | R_4 |
| itd | itd | itd |

Vsako vozlišče "pozna" kakovost (npr. odzivne čase) neposrednih povezav (t.j. do sosednjih vozlišč).

Npr. R_7 :

$$C(R_7 \leftrightarrow R_1) = 5$$

$$C(R_7 \leftrightarrow R_3) = 10$$

$$C(R_7 \leftrightarrow R_4) = 25$$

$$C(R_7 \leftrightarrow R_6) = 5$$

R_7 pridobi usmerjevalne tabele - ocene kakovosti poti - od svojih sosednjih vozlišč.

Na osnovi kakovosti neposrednih povezav in ocen kakovosti poti sosednjih vozlišč določi nove kakovosti poti in smeri v svoji usmerjevalni tabeli.

$$C_i(R_7) = \min \{C_i(R_j) + C(R_7 \leftrightarrow R_j)\}; \quad (j = 1, 3, 4, 6)$$

Porazdeljeno usmerjanje 4/6

| R ₁ | | R ₃ | | R ₄ | | R ₆ | | R ₇ | | | Kakovost direktne povezave |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------------------------|
| V _i | C _i | V _i | C _i | V _i | C _i | V _i | C _i | V _i | C _i | Smer | ↓ |
| V ₁ | 10 | V ₁ | 40 | V ₁ | 60 | V ₁ | 25 | V ₁ | 15 | R ₁ | 5 |
| V ₂ | 20 | V ₂ | 50 | V ₂ | 70 | V ₂ | 35 | V ₂ | 25 | R ₁ | 5 |
| V ₃ | 20 | V ₃ | 50 | V ₃ | 70 | V ₃ | 35 | V ₃ | 40 | R ₆ | 5 |
| V ₄ | 30 | V ₄ | 40 | V ₄ | 60 | V ₄ | 45 | V ₄ | 35 | R ₁ | 5 |
| V ₅ | 40 | V ₅ | 60 | V ₅ | 70 | V ₅ | 55 | V ₅ | 60 | R ₃ | 5 |
| V ₆ | 120 | V ₆ | 80 | V ₆ | 60 | V ₆ | 30 | V ₆ | 35 | R ₆ | 5 |
| V ₇ | 100 | V ₇ | 60 | V ₇ | 30 | V ₇ | 20 | V ₇ | 25 | R ₆ | 5 |
| V ₈ | 110 | V ₈ | 70 | V ₈ | 30 | V ₈ | 20 | V ₈ | 55 | R ₄ | 25 |
| itd | itd | itd | itd | itd | itd | itd | itd | itd | itd | itd | itd |

Na primer za V₃:
 preko R₁: 20+5=25; preko R₃: 50+10=65; preko R₄: 70+25=95; preko R₆: 35+5=40
 Minimalni kasilni čas je preko R₁, zato R₇ osveži kakovost in smer za V₃.

Porazdeljeno usmerjanje 5/6

| R ₇ PREJ | | | | R ₇ POTEM | | | |
|---------------------|----------------|----------------|---|----------------------|----------------|----------------|--|
| V _i | C _i | Smer | | V _i | C _i | Smer | |
| ✓ V ₁ | 15 | R ₁ | | V ₁ | 15 | R ₁ | |
| ✓ V ₂ | 25 | R ₁ | | V ₂ | 25 | R ₁ | |
| ✗ V ₃ | 40 | R ₆ | → | V ₃ | 25 | R ₁ | |
| ✓ V ₄ | 35 | R ₁ | | V ₄ | 35 | R ₁ | |
| ✗ V ₅ | 60 | R ₃ | → | V ₅ | 45 | R ₁ | |
| ✓ V ₆ | 35 | R ₆ | | V ₆ | 35 | R ₆ | |
| ✓ V ₇ | 25 | R ₆ | | V ₇ | 25 | R ₆ | |
| ✗ V ₈ | 55 | R ₄ | → | V ₈ | 45 | R ₆ | |
| itd | itd | itd | | itd | itd | itd | |

Opomba: podobno deluje na primer RIP

Angl. Distance-Vector Routing Algorithms, DV Algorithms

Porazdeljeno usmerjanje 6/6

Povzetek:

Porazdeljeno usmerjanje je razmeroma enostavno.

Primerno je za majhna omrežja.

Problem predstavljajo zanke v omrežju.

Usmerjevalniki se počasi odzivajo na spremembe v omrežju, usmerjanje lahko postane nestabilno.

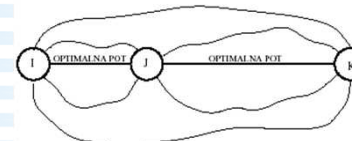
Glavna slabost porazdeljenega usmerjanja je počasna konvergenca, posebej tedaj, ko se razmere slabšajo.

Globalno (centralizirano) usmerjanje

Vozlišča določijo vsebino usmerjevalnih tabel na osnovi poznavanja topologije celotnega omrežja ali dela omrežja.

Opomba: tako deluje OSPF (Open Shortest Path First)

(Angl. Link-State Routing Algorithms; LS Algorithms)



Načelo optimalnosti (Bellman-Ford):

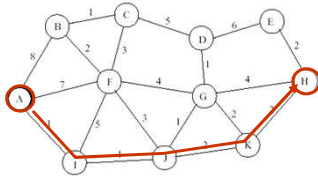
Če je J na optimalni poti med I in K, sta optimalni tudi (delni) poti od I do J in od J do K

Globalno (centralizirano) usmerjanje

Algoritem Dijkstra

Izberemo izvorno vozlišče in iščemo najkrajše poti do ponornih vozlišč

To naredimo za vsa možna izvorna vozlišča



Katera je optimalna pot od A do H?

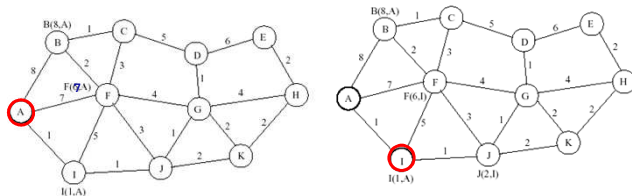
Globalno (centralizirano) usmerjanje

| St. Koraka | Tekoče vozlišče | Poskusne oznake | Permanentno vozlišče |
|------------|-----------------|------------------------|----------------------|
| 1 | A | B(8,A), F(7,A), I(1,A) | I(1,A) |
| 2 | I(1,A) | J(2,I), F(6,I) | J(2,I) |
| 3 | J(2,I) | K(4,J), G(3,J), F(5,I) | G(3,J) |
| 4 | G(3,J) | H(7,G), D(4,G) | D(4,G) |
| 5 | D(4,G) | E(10,D), C(9,D) | K(4,J) |
| 6 | K(4,J) | H(6,K) | F(5,J) |
| 7 | F(5,J) | C(8,F) | H(6,K) |
| 8 | H(6,K) | | |

1. Vozlišča najprej označimo z veliko vrednostjo - veliko razdaljo
2. Začnemo v izvornem vozlišču - 'tekoče' vozlišče (to je A)
3. Sosednja vozlišča tekočega vozlišča 'poskusno' označimo z razdaljo do njih - to so B, F in I.
4. Med vsemi vozlišči izberemo tisto z najmanjšo oznako, to je I.
5. I postane novo 'tekoče' vozlišče.
6. Ponavljamo korake 3-5.

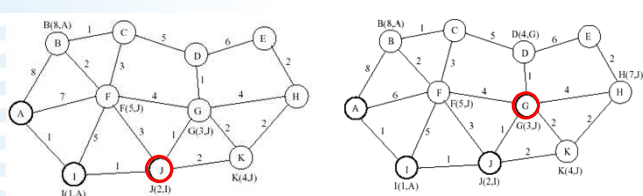
Globalno (centralizirano) usmerjanje

| St. Koraka | Tekoče vozlišče | Poskusne oznake | Permanentno vozlišče |
|------------|-----------------|------------------------|----------------------|
| 1 | A | B(8,A), F(7,A), I(1,A) | I(1,A) |
| 2 | I(1,A) | J(2,I), F(6,I) | J(2,I) |
| 3 | J(2,I) | K(4,J), G(3,J), F(5,I) | G(3,J) |
| 4 | G(3,J) | H(7,G), D(4,G) | D(4,G) |
| 5 | D(4,G) | E(10,D), C(9,D) | K(4,J) |
| 6 | K(4,J) | H(6,K) | F(5,J) |
| 7 | F(5,J) | C(8,F) | H(6,K) |
| 8 | H(6,K) | | |



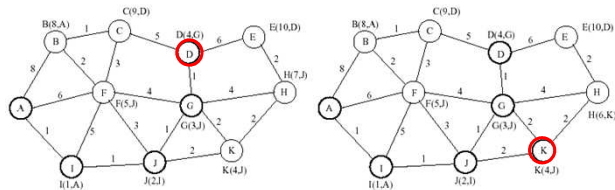
Globalno (centralizirano) usmerjanje

| St. Koraka | Tekoče vozlišče | Poskusne oznake | Permanentno vozlišče |
|------------|-----------------|------------------------|----------------------|
| 1 | A | B(8,A), F(7,A), I(1,A) | I(1,A) |
| 2 | I(1,A) | J(2,I), F(6,I) | J(2,I) |
| 3 | J(2,I) | K(4,J), G(3,J), F(5,I) | G(3,J) |
| 4 | G(3,J) | H(7,G), D(4,G) | D(4,G) |
| 5 | D(4,G) | E(10,D), C(9,D) | K(4,J) |
| 6 | K(4,J) | H(6,K) | F(5,J) |
| 7 | F(5,J) | C(8,F) | H(6,K) |
| 8 | H(6,K) | | |



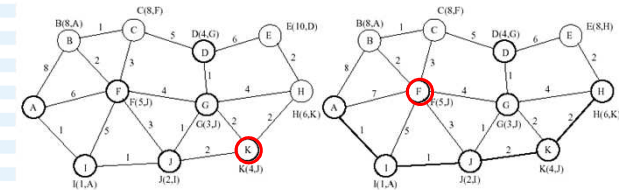
Globalno (centralizirano) usmerjanje

| St. Koraka | Tekoče vozlišče | Poskusne oznake | Permanentno vozlišče |
|------------|-----------------|------------------------|----------------------|
| 1 | A | B(8,A), F(7,A), I(1,A) | I(1,A) |
| 2 | I(1,A) | J(2,I), F(6,I) | J(2,I) |
| 3 | J(2,I) | K(4,J), G(3,J), F(5,I) | G(3,J) |
| 4 | G(3,J) | H(7,G), D(4,G) | D(4,G) |
| 5 | D(4,G) | E(10,D), C(9,D) | K(4,J) |
| 6 | K(4,J) | H(6,K) | F(5,J) |
| 7 | F(5,J) | C(8,F) | H(6,K) |
| 8 | H(6,K) | | |



Globalno (centralizirano) usmerjanje

| St. Koraka | Tekoče vozlišče | Poskusne oznake | Permanentno vozlišče |
|------------|-----------------|------------------------|----------------------|
| 1 | A | B(8,A), F(7,A), I(1,A) | I(1,A) |
| 2 | I(1,A) | J(2,I), F(6,I) | J(2,I) |
| 3 | J(2,I) | K(4,J), G(3,J), F(5,I) | G(3,J) |
| 4 | G(3,J) | H(7,G), D(4,G) | D(4,G) |
| 5 | D(4,G) | E(10,D), C(9,D) | K(4,J) |
| 6 | K(4,J) | H(6,K) | F(5,J) |
| 7 | F(5,J) | C(8,F) | H(6,K) |
| 8 | H(6,K) | | |



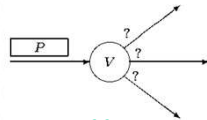
Omrežje TCP/IP

Nepovezavno omrežje – 'datagram'

- Med končnima vozliščema ne pride do vzpostavitve zveze
- Ne zagotavlja sekvenčnosti dostave, ne preprečuje podvajanja in izgubljanja paketov

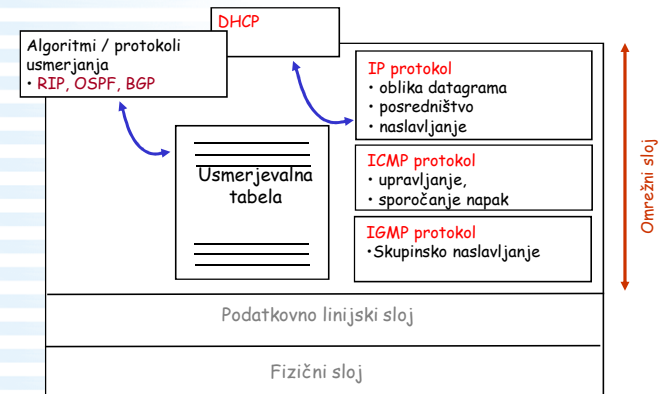
Koncept usmerjanja/posredovanja je enostaven:

pošlji naprej naslednjemu vozlišču



(Angl. "Best effort service")

TCP/IP omrežni sloj - struktura



RFC (Request For Comments)

- **RFC** so dokumenti, ki zaokrožajo dejavnosti - raziskave in razvoj - na področju Internetnih tehnologij
- **IETF** (Internet Engineering Task Force) nekatere od teh dokumentov sprejme za Internet standarde (STD).
- Nekateri pomembnejši v kontekstu teh predavanj:
 - RFC 791 (STD 5) Internet Protocol (IP)
 - RFC 792 (STD 5) Internet Control Message Protocol (ICMP)
 - RFC 768 (STD 6) User Datagram Protocol (UDP)
 - RFC 793 (STD 7) Transmission Control Protocol (TCP)
 -

Usmerjanje v omrežjih TCP/IP

- **Posredništvo izvajajo** vozlišča na osnovi protokola **IP v.4**
 - V ta namen vzdržujejo usmerjevalne tabele
 - Na podlagi le-teh za vsak vhodni paket določijo odhodno smer
- **Način usmerjanja** določajo usmerjevalni protokoli/algoritmi
 - S pomočjo le-teh se formirajo **usmerjevalne tabele**
 - V avtonomnih omrežjih – sistemih (**AS**) se uporablja **OSPF**
 - Sosednja vozlišča si izmenjujejo stanja neposrednih povezav
 - Na podlagi poznavanja povezav v celem omrežju (oz. delu omrežja), zgradijo usmerjevalno tabelo.
 - Za usmerjanje med avtonomnimi sistemi se uporablja **BGP**.

IP v.4 paket (datagram)

| | | | | | |
|------------------------|----------|-----------------|-----------------|---------|----|
| 0 | 4 | 8 | 16 | 19 | 31 |
| Version | IHL | Type of Service | Total Length | | |
| Identification | | Flags | Fragment Offset | | |
| Time To Live | Protocol | Header Checksum | | | |
| Source IP Address | | | | | |
| Destination IP Address | | | | | |
| Options | | | | Padding | |

Paket vsebuje do 64 KB podatkov
Lahko se tudi 'fragmentira'

IP naslova
nn.nn.nn.nn

IP paket - razlaga glave

- **Version**: verzija protokola (4)
- **IHL**: dolžina glave (min. 5, max. 15)
- **Type of Service**: pomembna kasnitev, prepustnost, zanesljivost
- **Total length**: dolžina paketa (glava in vsebina)
- **Identification**: vsi fragmenti istega paketa imajo enako oznako – paket se namreč lahko "fragmentira".
- Zastavice
 - **DF**: Don't fragment (paket se ne sme fragmentirati)
 - **MF**: More fragments, oznaka za zadnji fragment
- **Fragment Offset**: zaporedna oznaka fragmenta
- **Time To Live**: se zmanjša za ena pri vsakem prehodu skozi vozlišče, ko pade na 0, se izgubi, pošiljatelj pa dobi opozorilo, tu nastopi **ICMP**.
- **Protocol**: oznaka protokola prenosnega sloja (**TCP, UDP**)
- **Checksum**: Internet kontrolna vsota, komplement logičnega AND glave

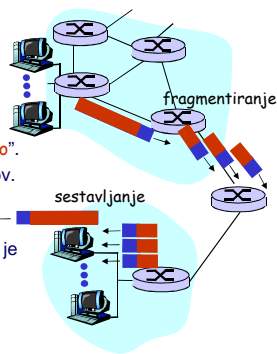
IP - fragmentiranje in sestavljanje

- Omrežje (oz povezave omrežja) imajo navzgor omejeno velikost prenosljive podatkovne enote, "okvirja", (MTU - Maximum Transmission Unit)
Na primer Ethernet okvir: 1500 bajtov

- Večji IP datagrami se zato delijo ali "fragmentirajo".
 - Iz enega datagrama nastane več datagramov.

- V IP glavi imajo vsi fragmenti enako oznako, različno zaporedno številko in "zastavico" ali je to vmesni ali zadnji fragment.

- Fragmenti se sestavijo nazaj v izvorni datagram **šele čisto na koncu**.



Kurose, Ross: Network layer

IP - fragmentiranje in sestavljanje

Primer

- 4000 bajtni datagram
20 bajtov za glavo +
3980 bajtov podatkov
- MTU = 1500 bajtov

1480 bajtov podatkov
+ 20 bajtov za glavo = 1500
bajtov Ethernet okvir

odmik = $1480/8 = 185$
"8-bajtna deljivost"

Zadnji fragment MF = 0

| | | | |
|---------|----|----|-------|
| dolžina | ID | MF | odmik |
| =4000 | =x | =0 | =0 |

izvorni datagram se fragmentira

| | | | | |
|---------|----|----|-------|----|
| dolžina | ID | MF | odmik | |
| =1500 | =x | =1 | =0 | 1. |
| dolžina | ID | MF | odmik | |
| =1500 | =x | =1 | =185 | 2. |
| dolžina | ID | MF | odmik | |
| =1040 | =x | =0 | =370 | 3. |

$1480 + 1480 + 1020 = 3980$ bajtov podatkov

Naslavljanje

Enonaslovni način (angl. **Unicast**)

paket pošljemo samo enemu
naslovljenemu vozlišču

Skupinski način (angl. **Multicast**)

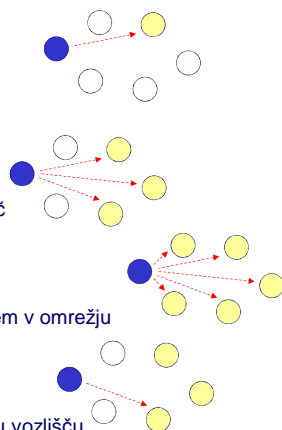
(skupinsko naslavljanje)
paket pošljemo skupini vozlišč

Splošni način (angl. **Broadcast**)

(splošno naslavljanje)
paket pošljemo vsem vozliščem v omrežju

Poljubno naslavljanje (angl. **Anycast**)

paket pošljemo samo enemu
(sicer kateremukoli) izbranemu vozlišču



IP naslovi in razredi

| | | | |
|----------|-----------|-----------------------------|-----------------|
| Razred A | 0 | Net (7 bitov) | Host (24 bitov) |
| Razred B | 1 0 | Net (14 bitov) | Host (16 bitov) |
| Razred C | 1 1 0 | Net (21 bitov) | Host (8 bitov) |
| Razred D | 1 1 1 0 | Skupinski naslov (28 bitov) | |
| Razred E | 1 1 1 1 1 | Rezervirano (27 bitov) | |

Posebni naslovi

| | |
|----------------------------------|--------------------------------------|
| 00000000000000000000000000000000 | To vozlišče |
| 00000000000000000000000000000000 | Vozlišče v tem omrežju |
| 11111111111111111111111111111111 | Splošen naslov na tem omrežju |
| nnnnnnnnnn1111111111111111111111 | Splošen naslov na oddaljenem omrežju |

Delitev IP naslova na **naslov omrežja** in **naslov vozlišča** je pomembna pri usmerjanju. Zaradi pomankanja naslovov so se naslovni razredi opustili.

IP naslovi, CIDR, NAT, DHCP

CIDR: Classless InterDomain Routing

- delitev na naslov omrežja in naslov vozlišča določa **naslovna maska**
na primer: **nn.nn.nn.nn/20** pomeni, da je zgornjih 20 bitov omrežnih

NAT: Network Address Translation

- Omrežje navznoter uporablja navzven nevidne notranje naslove
področja notranjih naslovov so: 10.0.0/8; 172.16.0/12; 192.168.0/16
- Navzven uporablja omrežje en sam naslov za celotno omrežje
- Preslikavo med naslovi opravlja NAT usmerjevalnik

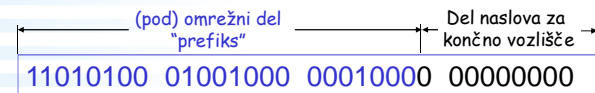
DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol

- naslov vozlišča se dodeli za čas, ko je vozlišče aktivno

IP naslovi in naslovne maske

CIDR: Classless InterDomain Routing

- delitev na naslov (pod)omrežja in naslov vozlišča določa naslovna maska
- na primer: **nn.nn.nn.nn/23** pomeni, da je zgornjih 23 bitov omrežnih
v tem (pod)omrežju je na razpolago $2^9 = 512$ naslovov ($23+9=32$)
xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx00000000 – xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx11111111
xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx = omrežni del



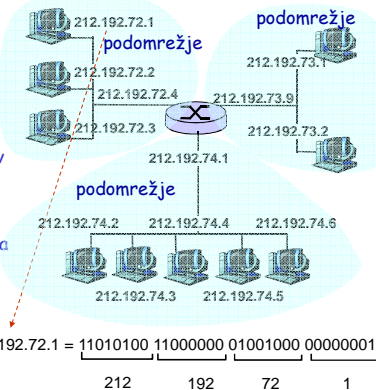
212.72.16.0/23

Naslovna maska za naš primer (FF.FF.FE.00) (255.255.254.0):

11111111 11111111 11111110 00000000

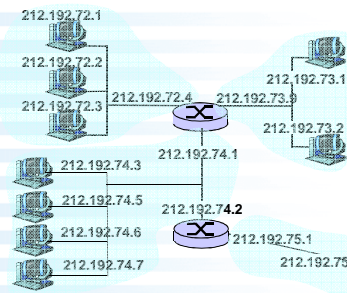
IP naslavljanje - podomrežja

- (pod)omrežje tvorijo vozlišča z enakim (pod)omrežnim naslovom.
- (pod)omrežje tvorijo vozlišča, ki so direktno "povezana" (dosegljiva).
- usmerjevalniki imajo več priključkov - vmesnikov.
- vsak vmesnik ima svoj IP naslov.
- V primeru (desno) so vsa podomrežja enako velika (8 bitov za vozlišče)
212.192.72.0/24
212.192.73.0/24
212.192.74.0/24
podomrežna maska /24



IP naslavljanje - podomrežja

- s pomočjo naslovnih mask delimo naslovni prostor na omrežja, ta na podomrežja, ta naprej na podpodomrežja, ...
- delitev naslova na (pod)omrežni del in naslov vozlišča znotraj omrežja je pomembna za usmerjanje.
- Usmerjevalna tabela usmerjevalnika R vsebuje samo eno vrstico za vsa vozlišča, ki so dosegljiva na priključku 1, /22
- za dodeljevanje naslovov skrbi ICANN (Internet Corporation for Assigned Names and Numbers)

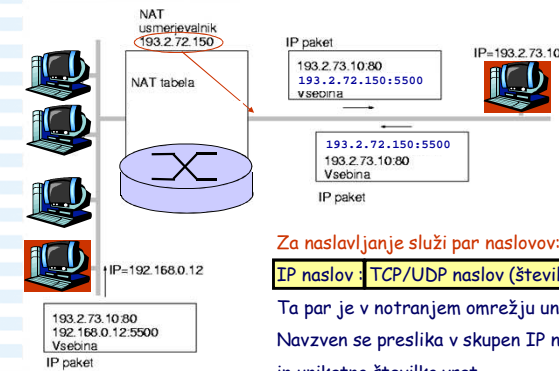


NAT naslavljanje 1/3

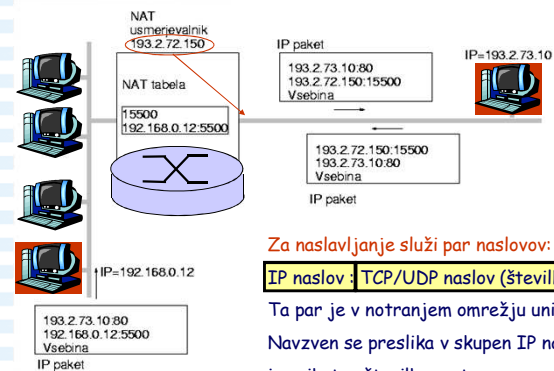
Motivacija (potreba) za nastanek NAT usmerjanja

- Razširitev naslovnega prostora
- Večja fleksibilnost pri dodeljevanju naslovov
 - Notranje naslove se lahko svobodno dodeljuje - spreminja, neodvisno od ponudnika storitev
 - Notranje naslove se lahko ohrani tudi, če spremenimo ponudnika storitev
- Varnost
 - Notranji naslovi navzven niso vidni

NAT naslavljanje 2/3



NAT naslavljanje 2/3



NAT naslavljanje 3/3

Notranje omrežje je navzven vidno (dosegljivo) z enim samim naslovom
IP=193.2.72.150

Denimo, da vozlišče "odjemalec" z naslovom **IP=192.168.0.12** v notranjem omrežju dostopa do "strežnika" **IP = 193.2.73.10** v zunanem omrežju.

Strežnik posluša na vratih s številko 80 (to bi lahko bil na primer spletni stežnik), odjemalec pa se pripne na vrata 5500 (lokalno in na tem vozlišču svobodno izbrano, a na tem vozlišču unikatno številko "vrat").

NAT umerjevalnik sprejme paket odjemalca, zamenja njegov IP naslov s svojim IP naslovom in številko vrat z novo - zanj unikatno številko vrat (15500). Pod to številko zabeleži lokalni naslov odjemalca in lokalno številko vrat v svojo tabelo.

Tak paket pošlje v zunanje omrežje. Vsa vozlišča v zunanem omrežju obravnavajo ta paket kot da ga je poslal NAT usmerjevalnik.

Strežnik se odzove odjemalcu – pošlje paket NAT usmerjevalniku – torej na njegov IP naslov in na izbrano številko vrat.

NAT usmerjevalnik sprejme paket. V svoji tabeli pod številko 15500 najde (dejanski) lokalni naslov odjemalca in njegovo številko vrat. Usmerjevalnik pošlje paket na njegov naslov in njegovo številko vrat.

NAT naslavljanje 3/3

Vprašanje:

Ali lahko notranje vozlišče deluje kot aplikacijski strežnik zunanjim vozliščem (na primer spletni strežnik)?

DA / NE ?

Načeloma NE

Vprašanje:

Ali imate/poznate rešitev?

Predlagajte!

DHCP - Dynamic Host Conf. Protocol 1/3

DHCP omogoča vozliščem brez vnaprej dodeljenega IP naslova, da **začasno** pridobijo unikatni IP naslov.

Denimo, da mobilno vozlišče gostuje ali pa se začasno vključi v omrežje.

Vozlišče (odjemalec) opravi **DHCP poizvedbo**, pošlje DHCP paket z izbrano številko transakcije na splošni naslov (255.255.255.255) z naslovom izvora 0.0.0.0

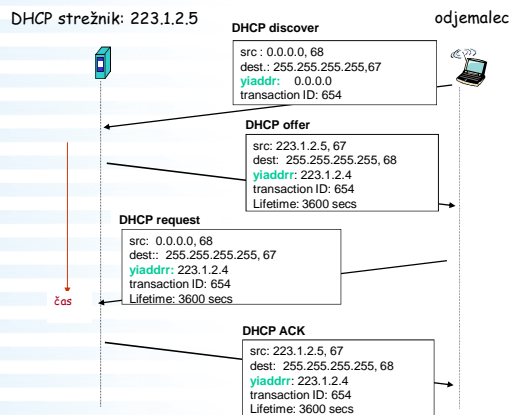
DHCP strežnik **ponudi** razpoložljiv IP naslov – pošlje IP paket z izbranim IP naslovom, pripadajočo naslovno masko, časom trajanja veljavnosti dodelitve naslova in številko transakcije, ki je enaka kot v poizvedbi.

Vozlišče (odjemalec) odgovori z **zahtevo** – IP paketom z enakimi parametri kot ponudba DHCP strežnika.

DHCP strežnik **potrdi zahtevo**.

V primeru, da se čas dodelitve izteka, odjemalec pošlje zahtevo za obnovitev – podaljšanje časa veljavnosti dodeljenega naslova.

DHCP scenarij odjemalec strežnik 2/3



DHCP in NAT 3/3

Vprašanje:

Ali lahko NAT in DHCP sobivata?

DA / NE ?

Seveda ☺

Vprašanje:

Ali je to smiselno oziroma potrebno?

DA / NE ?

Usmerjanje v mobilnem omrežju 1/4

• Mobilnost vozlišč:

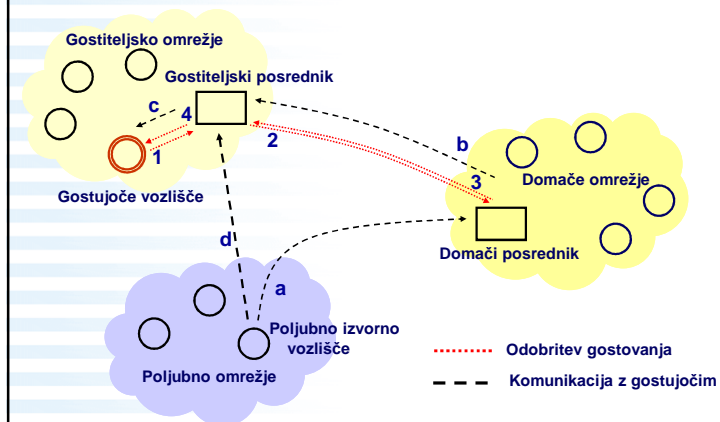
- Mobilna samo končna vozlišča.
- Mobilna vsa vozlišča, vključno z usmerjevalniki

• Ad hoc omrežja

• Usmerjanje:

- Usmerjanje v omrežju z mobilnimi (končnimi) vozlišči.
- Usmerjanje v omrežjih z mobilnimi usmerjevalniki je neprimerno bolj zapleteno in predmet številnih raziskav.
 - področja uporabe: vojska, promet, ...

Usmerjanje v mobilnem omrežju 2/4



Usmerjanje v mobilnem omrežju 3/4

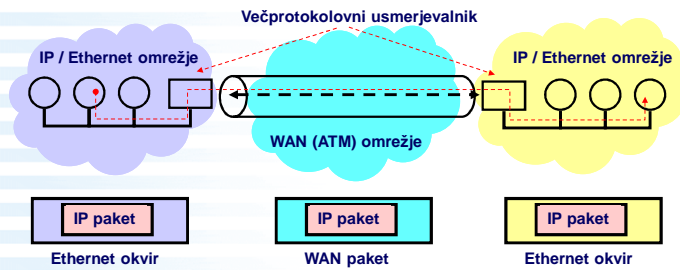
- Vsako vozlišče ima svoj naslov v domačem omrežju, po katerem je znano vsem drugim vozliščem v omrežju omrežij.
- Vozlišče gostuje v drugem omrežju in pri tem uporablja svoj naslov.
 - Kako naj gostujoče vozlišče komunicira z drugimi vozlišči in obratno?
- Problem je rešen s posredniki v domačem in gostiteljskem omrežju.
 - Vsak posrednik v omrežju občasno objavi svojo prisotnost, ali pa se gostujoči najavi sam.
 - Gostujoče vozlišče se 'prijava' v gostiteljskem omrežju s svojim domačim IP in svojim MAC naslovom.
 - Posrednik v gostiteljskem omrežju kontaktira domače omrežje gostujočega.
 - Glede na odgovor posrednika v domačem omrežju sporoči gostujočemu, da je gostovanje odobreno.

Usmerjanje v mobilnem omrežju 4/4

- Gostujoče vozlišče je sedaj pripravljeno na komunikacijo, kot bi bilo v domačem omrežju.
- -----
- Denimo, da poljubno drugo vozlišče pošlje paket na njegov naslov – torej v domače omrežje.
- Posrednik v domačem omrežju ve, da ponorno vozlišče gostuje. Zato 'ovije' ta paket v nov paket, ki ga naslovi na posrednika gostitelja – oblika 'tuneliranja'.
- Posrednik dobi paket, ga 'odvije' ter pošlje gostujočemu v ovojnici linijskega sloja (ethernet okvirju).
- To še ni vse. Domači posrednik pošlje izvornemu vozlišču naslov posrednika gostitelja rekoč, naj tunelira pakete k gostitelju.
- Od tedaj naprej poteka komunikacija direktno med izvorom in ponorom – preko posrednika v gostiteljskem omrežju.

Tuneliranje

- Povezovanje sorodnih omrežij preko drugačnih omrežij
(Npr. tudi "tuneliranje" IP v.6 paketov čez IP v4. omrežje)

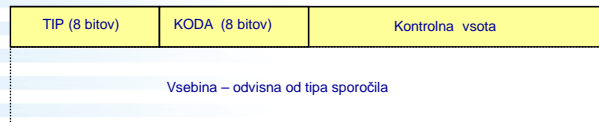


Protokol ICMP



- **ICMP**: (**I**nternet **C**ontrol **M**essage **P**rotocol) je nadzorni protokol omrežnega sloja. Skrbi za upravljanje omrežja.
- ICMP paketi se prenašajo v IP paketih.
- ICMP služi za:
 - sporočanje napak
 - preizkušanje dosegljivosti vozlišč/omrežij
 - nadzor zasičenosti omrežij
 - preusmerjanje
 - merjenje zmogljivosti
 - podomrežno naslavljanje.
- ICMP sporočilo je lahko poizvedba, odgovor, ali napaka.

ICMP paket



Obstaja okrog 20 tipov **ICMP** sporočil, ki se delijo naprej na "podtipe" (**KODA** je odvisna od tipa sporočila)

Nekaj tipov sporočil:

- **Tip 0**: Echo reply
- **Tip 8**: Echo request
- **Tip 13**: Timestamp request
- **Tip 14**: Timestamp reply
- **Tip 5**: Redirect (za usmerjanje)
- **Tip 11**: Time exceeded (TTL =0)
-

ICMP – nekaj primerov tipa 3

Nekaj sporočil tipa 3:

- **Tip 3**: Koda
 - 0 destination network unreachable
 - 1 destination host unreachable
 - 2 destination protocol unreachable
 - 3 destination port unreachable
 - 6 destination network unknown
 - 7 destination host unknown

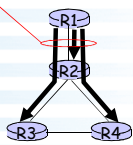
Skratka, dostava paketa ni bila mogoča ...

Skupinsko naslavljanje

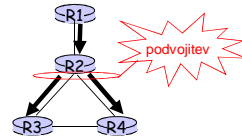
Vse kar odda eno vozlišče je potrebno dostaviti skupini vozlišč (niti samo enemu niti vsem).

Osnova skupinskemu naslavljanju je "preplavljanje".

Več vzporednih tokov enakih podatkov



Mnogoterjenje v izvoru



Mnogoterjenje na poti

(Omrežja z množičnim dostopom dajejo dobro podlago skupinskemu naslavljanju).

Skupinsko naslavljanje

Osnova skupinskemu naslavljanju je "preplavljanje":

pošlji v vse smeri, razen v tisto, iz katere pride.

Problemi:

dodatna (nenadzorovana) obremenitev omrežja - "nevihta".
zanke v omrežju.

Rešitve:

omejeno (nadzorovano) preplavljanje
odkrivanje in izločanje zank (minimalno vpeto drevo).

Skupinsko naslavljanje

• Rešitve:

• Nadzorovano preplavljanje:

- preplavi samo v primeru, da istega paketa ni že preplaval kdaj prej.
- RPF (reverse path forwarding): preplavi samo če paket pride po najkrajši poti med izvorom in vmesnim vozliščem.

• Vpeto drevo

- Ni redundantnih paketov.

Tako kot za enonaslovno naslavljanje so tudi za skupinsko naslavljanje potrebni algoritmi in protokoli.

Protokol IGMP

IGMP (Internet Group Management Protocol) služi za upravljanje skupin, to je ustvarjanje začasnih skupin vozlišč pri skupinskem naslavljanju.

Pri skupinskem naslavljanju eno izvorno vozlišče pošlje en sam paket, ki ga sprejmejo vsi v naslovljeni skupini.

224.nn.nn.nn : skupinski naslovi

Naslovi nekaterih permanentnih (stalnih) skupin:

224.0.0.1 : vsa vozlišča v lokalnem omrežju

224.0.0.2 : vsi usmerjevalniki v lokalnem omrežju

224.0.0.3 : vsi OSPF usmerjevalniki v lokalnem omrežju

224.0.0.4 : vsi pooblašeni OSPF usmerjevalniki v lokalnem omrežju

Protokol IGMP

IGMP je potreben za upravljanje začasnih naslovnih skupin. Skupinskemu naslavljanju morajo nuditi podporo vozlišča, stikala in usmerjevalniki.

RFC 1112, RFC 2236, RFC 3376

Oblika paketov je relativno enostavna. Paketi se prenašajo v IP paketih. So tipa poizvedba in odziv.

Npr.: TIP = 0x11 (poizvedba po želji za članstvo v skupini)

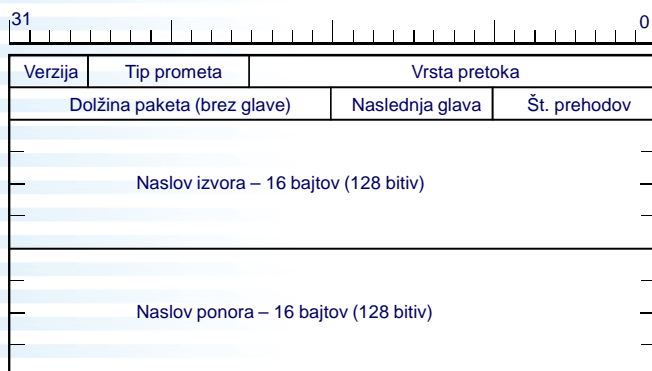
TIP = 0x12 (poročilo o članstvu)

| | | |
|------------------|----------------------------|-----------------|
| TIP (8 bitov) | Max. odzivni čas (8 bitov) | Kontrolna vsota |
| Skupinski naslov | | |

IP v.6

- Razširitev naslovnega področja (128 bitni naslovi namesto 32 bitnih), da bo naslovov za vedno dovolj.
 - Bolj učinkovito usmerjanje: hierarhičen sistem naslavljanja, zato krajše usmerjevalne tabele, enostavnejše in zato hitrejšo usmerjanje.
 - Zagotavljanje kakovosti storitev (QoS), pomembno predvsem za časovno kritične podatke (govor, slika, vodenje procesov).
 - Zagotavljanje varnosti (tajnosti in verodostojnosti), preprečevanje zlorabe.
 - Direktna podpora gostovanju mobilnih vozlišč.
 - Sobivanje obeh protokolov (v.4 in v.6).
 - Možnost nadgrajevanja v prihodnosti.
- Prehod z v.4 na v.6 ni trivialen in zahteva svoj čas.

IP v.6 - glava paketa



IP v.6 - glava paketa - 40 bajtov

- Verzija: vrednost 6 (za IP v.4 je vrednost jasno 4)
- Tip pretoka: časovno kritičen,, (ToS pri v.4). Razlučuje 16 prioritetenih nivojev, 0-7: časovno nekritičen promet, 8-15: časovno kritičen promet.
- Vrsta pretoka: povezaven, nepovezaven, (ni ekvivalenta za IP v.4)
- Dolžina paketa: dolžina podatkovnega dela paketa – brez 40 bajtne glave
- Naslednja glava; tip naslednje (oz. podaljška) glave. Obstaja šest tipov dopolnilnih glav.
- Št. Prehodov: pravzaprav TTL pri v.4. Izvorno vozlišče postavi začetno vrednost, ki se zmanjša za ena ob vsakem prehodu skozi vmesno vozlišče.
- IP v.6 naslov: predpona pove tip naslova, npr. IP v4. naslov, IPX naslov, ...
Zapis naslova; FEDC:BA98:7654:3210:0123:4567:89AB:CDEF
Za IP v.4 naslov pa ::193.2.72.150 (ohranja decimalen zapis s piko).

Povzetek

- V omrežjih TCP/IP zaenkrat prevladuje omrežni protokol IP v.4
Postopoma ta omrežja prehajajo na IP v.6
- Za preslikavo med IP in MAC naslovi skrbita protokol ARP in RARP.
- IP naslov sestavljata naslov omrežja in naslov vozlišča v omrežju. To je pomembno za usmerjanje. Polji določa t.i. naslovna maska (CIDR).
- Zaradi varčevanja z naslovi se v notranjih omrežjih uporablja NAT.
- Za dinamično in začasno dodeljevanje IP naslovov skrbi DHCP.
- Za mobilnost (gostovanje) skrbijo posredniki.
- Za tuneliranje skrbijo večprotokolovni usmerjevalniki.
- V (AS) avtonomnih sistemih se uporablja usmerjevalni protokol OSPF.
- Med AS se uporablja protokol BGP v.4
- Upravljanje omrežja podpira protokol ICMP.

Literatura

- J. Kurose, K. Ross, Computer networking, 5th ed, Pearson, 2010.
- A. Tanenbaum, D. Wetherall, Computer Networks, 5th ed., Prentice-Hall, 2010
- R. Stevens, TCP/IP Illustrated, Vol. 1, Addison-Wesley, 1994
- F. Halsall, Computer Networking and the Internet, 5th ed., Addison-Wesley, 2005
- Viri na Internetu
 - Wikipedia
 - <http://www.rfc-editor.org/>
 - <http://www.ietf.org/rfc.html>