

# Komunikacijski protokoli in omrežna varnost

Razpošiljanje (*multicast*)

# Razpošiljanje

- **Načini naslavljanja:**
  - **unicast** (tradicionalno): pošiljanje enemu ciljnemu IP naslovu (unikaten v Internetu / lokalnemu omrežju)
  - **broadcast** (oddajanje): „naslavljanje vseh prejemnikov“ v podomrežju (npr. iskanje usmerjevalnika ali strežnika, nujno sporočilo); ne dostavlja paketov izven lokalne mreže
- Kako poslati samo izbrani skupini naslovov, tudi izven lokalne omreže?
  - **multicast** naslavljanje (razpošiljanje) omogoča dostavo skupinam ne glede na meje podomrežij
  - IGMP (*Internet Group Management Protocol*) se uporablja za upravljanje s skupinami

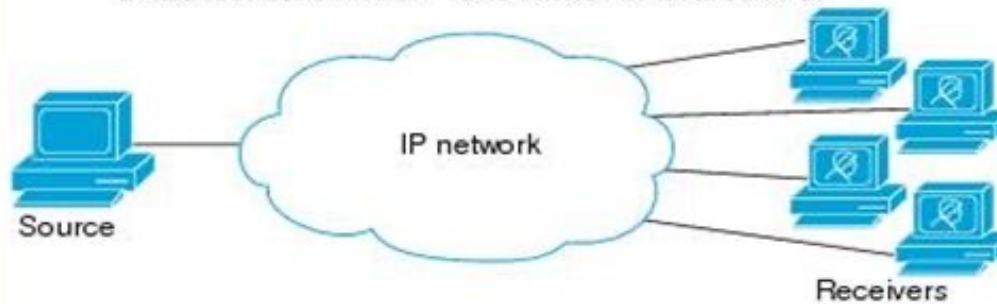
# Razpošiljanje

## IP transmission schemes:

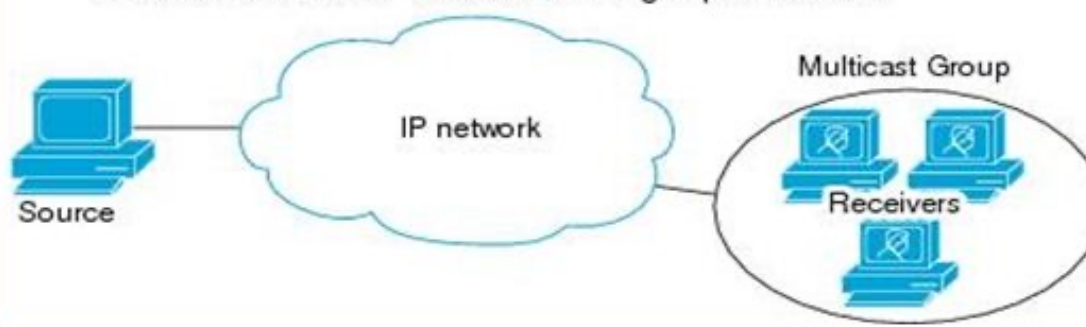
Unicast transmission—One host sends and the other receives.



Broadcast transmission—One sender to all receivers.



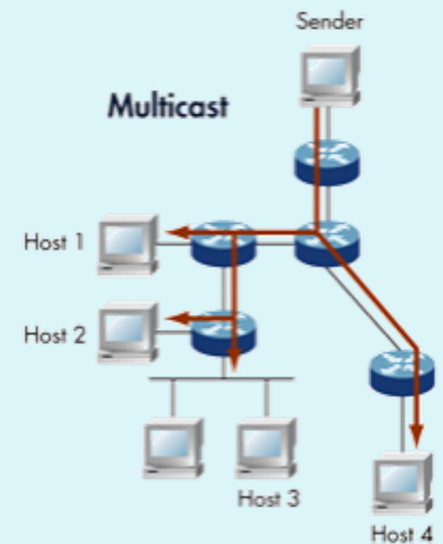
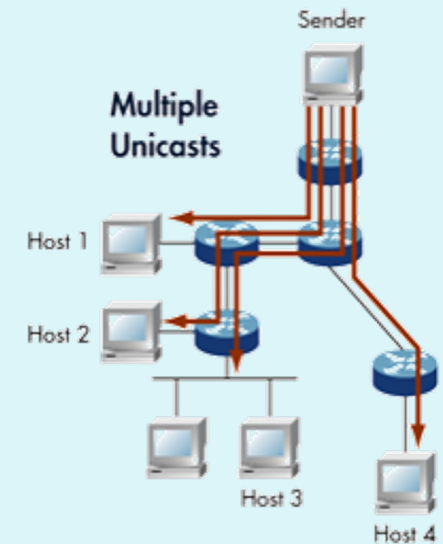
Multicast transmission—One sender to a group of receivers.



# Razpošiljanje - primer

Poslati želimo 4 od 6 računalnikov v omrežju. Kako?

1. **unicast**: potrebujemo 6 kopij istega paketa, večkratno pošiljanje obremenjuje medij
2. **broadcast**: naslovi vse računalnike, filtriranje pravih prejemnikov prepustimo protokolom na višjim plastem.
3. **multicast**: pošljemo „posebnemu naslovu“, ki predstavlja SKUPINO prejemnikov, ki posluša pakete, naslovljene na ta naslov
  - podobno kot *broadcast*: paket dobijo vsi
  - vendar: filtriranje se izvede na omrežnem nivoju - IP (včasih lahko tudi na povezavnem nivoju)



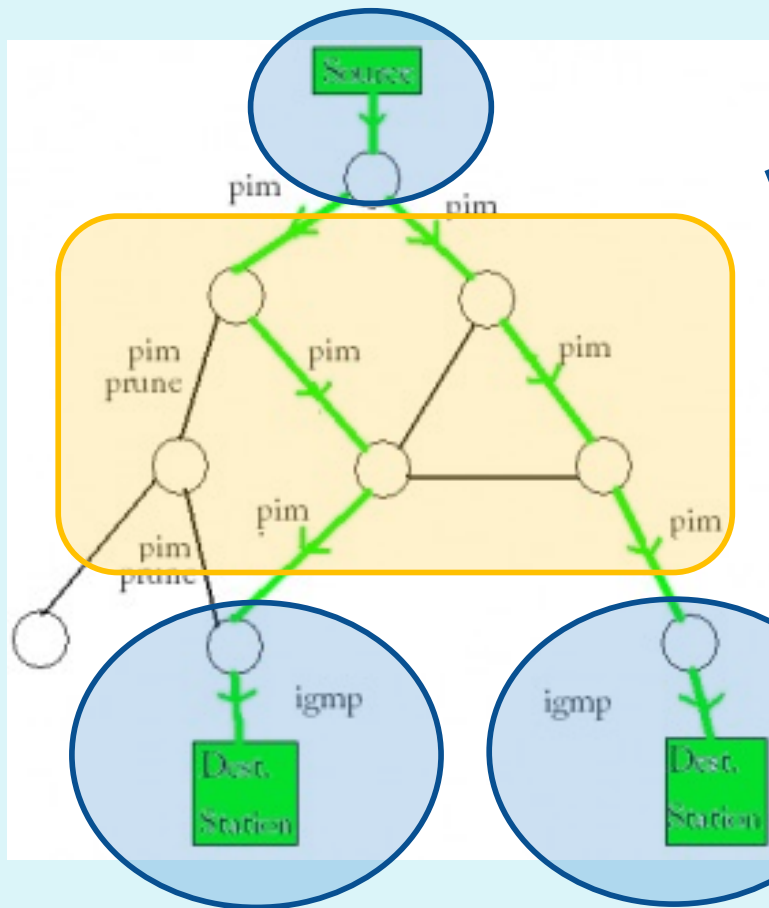
# Razpošiljanje: usmerjanje paketov

- *broadcast* paketov usmerjevalniki ne posredujejo (dobili bi jih vsi!), torej ostajajo znotraj lokalnega omrežja
- **usmerjanje pri razpošiljanju** je praktično: en sam paket usmerjevalniki razmnožijo in posredujejo samo preko tistih vmesnikov, kjer so poslušatelji paketa. Ime skupine je 32 bitno število (skoraj)

# Razpošiljanje: usmerjanje paketov

- Izzivi protokola:
  - postopek razpošiljanja:
    - odkrivanje, kje so prejemniki paketa,
    - razpošiljanje zahteva dodatno delo: usmerjevalni protokoli, posredovanje informacije o poslušateljih,
    - razpošiljalni naslovi ne oblikujejo (pod)mrež -> maska ima 32 bitov. V usmerjevalnih tabelah zato zahtevajo posebne vnose
      - *izziv: lahko imajo tudi več posebnih vnosov, zakaj?*
  - varnost:
    - ali lahko paket razpošlje vsakdo ali samo član skupine?
    - prisluškovalec se lahko naroči na poslušanje paketov in postane legitimni prejemnik
  - zanesljivost:
    - kaj narediti, če samo en prejemnik javi, da ni dobil paketa?

# Razpošiljanje

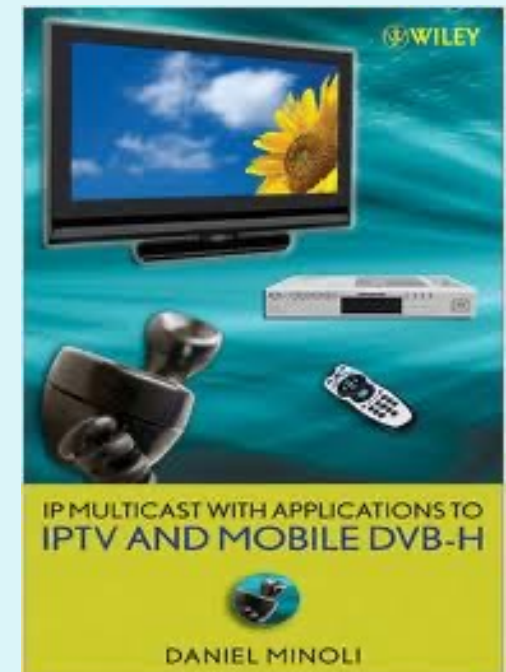


naročanje na  
multicast promet  
(IGMP)

multicast  
usmerjanje (PIM)

# Aplikacije razpošiljanja

- pošiljanje velikih datotek preko omrežja (glavni urad podružnicam) – zanesljivi prenos.
- nadgradnja programske opreme v velikem omrežju
- podatkovni tokovi (*data streaming*) – npr. pošiljanje podatkov o delnicah vsem finančnim družbam)
- audio/video tokovi podatkov (*streaming*)
- video na zahtevo (spremljanje TV programa)
- izvedba konferenc (pomislek: boljša uporaba konferenčnega centra, ki odloča, kdo lahko govori in čigave pakete posredovati drugim)
  - *izziv: premisli, kako izgleda izvedba konference z multicast pristopom*
- aplikacije v realnem času z RTP, ki se uporablja za zagotavljanje tekoče in kakovostne dostave v okoljih, kjer se uporablja razpošiljanje





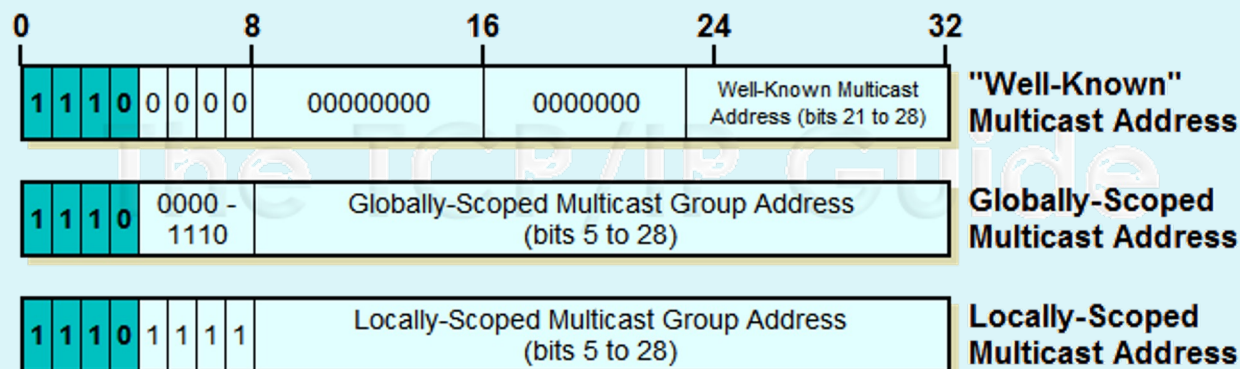
# Naslavljanje IPv4 in IPv6



# Naslavljanje IPv4

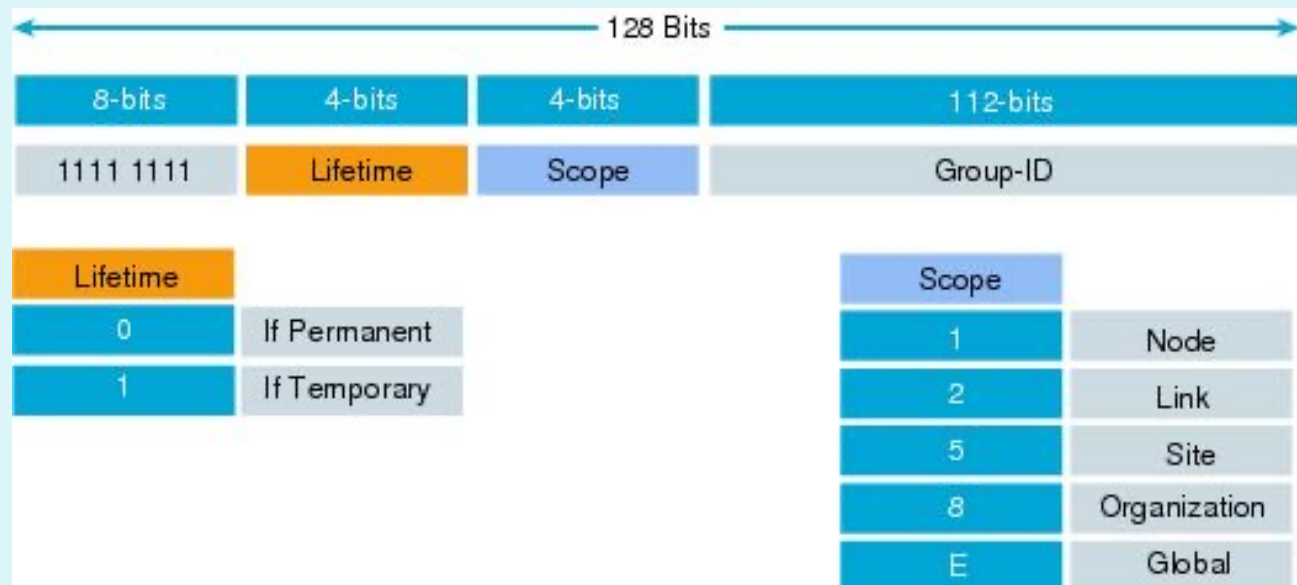
- imena razpošiljalnih skupin so dejansko posebej rezervirani IPv4 naslovi:  
224.0.0.0 - 239.255.255.255 (razred D)
- Posebni naslovi znotraj tega obsega:

| Razpon naslovov             | Opis  |
|-----------------------------|---|
| 224.0.0.0 - 224.0.0.255     | rezervirano za <b>znane</b> („ <i>well-known</i> “) razpošiljevalne naslove |
| 224.0.0.1                   | vsi <b>sistemi</b> (vmesniki in usmerjevalniki)                             |
| 224.0.0.2                   | vsi <b>usmerjevalniki</b>   |
| 224.0.1.0 - 238.255.255.255 | <b>globalni</b> multicast naslovi (dosegljivi v internetu)                  |
| 239.0.0.0 - 239.255.255.255 | <b>lokalni</b> multicast naslovi (lokalno omrežje)                          |



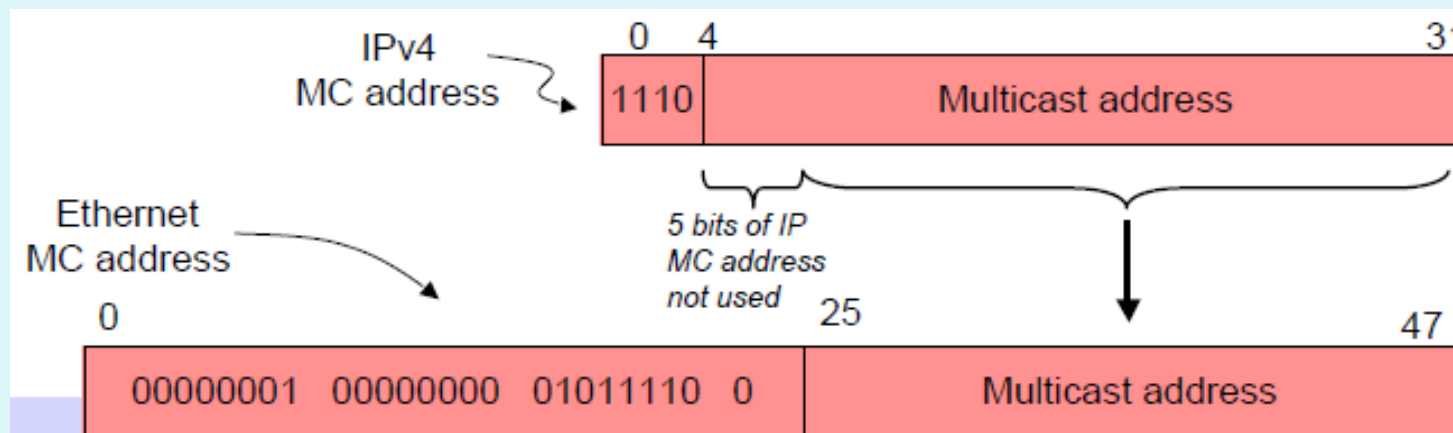
# Naslavljanje IPv6

- 1.) ime razpošiljevalne skupine je 128-bitno število – IPv6 naslov, ki se prične z **FF**
- 2.) **FF02::1** (lokalno omrežje (*link local*): vsi VMESNIKI)
- 3.) **FF02::2** (lokalno omrežje (*link local*): vsi USMERJEVALNIKI)
- 4.) Struktura IPv6 naslova (*IANA: IPv6 Multicast Address Space Registry*):



# Preslikava v povezavne naslove

- Ethernet in FDDI okvirji uporabljajo 48 bitne naslove. Naslovi 01-00-5e-00-00-00 do 01-00-5e-ff-ff-ff predstavljajo naslove razpošiljevalnih skupin (IPv4).
- Predpona 01-00-5e pomeni razpošiljevalni okvir, naslednji bit je 0, ostalih 23 bitov tvori ime razpošiljevalne skupine.
- ker so IP razpošiljevalni naslovi dolgi 28 spremenljivih bitov, preslikava ni enolična! V okvir se vstavi samo 23 manj pomembnih bitov. To pomeni, da se po 32 ( $2^5$ ) naslovov združuje v isti naslov na drugi plasti.
  - *izziv: kaj mora torej početi usmerjevalnik?*
- Omrežna plast odloča, ali so datagrami pomembni za sprejem ali ne.



# Prijava na multicast promet: protokola IGMP in MLD

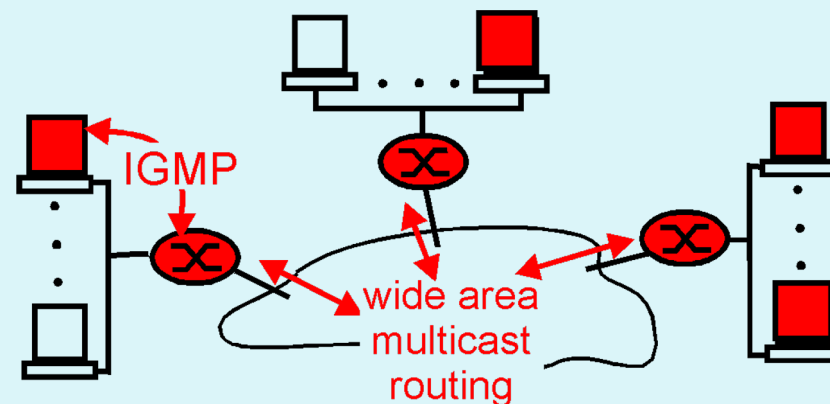
[Click here to Enroll Now ▶](#)

# Protokol IGMP

- mrežni protokol je IPv4 paketu in številka protokola je 2
- RFC 2236, *Internet Group Management Protocol, Version 2*, RFC 3376, *Internet Group Management Protocol, Version 3*
  - *obvezno: poiščite ga na spletu ter ga preberite – literatura!*
  - *izziv: poiščite še ostale RFC dokumente, ki se ukvarjajo z IGMP*
- IGMP skrbi za upravljanje s tem, kdo so prejemniki razpošiljanih sporočil.  
Omogoča:
  - pridružitve skupini
  - izstop iz skupine
  - zaznavanje drugih vmesnikov v skupini

# Protokol IGMP

- IGMP komunikacija poteka med odjemalcem in najbližjim razpošiljevalnim usmerjevalnikom
- na podlagi protokola IGMP usmerjevalniki dobijo nalogo povezati se v strukturo razpošiljevalnega drevesa



# Verzije IGMP

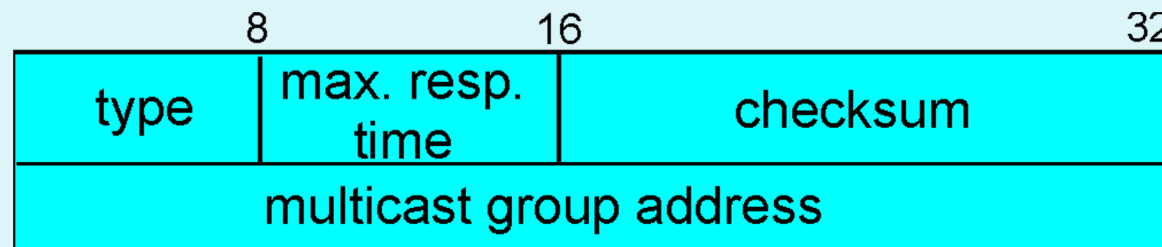
Obstajajo verzije IGMP v1, v2 in v3.

- IGMPv1: Vmesniki se lahko pridružijo skupinam. Sporočila za izstop ne obstajajo. Usmerjevalniki uporabljajo mehanizem s pretekom časa, da odkrivajo skupine, ki za vmesnik niso zanimive.
- IGMPv2: Dodana sporočila za izstop iz skupine. S tem omogočeno hitrejša sporočanja usmerjevalniku o prekinitvi dostave nepotrebne prometa.
- IGMPv3: Večje spremembe v protokolu. Vmesniki lahko določijo SEZNAM drugih vmesnikov, od koder želijo prejemati promet. Promet od ostalih vmesnikov omrežje prepreči.



# Protokol IGMP

- IGMP sporočilo je dolgo 8 zlogov

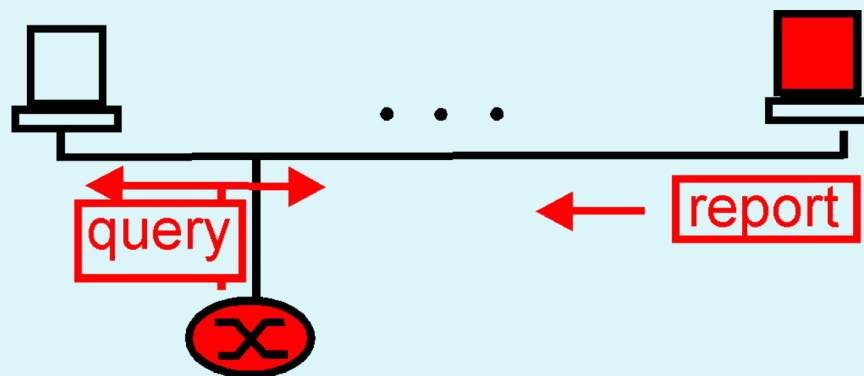


- **type** - tip sporočila:
  - 17 (0x11): Group Membership Query (odkrivanje članov skupine)
  - 18 (0x12): Group Membership Report IGMP v1 (objava prejelnika)
  - 22 (0x16): Group Membership Report IGMP v2 (objava prejelnika)
  - 34 (0x22): Group Membership Report IGMP v3 (objava prejelnika)
  - 23 (0x17): Leave Group Report IGMP v2 (objava, da je prejelnik zapustil skupino)
- **response time** - čas, v katerem se mora prejelnik klica IGMP Group Membership Query, odzvati
- **checksum** - kontrolna vsota (ne pokriva IP glave)
- **multicast group address** - IPv4 naslov razpošiljevalne skupine

# Protokol IGMP

- Kako z IGMP udejaniti upravljanje s skupinami?

| Dejanje   | IGMP sporočilo          | IP Destination Address         | IGMP Multicast Group Address |
|---|-------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| pridružiti se želim skupini   | Group Membership Report | naslov skupine                 | naslov skupine               |
| kdo vse je član določene skupine?                                       | Group Membership Query  | naslov skupine                 | naslov skupine               |
| katere skupine obstajajo?   | Group Membership Query  | vsi vmesniki (224.0.0.1)       | 0.0.0.0                      |
| sem član skupine, o kateri se poizveduje, želim se odzvati, da sem član | Group Membership Report | naslov skupine                 | naslov skupine               |
| zapustiti želim skupino   | Group Leave Report      | vsi usmerjevalniki (224.0.0.2) | naslov skupine               |



# Protokol IGMP

- Posebno sporočilo: IGMPv3 Group Membership report

|                                      |          |                     |
|--------------------------------------|----------|---------------------|
| Type                                 | Not used | Checksum            |
| Not used                             |          | Number of Addresses |
| Multicast Group Address Response     |          |                     |
| Multicast Group Address Responses... |          |                     |

- *Type*= 0x22
- odgovori vseh vmesnikov v skupini so zbrani v istem paketu
- vmesnik čaka na odgovore drugih prejemnikov v skupini, preden odgovori sam
  - posebna oblika paketa torej omogoči izogibanje podvojenemu multicast prometu

# Protokol IGMP: prijava na vir

## *korak 1:*

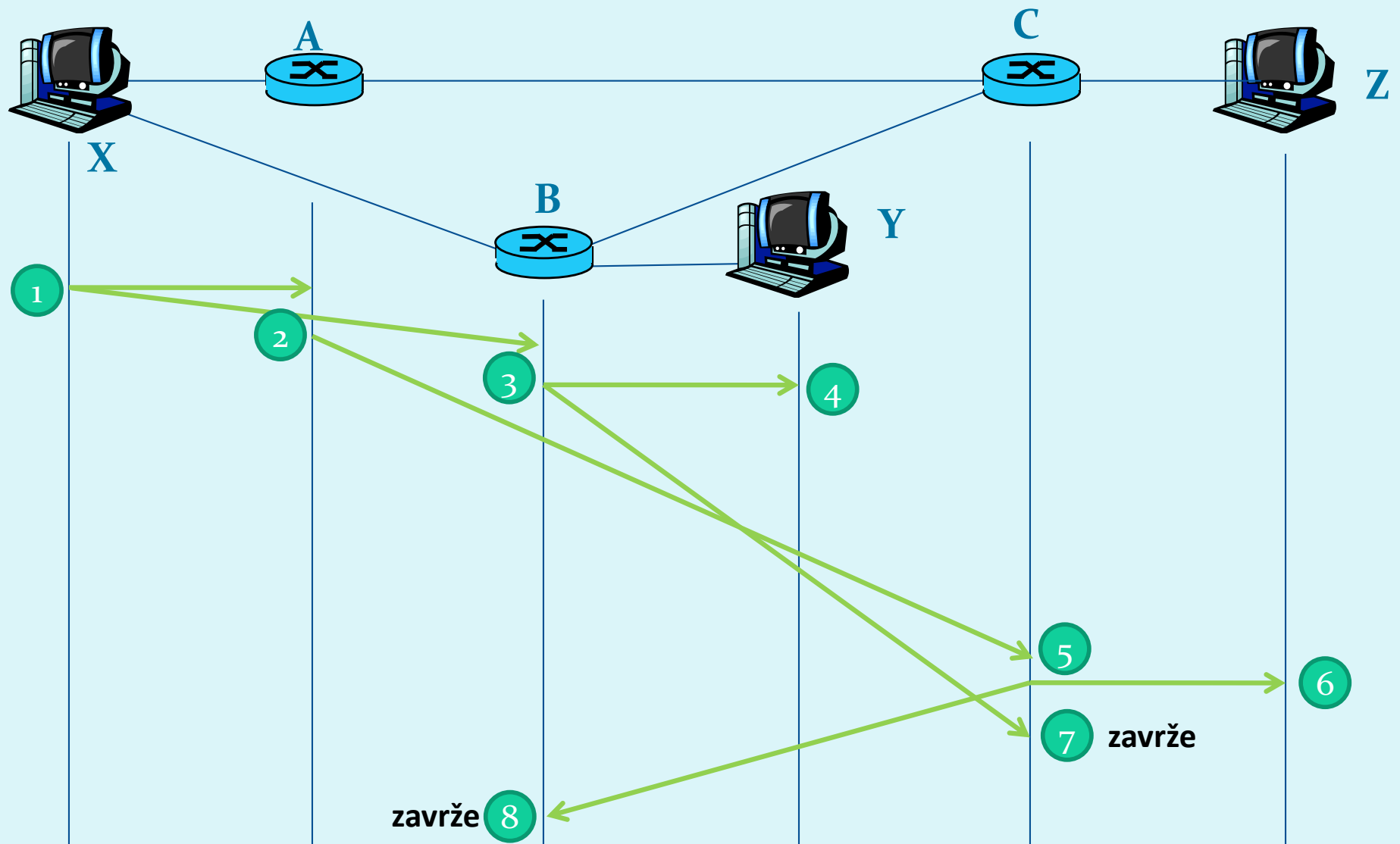
- za pridružitvev skupini, se pošlje GMR (*group membership request*) sporočilo z vrednostjo TTL=1
  - dostava samo najbližjemu usmerjevalniku
- usmerjevalnik evidentira, da mora skupinske pakete posredovati novemu naročniku
  - kako? – povezavni razpošiljevalni naslov / kopije datagramov na IP naslov

# Protokol IGMP: prijava na vir

## *korak 2:*

- usmerjevalnik sporoči sosednjim usmerjevalnikom, da ima novega naročnika. Če bi vsak usmerjevalnik sporočil enako naprej, pride do problema - paketi bi se posredovali navzkrižno preko vseh povezav v omrežju. Rešitvi:
  - **uporablja se RPL algoritem** (*Reverse Path Lookup*): zavržemo vse multicast pakete, ki pridejo od usmerjevalnikov, ki ne povezujejo z izvorom paketa po najbližji poti
  - **usmerjevalniki imajo posebne usmerjevalne protokole** za multicast promet: npr. protokol PIM-SM (*Protocol Independent Multicast - Sparse Mode*)

# Reverse path lookup: primer

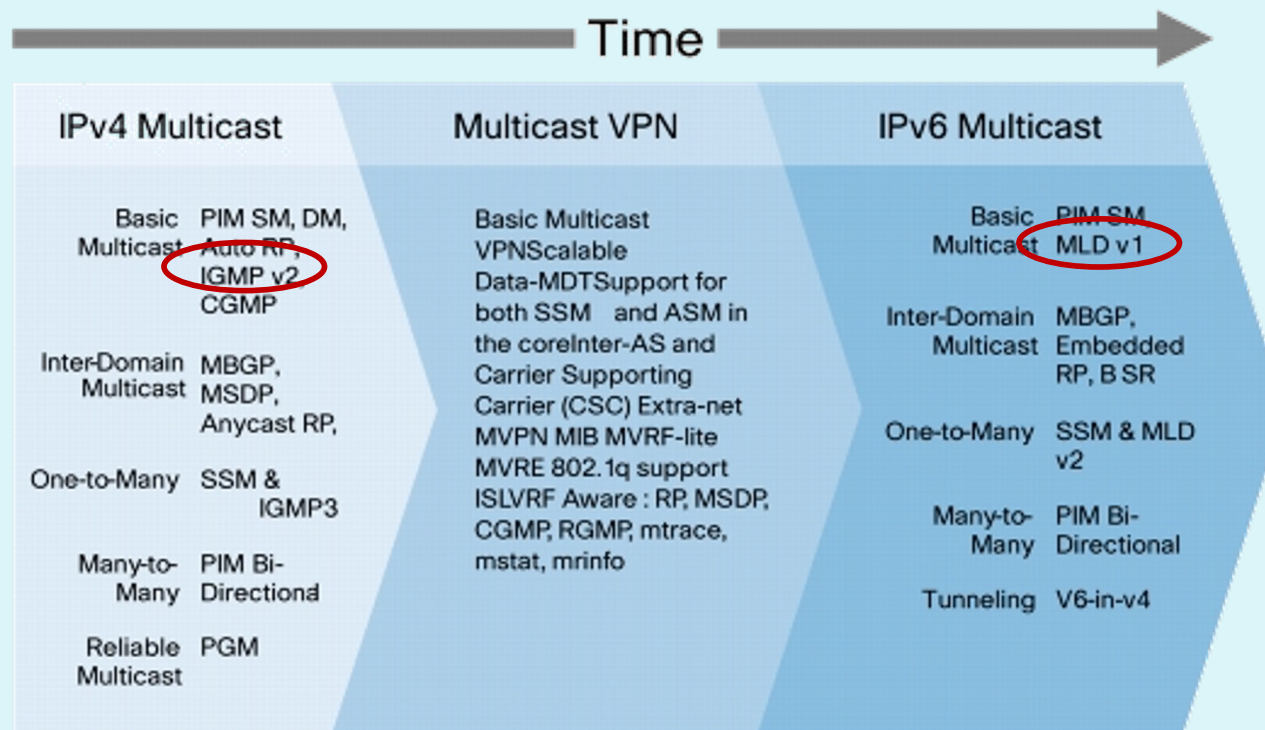


# Protokol MLD

- Multicast Listener Discovery:
  - RFC 2710, *Multicast Listener Discovery (MLD) for IPv6*, in
  - RFC 3810, Multicast Listener Discovery Version 2 (MLDv2) for IPv6
- *obvezno: poiščite ga na spletu ter ga preberite – literatura!*
  - *kaj je to Robustness Variable in čemu služi?*
- *izziv: poiščite razlike med MLD in IGMP*
- *izziv: kaj pa sobivanje IGMP (IPv4) in MLD (IPv6)?*

# Protokol MLD

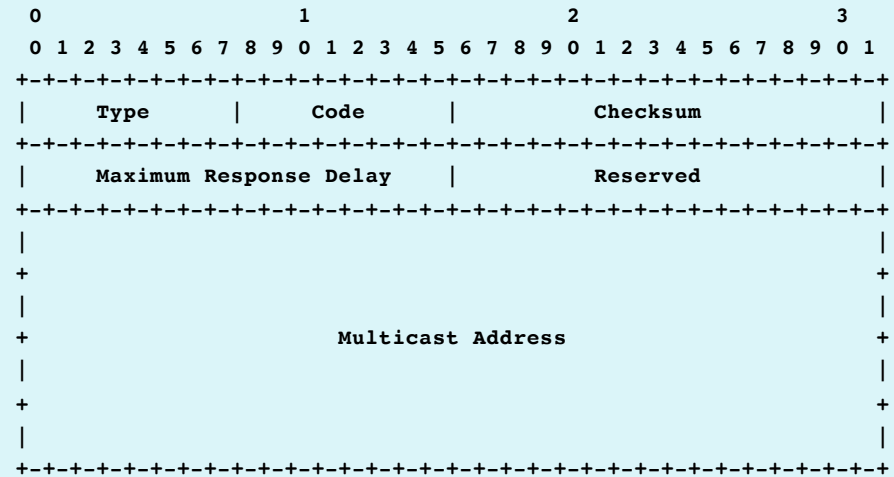
- Dejansko je protokol za IPv6 za razpošiljanje in ima enako funkcionalnost kot IGMP



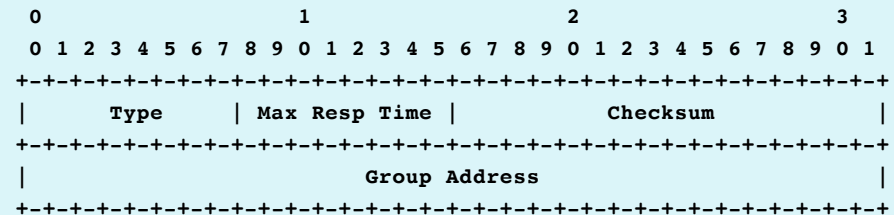


# Protokol IGMP in MLD

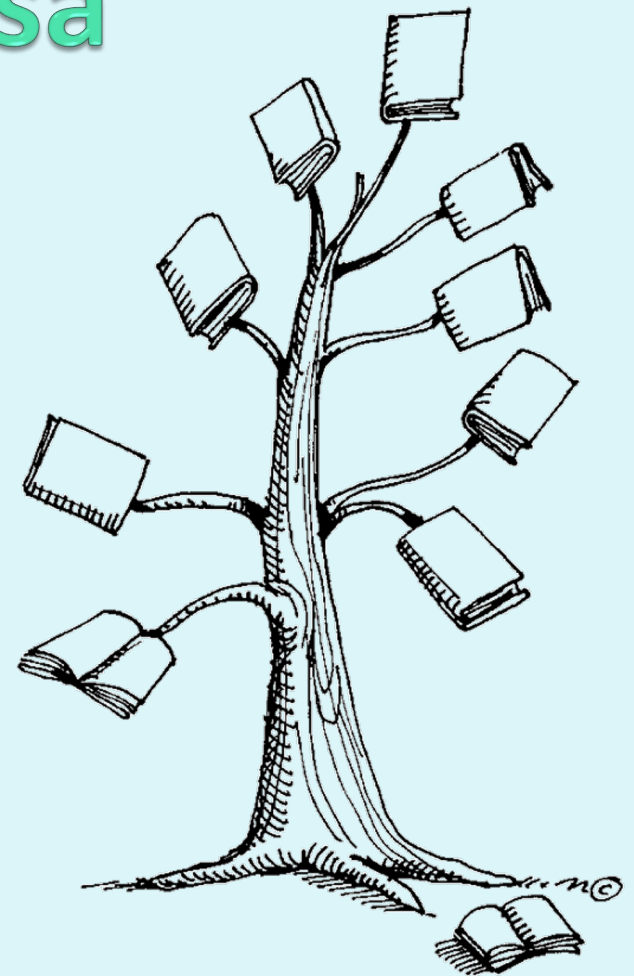
- MLD:



- IGMP:

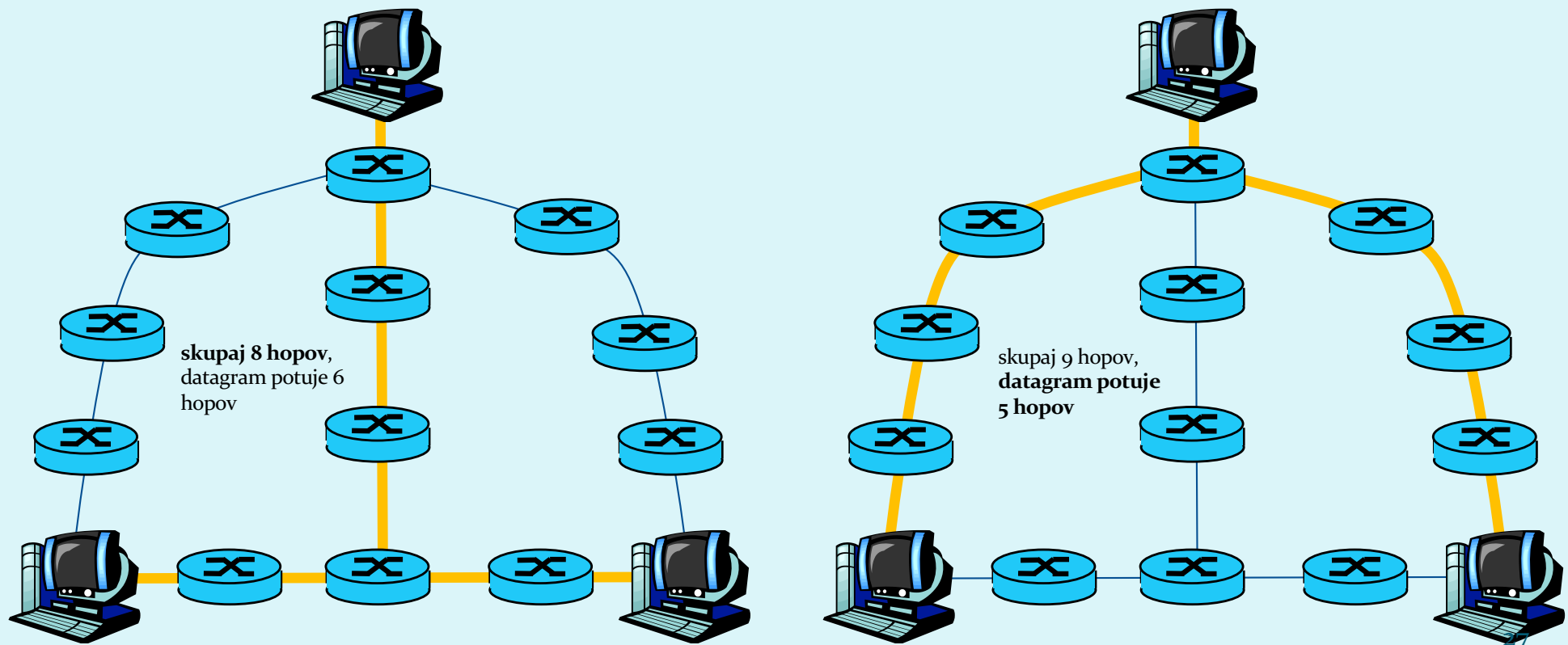


# Razpošiljevalna drevesa



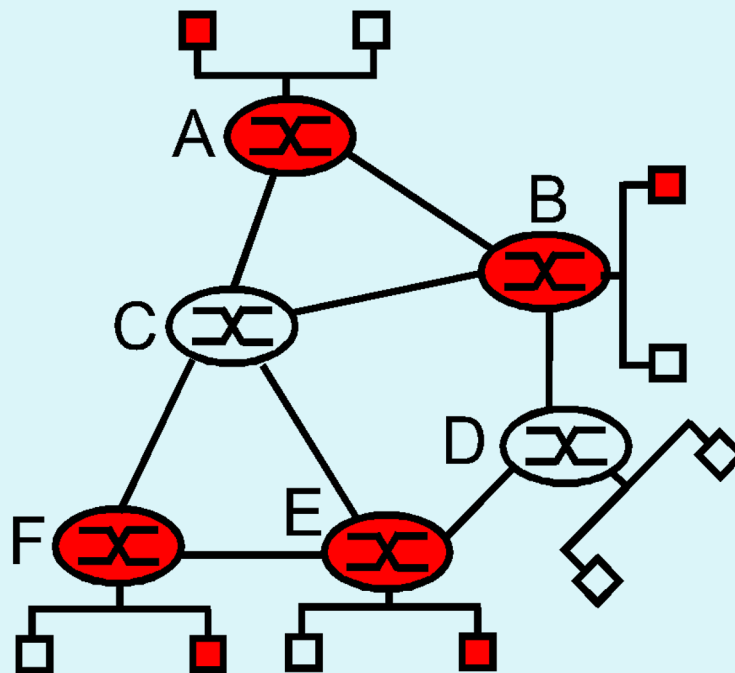
# Razpošiljanje prometa

- paketi se gibljejo v obliki razpošiljevalnega drevesa
- drevo lahko optimizira različne kriterije:
  - slika 1: skupna dolžina poti (število hopov) vseh datagramov
  - slika 2: najkrajša pot za vsak datagram posebej (minimalno vpeto drevo)



# Usmerjanje multicast

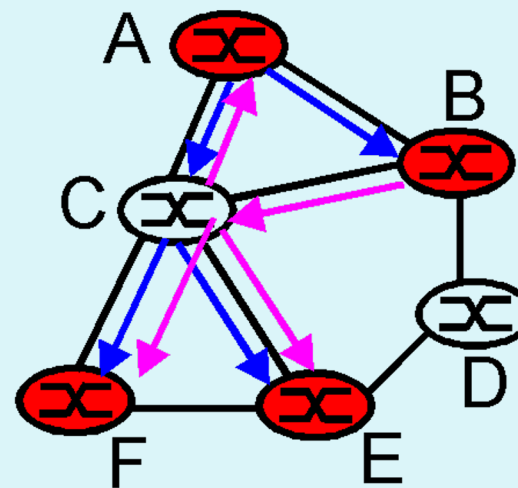
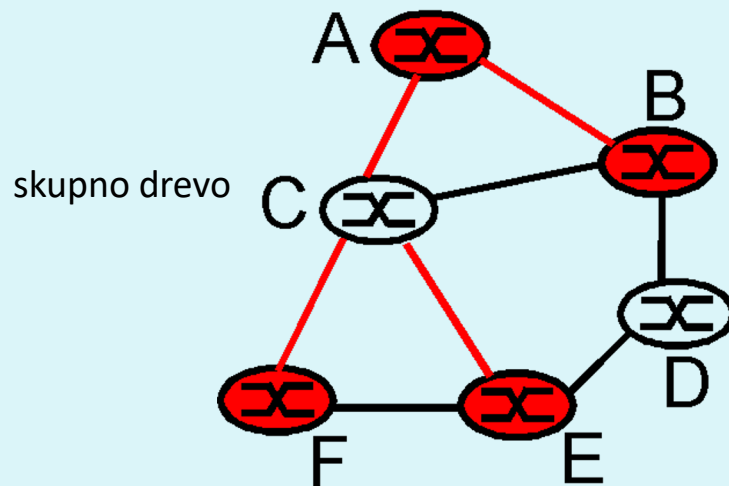
- Naloga usmerjanja: najti drevo povezav, ki povezuje vse usmerjevalnike v isti razpošiljevalni skupini
- Za komunikacijo med usmerjevalniki potrebujemo razpošiljevalne usmerjevalne protokole (aplikacijski protokoli, ki delujejo v pomoč omrežni plasti), kot so: PIM, DVMRP, MOSFP in BGP.



kako rdeče  
usmerjevalnike  
povezati v skupno  
drevo?

# Dve rešitvi iskanja razpošiljevalnega drevesa

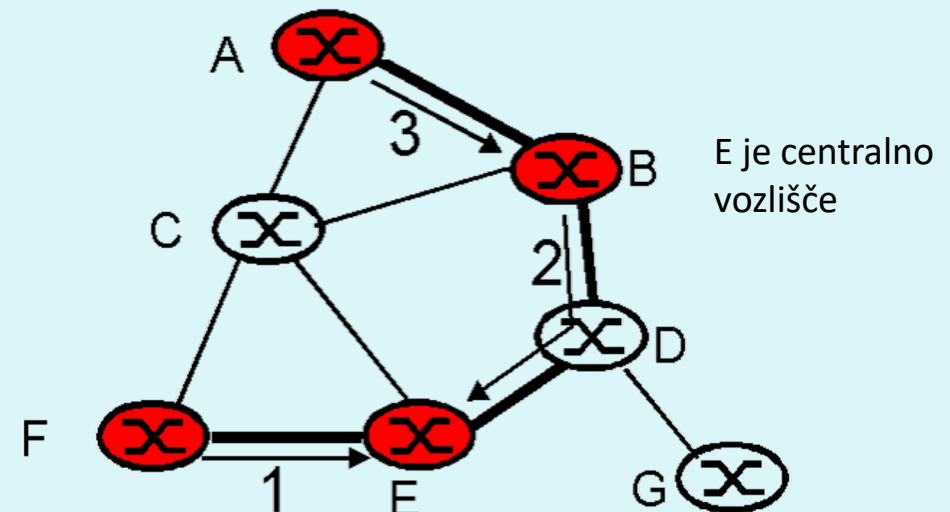
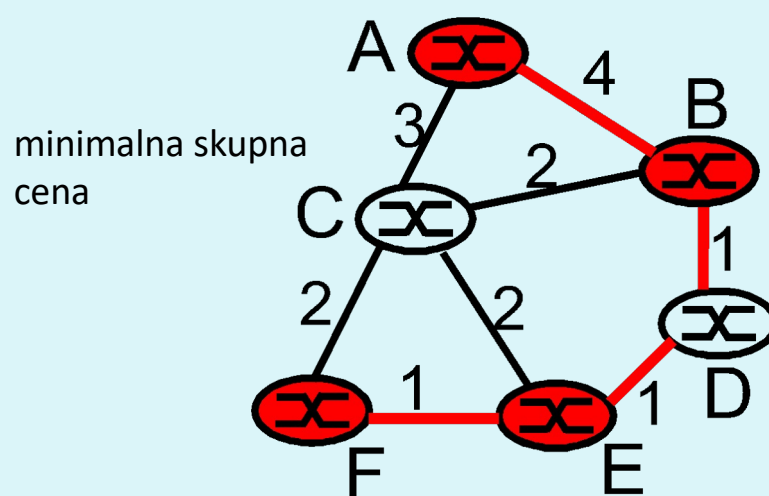
- uporaba enega samega drevesa za vse usmerjevalnike za usmerjanje razpošiljevalnega prometa se določi eno samo drevo (*group-shared tree*) - slika levo
- določitev ločenega drevesa za vsakega udeleženca v skupini (*source-based tree*); za N članov skupine imamo torej N dreves (za vsako razpošiljevalno skupino) - slika desno



ločeno drevo za A  
(modro) in drevo za  
B (roza)

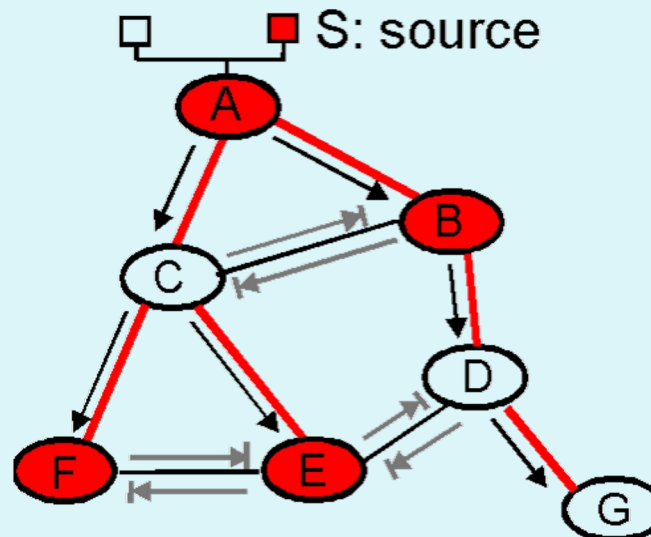
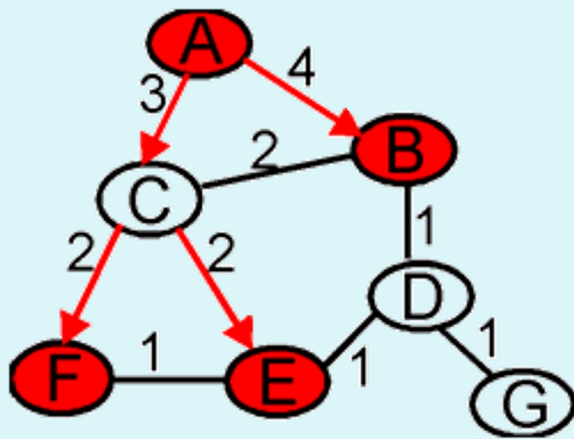
# Določanje skupnega drevesa (*group-shared*)

1. iskanje drevesa z **minimalno skupno ceno** (uporablja se Steinerjev algoritem za vpeta drevesa, problem je NP poln), *slika levo ali*
2. določitev **centralnega vozlišča** (*rendez-vous point*) –kako usmerjati do njega je znano iz pravil za unicast usmerjanje; usmerjevalnik se pridruži drevesu, ko na poti do centralnega vozlišča naleti na prvo vozlišče, ki je že v drevesu, *slika desno*



# Določanje dreves posameznih pošiljateljev (source-based)

1. Iskanje **drevesa najkrajših poti** v grafu (uporaba Dijkstrovega algoritma , ki išče drevo najkrajših povezav glede na podano začetno vozlišče), *slika levo*
  - usmerjevalniki morajo poznati stanja vseh povezav (*link-state*)*ali*
2. Uporaba **RPL (*Reverse Path Lookup*)**: ne sprejemamo sporočil od usmerjevalnikov, ki niso na najbližji poti do izvora sporočila, *slika desno*
  - drevo je prekrivno omrežje (*overlay network*) v celotnem omrežju



# Usmerjanje razpošiljanja





# Usmerjevalni protokoli

- skrbijo za oglaševanje skupin v omrežju
- delimo jih po 2 kriterijih ( $2 \times 2 = 4$  skupine)
  1. razpršeno / gosto (*sparse-mode* / *dense-mode*)
    - *sparse-mode*: posamezna vozlišča zahtevajo vključitev v drevo (*pull* princip)
    - *dense-mode*: razpošiljene pakete razpošljemo po vsem omrežju, usmerjevalniki se odjavljajo, če so nepotrebni (*push* princip). Tu dva načina:
      - oddaja in odreži (*broadcast and prune*): uporaba *prune* in *graft* sporočil; struktura se občasno reinitializira
      - domenska (*domain-wide*) poročila: usmerjevalniki z oddajanjem prijavljajo odjemalce na promet
  2. intra (znotraj domene) / interdomain (med domenami)

# Usmerjevalni protokoli

- obstaja povezava med načinom delovanja in vrsto drevesa, ki ga protokol gradi

| Protokol | Način delovanja | vrsta drevesa | Vrsta                   |
|----------|-----------------|---------------|-------------------------|
| PIM-SM   | sparse          | skupno        | znotraj in med domenami |
| PIM-DM   | dense           | posamezno     | znotraj domen           |
| CBT      | sparse          | skupno        | znotraj in med domenami |
| MOSPF    | dense           | posamezno     | znotraj domen           |
| BGMP     | dense           | posamezno     | znotraj domen           |
| DVMRP    | dense           | posamezno     | znotraj in med domenami |

# PIM-SM *(Protocol Independent Multicast - Sparse Mode)*

- PIM-DM: dense-mode, posamezno drevo
- PIM-SM: sparse-mode, skupno drevo, včasih posamezno
  - *izziv: preberi RFC 4601 in ga preuči*
- protokola PIM-SM in PIM-DM sta primerna za usmerjevalnike, ki že izvajajo unicast usmerjanje. Sta neodvisna od unicast protokola
- sporočila uporabljajo IP mrežni protokol s številko protokola protokola 103
- sporočila med usmerjevalniki so *unicast* ali *multicast* na naslov 224.0.0.13 (vsi PIM usmerjevalniki)

# Delovanje PIM-SM

## vzpostavitev arhitekture

- kandidatni zagonski (*bootstrap*) usmerjevalniki (c-BSR) oznanijo svojo prisotnost (**tip sporočila BOOTSTRAP**) in izberejo glavni zagonski usmerjevalnik BSR
- kandidatni osrednji (*rendezvous*) usmerjevalniki (c-RP) oznanijo prisotnost BSR usmerjevalniku (**tip sporočila CANDIDATE-RP-ADVERTISEMENT**)
- BSR izbere dokončni centralni usmerjevalnik (RP) za vsako skupino in jih oznani s **sporočili tipa BOOTSTRAP**

## pošiljanje podatkov

- PIM-SM usmerjevalniki se zaznajo in vzdržujejo komunikacijo s **sporočili HELLO**
- vmesnik, ki pošilja podatke na skupinski naslov, razpošlje datagram na lokalni segment mreže
- izbrani usmerjevalnik na mreži (*designated router*) enkapsulira datagram v **tip sporočila REGISTER** in ga pošlje RP
- RP dekapsulira datagram in ga razpošlje po razpošiljevalnem drevesu

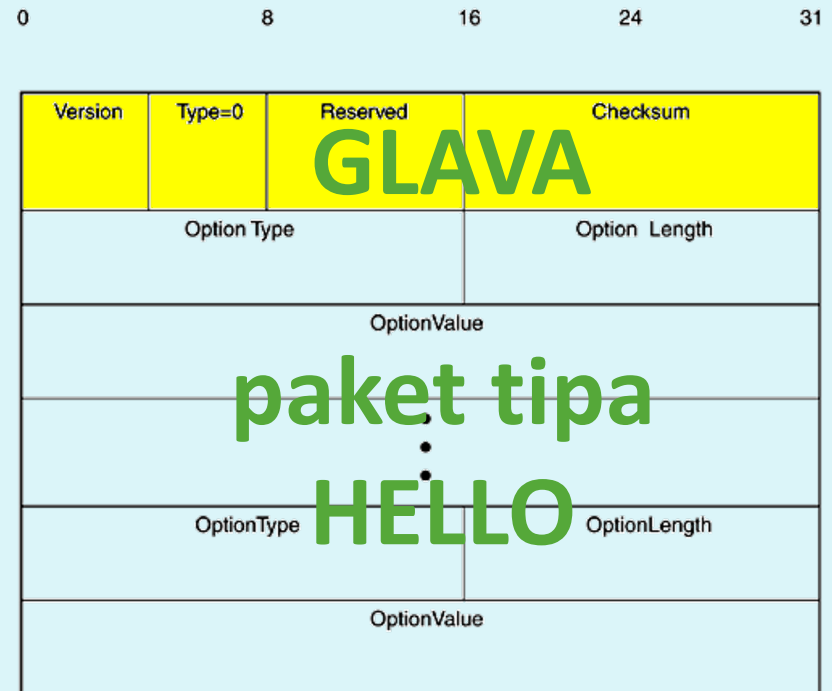
## vzdrževanje naročnine

- kadar RP zazna, da v skupini ni več prejemnikov, pošlje **sporočilo REGISTER-STOP** vsem izbranim usmerjevalnikom
- kadar se novi uporabnik želi pridružiti skupini, pošlje **sporočilo JOIN/PRUNE** s seznamom vseh želenih skupin in dovoljenih prejemnikov

# Oblika paketa - vsebina glave

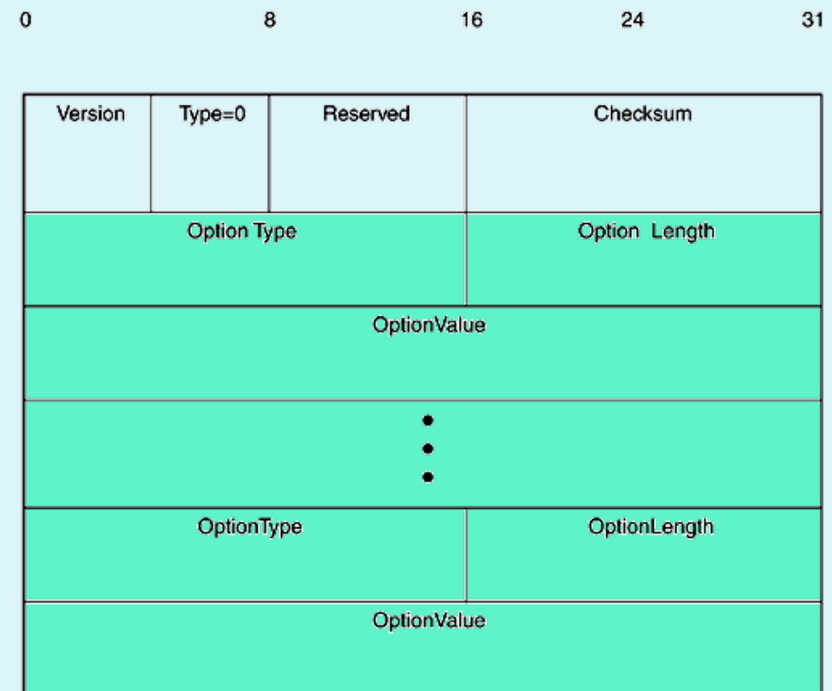
- Glava dolga 32 bitov
- version = 2
- tip:

| vrednost | pomen                      |
|----------|----------------------------|
| 0        | hello                      |
| 1        | register                   |
| 2        | register stop              |
| 3        | join/prune                 |
| 4        | bootstrap                  |
| 5        | assert                     |
| 6        | candidate-rp-advertisement |



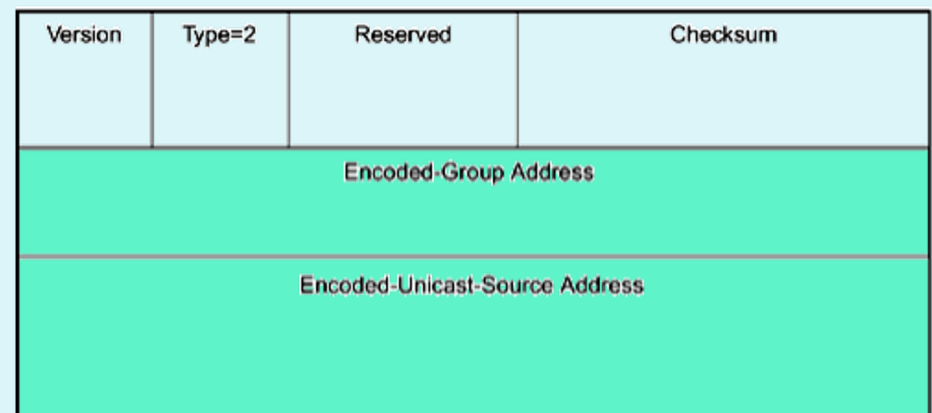
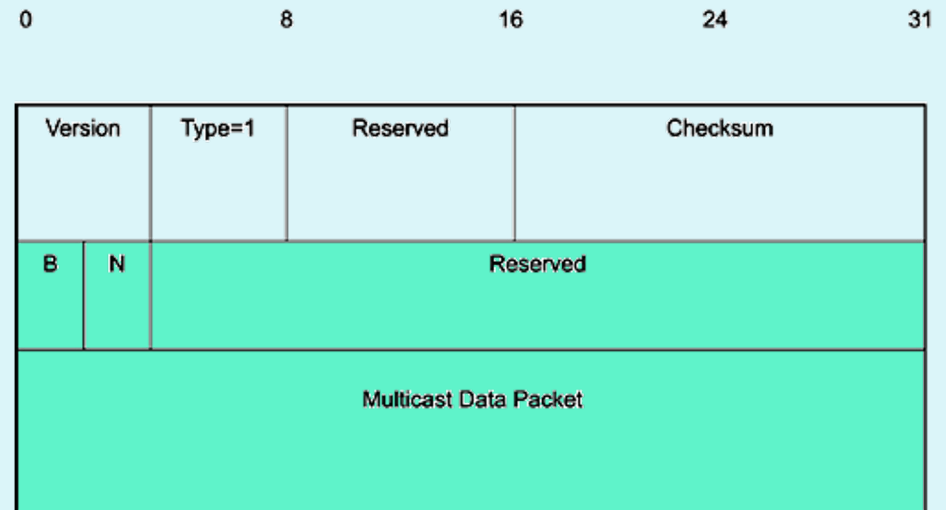
# Oblika paketa PIM-SM - paket HELLO

- namenjen vzdrževanju povezav med usmerjevalniki
- v primeru, da se izbrani usmerjevalnik za pošiljanje razpošiljevalnega prometa ne odzove, se izbere drugi
- paket vsebuje množico TLV vrednosti, kot so npr. potek časa, v katerem je pričakovan odgovor



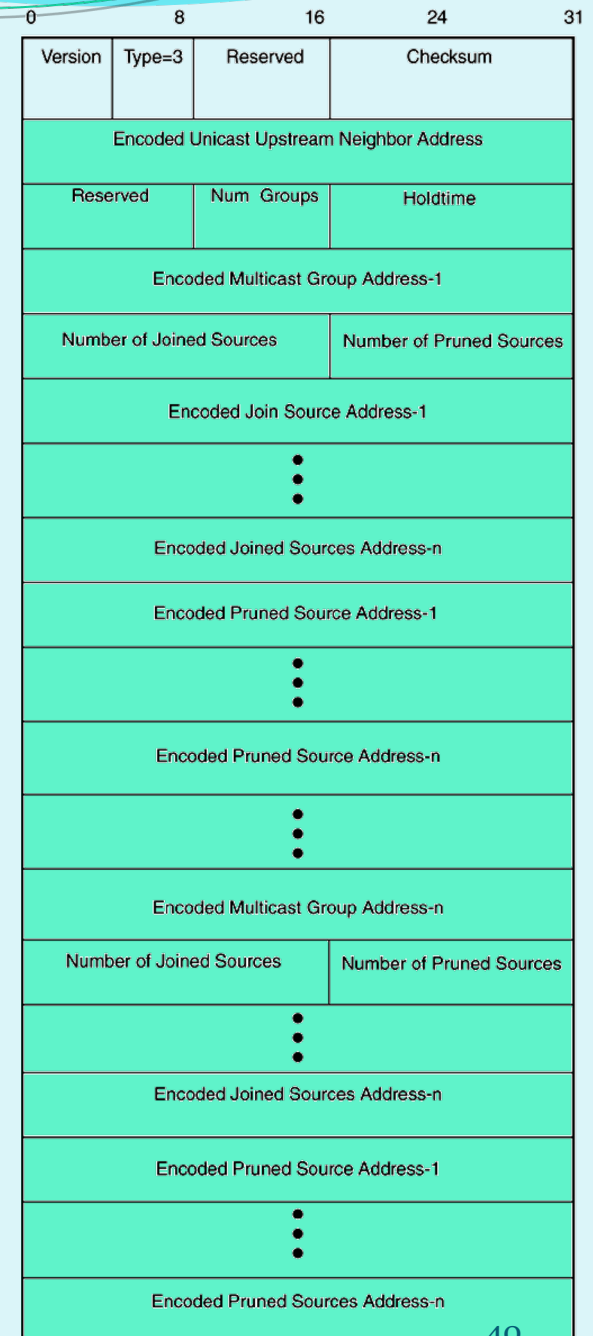
# Oblika paketa PIM-SM - paket REGISTER in REGISTER-STOP

- sporočilo REGISTER nosi vsebino razpošiljevanega sporočila do osrednjega usmerjevalnika (*unicast*)
  - B (*border router*) - sporočilo prišlo usm., ki je neposredno povezan z vmesnikom,
  - N (*null*) - paket je prazen, za vzpostavitev povezanosti
- sporočilo REGISTER STOP pošlje osrednji usmerjevalnik izbranemu usmerjevalniku, z njim sporoči naj ne pošilja sporočil (prejemnikov ni / sporočila dobiva že od drugje)



# Oblika paketa PIM-SM - JOIN/PRUNE

- omogoča prejemniku, da se prijavi/odjavi od prejemanja razpošiljevalnega prometa
- PIM-SM ima *Number of Pruned sources* enak 0 (ker uporablja skupno drevo)
- Polja za prijavo/odjavo:
  - *Encoded Join Source Address*
  - *Encoded Pruned Source Address*





# Drugi usmerjevalni protokoli

- MOSPF
  - *Multicast OSPF*
  - ima dodano le posebno obliko paketa, ki oznanja razpošijevalni promet
    - *izziv: poišči RFC dokumente, ki opisujejo MOSPF in jih preberi!*
- DVMRP
  - *Distance Vector Multicast Routing Protocol*
  - prenaša se ga v IGMP paketih (tip 13)
    - *izziv: preberi RFC 1075 in prouči delovanje tega protokola*

# MBONE

- povezava omrežij, zmožnih razpošiljevalnega prometa
  - sprva znotraj interneta, tvorile so ga delovne postaje z navideznimi povezavami
    - *izziv: preberi RFC 2715*
  - 1995: MBONE vsebuje 901 usmerjevalnikov (uporablja se DVMRP) in je v 20 državah
  - 1999: 4178 usmerjevalnikov, uporablja se vse bolj RTP, ponudniki storitev postajajo preobremenjeni
  - IETF ustanovi delovno skupino MBONED z nalogo, da vzpostavi multicast usmerjanje preko celega interneta (razvoj protokola *MSDP: Multicast Source Discovery Protocol*)
    - *izziv: preberi RFC 1112, kaj je to Any Source Multicast arhitektura (ASM)?*

# Naslednjič gremo naprej!

- overovljenje, avtorizacija in beleženje - AAA!

