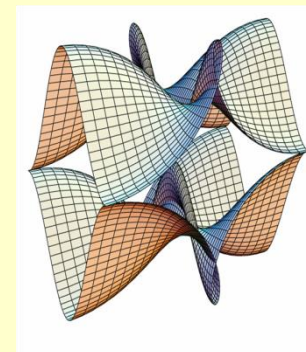




Sveučilište u Zagrebu  
PMF – Matematički odsjek

MREŽE RAČUNALA  
Predavanja 2022/2023



# Poglavlje 15: IP datagrami i njihovo prosljeđivanje

Sastavio: Luka Grubišić i Robert Manger; Prilagodio: Z. Bujanović  
10.11.2014, M. Mihelčić 30.11.2023.

# Uvod

- Do sada smo opisali:
  - Arhitekturu interneta
  - Adresiranje u internetu
  - Protokole za prevođenje adresa u internetu
- U ovom predavanju opisujemo osnovnu komunikacijsku uslugu koju pruža internet.
- Objasnit će se format paketa koji se šalju mrežom, te način na koji usmjernici (*router-i*) obrađuju i prosljeđuju takve pakete.

# Bezspojna i spojna usluga

- Tehnički cilj prilikom povezivanja raznorodnih mreža (*internetworking*) je omogućiti programu koji se izvršava na jednoj radnoj stanici slanje podataka programu koji se izvršava na drugoj radnoj stanici.
- Ta usluga se pruža neovisno o fizičkim svojstvima mreža u kojima se radne stanice nalaze.
- Razlikujemo *spojnu* (connection-oriented) i *bezspojnu* uslugu (connectionless).
- TCP/IP stog protokola nudi oba tipa usluge.
- Postoji pouzdana spojna usluga na višem sloju protokola (TCP), koja je sagrađena na temelju bezspojne usluge nižeg sloja protokola (IP).

# Virtualni paketi

- Bezspojna usluga je poopćenje principa izmjene paketa (*packet-switching*).
- Osnovne značajke su: svaki paket putuje neovisno i svaki paket sadrži informacije koje identificiraju primatelja i pošiljatelja.
- Paket putuje od usmjernika do usmjernika, dok ne dođe do onog usmjernika koji ga može proslijediti primatelju.
- Budući da usmjernici spajaju heterogene mreže, nije moguće koristiti fizički format paketa.
- Koristi se univerzalni virtualni tip paketa.

# IP Datagrami

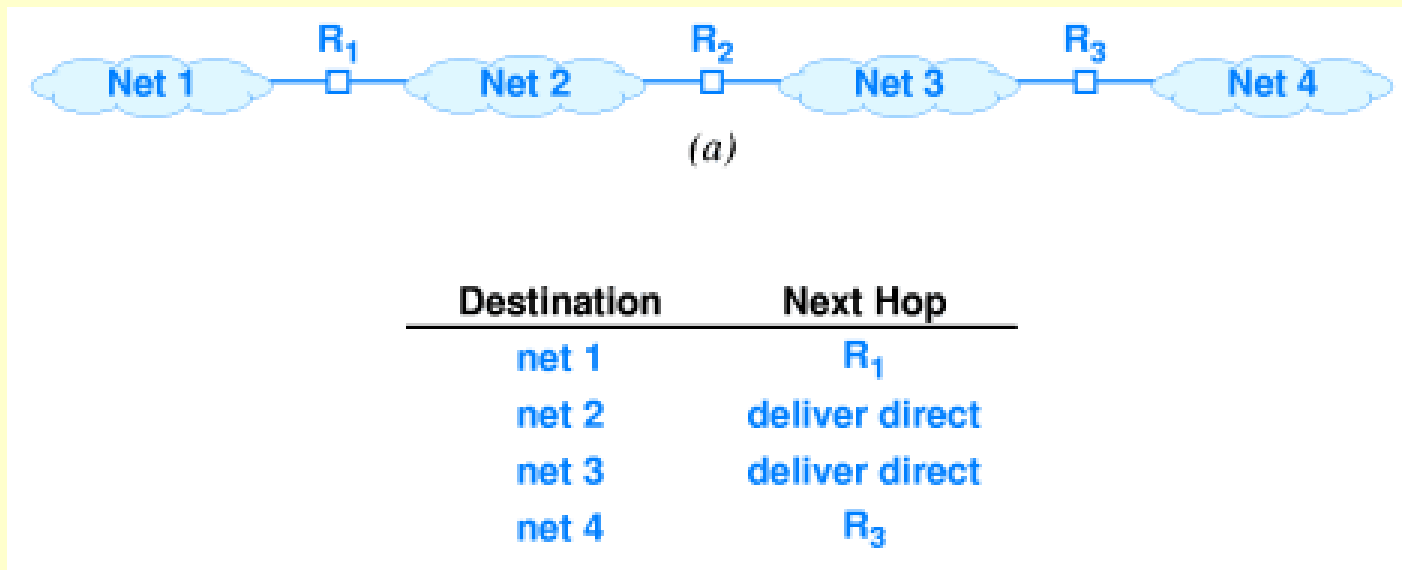
- TCP/IP protokol koristi naziv *IP datagram* kao oznaku za pojam internet paketa.
- Ima isti općeniti format kao i fizički okvir:
  - Sastoji se od zaglavlja i korisnog tereta.
  - Zaglavlje sadrži IP adrese koje su potrebne za usmjeravanje.
  - Količina podataka koje paket može prenositi nije fiksirana.
- Veličinu datagrama određuje pošiljatelj.
- U standardu IP (verzija 4) datagram može imati između jednog i 64 K okteta podataka. U standardu IP (verzija 6), oko 65,5K okteta podataka (ubrajaju se i zaglavlja ekstenzija). IP (verzija 6) podržava tzv. jumbograme (pakete Internet sloja koji sadrže više od 65,5K okteta podataka).

# Prosljeđivanje IP datagrama (1)

- Datagrami prolaze kroz internet slijedeći put od izvora do konačne destinacije putujući od usmjernika do usmjernika.
- Adresa slijedećeg skoka se bira korištenjem tablica usmjeravanja.
- Sljedeći primjer prikazuje mali internet gdje tri usmjernika povezuju četiri mreže. Prikazana je tablica usmjeravanja za usmjernik  $R_2$ .

# Prosljeđivanje IP datagrama (2)

- Svaki redak u tablici usmjeravanja navodi jednu odredišnu mrežu i sljedeći skok kojeg treba napraviti na putu prema toj mreži.
- Broj redaka u tablici usmjeravanja proporcionalan je broju mreža u internetu.



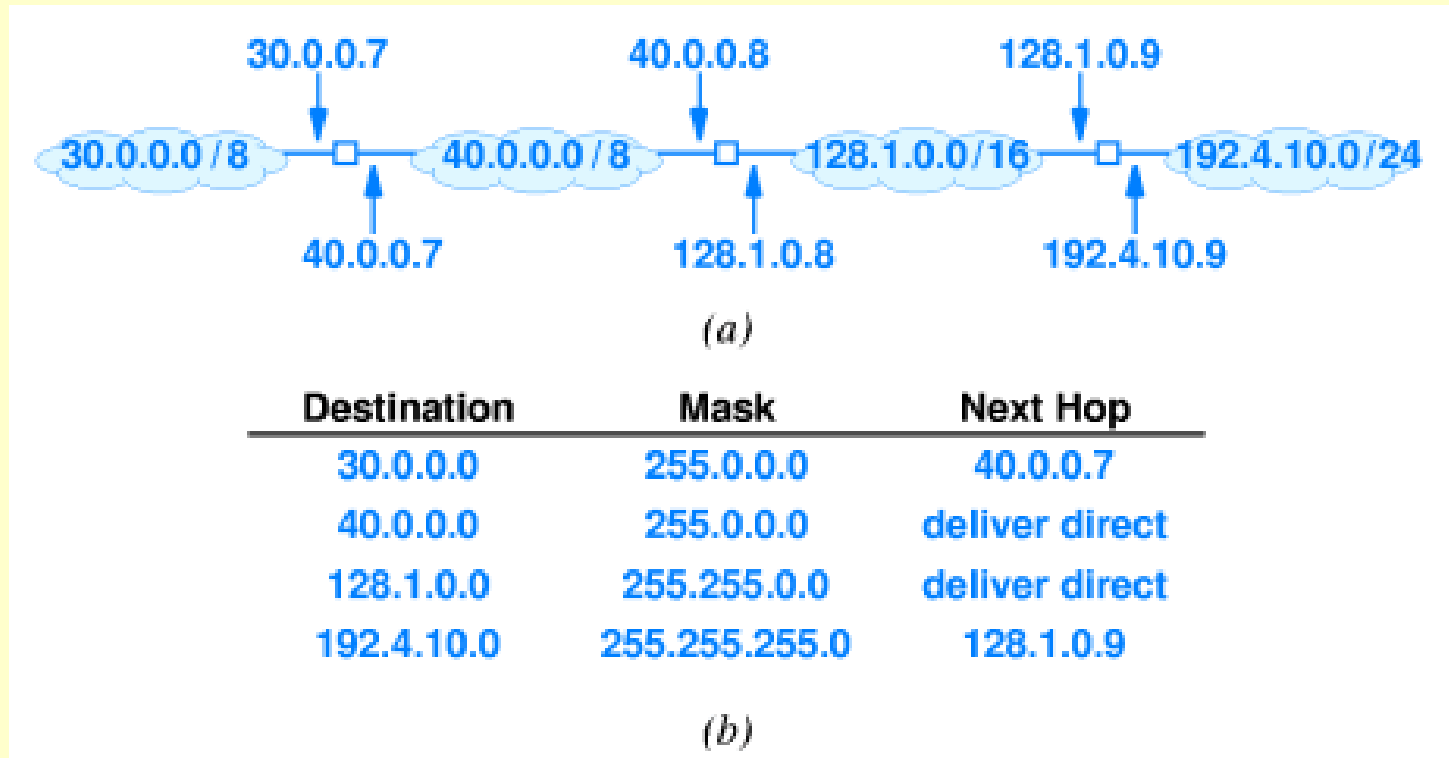
# IP adrese i tablice usmjeravanja (1)

- Stvarna IP tablica usmjeravanja nešto je kompleksnija nego na prethodnoj slici.
- Polje za odredište u retku tablice zapravo sadrži prefiks mreže.
- Postoji i dodatno polje s adresnom maskom koja kaže koji bitovi u adresi odredišta odgovaraju prefiksu mreže.
- Ako sljedeći skok odgovara usmjerniku, tada polje za sljedeći skok sadrži IP adresu tog usmjernika.
- Sljedeća slika prikazuje stvarni izgled IP tablice u usmjerniku R2 s prethodne slike.



# IP adrese i tablice usmjeravanja (2)

- Svaki usmjernik može imati različite sufikse u različitim mrežama. IP ne zahtjeva uniformnost u ovakvom adresiranju.



# Maska i prosljeđivanje datagrama

- Proces izbora sljedećeg skoka korištenjem tablica usmjeravanja se naziva *routing* ili *forwarding* danog datagrama.
- Znamo da je maska broj koji se koristi za ekstrahiranje mrežnog dijela IP adrese.
- Binarni zapis maske omogućuje efikasno usmjeravanje. Osnovni korak usmjeravanja prema IP adresi **D** mogao bi izgledati ovako

If  $((\text{Mask}[i] \& \mathbf{D}) == \text{Destination}[i])$  forward to NextHop[i] ;

# Određivanje sljedećeg skoka

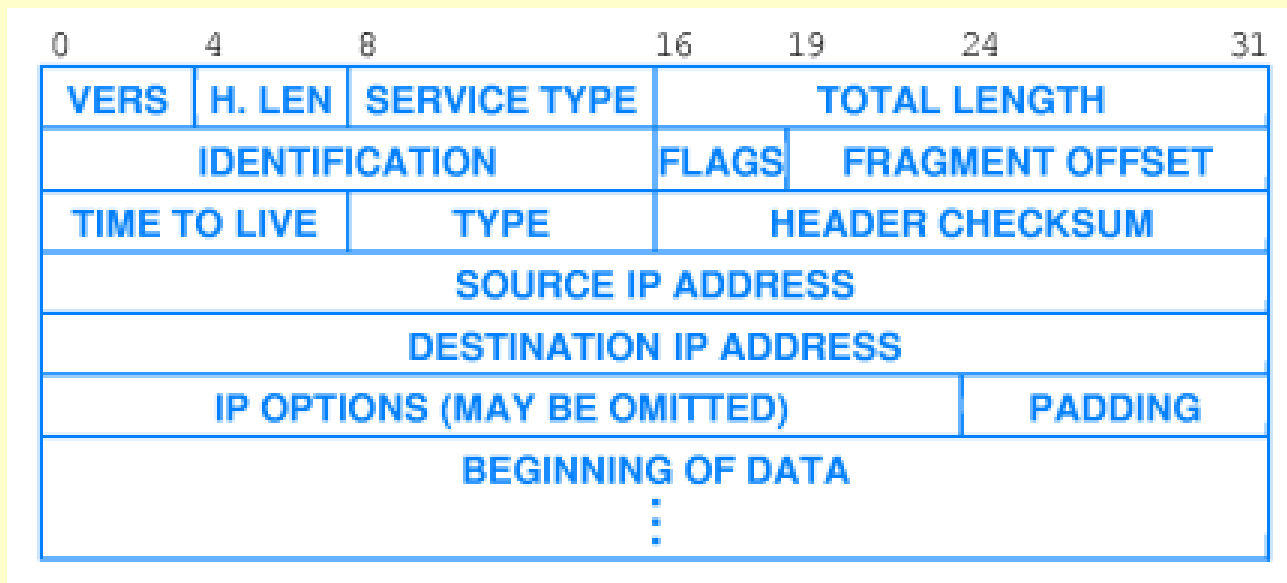
- Kakav je odnos između ciljne adrese i adrese sljedećeg skoka?
- Polje DESTINATION IP ADDRESS u zaglavlju datagrama uvijek sadrži IP adresu krajnjeg odredišta!
- Kada jedan usmjernik prosljeđuje datagram drugom usmjerniku, IP adresa sljedećeg skoka se ne pojavljuje u zaglavlju tog prosljeđenog datagrama.
- Svi putevi se računaju korištenjem IP adresa.
- Nakon određivanja IP adrese sljedećeg skoka, fizička adresa sljedećeg usmjernika određuje se korištenjem npr. ARP protokola.

# Best-effort delivery

- Osim što je u IP protokolu specificiran format internet datagrama, protokol također definira semantiku komunikacije.
- Usluga koju IP nudi opisuje se pojmom *najboljeg pokušaja* (best effort).
- Unatoč tome što čini najbolji pokušaj da isporuči svaki datagram, IP ne osigurava rješenje za:
  - Duplikaciju datagrama
  - Kašnjenje ili redosljed pristizanja datagrama
  - Oštećenje datagrama
  - Gubitak datagrama
- Ove greške rješavaju viši slojevi protokola (npr. TCP).

# Format zaglavlja IP datagrama (1)

- Svako polje u zaglavlju IP datagrama fiksne je veličine.
- Datagram počinje s poljem od 4-bita koje opisuje verziju protokola. Trenutna verzija je 4.



# Format zaglavlja IP datagrama (2)

- Sljedeće 4-bitno polje opisuje koliko 32-bitnih “vrijednosti” ima u zaglavlju.
- Sljedeći oktet opisuje tip usmjeravanja koji se bira. Postoje mogućnosti biranja rute:
  - s minimalnim kašnjenjem
  - ili s maksimalnom propusnošću
- Sljedeća dva okteta sadrže polje koje opisuje ukupnu duljinu datagrama (zaglavlje i korisni teret).
- Značenje daljnjih nekoliko polja vezano je uz fragmentaciju i bit će opisano u idućem poglavlju.

# Format zaglavlja IP datagrama (3)

- Polje TIME TO LIVE sadrži broj 1 do 255. Ono služi da spriječi vječno kruženje datagrama po neispravnom kružnom putu.
- Svaki usmjernik smanjuje vrijednost polja TIME TO LIVE za 1. Ako vrijednost dosegne 0, datagram se odbacuje, a pošiljatelju se vraća poruka o greški.
- HEADER CHECKSUM je polje koje sadrži komplement sume komplementa svih 16-bitnih “vrijednosti” iz zaglavlja. IPv6 ne sadrži to polje.
- Dalje u datagramu slijede pune IP adrese pošiljatelja i primatelja.
- Nakon nekih opcionalnih dijelova, iza zaglavlja datagrama slijede podaci.

# Sažetak

- IP datagram je osnovna jedinica za slanje u Internetu.
- Po formatu je sličan fizičkom okviru, ali u zaglavlju ima samo IP adrese.
- IP software koristi tablice usmjeravanja za određivanje IP adrese sljedećeg skoka.
- Veličina tablice je proporcionalna broju mreža.
- IP adresa sljedećeg skoka nikada se ne zapisuje u datagram.