

8. predavanje - BGP protokol

Hijerarhija interneta

ISP = Internet Service Provider

- Dvije vrste povezivanja:
 - a) peering - uzajamno povezivanje na istoj razini
 - b) transit - slanje prometa na višu ili nižu razinu
- Tri razine:
 - 1) Tier 1 - najviša, ISP-ovi ne plaćaju međusobnu razmjenu prometa i ne rade tranzit prometa trećih strana
 - 2) Tier 2 - tranzit i peering
 - 3) Tier 3 - isključivo plaćaju tranzit drugim ISP-ovima

BGP

- Protokol usmjeravanja (jedini EGP u internetu)
- Koristi TCP, port 179
- Komunikacija usmjeritelja između AS-ova
- Razmjena usmjerivačkih informacija između ISP-ova, te ISP-ova i većih korisnika
- Temelji se na algoritmu vektora puta
- Ne ovisi o korištenom ISP-u
- Dva moda rada:
 - a) unutarnji BGP (iBGP) → između usmjeritelja, unutar AS-a
 - b) vanjski BGP (eBGP) → između usmjeritelja različitih AS-ova

BGP operacije

- Dvije kategorije prometa:
 - a) lokalni - izvor i odredište nalaze se unutar istog AS-a
 - b) tranzitni - izvor i odredište nisu unutar istog AS-a

⇒ Tranzitni usmjeritelji - imaju potpune tablice usmjeravanja, koje se mogu smanjiti CIDR-om i združivanjem

AS

⇒ Skup mreža i usmjeritelja temeljenih na istim načelima i pod zajedničkom upravom i politikom usmjeravanja prema van (prema ostalim AS-ovima)

- Koristi jedinstveni IGP protokol usmjeravanja
- Usmjeritelj na rubu AS-a (koristi eBGP) - peer → izmjenjuje informacije o putevima s drugim AS-ovima (NLRI)
- Jedinstveni broj AS-a dodjeljuje IANA
- Jeden AS se najčešće nalazi pod administracijom i u vlasništvu jednog operatera

Vrste AS-ova:

- a) Stub AS - povezan samo s jednim AS-om, prenosi samo lokalni promet
- b) Multihomed AS - povezan s više AS-ova, prenosi samo lokalni promet
- c) Transit AS - povezan s više AS-ova, prenosi lokalni i tranzitni promet

Principi BGP-a

- Pronalazak susjednih usmjeritelja vrši se ručno (administrator mreže)
- Kada usmjeritelji uspostave TCP vezu, razmijene cijele tablice usmjeravanja
- Tablica usmjeravanja sadrži informaciju o putu do AS-a u kojem je odredišna mreža

BGP put

⇒ Slijed AS-ova koje treba proći do odredišta

- Mogući različiti putevi, različite politike usmjeravanja
- Svaki put obilježava skup atributa (parametara) koji definiraju politiku usmjeravanja
- Put se odabire u ovisnosti o:
 - parametrima puta
 - dostupnosti puta
 - dodatnim pravilima o prihvaćanju paketa (političkim, sigurnosnim)
 - pravilima o propuštanju paketa
 - ugovoru između usmjeritelja
 - atributima
- Objavljuju se porukom UPDATE

BGP RIB

⇒ Baza puteva, sadrži ju svaki usmjeritelj

- Sadrži tri vrste popisa:
 - 1) Adj-RIBs-In - popis nedorađenih puteva, koji su dobiveni od susjednih usmjeritelja
 - 2) Loc-RIB - popis puteva s lokalnim informacijama o usmjeravanju, koje su dobivene primjenom vlastitih pravila usmjeravanja i procesa odluke nad ADJ-RIBs-In
 - 3) Adj-RIBs-Out - popis puteva koji se šalje susjednim usmjeriteljima porukom UPDATE

BGP poruke

- Veličina je od 19 (samo zaglavlje), pa do 4096 okteta
- Polja: marker, length, type
- Vrste:
 - 1) OPEN - uspostava sjednice između susjednih usmjeritelja i izmjena početnih postavki
 - 2) UPDATE - razmjena informacija o putevima
 - 3) KEEPALIVE - održavanje sjednice, potvrda nakon OPEN
 - 4) NOTIFICATION - poruka o pogrešci, zatvaranje sjednice

BGP atributi puta

- Unutar poruke UPDATE
- Omogućavaju usmjeriteljima primjenu vlastite politike usmjeravanja
- Mogu biti:
 - a) Dobro poznati obvezni (ORIGIN, AS path, Next hop)
 - b) Dobro poznati neobvezni (local preference, Atomic Aggregate)
 - c) Izborni lokalni (Multi-Exit Discriminator (MED))
 - d) Izborni tranzitni (Aggregator)
- Svaki put uz dobro poznate atribute može imati i izborne

Atribut ORIGIN

- Definira porijeklo puta
- Generira ga usmjeritelj od kojeg put potječe.
 - IGP-0 = put potječe iz istog AS u kojem je usmjeritelj
 - EGP-1 = put potječe iz drugog AS-a
 - Incomplete-2 = put je dobiven na nepoznat način

Atribut AS path

- Definira put - listu AS-ova koje treba proći na putu do odredišta
- Dobro za višestruke puteve (različiti atributi za isto odredište)
- Filtriranje (zabранa prolaska kroz neki AS)
- Izbjegavanje petlji
- Preferiranje puta

Atribut Next Hop

- Definira IP adresu usmjeritelja na koji prvo treba usmjeriti paket
- Pri ažuriranju puta, atribut se modificira samo ako dolazi od peer-a eBGP vezom.

Atribut Local Preference

- Određuje politiku usmjeravanja odlaznog prometa
- Atribut se izmjenjuje između lokalnih usmjeritelja unutar istog AS-a
- Veća vrijednost atributa ⇒ veći prioritet puta

Atribut Atomic Aggregate

- Združeni put do odredišta, u svrhu reduciranja broja puteva
- Vrijednost atributa je lista AS-ova
- Združeni put mora sadržavati prvu adresu koja mu pripada

Atribut MED

- Za odabir jednog od više puteva prema nekom AS-u
- Manja vrijednost atributa MED ⇒ veći prioritet puta
- Usmjeritelji daju savjete svojim susjedima kojim putem poslati pakete prema njima

Atribut Aggregator

- Usmjeritelj daje do znanja da je združio puteve i zapisuje svoj AS broj i IP adresu
- Združiti se mogu putevi koji imaju iste attribute
- * Agregator je uključen u poruke nastale združivanjem puta

Slajdovi 31-33.

Algoritam usmjeravanja

- Odlučuje o najboljem putu do odredišta na temelju procesa odluke
- Nema definiranog pravila, primjenjuje se politika lokalnog administratora sadržana u PIB-u (Policy Information Base)
- Promatraju se neobrađeni putevi iz RIB-a
- Odabrani put se zatim zapisuje u tablicu usmjeravanja polazišnog usmjeritelja i izmjenjuje se s ostalim usmjeriteljima porukom update

Ažuriranje tablice usmjeravanja

- Razmjenom BGP updates poruka između BGP usmjeritelja.
- Ovlašavaju se novi putevi, razmjenjuju se informacije o putevima (NLRI)
- Uz oznaku puta navodi se sljedeći skok
- Ako dođe do prekida u mreži, put se briše

Slajdovi 40, 41, 42.

9. predavanje - Signalizacijski protokoli u Internetu

Signalizacija u mreži

- Za potrebe veze korisničkog informacijskog toka potreban je upravljački informacijski tok
- Pravila izmjene upravljačke informacije su opisana signalizacijskim protokolima:
 - a) *s komutacijom kanala*
 - sustav signalizacije zajedničkim kanalom SS7 (javna fiksna nepokretna mreža - **PSTN**, javna pokretna mreža - **GSM**) → uglavnom za prijenos govora
 - b) *s komutacijom paketa*
 - Internetska mreža **IP**
 - b1) primjenom signalizacijskog protokola u Internetu (npr. **SIP**)
 - b2) primjenom postojećeg signalizacijskog protokola internetom (npr. **SIGTRAN**)

b1) SIP

SIP = Session Initiation Protocol

⇒ Protokol aplikacijskog sloja koji služi za uspostavu, promjenu i raskid sjednice s jednim ili više sudionika

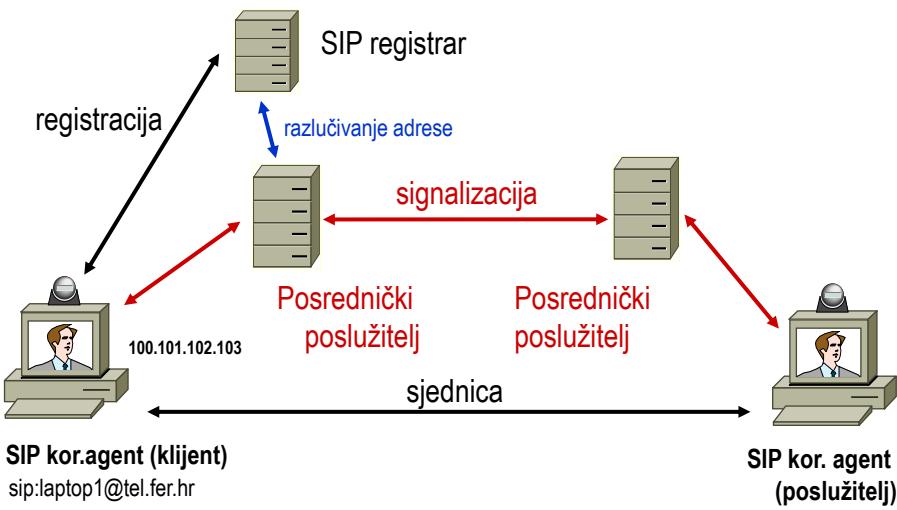
- Ideja: pozvati korisnika u sjednicu putem jedinstvene adrese (neovisno o trenutnom položaju)
- Primjeri sjednica:
 - pozivi u internetskoj telefoniji
 - distribucija višemedijskog sadržaja
 - višemedijska konferencija

SIP arhitektura

- SIP koristi posredničke poslužitelje (proxy) za usmjeravanje prema trenutnom položaju pozvane osobe

Entiteti:

- 1) Korisnički agent - **UA**
- 2) Posrednički poslužitelj:
 - prima poruke od UA ili drugog posredničkog poslužitelja i prosljeđuje ih na odredište
- 3) Poslužitelj za preusmjeravanje:
 - prihvata zahtjeve za uspostavom sjednice
 - vraća adresu odgovarajućeg poslužitelja
- 4) Poslužitelj za registraciju (register):
 - prihvata zahtjeve za registraciju
 - registrira korisnike unutar domene
 - održava podatke o korisnicima i njihovim trenutnim lokacijama unutar domene
- 5) Lokacijski poslužitelj



SIP operacije

1. Adresiranje

- koristi URL
- podržava internetske i PSTN adrese
- format: ime@domena

2. Lociranje poslužitelja

- klijent šalje zahtjev na:
 - a) lokalni posrednički poslužitelj
 - b) poslužitelj s odgovarajućom IP adresom
- klijent određuje IP adresu (preko DNS poslužitelja), port (ako ne piše, onda je 5060) i korišteni protokol (UDP ili TCP)
- rezultat može biti privremeno pohranjen

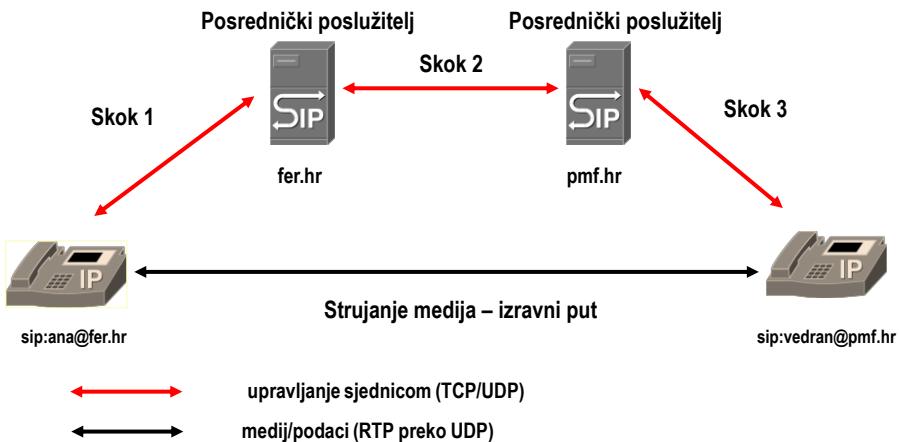
3. Slanje zahtjeva

- kad klijent razluči adresu SIP poslužitelja, šalje jedan ili više zahtjeva njemu, te dobiva odgovore

→ SIP zahtjev - primjer oblika:

INVITE sip:ana@tel.fer.hr SIP/2.0

- Format poruke SIP
 - Tekstualni
 - Osnovna podjela:
 - a) zahtjevi (metode)
 - b) odgovori (statusni kod)
 - SIP je neovisan o transportnom protokolu i vrsti sjednice
 - Za pozivanje korisnika u sjednicu, SIP koristi SDP protokol koji sadrži propisani skup parametara za opis sjednice (SDP opis se umeće u SIP poruku)
- Slijed operacija prilikom uspostave sjednice:
 - 1) klijent šalje inicijalni INVITE zahtjev
 - 2) poslužitelj vraća odgovor
 - 3) klijent prima odgovor na inicijalni zahtjev
 - 4) klijent ili poslužitelj generiraju daljnje zahtjeve
 - 5) primanje dalnjih zahtjeva
 - 6) BYE - kraj sjednice
 - X) CANCEL - može se dogoditi bilo kada tijekom sjednice



4. SIP zahtjevi

• INVITE:

- poziv na sjednicu
- opis sjednice je uključen
- važna polja:
 - 1) Call-ID = jedinstveni broj sjednice
 - 2) Cseq = brojač - smanjuje se slanjem svakog zahtjeva sa istim Call-ID
 - 3) To i From = zajedno sa Call-ID definiraju jedinstvenu sjednicu

• REGISTER:

- UA obavještava mrežu o svojoj lokaciji, tj. trenutnoj IP adresi
- registracija je obvezna za dolazne pozive, za odlazne ne
- Cseq se smanjuje svakim slanjem REGISTER-a
- zahtjev se proslijeđuje do nadležnog poslužitelja za registraciju u domeni

• BYE:

- raskid može inicirati neki od UA koji sudjeluje u sjednici (ne netko treći, sa strane)
- zahtjev s kraja na kraj (posrednici nemaju utjecaja)

• ACK:

- potvrda, konačni odgovor na INVITE
- zahtjev od točke do točke
- slanjem ACK Cseq se ne smanjuje
- poslužitelj uspoređuje Cseq u ACK s Cseq u odgovarajućem INVITE

• CANCEL:

- zahtjev od točke do točke (prekid može biti iniciran od strane nekog UA ili posredničkog poslužitelja)

- proslijeđuje se istim putem kao i INVITE

• OPTIONS:

- provjera mogućnosti primatelja

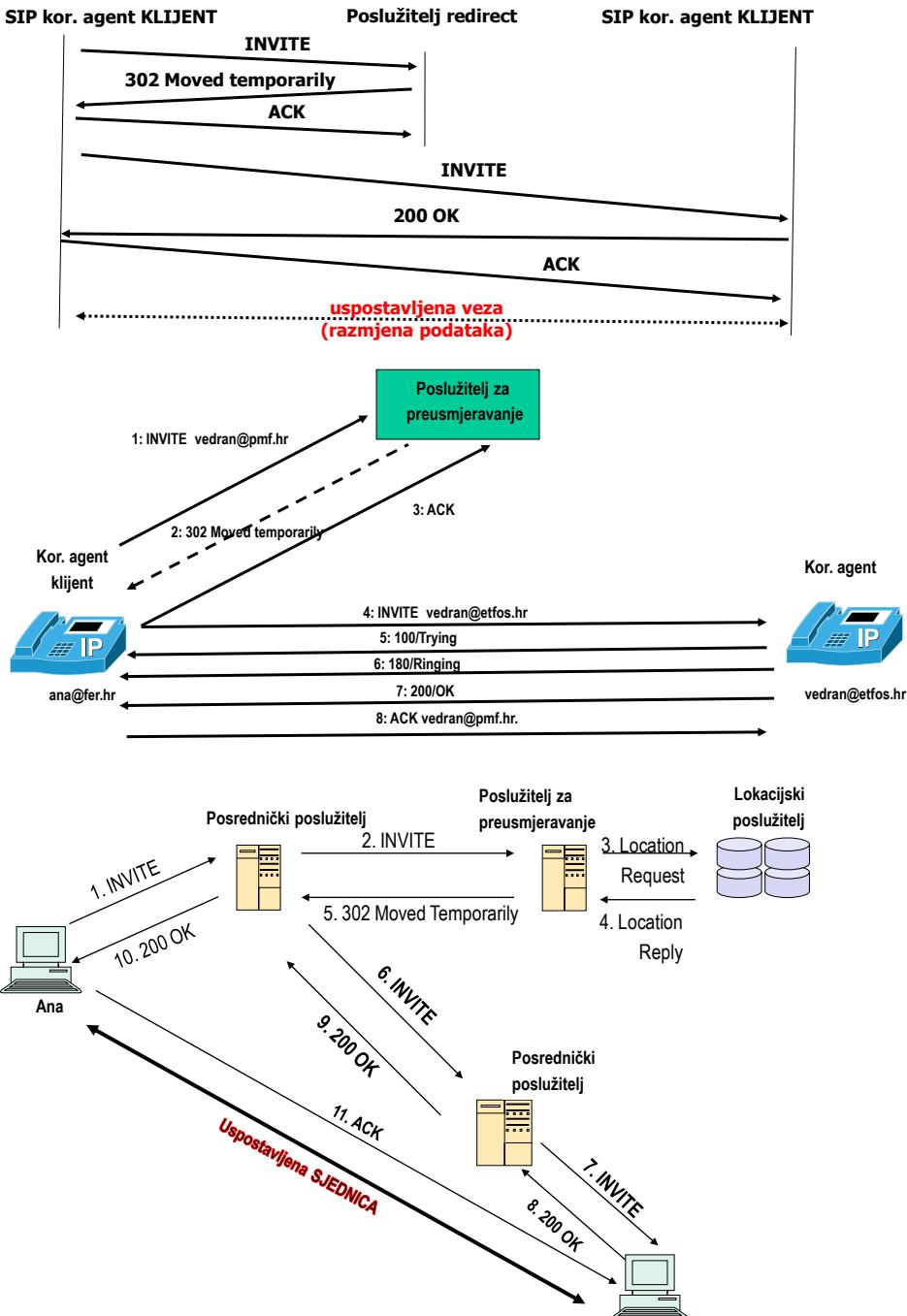
Polja u zaglavljima SIP:

- 1) općenita
 - 2) vezana uz poruku zahtjeva
 - 3) vezana uz poruku odgovora
 - 4) vezana uz entitet u mreži
- Svaki posrednički poslužitelj (proxy) dodaje VIA zaglavje sa svojom adresom, kako bi osigurao da će odgovor ići istim putem

5. SIP odgovori

- 1xy - informativni, o statusu poziva
- s kraja na kraj, osim 100 trying (nema tijelo i ne proslijeđuje se)

- 180 ringing - odgovor da je INVITE primljen, ne šalje se ako pozvani odmah odgovori
 - 2xy - uspješno izvršenje zahtjeva
 - 200 OK:
 - a) odgovor na poziv u sjednicu → u tijelu poruke šalje parametre pozvanog korisnika
 - b) odgovor na zahtjev (na INVITE, REGISTER, OPTIONS)
 - 3xy - šalje ih posrednički usmjeritelj, ili usmjeritelj za preusmjeravanje, kao odgovor na zahtjev za uspostavom sjednice (npr. *301 Moved Permanently*)
 - 4xy - pogreška na klijentu (npr. *404 Not Found*)
 - 5xy - greška na poslužitelju (npr. *500 Internal Server Error*)
 - 6xy - globalna greška (npr. *Decline*)



Mehanizmi sigurnosti

- a) Šifriranje s kraja na kraj

- posrednički poslužitelj može na INVITE odgovoriti sa *407 Proxy Authentication Required* ⇒ klijent odgovara sa re-INVITE, sa Proxy-Authorization zaglavljem

b) Šifriranje od skoka do skoka

- SIP korisnik može na INVITE odgovoriti sa *401 Unauthorized* ⇒ klijent odgovara sa re-INVITE sa Authorization zaglavljem

b2) Prijenos signalizacije mrežom IP

Protokoli:

SIGTRAN

- Skup protokola koji omogućava prijenos signalizacije SS7 preko IP mreže
- Tri komponente:
 - 1) Protokol za adaptaciju - podržava specifične SS7 protokole
 - 2) *SCTP* - podržava pouzdane prijenosne funkcije za prijenos signalizacije
 - 3) Internetski protokol IP
- *SCTP*:
 - spojno orientirani pouzdani protokol
 - prednosti nad TCP-om:
 - a) brzo otkrivanje grešaka uz kontrolu zagušenja
 - b) podržava veliki broj sjednica
- SIGTRAN protokolni složaj:

Protokolni složaj

Protokoli višeg sloja	Aplikacijski sloj
Adaptacijski protokol (xUA, xPA)	
Stream Control Transmission Protocol (SCTP)	Transportni sloj
Protokol IP	Mrežni sloj

SGW

- Vrši konverziju protokola na transportnom sloju za prijenos signalizacije između SS7 i mreže IP
- Izvedbeno rješenje - *SOFTSWITCH* - djelotvoran prijenos govora preko IP
- Razdvaja upravljanje pozivom (upravljački sloj - SIP, SIGTRAN) od funkcije prijenosa podataka (sloj poveznice - MGW)

MGCP

- Signalizacijski protokoli za upravljanje čvorovima za prijenos podataka u paketskim mrežama (IP) i mrežama s komutacijom kanala (PSTN)
- Prijenos PSTN poziva preko IP mreže
- RTP/RTCP protokol, UDP na transportnom sloju
- 3 standarda:
 - 1) MGCP
 - 2) Megaco
 - 3) H.248

BICC

- Proširenje signalizacije SS7 ISUP za uspostavu poziva u paketskim mrežama

IAX

- Za višemedijske sjednice i strujanje medija putem IP mreže
 - VOIP, UDP

TRIP

- Za usmjeravanje telefonskih poziva IP mrežom
 - BGPv4, TCP

10. predavanje - Podatkovna komunikacija i protokoli u pokretnoj mreži

Pokretna mreža

- Javna mreža u kojoj se pristup zasniva na radijskoj komunikaciji koja omogućava pokretljivost
- Dva dijela:
 - 1) Jezgrena mreža
 - 2) Pristupna mreža

GSM mreža

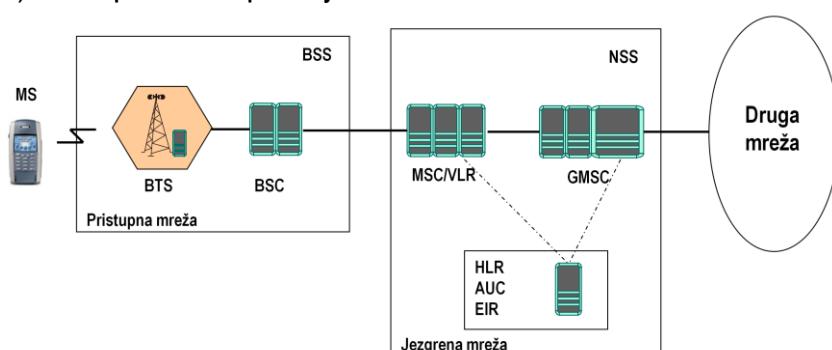
1) *NSS* jezgrena - sastoji se od:

- *MSC* pokretni dio + *VLR* koji sadrži podatke o domaćim preplatnicima i stranim preplatnicima koji su u LA (lokacijsko područje = skup ćelija koje pripadaju jednom MSC)
- *GMSC* - prilazni dio
- *HLR* - podaci o domaćim preplatnicima, gdje god oni bili
- *AUC* - provjera autentičnosti preplatnika
- *EIR* - provjera vlasnika *MS-a* (pokretnе postaje)

2) *BSS* pristupna - sastoji se od:

- *BTS* - primopredajni dio
- *BSC* - upravljački dio

3) *MS* - pokretna postaja



GSM protokoli po slojevima

1) Fizički sloj

- 992 fizička kanala raspoređena na 124 frekvencije po 8 vremenskih odsječaka
- MS prihvata najjači kontrolni kanal nakon što skenira sve frekvencije

2) Sloj veze

- protokol LAPDm → rješenje za radio kanal, fiksne je duljine

3) Sloj poruka - protokoli:

- Podslojevi:
 - *RR* - podsloj za upravljanje radijskim resursima, služi za prijenos signalizacije između MS i BSS
 - *MM* - podsloj za upravljanje pokretnošću, služi za vezu između MS i MSC
 - *CM* - podsloj za upravljanje vezom, služi za SMS i dodatne usluge između MS i MSC

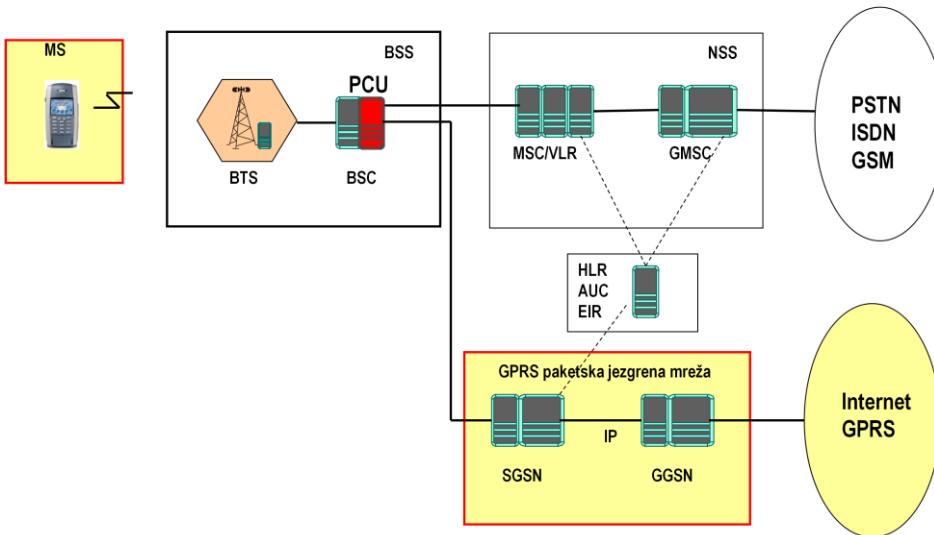
- Dijelovi:
 - *BSS AP* - aplikacijski dio u SS7 za GSM
 - *SCCP* - kontrolni dio za signalizaciju
 - *MTP* - dio za prijenos poruka
 - BSS procesi:
 - *BSS MAP* - procedure između BSS i MSC, koje zahtijevaju obradu informacija vezanih uz poziv i upravljanje radijskim resursima
 - *DTAP* - transparentan prijenos informacija između MS i MSC za upravljanje pokretljivošću i vezom
- Kod GSM-a se razdvajaju korisnička komunikacija (ide fizičkim kanalima) i upravljačka komunikacija (logičkim kanalima)
- GSM brzina - 14.4 kbit/s**

GPRS mreža

- Proširenje GSM mreže ostvareno dodavanjem čvorova

Promjene:

- uvedena komutacija paketa
- 8 kanala iste frekvencije po jednom korisniku
- uveden *PCU* (paketska kontrolna jedinica)
- veća **brzina - GPRS - 115.2 kbit/s**
- naplata po prometu



Potporni čvorovi:

1) SGSN - uslužni

- Funkcije:
 - usmjeravanje paketa *RA* (područje usmjeravanja) ↔ MS
 - kriptografska zaštita i provjera autentičnosti

2) GGSN - prilazni

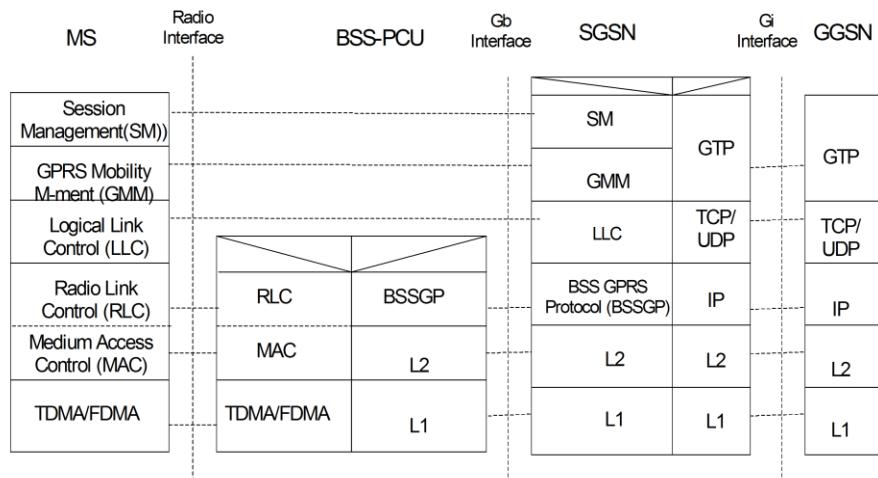
- Funkcije:
 - pridruživanje korisnika pravom SGSN-u
 - uspostavljanje komunikacije prema vanjskim mrežama

Zajedničke funkcije:

- upravljanje sjednicom, pokretljivošću i logičkom vezom sa MS
- prikupljanje podataka za naplatu

Kontrolna/signalizacijska ravnina

- Prenosi kontrolnu/upravljačku informaciju kojom se omogućuje paketska komunikacija

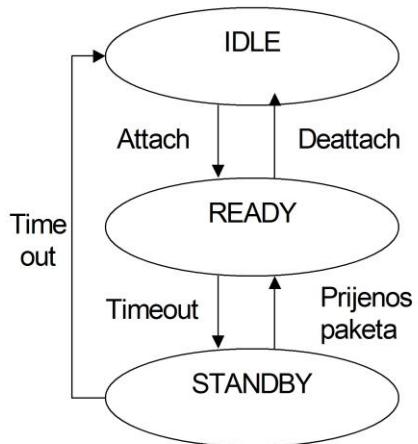


- MAC - kontrola pristupa korisnika
- LLC - teku paketi
- BSSGP - razmjenjuju se informacije o usmjerenju i kvaliteti usluge (QoS)

Paketska komunikacija u pokretu

- Različita od kanalske, jer treba upravljati sjednicom, tj. sudionicima, a ne samo vezom
⇒ *To je ključna razlika u odnosu na GSM mrežu!*
- To omogućuju:
 - zapis o kretanju, kojim se MS pridružuje SGSN-u, u čijem je području → *MM context*
 - zapis o paketskom protokolu, koji opisuje karakteristike veze → *PDP context*
 - podatak o fizikalnom kanalu kojim se prenose paketi na radijskom sučelju → *TBS*

Stanja MS-a



- IDLE - MS je uključen, ali nije u GPRS -u
- READY- omogućena razmjena paketa; ažuriranje ćelije pri kretanju
- STANDBY - u GPRS-u je MS, ali ne izmjenjuje pakete; ažurira se samo RA pri kretanju

Upravljanje pokretljivošću - MM

- Dijelovi:
 - 1) Uključivanje - pridruživanje sustavu
 - 2) Isključivanje - izlazak iz sustava

3) Ažuriranje lokacije - ažuriranje promjene RA ili ćelije

- RA ima jednu ili više ćelija, a obuhvaća cijeli LA ili jedan njegov dio

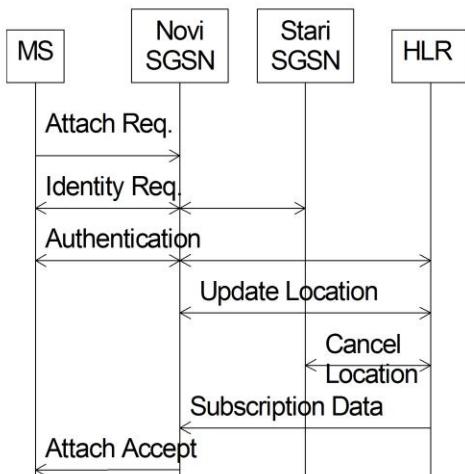
- Postupak uključivanja MS-a:

- 1) Informiranje mreže o zahtjevu uključivanja MS-a
- 2) Provjera identiteta MS-a (EIR) i iniciranje rada za prijenos podataka
- 3) Ako SGSN nema podatke o pretplatniku, učitavanje istih iz HLR
- 4) Ažuriranje MSC/VLR
- 5) Uspostava signala MS ↔ SGSN

- Protokoli koji sudjeluju: SM, MM, LLC, RLC, MAC
- *MM context* - zapis o kretanju MS-a, sadrži informacije o lokaciji MS-a

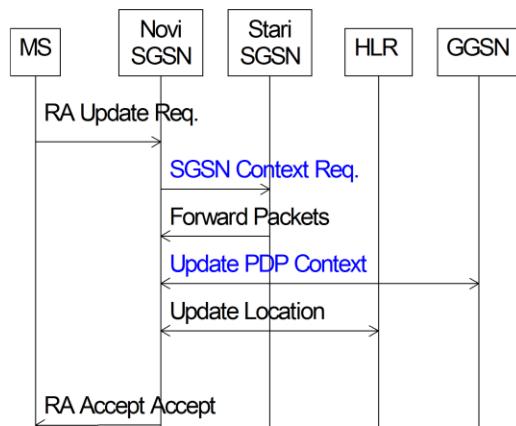
1) a) Uključivanje MS-a u području novog SGSN-a:

- MS šalje zahtjev za uključivanjem novom SGSN-u, koji ga proslijedi starom
- provjerava se identitet i autentičnost, te se zapisuje nova lokacija u HLR
- briše se stara lokacija, podaci o korisniku se šalju novom SGSN-u
- novi SGSN javlja MS-u da je prihvatio zahtjev



3) a) Ažuriranje lokacije kod promjene SGSN-a (ako se mijenja samo RA, a ne i SGSN, onda ide samo prvi i zadnji korak)

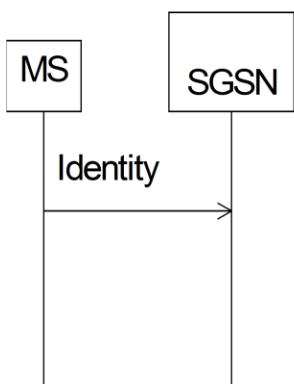
- MS šalje zahtjev novom SGSN-u za ažuriranje lokacije
- novi SGSN zahtijeva od starog SGSN context
- stari SGSN mora proslijediti novom neisporučene podatke
- podaci o pretplatniku se prebacuju u novi SGSN, GGSN se obavještava
- ažurira se lokacija u HLR-u
- MS dobiva potvrdu o prihvaćanju nove lokacije



- SGSN context = MM context + PDP context (zapis o karakteristikama veze)

→ Ako se mijenja samo ćelije:

Slika



Komunikacija u GPSRS-u (MS ↔ SGSN)

- MS mora biti u READY stanju (ako je u STANDBY, SGSN mu može slati *paging* signal kako bi prešao u READY)

a) MS šalje pakete u mrežu:

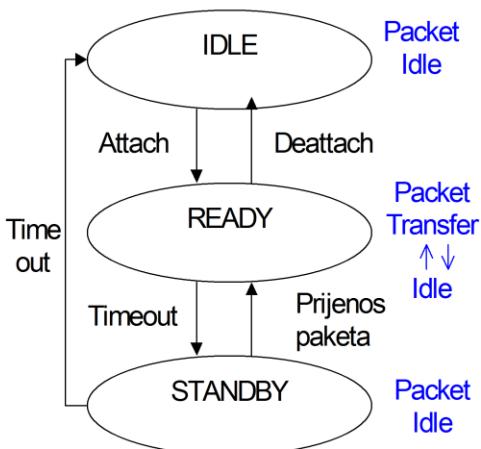
- MS zahtijeva kanal BTS-BSC
 - MS dobiva kanal
 - MS šalje pakete prema SGSN
- b) MS prima pakete iz mreže:
- SGSN šalje zahtjev do BSC
 - MS dobiva kanal
 - SGSN šalje pakete prema MS

Zapis o paketskom protokolu (PDP Context)

- Da bi se ostvarila komunikacija, kreira se PDP context na relaciji MS-GGSN (sadrže ga MS, BSS-PCU, HLR, SGSN, GGSN)
- Definira komunikaciju MS sa GGSN i vanjskim mrežama
⇒ Zapis o karakteristikama veze: vrsta mreže, adresa pristupne točke, protokol, QoS, ...
- Aktivira se uključenjem MS-a ili komandom prije početka komunikacije

Podatak o fizičkom kanalu - TBF

- Prijenos na radijskom sučelju



- IDLE - Packet Idle - nema TBF-a

- READY - Packet Idle ⇔ Packet Transfer - TBF sa 1 ili više PDCH

- STANDBY - Packet Idle

- Dodjeljuje PCU za prijenos paketa od/prema MS
- MS pri dodjeli TBF dobiva informacije o PDCH, koje koristi i TFI (jedinstveni broj TBF-a)
- MS može imati TBF u jednom ili oba smjera

Prijenos paketa na radijskom sučelju (MS ↔ BSS PCU)

a) MS → BSS PCU

- MS u stanju READY inicira prijenos, šalje zahtjev za dodjelom paketskog kanala prema BSS PCU u dodijeljenom fizičkom kanalu
- PCU odgovara porukom o dodjeli UZLAZNE paketske veze do MS, koja sadrži popis fizičkih kanala i TFI (tako je dodijeljen TBF)

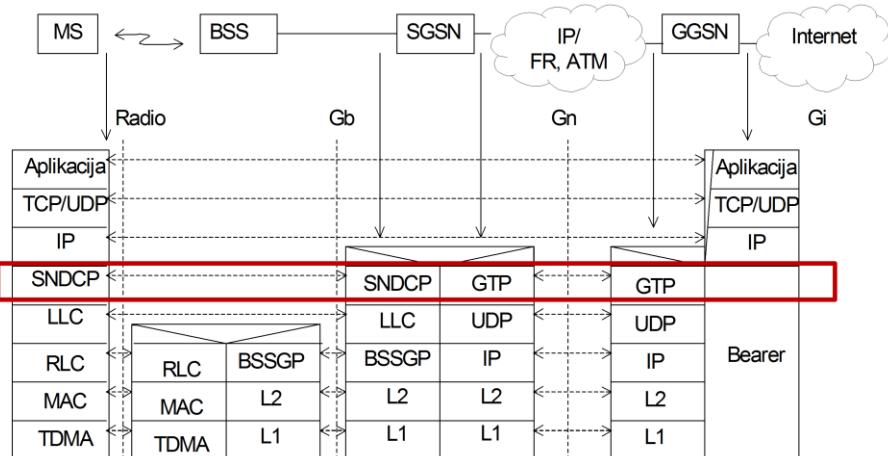
b) BSS PCU → MS

- SGSN šalje pozivni zahtjev do PCU, koji poziva MS u fizičkom kanalu koji MS osluškuje u stanju STANDBY
- MS odgovara pozitivnim odgovorom, prelazi u READY, a ta poruka prelazi preko BSS do SGSN
- PCU odgovara porukom dodjele SILAZNOG paketskog kanala, koja sadrži popis fizičkih kanala (PDCH) i TFI (tako MS-u dodjeljuje TBF)

Korisnička/transmisijska ravnina

- Prenose se podaci između MS i Interneta

Slika



Fizički kanal (sloj 1)

- **PDCH** - jedan vremenski odsječak fizičkog kanala
- više PDCH može koristiti jedan korisnik - jedan PDCH na više korisnika
- broj PDCH u ćeliji je fiksni, ili se mijenja dinamički
- Uz fizičke kanale postoje i logički kanali za kontrolne funkcije, koji se temelje na multiokviru od 52 okvira

Protokoli za kontrolu i pristup mediju (sloj 2)

- **MAC** - raspoređivanje zahtjeva za kanal
- **RLC** - kontrola pristupa kanalu
- **LLC** - logička veza MS ↔ SGSN

Operacije kad MS šalje podatke:

- 1) Protokolska jedinica podataka logičke veze (LLPDU) veličine je 1500 okteta
- 2) LLPDU dolazi do RLC u segmentima veličine 20-50 okteta

3) MAC formira radio blokove veličine 456 bita (u četiri snopa)

Protokol SNDCP (sloj 3)

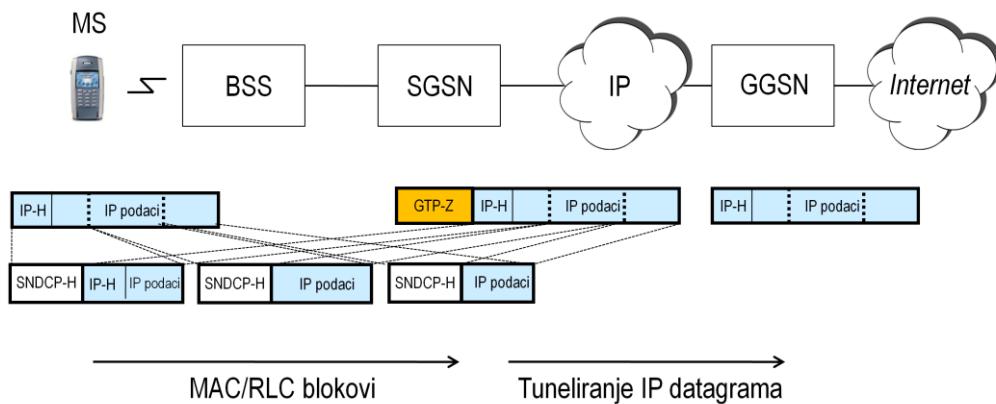
- Prilagođava protokol IP radu u GPRS-u
- Prenosi podatke MS ↔ SGSN
- Multipleksira više konekcija mrežnog sloja u jednu logičku vezu LLC-a
- Komprimira i dekomprimira podatke i zaglavlja višeg sloja
- Fragmentira IP pakete koji se prenose LLC okvirima, sastavlja ih opet u IP pakete na drugoj strani

Prijenos podataka MS ↔ SGSN - SAŽETAK

- IP paketi se komprimiraju i fragmentiraju u LLC okvire na izvorišnoj strani, dijele u MAC/RLC blokove, šalju preko BSS do SGSN (i obratno), na odredištu se opet sastavljaju u IP pakete

Protokol GTP

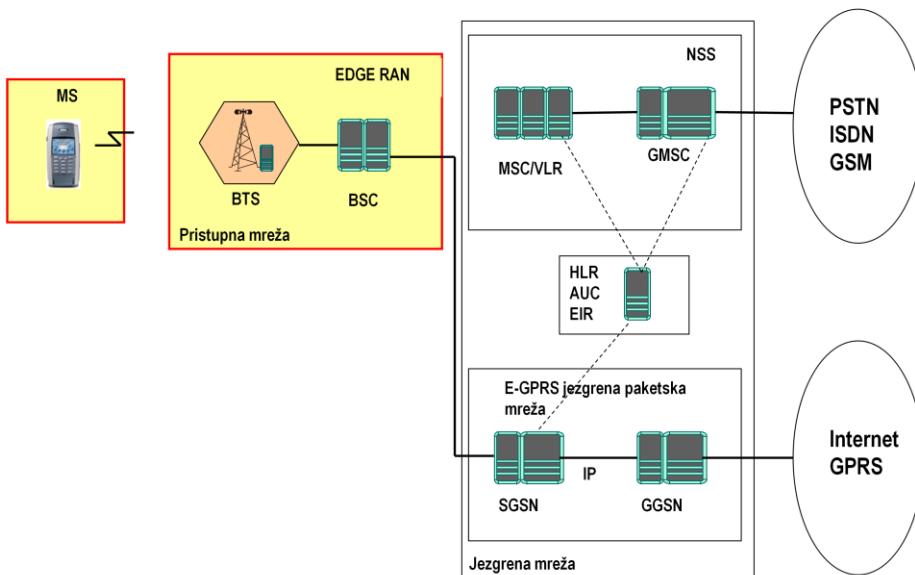
- Kreira, modificira i briše tunel za korisničke podatke i signalizacijske informacije između SGSN i GGSN
- IP paketima dodaje GTP zaglavlje
- Rabi UDP



Postupak pristupa Internetu:

- 1) MS zahtijeva aktiviranje PDP konteksta
- 2) SGSN provjerava zahtjev na temelju informacija u HLR-u
- 3) SGSN traži od DNS-a IP adresu GGSN-a
- 4) Uspostavlja se logička veza (tunel) SGSN ↔ GGSN
- 5) GGSN dodjeljuje MS-u dinamički javnu IP adresu

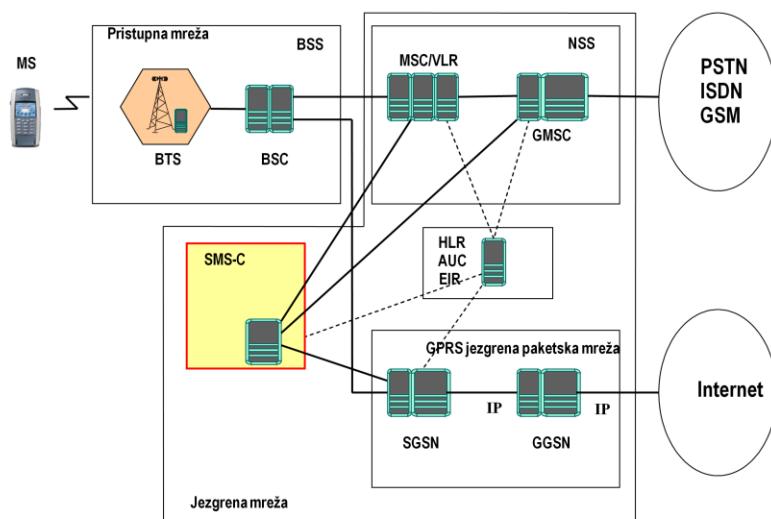
EDGE mreža



Karakteristike:

- Zahtijeva veću promjenu radijskog dijela pristupne veze (sustav baznih postaja *EDGE-RAN*)
- Promjena modulacije: GMSK → 8PSK
- 8 kanala x 48 kbit/s =
- **Brzina = 384 kbit/s**
- Nedostatak je što se ova brzina ne može postići u cijelom području pokrivanja ćelije

Komunikacija porukama



SMS

- SMS-C - centar za uslugu kratkih poruka
- Slanje/primanje poruka prema/od MS
- Zadržava poruku dok ne dobije potvrdu o primitku ili dok ne istekne vrijeme valjanosti poruke
- 160 znakova, moguće ulančavanje

- *EMS* ih proširuje sa tekstrom, kratkim melodijama i točkastim slikama

MMS

- Prijenos se temelji na *WAP* protokolima
- Zahtijeva veće brzine prijenosa
- Formatirani tekst, crteži, animacija, slika u boji, audio i video sadržaji

11. predavanje - UMTS mreža

- **Brzina:**

- do 144 kbit/s svagdje
- do 384 kbit/s na otvorenom
- do 2 Mbit/s u zatvorenom

- Uz pokretljivost terminala, riješena je i osobna pokretljivost, te pokretljivost, prenosivost i transparentnost usluga

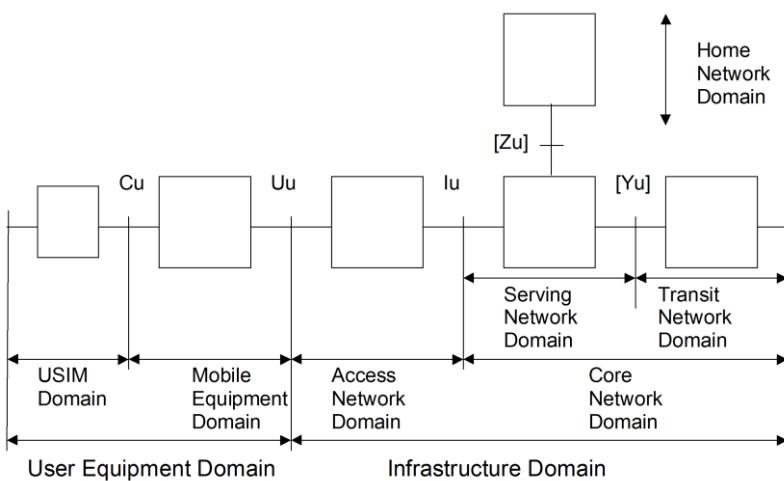
UMTS usluge - zahtjevi

- Fleksibilnost - kretanje iz jedne mreže u drugu
- Pristup uslugama bez obzira na pristupnu mrežu u kojoj se korisnik nalazi
- Prilagođavanje usluge s obzirom na korišteni terminal
- Dostupnost usluge s obzirom na lokaciju
- Upravljanje profilom usluge bez obzira na pristupnu mrežu i lokaciju

Elementi UMTS arhitekture

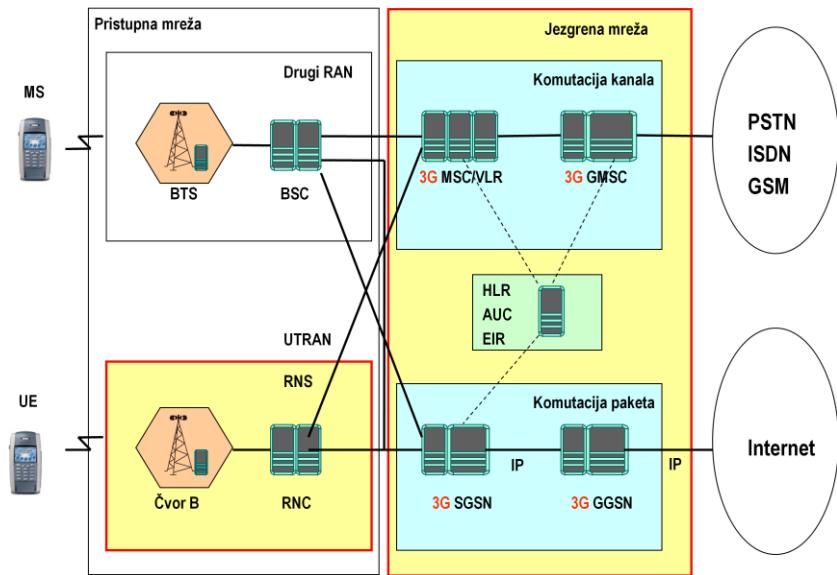
- 1) Domena - skup funkcija, međusobno odvojene referentnim točkama
- 2) Stratum - funkcionalna komunikacija između domena

1) Domene:



- **USIM** - modul za identifikaciju korisnika
 - izведен pametnom karticom
 - rabi se za sigurnost usluga koje su na raspolaganju korisniku i za osobno profiliranje
- **Access Network Domain** - pristupna mreža - zemaljski UMTS radio pristup (UTRA)
 - zasnovan na W-CDMA
- **Serving Network Domain** - za posluživanje korisnika na korisničkoj pristupnoj točki
 - mijenja lokacijsku informaciju kako se korisnik kreće, usmjerava poziv/informaciju prema korisniku
- **Home Network Domain** - funkcionalnost povezana sa stalnom lokacijom korisnika neovisno o korisničkoj pristupnoj točki
- **Transit Network Domain** - ostvaruje komunikacijski put između Serving Network Domain i udaljenog korisnika kada je on u drugoj mreži

Arhitektura UMTS



UMTS radijska pristupna mreža

UMTS zemaljski radijski pristup - *UTRA*

- Zasnovan na W-CDMA (širokopojasni višestruki pristup s kodnom podjelom)
- Veći kapacitet i bolja pokrivenost
- Mogućnost varijabilne brzine prijenosa
- Prikladan i za paketski i kanalni prijenos
- Višestruke istodobne usluge u jednom terminalu
- Hjerarhijska struktura ćelija
- Uvođenje IP u radijsku pristupnu mrežu

UTRAN - zemaljska radijska pristupna mreža

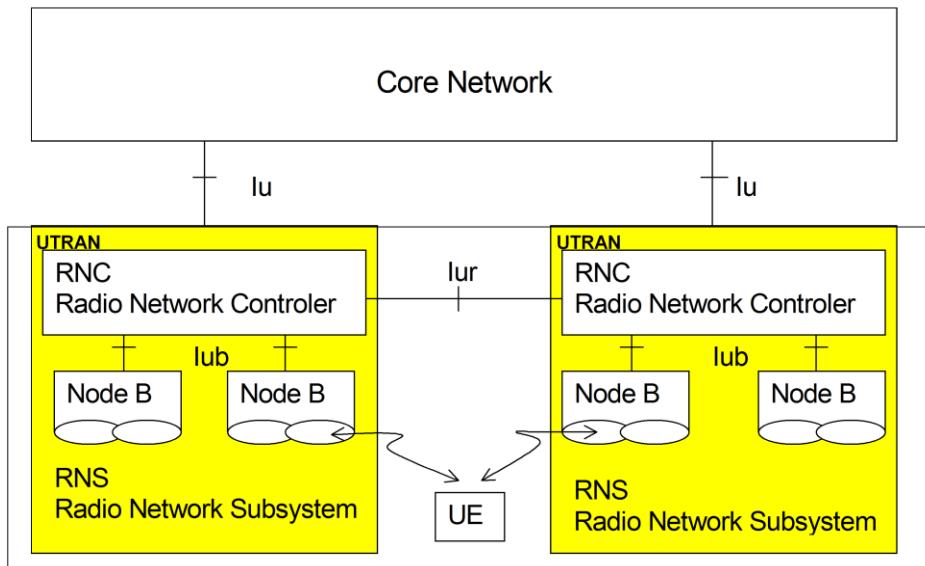
- Funkcije:
 - sustavna kontrola pristupa
 - sigurnost i privatnost
 - upravljanje i kontrola radijskih resursa
 - kontrola radijskog prijenosa i veze između korisničke opreme i mreže (protokoli kontrolne ravnine)
 - prijenos korisničkih podataka između korisničke opreme i mreže (protokoli korisničke ravnine)

Radijski mrežni podsustav - *RNS*

- Osnovni dio UTRAN-a
- Dijelovi:
 - 1) Upravljač radijske mreže RNC
 - uslužni, kontrolni i prihvativi
 - preuzima dio funkcija upravljanja pokretljivošću od jezgrene mreže
 - 2) Čvor B sa radijskim primopredajnim dijelom
 - pokriva 3-6 ćelija
- Svaki RNS poslužuje svoj skup ćelija

2) Čvor B

- Pretvorba podatkovnog toka između Uu i lub sučelja
- Upravljanje radijskim resursima
- Modulacija (podržava FDD, TDD, CDMA)
- Fizikalni i transportni kanali
- Korekcija grešaka
- Povezivanje poziva s UE
- Sakupljanje prometnih podataka

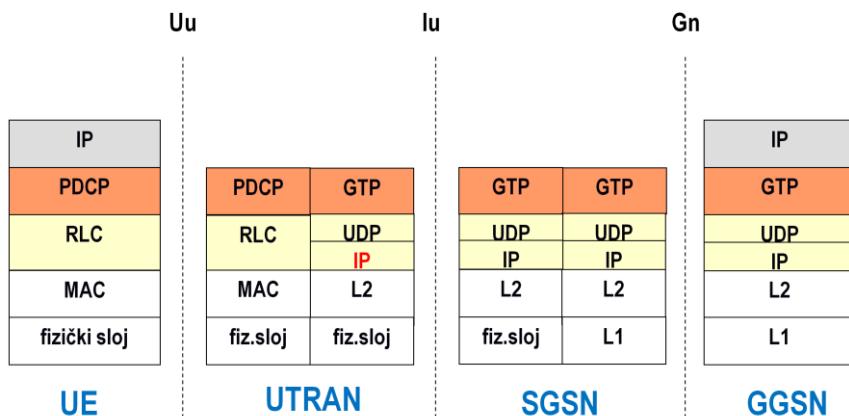


Razlozi za W-CDMA

- Prednosti:
 - sve osim zadnje značajke od UTRA
 - širina frekvencijskog pojasa = 5 MHz
 - prošireni frekvencijski spektar - raspršeni spektar
 - manja osjetljivost na uskopojasne interferencije i prigušenja
 - nema fiksnog ograničenja kapaciteta (broja istovremenih korisnika)
- Nedostaci:
 - povećanje interferencije od drugih korisnika

Sučelja i protokoli jezgrene mreže UMTS

Protokoli korisničke ravnine UMTS



Protokol PDCP

- Funkcionalnost slična SNDCP i LLC protokolima iz GPRS-a
- Prijenos podataka (IP paketa) između korisničkog terminala i radijske pristupne mreže
- Komprimira i dekomprimira korisničke podatke i zaglavlja višeg sloja
- Segmentira IP pakete u MAC/RLC blokove prikladne za radijski prijenos preko zračnog sučelja

Gn i Gp sučelja

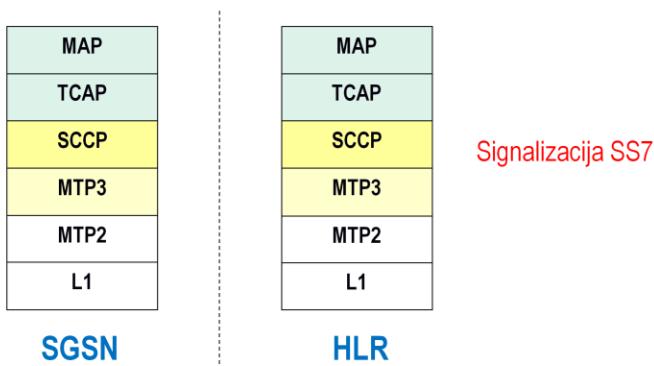
- *Gn* - između SGSN-a i GGSN-a, te SGSN-ova iste zemaljske javne pokretne mreže (PLMN)
- *Gp* - između SGSN-ova različitih PLMN-ova

MAP sučelja

- *Gc* - GGSN-HLR (Tuneliranje preko SGSN)
 - informacije o usmjeravanju za komutaciju paketa
- *Gr* - SGSN-HLR
 - lokacija korisnika
- *Gd* - SGSN-SMS prilaz
- *Gf* - SGSN-EIR

Protokoli paketskog dijela MAP sučelja

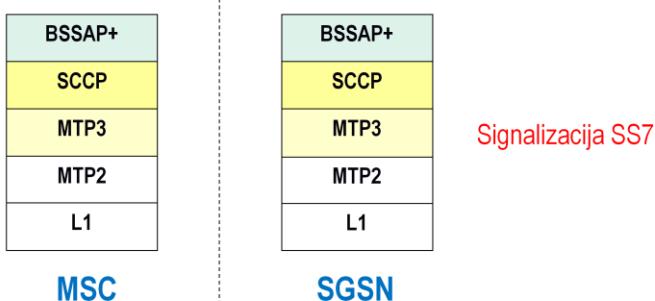
Gc, Gr, Gd, Gf



- MAP - Message Application Part
- TCAP - SS7 Transaction Capabilities Application Part
- SCCP - Signaling Connection Control Part
- MTP3 i MTP2 - Message Transfer Part

Protokoli između kanalskog i paketskog dijela

Gs



- BSSAP - BSS Application Part
- Gs - MSC-SGSN sučelje
 - proširenje BSSAP
 - reduciranje upravljačke informacije o lokaciji korisnika i HLR signalizacije

Pristup internetu iz UMTS mreže

- U mreži UMTS IP protokol se uvodi u pristupnu mrežu, dakle dolazi još bliže korisniku

IP adresiranje

- Treba podijeliti jedinstvene IP adrese GPRS mrežnoj infrastrukturi radi spajanja na internet *u roamingu*
- U roamingu treba povezati SGSN posjećene mreže sa GGSN domaće mreže
- Vrste adresiranja:
 - a) Adresiranje mrežne infrastrukture
 - b) Adresiranje pokretnih terminala
- Vrste adresa:
 - a) Privatne
 - ograničeni broj adresa
 - nemogućnost adresiranja preko Interneta
 - nemogućnost dobivanja jedinstvene adrese
 - b) Javne
 - moguće adresiranje preko Interneta
 - moguća jedinstvena adresa
- MS ima privatnu adresu, a entiteti mrežne infrastrukture javnu
- NAT - mehanizam prevođenja adresa (privatna-javna)
 - MS-u se dodjeljuje javna adresa koja je raspoloživa tijekom trajanja veze s vanjskom mrežom

Roaming (prelaženje)

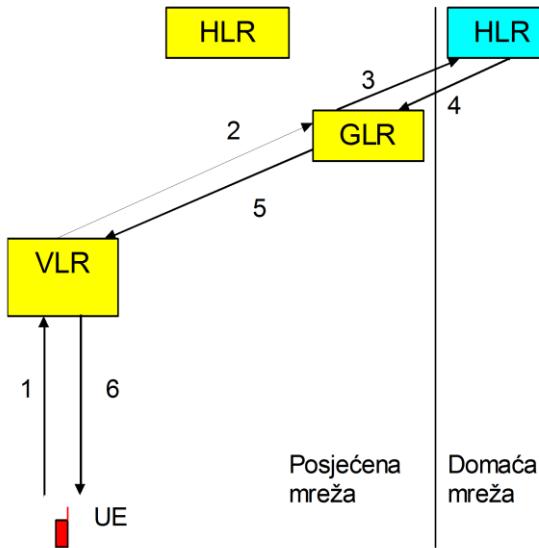
- SGSN iz jedne mreže se povezuje sa GGSN iz druge preko *inter-PLMN mrežne okosnice*
- Aktivnosti prilikom odlaska korisnika u posjećenu mrežu:
 - 1) Uključivanje MS/UE
 - 2) Aktiviranje PDP zapisa
 - 3) razmjena DNS podataka
 - 4) uključivanje graničnog prilaza (BG) radi sigurnosti
- GPRS operateri mogu biti povezani:
 - a) Direktnom vezom
 - tuneliranjem kroz javnu IP mrežu ili
 - iznajmljenim vodom
 - b) GRX (GPRS Roaming eXchange) čvorovima

Sporazum o prelaženju:

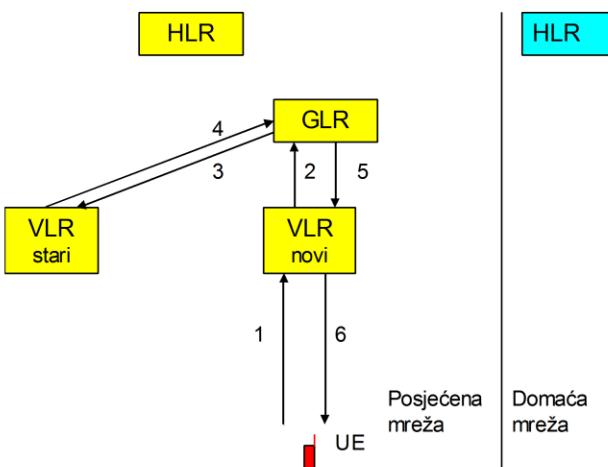
- Svrha:
 - da preplatnicima nekog operatora omogući korištenje usluga u svojoj i u drugim mrežama
 - naplata usluga domaćim i stranim korisnicima
- Ako je zadovoljen sporazum, strani korisnik može koristiti:
 - 1) Radio resurse u VPLMN (Visitor PLMN)
 - 2) GGSN u HPLMN (Home PLMN)

Registracija s GLR u posjećenoj mreži

- GLR - lokacijska baza podataka koja sadrži privremeni zapis podataka o korisniku i njegovu trenutnu lokaciju
- radi izbjegavanja previše signalizacije, posebno u međunarodnom prometu



- Prva registracija - 1-2-3-4-5-6
- kao trenutna lokacija u HLR se zapisuje lokacija GLR, a u GLR lokacija VLR



- Promjena lokacije - 1-2-3-4-5-6
- u GLR-u se registrira adresa novog VLR, a deregistrira adresa starog VLR

HSS - Poslužitelj pretplatničkih podataka

- Glavna baza podataka o korisnicima
- Identifikacija korisnika, numeracija, adresiranje
- Kontrola pristupa mreži
- Informacije o autentifikaciji, autorizaciji i lokaciji korisnika
- Repozitorij korisničkih profila
- Upravljanje pokretljivošću
- Podrška sigurnosti, za uspostavu poziva i sjednice, te pružanja usluge

12. predavanje - Razvoj pristupne mreže UMTS

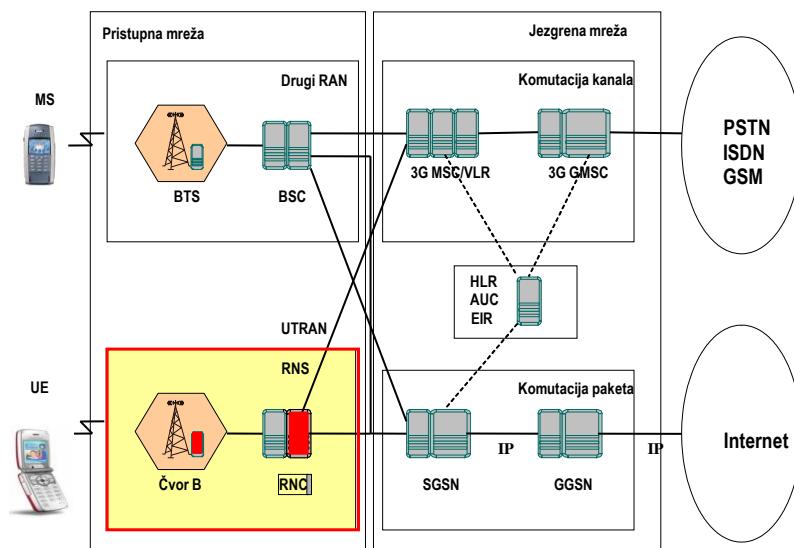
3.5G

HSPA - Tehnologija brzog paketskog pristupa

- Povećanje brzine prijenosa
- Unapređuje radijsku pristupnu mrežu
 - a) **HSDPA** - downlink, u dolaznom smjeru; **brzina do 14.4 Mbit/s, u praksi do 7.2 Mbit/s**
 - b) **HSUPA** - uplink, u odlaznom smjeru

a) HSDPA

- nadogradnja WCDMA tehnologije
- ne uvode se novi čvorovi u mrežu, već se RNS softverski i hardverski nadograđuje (RNC i čvor B), te veći broj fizičkih kanala



- uvodi se adaptivna modulacija i kodiranje (**AMC**) → koristi se povratna informacija od korisničkog terminala kako bi se utvrdila najbolja modulacijska tehnika i kodirajuća shema za zadane uvjete u kanalu

- bazna stanica dinamički mijenja kapacitete dodijeljene korisnicima - korisnici u područjima s boljim uvjetima dobivaju veći kapacitet prijenosne mreže i veće brzine prijenosa (tako se postiže efikasnije zauzeće kanala)
 - čvor B preuzima neke funkcije RNC-a
 - uvode se novi kanali (zauzeće kanala ovisi o duljini intervala TTI, koji je drugačiji za svakog korisnika)
 - uvođenje u urbanim i zatvorenim prostorima

• HSPA+

- nadogradnja HSPA
- poboljšanje radijskih performansi HSPA
- povećanje kapaciteta i smanjenje kašnjenja
- bolje iskorištenje mogućnosti WCDMA
- omogućen paketski prijenos
- **brzina: DL - 21 Mbit/s; UP - 5 Mbit/s**

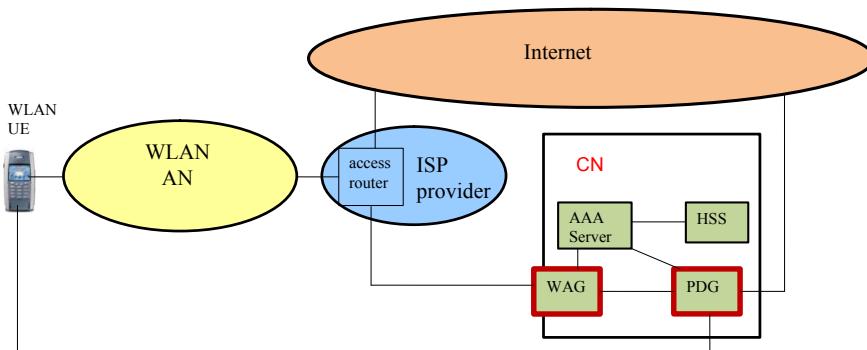
4G: LTE - Dugoročna evolucija radijske pristupne mreže

- Poboljšanje performansi i kapaciteta
- **Brzina: DL - 326 Mbit/s; UP - 86 Mbit/s**
- Zahtjevi:
 - potpuna IP mreža (samo komutacija paketa)
 - više usluga, niže cijene, otvorena sučelja, pojednostavljenje arhitekture
 - pokretljivost između različitih pristupnih mreža
 - fleksibilnije korištenje postojećeg frekvencijskog pojasa (5-20 MHz)
- Tehnologije:
 - *OFDMA* (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) - za DL
 - *SC-FDMA* (Single Carrier FDMA) - za UL
 - *MIMO* (Multiple Input Multiple Output) - višestruke antene, više paralelnih strujanja podataka prema korisniku

Povezivanje s WLAN mrežama

- Integracija WLAN pristupnih točaka s UMTS pristupnom mrežom

I-WLAN



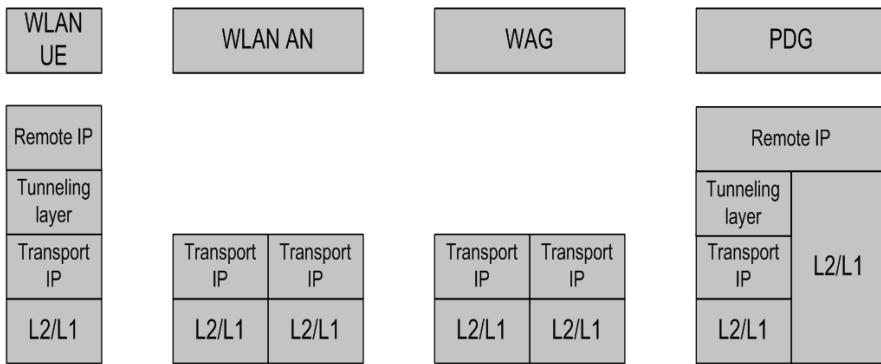
PDG

- Packet Data Gateway
- Registrira korisnike spojene na WLAN
- Pridjeljuje im javnu IP adresu na temelju lokalne, s javnom se spajaju na internet
- Omogućava pristup paketskim uslugama
- Sadrži informacije o usmjeravanju

WAG

- WLAN Access Gateway
- Usmjerava pakete od/prema WLAN pristupne mreže (AN) preko PDG do/od Interneta, radi pružanja usluge UE-ovima koji su spojeni na Internet preko WLAN-a
- Ime funkcionalnosti vatrozida
- Generira informacije o naplati prelaženja UE-ovima koji pristupaju Internetu preko WLAN-a

Protokolni složaj I-WLAN



Femtoćelije

- Bežične pristupne točke male snage
- Služe za spajanje pokretnih uređaja na mrežu pokretnog operatora preko DSL-a ili širokopojasnog kabelskog pristupa

Jezgrena mreža UMTS

EPC - Evolved Packet Core

SAE - System Architecture Evolution

- Podržava pristupnu mrežu E-UTRAN uz smanjenje broja mrežnih entiteta
- Pojednostavljenje funkcionalnosti
- Smanjenje kašnjenja
- LTE i SAE zajedno čine EPS - Evoluirani Paketski Sustav, koji je četvrta generacija pokretnih mreža (4G) i u potpunosti se temelji na IP protokolu

Entiteti jezgrene mreže:

1) Upravljački čvor MME

- entitet upravljanja pokretljivošću
- temeljni čvor jezgrene mreže
- nadležan za veliki broj čvorova eNodeB
- brine o signalizacijskim porukama od UE do čvorova jezgrene mreže
- funkcionalnosti: sigurnost, autentifikacija, dodjela mrežnih resursa, prekapčanje poziva, upravljanje pristupom, sjednicom i vezom, upravljanje lokacijom terminala u mirovanju

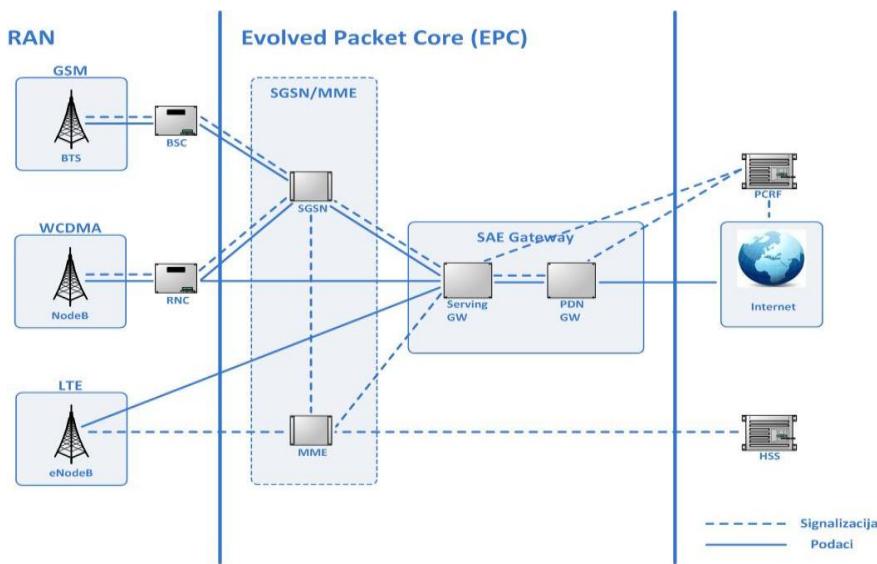
2) Čvorovi prilaza:

a) Uslužni S-GW

- tunelira podatke prema P-GW
- sadrži ostale funkcije za upravljanje pokretljivošću
- prati kretanje korisničkog terminala između čvorova eNodeB
- brine o uspostavi veze s korisnicima drugih mreža

b) Paketski mrežni P-GW (PDNGW)

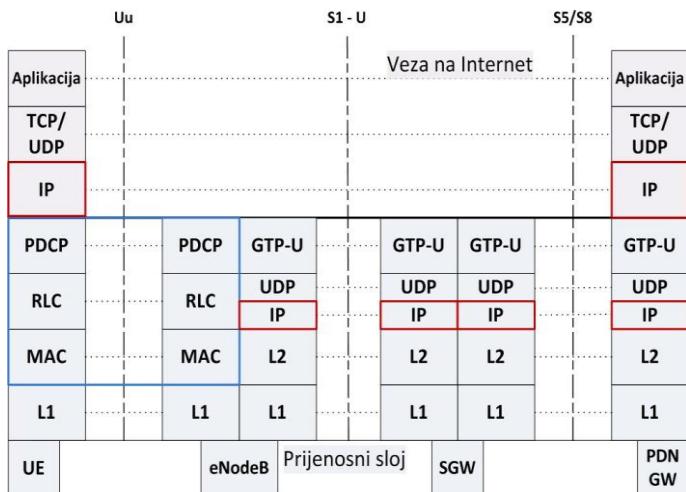
- usmjerava podatke od jezgrenog dijela mreže prema ostalim mrežama
- odgovoran za dodjelu IP adrese UE-ovima, naplatu i pružanje usluga određene kvalitete



3) Ostali čvorovi:

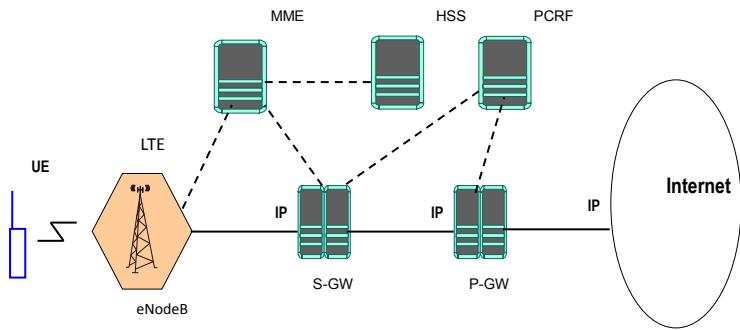
- a) *HSS* - poslužitelj domaćih pretplatnika
- b) *PCRF* - čvor za upravljanje resursima i terećenjem
 - terećenje, autorizacija, pružanje usluga s obzirom na pretplatnički profil, provođenje pravila operatora

Korisnički protokoli LTE



Pristup internetu putem LTE-SAE

- 1) Uključivanjem UE u mrežu, MME kreira UE kontekst koji sadrži karakteristike veze i mogućnosti korisničkog terminala dobivene iz HSS-a
- 2) Kreiranjem UE konteksta korisnički terminal dobiva IP adresu
- 3) Uspostavom veze UE ↔ P-GW omogućen je pristup internetu

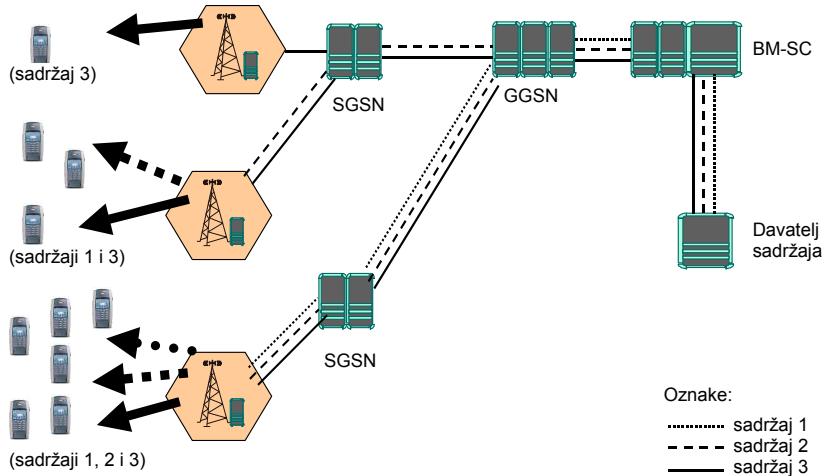


Usluga pokretne TV (Mobile TV)

- Koristi se višeodredišno razašiljanje tehnologijama:
 - MBMS* preko pokretne mreže
 - DVB-H* preko broadcast mreža

a) MBMS:

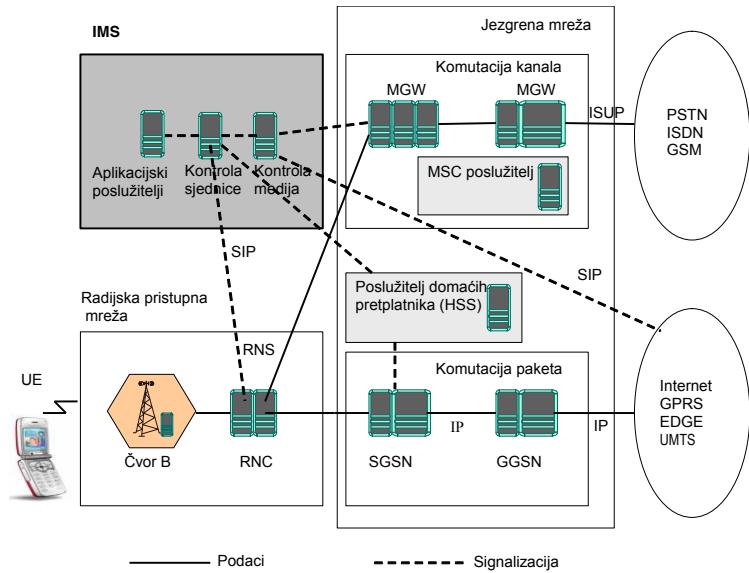
- Pristupna mreža - samo softverska nadogradnja kako bi razne stanice isporučivale podatke skupini korisnika
- Jezgrena mreža - uvođenje novog čvora *BM-SC* (centar za višeodredišno razašiljanje)
 - upravljanje višeodredišnom isporukom
 - usmjeravanje toka podataka kroz jezgrenu mrežu
 - sigurnost
 - naplata



IMS - IP višemedijski sustav

- Integracija Interneta i pokretnih mreža
- Omogućuje preusmjeravanje prometa
 - integracija pokretnih telekomunikacija s Internetom
 - pružanje usluga u stvarnom vremenu
- SIP upravlja višemedijskim pozivima

Arhitektura IMS-a u mreži UMTS



- *Aplikacijski sloj* - odvaja sadržaj i usluge od povezivanja i pristupa
- *Upravljački sloj* - zajednička IP temeljna struktura
- *Sloj povezanosti* - veze prema različitim pristupnim mrežama

Aplikacijski sloj

- Elementi IMS mreže i usluga
 - Aplikacijski poslužitelji AS (Application Server)
- Elementi usluga drugih mreža
 - Open Service Access - Service Capability Server (OS CS)
 - OSA AS - pruža uslugama pristup mrežnoj funkcionalnosti putem standardnog aplikacijskog programske sučelje
- IP Multimedia - Service Switching Function (IM SSF)
 - poslužitelj za povezivanje IMS-a s uslugama koje su bile razvijene za GSM mrežu

Upravljački sloj

- Element baze podataka - domaći pretplatnički poslužitelj HSS (Home Subscriber Server)
 - glavna baza s korisničkim podacima
- Elementi upravljanja - funkcija za upravljanje sjednicom poziva CSCF (Call Session Control Function)
 - P-CSCF (Proxy CSCF) - posrednički SIP poslužitelj
 - prva dodirna točka između terminala i IMS mreže
 - registracija i autentifikacija korisnika, uspostavlja sigurnu asocijaciju s UE, QoS, naplata
 - S-CSCF (Serving CSCF)
 - središnji upravljački čvor
 - obavlja funkcije za upravljanje sjednicom, osluškuje AS-ove koji sudjeluju u komunikaciji, usmjerava SIP poruke
 - I-CSCF (Interrogating CSCF) - upitni CSCF
 - prva točka u vlastitoj mreži, za kontakte iz gostujuće ili vanjske mreže
- Elementi sučelja s upravljačkom razinom
 - funkcija upravljanja medijskim pristupnikom MGCF (Media Gateway Control Function)
 - funkcija upravljanja pristupnikom za prebacivanje veze BGCF (Breakout Gateway Control Function)
 - signalizacijski pristupnik (SGW, Signaling Gateway)
 - IMS MGW

- Elementi resursa
 - Funkcija medijskih resursa MRF (Media Resources Function)
- Element sučelja na razini mreže - medijski pristupnik MGW (Media Gateway)

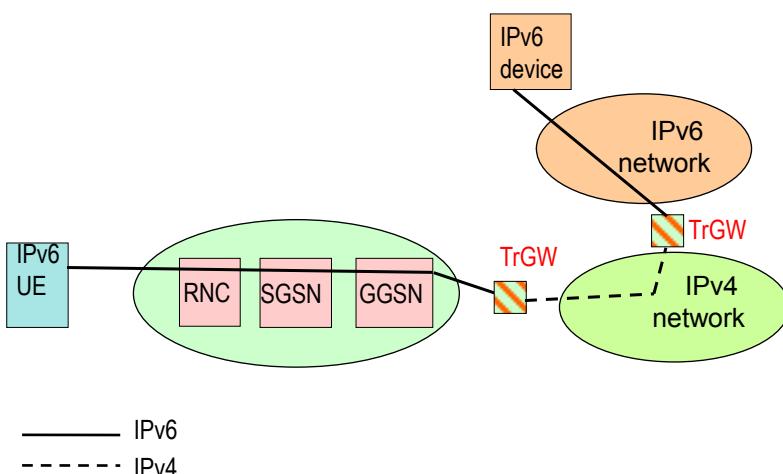
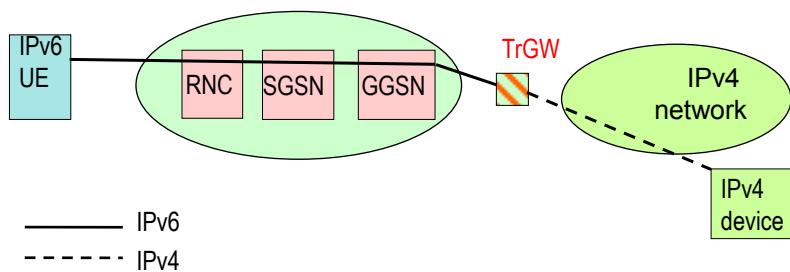
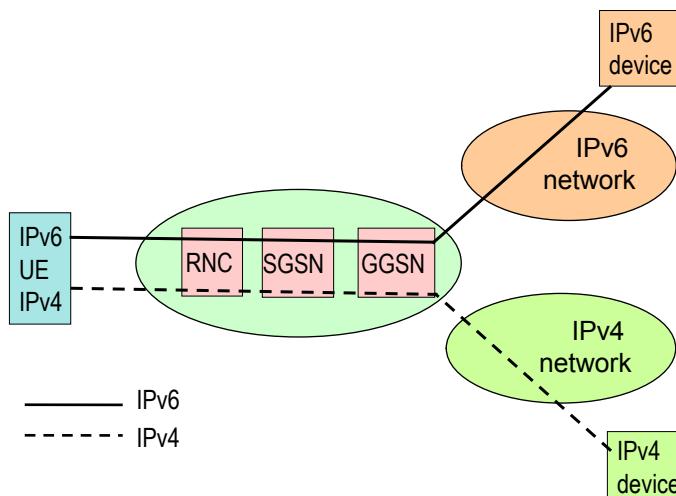
Sloj povezanosti

- UE se može povezati na IMS putem različitih pristupnih mreža temeljenih na IP protokolu

Prijelaz na IPv6 u pokretnoj mreži

- U početnoj fazi, uz IPv6 UE će podržavati i IPv4
- Transition Gateway (*TrGW*) - Vrši konverziju IPv6 paketa u IPv4 i obratno
 - Može biti implementiran u NAT-u

Međudjelovanje IPv4 i IPv6 mreža



Konvergencija mreža

All-IP koncept (R7)

- GERAN i UTRAN pristupne mreže u zajedništvu sa CS i PS domenama te IMS-om
- Veliki porast IP podatkovnog prometa
- Komutacija paketa u 3G mrežama zahtijeva daljnja proširenja

AIPN evolucija (R8)

- Uobičajena IP mreža koja osigurava upravljanje mrežom temeljeno na IP protokolu, te transport podataka temeljen na IP mreži putem različitih pristupnih mreža
 - proširenje upravljanja pokretljivosti
 - dodatne funkcionalnosti sigurnosti i privatnosti

FMC mreža

- Pristupni dio mreže
 - pokretni RAN, WiMAX/WiFi, Fixed-Line BAN
- Jezgreni dio mreže
 - različiti autentifikacijski mehanizmi
 - različiti zahtjevi QoS
 - nema definiranih standarda
 - cijena, složenost

13. predavanje - Pokretni virtualni mrežni operator, Tržišni aspekt pokretne mreže

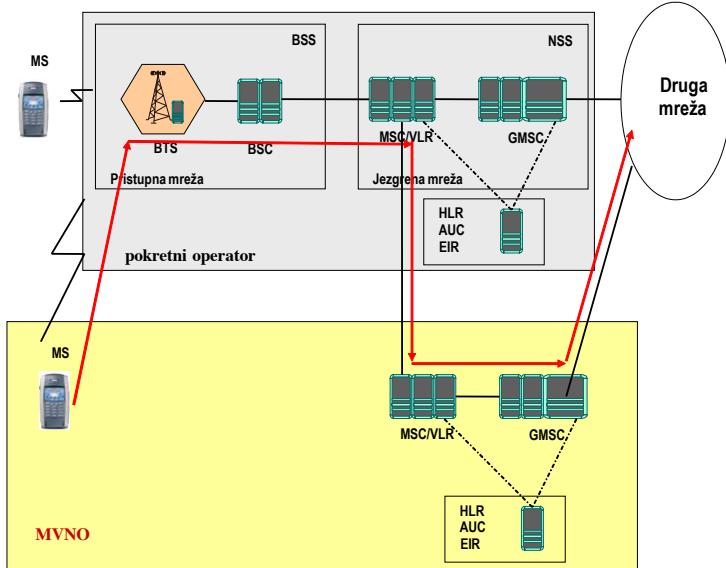
Pokretni virtualni mrežni operator - MVNO

- Nudi pokretne usluge korisnicima
 - ne posjeduje koncesiju frekvencijskog spektra
 - ne posjeduje vlastitu infrastrukturu
 - mrežnim operatorima plaća korištenje njihove pokretne mreže
- Prednosti:
 - minimalno ulaganje
 - konkurentnost
- Nedostaci:
 - nude osnovne usluge na teritorijalno ograničenom području
 - ne nude roaming i posebne ponude i pogodnosti

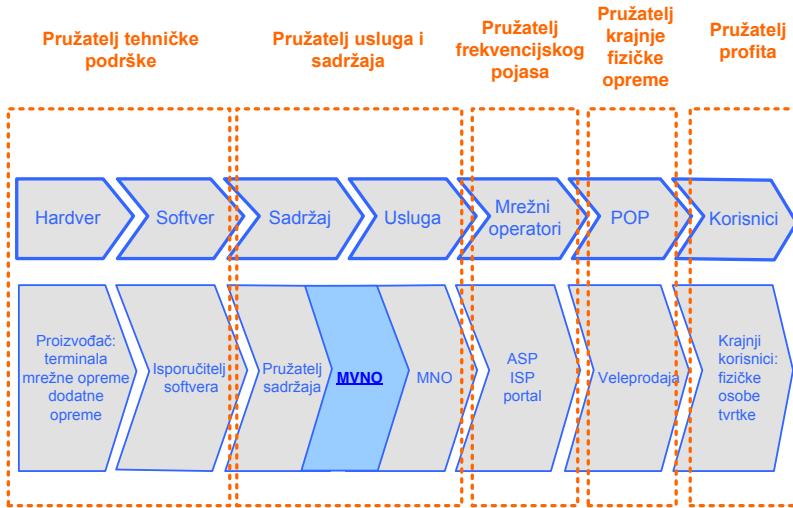
Četiri kategorije MVNO-a

- **MVNO tip 1**
 - u potpunosti preuzima mrežnu infrastrukturu od svog operadora
 - pruža osnovne usluge
 - nizak trošak ulaganja, mali rizik poslovanja
- **MVNO tip 2**
 - posjeduje određene čvorove pokretne mreže (HLR)
 - vlastite SIM kartice za korisnike
 - nudi neke dodatne usluge
- **MVNO tip 3**
 - posjeduje djelomično vlastitu infrastrukturu (HLR, MSC)
 - nudi niz dodatnih naprednih usluga
 - vlastita podrška za inteligentnu mrežu
 - vlastite usluge
- **MVNO tip 4**
 - posjeduje vlastitu infrastrukturu (HLR, MSC, GMSC)
 - podržava vlastito usmjeravanje prometa (vlastiti GMSC)

Prometni tokovi - pokretni operator i MVNO-a tip 4



Lanac vrijednosti u pokretnoj mreži



Pokretni virtualni mrežni omogućitelji - MVNE

- Nema izravan kontakt s korisnicima
- nudi tehničku infrastrukturu
- usluge naplate
- administracija
- podrška za bazne postaje
- niz pokretnih usluga

Primjeri MVNO-a

- Automobilska tvrtka
 - pokretni terminali u automobilima
 - nudi određene usluge zanimljive u automobilu tijekom vožnje
- Aviokompanija
 - u svojim prostorima povoljnije nudi svoje usluge

Tržišni aspekti pokretne mreže

Pokazatelji rasprostranjenosti mreža i usluga

- Telekomunikacijski pokazatelji (metodologija ITU-T)
 - broj preplatnika čelijske mreže
 - omjer na 100 stanovnika (gustoća)
 - postotak digitalnih korisnika
 - broj preplatnika s plaćanjem unaprijed (prepaid)
 - prekrivenost stanovništva signalom
 - postotak pokretnih u odnosu na ukupni broj telefonskih preplatnika
- Mreža 3G
 - najrasprostranjenija pokretna mreža
- Govorna usluga - dominantna
- Podatkovne usluge
 - SMS najveći udjel
- Postotak digitalnih korisnika - 100%
- Analiza preplatnika prema načinu plaćanja
 - prevladava pre-paid, ali opada
- Pokrivenost stanovništva signalom
 - razlikuje se za 2G, 3G i 4G mrežu

Broj preplatnika i penetracija

- Gustoća 124,2% (listopad 2010.)
- +2,3% u odnosu na prethodnu godinu
- Pokretne mreže pokrivaju 95% stanovništva u EU (2010.)

Broj preplatnika i penetracija (HR)

- Podaci za prosinac 2010.: 6362106 preplatnika pokretne mreže
- Gustoća korisnika: 143.45%

Broj operatora

- Operator pokretne mreže
 - ukupni broj 3G i 4G operatora veći od broja 2G operatora
- Davatelj pokretne usluge (mobile service provider)
 - tvrtke autorizirane za pružanje pokretnih usluga pod svojim vlastitim nazivom/brandom uz uporabu mreže nekog operatora pokretne mreže
 - stalni porast broja davalaca pokretnih usluga
- Većina koncesija za 2G i 3G
- Najčešće 2-4 operatora po državi

Pokazatelji prodornosti novih tehnologija

- 3G mreže i usluge
 - Svi 3G operatori podržavaju HSDPA tehnologiju
 - Uvođenje LTE

Košara pokretnih usluga - *Mobile Basket*

- Košara uključuje fiksne i varijabilne troškove po preplatniku u razdoblju od jedne godine, pri čemu se, na temelju prosječnih uzoraka uporabe, definiraju pojedini udjeli
- *OECD* (Organisation for Economic Co-operation and Development) propisuje tri košare:
 - 1) Košara malog korisnika (Low user basket)
 - 2) Košara srednjeg korisnika (Medium user basket)

3) Košara velikog korisnika (High user basket)

• Košare se razlikuju prema sljedećim parametrima:

- broj odlaznih poziva, SMS i MMS poruka (mjesečno)
- udio poziva prema vrsti odredišta
- postotku poziva prema tarifi vezanoj za vrijeme korištenja
- trajanje poziva u minutama

PETRIJEVA MREŽA

Obilježja Petrijeve mreže:

DOSTUPNOST → Ako je μ' stanje neposredno dostupno iz μ , a μ'' iz μ' , tada je μ'' dostupno iz μ ; Može se definirati i za podskup mesta, i za odabrani skup stanja.

OGRANIČENOST → MAX broj oznaka u mjestu mreže. ; Petrijeva mreža je k-ograničena ako su sva mesta u mreži najmanje k-ograničena.

SIGURNOST → Broj oznaka u svakome mjestu ne smije biti veći od 1, tj. svaki uvjet može biti samo ispunjen ili neispunjen. ; Petrijeva mreža je sigurna ako su sva mesta u njoj sigurna (znači ako je mreža 1-ograničena).

AKTIVNOST → Mogućnost izvedbe prijelaza; Aktivna mreža isključuje mogućnost postojanja prijelaza koji se nikad ne izvodi ili stanja u kojemu se ne može izvesti nijedan prijelaz. Petrijeva je mreža i-aktivna ako su svi prijelazi aktivni na razini i. Mreža (prijelaz) je neaktivna ako je razine 0, a aktivna ako je razine 4!

REVERZIBILNOST → Mreža je reverzibilna ako se iz svakog stanja $\mu' \in R(M)$ može vratiti u početno stanje μ , odnosno ako je početno stanje dostupno iz svakog stanja.

PREKRIVANJE → Stanja za koja vrijedi $\mu'' \geq \mu'$ → da li za mrežu C s početnim stanjem μ i stanje μ' postoji stanje $\mu'' \in R(C, \mu)$ t.d. $\mu'' \geq \mu'?$; Prekrivanje zahtijeva najmanje 1-aktivnu mrežu (potencijalno izvedive prijelaze).

KONVERZACIJA TOKA → broj ulaza i izlaza za svaki prijelaz mora biti jednak! ; Petrijeva mreža s početnim stanjem μ je strogo konzervacijska ako za svaki $\mu' \in R(M)$ vrijedi: $\sum \mu'(pi) = \sum \mu(pi)$; Mreža koja nije strogo konzervacijska može se pretvoriti u takvu mrežu izjednačavanjem broja ulaznih i izlaznih grana za svaki prijelaz (dodavanje paralelnih grana).

KONFLIKTNOST PRIJELAZA → Prijelazi ti i tj su konfliktni ako i samo ako postoji stanje μ u kojemu se oni mogu izvesti, ali izvedba jednoga isključuje izvedbu drugoga: $\mu(pk) < \#(pk, I(ti)) + \#(pk, I(tj))$, za neki pk $\in P$.

SIMULTANOST PRIJELAZA → Prijelazi ti i tj su simultani ako postoji stanje μ u kojemu se oni mogu izvesti, a izvedba jednoga ne utječe na izvedbu drugoga: $\mu(pk) \geq \#(pk, I(ti)) + \#(pk, I(tj))$, za svaki pk $\in P$.

PERZISTENTNOST → mreža je perzistentna ako prijelaz koji se može izvesti gubi uvjete samo vlastitom izvedbom. ; Imala značenje odsutnosti konfliktova u procesu izvedbe mreže → **AKO MREŽA IMA KONFLIKTE, ONDA NIJE PERZISTENTNA MREŽA!**

SINKRONIČNA DISTANCA → Stupanj usklađenosti dvaju prijelaza ti i tj u M ; odgovara razlici broja izvedbi prijelaza u slijedu σ: $dij = \max \sigma(\#o(ti) - \#o(tj))$

Struktura ograničenja mreže:

- **Ordinarna Petrijeva mreža** → ako vrijedi $\#(pi, I(tj)) \leq 1$ i $\#(pi, O(tj)) \leq 1$ → isključeno višestruko povezivanje mesta i prijelaza

- **Bez vlastitih petlji** → ako vrijedi $I(tj) \cap O(tj) = \emptyset$ → ne može biti i ulazno i izlazno za isti prijelaz

- **Automat stanja** → mreža za koju svaki prijelaz ima samo jedno ulazno i izlazno mjesto: $|I(tj)| = 1$ i $|O(tj)| = 1$

- **Označeni graf** → mreža za koju svako mjesto ima samo jedan ulazni i izlazni prijelaz: $|I(pi)| = 1$ i $|O(pi)| = 1$

- **Mreža slobodnog izbora** → ako je svako mjesto pi za svaki prijelaz tj ili jedino ulazno mjesto ili je prijelaz tj jedini izlazni prijelaz za to mjesto: $I(tj) = pi$ ili $O(pi) = tj$

- **Jednostavna mreža** → ako je svakom prijelazu najviše jedno ulazno mjesto zajedničko s nekim drugim prijelazom

7. - mrežni protokol IPv6

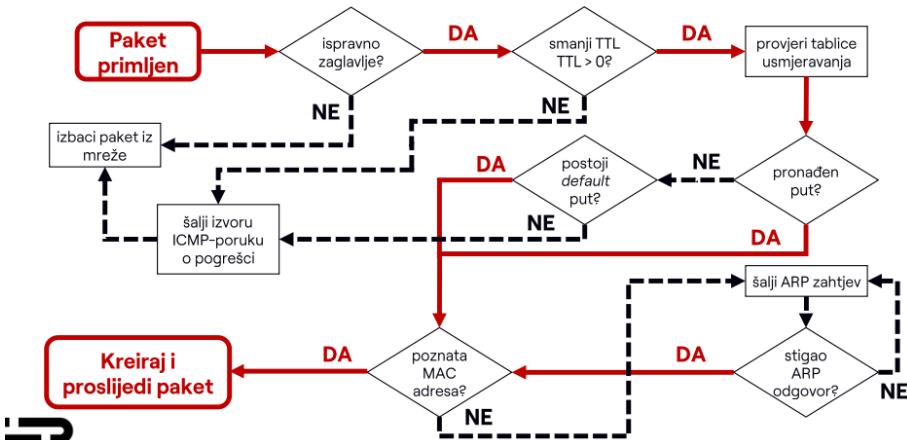
Mrežni sloj

- zadaća: dostaviti pakete od izvorišnog krajnjeg čvora do odredišnog krajnjeg čvora izravno ili preko niza međučvorova
- 2 vrste usluge mrežnog sloja: **spojna i nespojna** (mrežni sloj u Internetu i IP-mrežama)
- 2 izvedbe usmjeravanja u mrežama s komutacijom paketa: **virtualni kanal i datagramski** (mrežni sloj u Internetu i IP-mrežama)

IPv4

- Značajke: neovisan o nižim protokolima, **datagramski način rada**, **nespojna usluga** bez potvrde, **nema mehanizama kontrole toka**, **nema jamstva očuvanja redoslijeda datagrama**, gubitak paketa zbog greške na poveznici ili zagušenja u čvoru, poremećen redoslijed paketa, veće kašnjenje u slučaju retransmisije s kraja na kraj, pošiljatelj nema povratnu informaciju
- Uloga u protokolnom složaju TCP/IP: **OMATANJE** → IP prihvata podatke od višeg sloja, stavlja ih u podatkovno polje IP datagrama, te ih isporučuje protokolu nižeg sloja (sloj podatkovne poveznice, npr. Ethernet) → **polja IPv4 zaglavljiva vezana uz omatanje**: duljina zaglavlja, ukupna duljina datagrama, oznaka višeg protokola (najčešće TCP ili UDP), podaci višeg sloja/ protokola (najčešće TCP ili UDP).
- Funkcionalnost: 1) definira **shemu adresiranja** u Internetu (jedinstveni adresni prostor, svaki sustav ima po jednu IP-adresu za svako mrežno sučelje, krajnje računalo može koristiti više posebnih adresa)
2) definira **provedbu fragmentacije** (ako je datagram veći od podatkovnog polja okvira sloja podatkovne poveznice)
- IP-adresiranje: - IP adresa 32 bita: identifikator koji globalno i jednoznačno određuje mrežno sučelje (**DVA DIJELA**: identifikator mreže – NetID + identifikator krajnjeg računala – HostID)
- Rezervirane i zauzete adrese:
 - a) **Povratna adresa (loopback)**: koristi se za testiranje izvedbe TCP/IP (najčešće 127.0.0.1) ; datagram se ne predaje dalje sloju podatkovne poveznice, već se vraća unatrag u mrežnom sloju
 - b) **Razašiljanje svima (broadcast)**: 255.255.255.255 ; sva računala u lokalnoj mreži primaju
 - c) **Identifikacija vlastite mreže**: 0.0.0.0/8
- Prefiksni prikaz - besklasno adresiranje: ne uzima u obzir klase adresa, već putevi usmjeravanja idu prema mrežnom prefiksu iza adrese (mrežni prefiks označava koliko bitova zauzima mrežni dio adrese)
- Fragmentacija: provodi **usmjeritelj** ; datagram mora stati u podatkovno polje okvira sloja podatkovne poveznice (MTU) → ako ne stane, fragmentira se kod pošiljatelja na izvoru, a fragmenti se sastavljaju u originalni datagram kod primatelja na odredištu
 - **mane**: ako se izgubi jedan fragment, propada cijeli datagram, više kontrolnih podataka za istu korisnu informaciju
 - **zastavice**: R = rezervirano ; DF = don't fragment ; MF = more fragments
- Usmjeravanje: ako su čvorovi u istoj (pod)mreži, onda komuniciraju direktno, a u suprotnom preko usmjeritelja → **polja IPv4 zaglavljiva vezana uz usmjeravanje**: TTL, zaštitna suma zaglavlja, izvorišna IP adresa, odredišna IP adresa

Proces usmjeravanja IPv4-paketa u usmjeritelju



- ICMP protokol: služi za **dijagnostiku** za IP protokol, definira mehanizam kojim se prenose dvije vrste kontrolnih poruka: 1) dojave o grešci i 2) zahtjevi za informacijom
- Ograničenja IPv4: broj raspoloživih adresa je postao premalen (32-bitne adrese), prevelike tablice usmjeravanja, problemi upravljanja mrežom, nedovoljni sigurnosni mehanizmi na mrežnom sloju, nedovoljni mehanizmi pokretljivosti na mrežnom sloju, slaba potpora za prijenos podataka u stvarnom vremenu

IPv6

- **Poboljšanja:** 128-bitne adrese, fiksna duljina zaglavlja (40 okteta), unaprijeđeno usmjeravanje, označavanje tokova (paketa koji pripadaju istom toku), provjera autentičnosti, zaštita privatnosti, integritet podataka, povjerljivost, bolja potpora za pokretljivost (Mobile IPv6)

IPv6 zaglavje slj. zag. = dod. zag.	Dodatno zaglavje slj. zag. = TCP	TCP zaglavje	podaci
---	--	-----------------	--------

- **Dodatna zaglavja u IPv6 datagramu:** 1. zaglavje IPv6 (obvezno!), 2. zaglavje skok po skok, 3. zaglavje namijenjeno odredištu (1), 4. zaglavje usmjeravanja, 5. zaglavje fragmenta, 6. zaglavje za provjeru autentičnosti, 7. zaglavje za sigurnosno ovijanje podataka, 8. zaglavje namijenjeno odredištu (2), zaglavje transportnog sloja
- **2. zaglavje skok po skok:** varijabilne duljine ; sadrži info namijenjenu svakom čvoru na putu dostave datagrama ; sadrži info o duljini zaglavla, koje je sljedeće zaglavje, te akciju koju treba poduzeti čvor
- **3. i 8. zaglavje namijenjeno odredištu:** definicija ista kao i za skok po skok ; primjena: Mobile IPv6 ; (1) → sadrži dodatnu info za prvi sljedeći čvor i za sve ostale čvorove koje sadrži zaglavje usmjeravanja, a koji se smatraju odredištim ; (2) → sadrži dodatnu info samo za krajnje odredište
- **4. zaglavje usmjeravanja:** sadrži podatke o veličini zaglavla, sljedećem zaglavju, vrsti usmjeravanja, te popis čvorova koje datagram treba proći na putu od izvora do odredišta
- **5. zaglavje fragmenta:** fiksna duljina ; sadrži podatke o sljedećem zaglavju, polje koje pokazuje kojem dijelu originalnog paketa pripada taj fragment, bit MF koji prikazuje da li ima još fragmenata ili je to zadnji (0 - zadnji, 1 - ima ih još), identifikacijski dio koji sadrži adresu izvorišta i odredišta

→ **IPsec** = definira protokole čija zadaća je prijenos podataka pri čemu se podaci tijekom prijenosa mogu štititi na 2 načina: AH i ESP

- **6. zaglavje za provjeru autentičnosti (AH):** jamči identitet pošiljatelja (da je primljeni datagram poslan s izvorišne IP-adrese), te da poruka nije mijenjana u prijenosu kroz mrežu
- **7. zaglavje za sigurnosno ovijanje podataka (ESP):** šifriranjem osigurava privatnost podataka (da podaci nisu bili čitani) i integritet datograma (da podaci nisu bili mijenjani) ; mehanizmi zaštite (šifriranje i dešifriranje): **a) transport-mode** → nad podacima transportnog sloja i **b) tunel-mode** → nad cijelim izvornim IP paketom ; na odredištu se provodi dešifriranje na temelju ESP zaglavla, pa samo legitimni pošiljatelj može pročitati ; ako se radi tunel-mode mora se dodati dodatno IP zaglavje kako bi usmjeritelj mogao procesirati paket

- **Zapis adresa IPv4 - IPv6:** **IPv4** → 4 grupe po 8 binarnih znamenaka zapisanih dekadski (161.53.19.201) ; **IPv6** → 8 grupa po 4 hex znamenke, odvojeno dvotočkama ; **IPv4 u IPv6** → jedan niz nula zamijenimo s dvije dvotočke (::), eventualno dekadski promijenimo u hex. (::A135:13C9 ili ::161.53.19.201)

- **Vrste IPv6 adresa:**
 - 1) Unicast** → jednoodredišna (adresira jedno sučelje računala / čvora) ; **a) globalne** = u javnom internetu , **b) lokalne na razini organizacije** (za organizacije koje nisu fizički spojene na internet, a koriste TCP/IP), **c) lokalne na razini podatkovne poveznice** (izvode se iz MAC adrese dodavanjem prefiksa FE80::/10), d) posebne (unspecified = 0:0:0:0:0:0:0:0 ili ::, loopback = ::1)
 - 2) Multicast** → višeodredišna adresa (slanje svim sučeljima unutar grupe definirane adresom Group ID)
 - 3) Anycast** → adresa više sučelja, dostava najbližem sučelju iz adresirane grupe sučelja

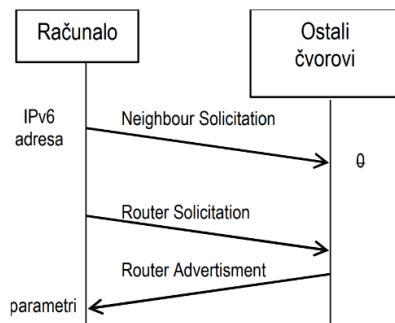
- **Dodjela IPv6 adrese:** autokonfiguracija = stvaranje lokalne adrese na razini poveznice i provjera njene jedinstvenosti

- **dva mehanizma autokonfiguracije:**

- a) autokonfig. bez poslužitelja (**stateless**) → u mrežama bez poslužitelja DHCPv6, primjena upravljačkog protokola NDP
- b) autokonfig. sa poslužiteljem (**statefull**) → primjena upravljačkog protokola DHCPv6

- Upravljački protokoli za IPv6: ICMPv6, NDP, MLD, DHCPv6

* **ICMPv6**: proširuje funkcionalnost ICMPv4 (dojava pogreška i dijagnostika), prenosi poruke za protokole NDP i MLD



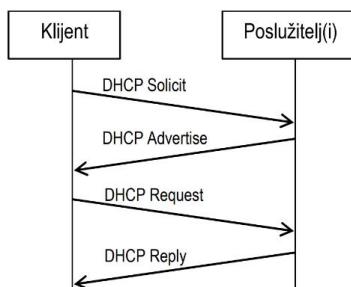
- vrste poruka: o pogrešci, IPv6 ping, za samokonfiguraciju (NDP), za otkrivanje susjeda (**Router Solicitation**, **Router Advertisement**, **Neighbor Solicitation**, **Neighbor Advertisement**, **Redirect**)

* **NDP**: funkcije: a) za sve čvorove: razlučivanje adrese (IP-adresa – MAC-adresa), otkrivanje duplicitne adrese, provjera dostupnosti susjednog čvora i određivanje sljedećeg skoka ;

b) za računala: otkrivanje najbližeg usmjeritelja na svojoj lokalnoj poveznici, otkrivanje mrežnog prefiksa i parametara, autokonfig. adrese, preusmjeravanje (usmjeritelj informira računalo o boljem putu do odredišta) ;
c) za usmjeritelje: oglašavanje prisutnosti

* **MLD**: zamjenjuje i proširuje IGMP za IPv4

* **DHCPv6**: autokonfig. adrese pomoću poslužitelja, dinamički dodjeljuje IPv6 adresu i pruža druge konfiguracijske info, omogućuje klijentu dobivanje parametara od poslužitelja, transport poruka između klijenta i poslužitelja se vrši preko UDP protokola, zasniva se na dvije mogućnosti IPV6 (lokalna adresa na razini poveznice koju formira samo računalo & višeodredišno adresiranje DHCPv6 poslužitelja i njihovih posrednika)



- vrste poruka: **DHCP Solicit**, **DHCP Advertise**, **DHCP Request**, **DHCP Reply**, **DHCP Release**, **DHCP Reconfigure**

Verzija	IHL	Tip usluge (TOS)	Ukupna duljina datagrama
Identifikacija		Zast.	Oznaka mesta fragmenta
TTL		Oznaka protokola višeg sloja	Zaštitna suma zaglavljva
Izvođačna adresa (32 bit)			
Odredišna adresa (32 bit)			
Opcije		Nadopuna	

Duljina zaglavljva: bez opcija 20 okteta; s opcijama max. 60 okteta

Verzija	Prometna klasa	Oznaka toka	
Duljina podatkovnog polja		Slijedeće zaglavljve	
Izvođačna adresa (128 bita)			
Odredišna adresa (128 bita)			

Fiksno 40 okteta

Značenje boja na slikama:

- [Light Blue] naziv polja isti u IPv4 i IPv6
- [Yellow] polje izbačeno u IPv6
- [Dark Blue] promjena imena i pozicije polja u IPv6
- [Light Green] novo polje u IPv6

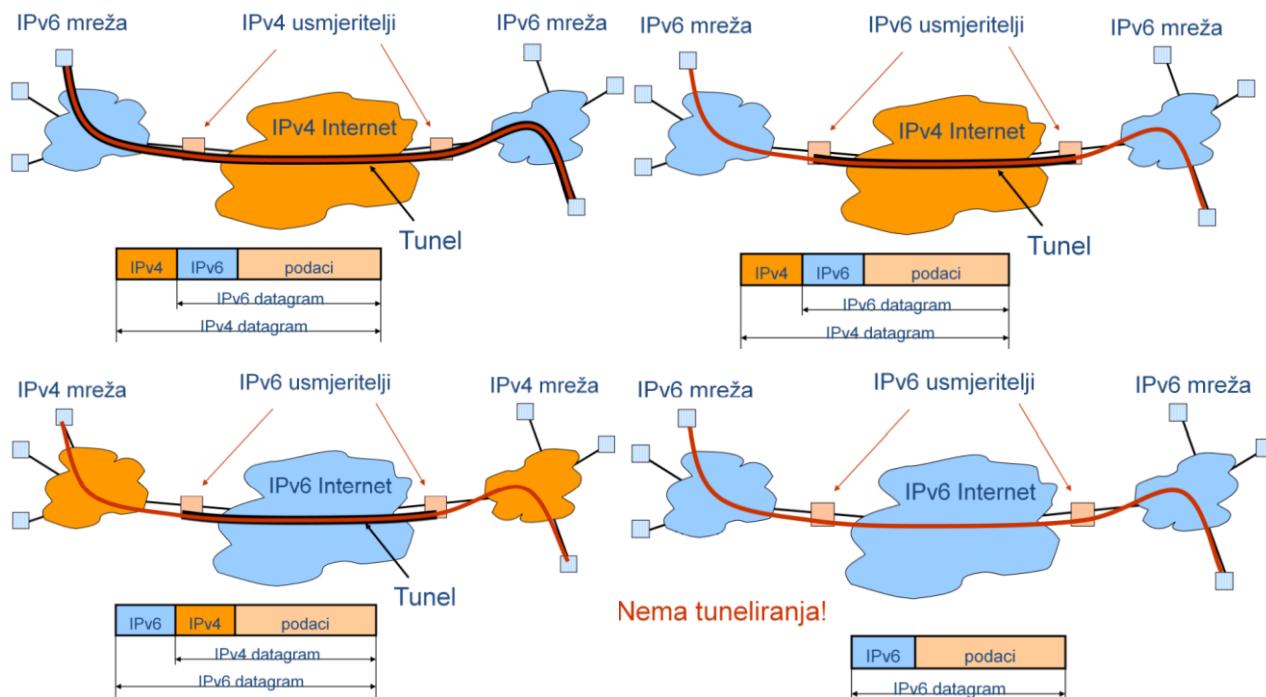
8. – Uvođenje IPv6 u mrežu, Pokretljivost u IP mreži

Prelazak na IPv6

- komunikacija čvorova preko IPv4 infrastrukture, IPv6 infrastrukture ili njihove kombinacije → tuneliranje datagrama
- DNS (sustav imenovanja domena): A (zаписи за pretvorbu simboličko ime → IPv4 adresa), AAA (записи за pretvorbu simboličko име → IPv6 adresa), PTR (записи за pretvorbu IPv4 adresu → simboličko име), PTR (записи за pretvorbu IPv6 adresu → simboličko име)

• Postizanje kompatibilnosti IPv4 – IPv6:

- a) **dvostruki IP sloj** (IPv6/IPv4 čvor = IPv6 čvor koji sadrži i izvedbu IPv4 protokola za kompatibilnost unatrag)
- b) **tuneliranje (router to router)** → tunel se nalazi na unutarnjem segmentu puta paketa ; **host to router** → tunel se nalazi na početnom segmentu puta paketa sve do tog usmjeritelja, **router to host** → tunel se nalazi na završnom segmentu puta paketa ; **host to host** → tunel se prostire kroz cijeli put paketa od izvora do odredišta
- c) **prevodenje protokola**



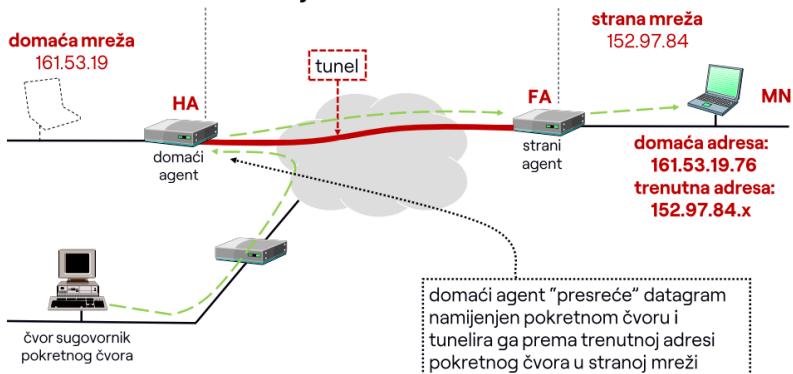
Pokretljivost u IP mreži

- Zahtjevi na pokretljivost u Internetu → pokretni čvor mora moći: komunicirati s drugim čvorovima nakon promjene točke priključka, komunicirati uporabom svoje stalne IP-adrese neovisno o trenutnoj točki priključka na Internet, komunicirati s drugim čvorovima koji nemaju uvedene funkcije pokretljivosti
- „Klasični“ IP vs. **Pokretni IP**: **klasični IP** → pokretni korisnik/čvor zahtjevao bi promjenu IP-adrese s posljedicama na transport i aplikacije ; **pokretni IP** → zadržati stalnu IP-adresu, uvođenje novih funkcionalnih entiteta i trenutne adrese, ne mijenjati programsku podršku u usmjeriteljima

Mobile IPv4

- Adrese:
 - a) **domaća adresa** (IP-adresa se ne mijenja prilikom kretanja čvora, izvorišna adresa datagrama koje šalje pokretni čvor)
 - b) **trenutna adresa** (IP adresa privremeno pridružena sučelju pokretnog čvora na stranom linku, mijenja se pri promjeni točke priključka, odredišna adresa za datagrame koje prima pokretni čvor, njen mrežni prefiks mora odgovarati mrežnom prefiksu stranog linka i može ju koristiti više pokretnih čvorova istovremeno)
- Funkcionalni entiteti:
 - 1) **MN - pokretni čvor** (mijenja točku priključka s jednog linka na drugi i pritom koristi svoju domaću adresu)
 - 2) **HA - domaći agent** (usmjeritelj sa sučeljem na domaćem linku MN-a, MN ga obavještava o svojoj trenutnoj točki priključka/IP adresi, omogućuje usmjeravanje prema domaćoj adresi MN-a, preusmjerava datagrame poslane na domaću adresu MN-a prema njegovoj trenutnoj adresi)
 - 3) **FA - strani agent** (usmjeritelj na linku gdje je MN povezan na trenutnu točku priključka, javlja HA-u trenutnu adresu MN-a, usmjerava datagrame ka/od MN-a)
 - 4) **CN - čvor sugovornik**

Mobile IP – tuneliranje do strane mreže



- Procedure MN-a:

- 1) **otkrivanje agenta** (čvor utvrđuje je li spojen na domaći ili strani link, je li promijenio link i dobiva trenutnu adresu)

- Poruke (ICMP): → AA (Oglasavanje agenta): usmjeritelj periodički šalje AA poruke na linkove gdje može služiti kao HA ili FA
→ AS (Traženje agenta): pokretni čvor odašilje AS poruke jer želi potaknuti usmjeritelja na AA
- Utvrđivanje promjene poveznice: MN može pretpostaviti da je promijenio poveznicu (link) ako u vremenu određenom Lifetime poljem ne dobije AA od stranog agenta koji ga je do tad posluživao, ili ako usporedbom mrežnog prefiksa (polja Router Address i Prefix) drugog AA sa svojim shvati da je promijenio link
→ dva slučaja pri promjeni agenta: 1) novi agent ima isti mrežni prefiks (na istom je linku) kao i stari → ne treba ponovna registracija ; 2) novi agent ima drugi mrežni prefiks (drugi link) → ponovna registracija

- 2) **registracija:**

- REG REQ → MN šalje registracijski zahtjev s trenutnom adresom preko FA do HA
- REG REP → HA prima/odbija registraciju i šalje registracijski odgovor MN-u preko FA
- registracija moguća i bez FA, pomoću DHCP-a
- registracijske poruke se štite sa postupkom Mobile-Home Authentication (jamči se autentičnost i integritet)

- 3) **deregistracija:**

- de-REG REQ → MN se prijavljuje HA pri povratku u domaću mrežu i time odregistruje trenutnu adresu
- de-REG REP → HA potvrđuje deregistraciju

- Slanje datagrama na MN: HA presreće datagrame upućene na domaću adresu MN-a i tunelira ih do FA, zatim FA vadi izvorene datagrame iz tuneliranih i isporučuje ih MN-u

- Slanje datagrama s MN: preko FA direktno na CN

- Problem trokutastog usmjeravanja: najviše dolazi do izražaja kada su MN i CN blizu, a daleko od HA ; bolje rješenje bi bilo direktno tuneliranje MN-CN, ali se ne primjenjuje u IPv4 (u IPv6 je riješeno)

Mobile IPv6

- Razlike u odnosu na Mobile IPv4: adresiranje, nema FA (umjesto njega je IPv6 usmjeritelj), anycast adresiranje olakšano je komunikacijom s točno jednim HA, optimizacija puta (rješenje za trokutasto usmjeravanje), zaštita podataka u IPv6 (IPsec)
- dodatna zaglavljiva: zaglavje pokretljivosti (registracija i optimizacija usmjeravanja), zaglavje usmjeravanja (izravno usmjeravanje CN-MN), zaglavje namijenjeno odredištu (dojava stalne adrese MN-a)
- Način rada Mobile IPv6:
 - 1) MN otkriva promjenu točke priključka/poveznice – nalazi se u stranoj mreži
 - 2) MN autokonfigurira trenutnu adresu u stranoj mreži
 - 3) MN postupkom povezivanja registrira trenutnu adresu kod HA porukama u dodatnoj zaglavljivoosti
 - 5) ako CN nema podršku za mobilni IPv6, onda se uspostavlja dvosmjerni tunel između MN i CN; u suprotnom se pokreće optimizacija usmjeravanja
 - 6) paketi između HA i MN su zaštićeni sa IPsec
- Susjed se otkriva pomoću protokola NDP → usmjeritelj periodički šalje poruku **Router Advertisement**, pokretni čvor ih osluškuje → ako unutar **Lifetime** vremena ne primi Router Advertisement od default usmjeritelja, pokretni čvor prepostavlja da je promijenio poveznicu i prelazi na autokonfig. i registraciju trenutne adrese
 - **Autokonfiguracija** → (statefull, stateless), nova adresa koristi se kao trenutna adresa
 - **Registracija** → pokretni čvor registrira novu adresu kao trenutnu kod HA + preko zaglavja pokretljivosti se prenose Binding poruke (**Binding Update** = MN registrira trenutnu adresu kod domaćeg agenta ; **Binding Acknowledgement** = HA potvrđuje primljeni Binding Update ; **Binding Refresh Request** = CN zahtijeva od MN-a Binding Update za važeću trenutnu adresu ; **Home Address** = MN šalje poruku o svojoj domaćoj adresi)
- Usmjeravanje paketa: DVOSMJERNI TUNEL NA RELACIJI:
 - 1) **CN → MN:** HA presreće pakete od CN adresirane na MN i tunelira ih prema njegovoj trenutnoj adresi
 - 2) **MN → CN:** MN tunelira pakete prema CN u suprotnom smjeru do svojeg HA koji ih dalje usmjerava do CN
- Optimizacija usmjeravanja: 1) MN šalje prema CN → pokreni test domaće/trenutne adrese: **Home Test Init/Care-of Test Init**
2) CN vraća poruke prema MN → test domaće/trenutne adrese: **Home Test/Care-of Test** ; sad mogu usmjeravati izravno, koristeći zaglavje pokretljivosti
→ po završenoj izmjeni poruka, MN šalje CN-u **Binding Update** sa svojom trenutnom adresom → CN usmjerava pakete prema MN IZRAVNO, koristeći zaglavje usmjeravanja koje sadrži domaću adresu od MN → MN zamjenjuje u zaglavju datagrama u polju "Odredišna adresa" trenutnu adresu s domaćom
- Zaštita podataka: jamči se autentičnost, integritet i tajnost ; IPsec: AH i ESP zaglavljiva
- Mobile IPv4 vs. Mobile IPv6:

Mobile IPv4	Mobile IPv6
pokretni čvor, domaća poveznica, domaći agent, strana poveznica	(isto)
domaća adresa pokretnog čvora	domaća adresa može biti globalna ili lokalna na razini poveznice
strani agent (nije definiran)	"obični" IPv6 usmjeritelj (nema više stranog agenta) čvor sugovornik
trenutna adresa dobiva se preko otkrivanja agenta, pomoću DHCP-a, ili ručnom konfiguracijom	trenutna adresa dobiva se <i>stateless</i> autokonfiguracijom, pomoću DHCP-a ili ručnom konfiguracijom
otkrivanje agenta	otkrivanje usmjeritelja
provjera autentičnosti domaćeg agenta	provjera autentičnosti domaćeg agenta i ostalih sugovornika
optimizacija puta u posebnoj specifikaciji	integrirana podrška za optimizaciju puta

9. Protokoli usmjeravanja u Internetu (RIP, OSPF, BGP)

Hijerarhija interneta (ISP = Internet Service Provider)

- Dvije vrste povezivanja: **a) peering** → uzajamno povezivanje na istoj razini ; **b) transit** → slanje prometa na višu ili nižu razinu
- Tri razine:
 - 1) Tier 1 → najviša, ISP-ovi ne plaćaju međusobnu razmjenu prometa i ne rade tranzit prometa trećih strana
 - 2) Tier 2 → tranzit i peering
 - 3) Tier 3 → isključivo plaćaju tranzit drugim ISP-ovima

Protokoli usmjeravanja

Algoritam usmjeravanja:

- **usmjeritelj** = sustav s minimalno **dva različita sučelja** u **dvije različite mreže** ; sadrži tablicu usmjeravanja
- „**puni**“ tablicu usmjeravanja i time određuje kako će se **datagram** s nekom **odredišnom** adresom usmjeriti do **sljedećeg usmjeritelja**
- **Zahtjevi:** jednostavnost, korektnost, robustnost, stabilnost, optimalnost, pravednost
- **Kriterij optimalnosti puta:** kašnjenje, udaljenost, cijena, sigurnost suck

Podjela (vrste) algoritama usmjeravanja:

- 1) **statički** (neadaptivan) → unaprijed izračunati putovi, putovi se postavljaju prilikom prvog pokretanja čvora i više se ne mijenjaju, ne uzimaju u obzir trenutno stanje
→ algoritmi: usmjeravanje najkraćim putem, preplavljivanje
- 2) **dinamički** (adaptivan) → donose odluke o usmjeravanju temeljene na mjerjenjima ili procjeni trenutnog stanja u mreži (npr. topologija, opterećenje,...)
→ algoritmi: usmjeravanje prema vektoru udaljenosti (RIP), usmjeravanje prema stanju poveznice (OSPF)

Podjela protokola usmjeravanja:

- **autonomni sustav (AS)** = skup mreža i usmjeritelja temeljenih na istim načelima pod zajedničkom upravom i politikom usmjeravanja „prema van“, tj. prema ostalim AS-ovima
- **S obzirom na područje djelovanja:** a) unutar autonomnog sustava : **iGP** → RIP, OSPF
b) između autonomnih sustava : **eGP** → BGP
- **peer** = vanjski usmjeritelj na AS-u koji koristi eBGP (povezuje različite AS-ove i izmjenjuje info/poruke o putovima s drugim AS-ovima) → komunikacija AS-ova odvija se preko BGP usmjeritelja (BGP peers ili BGP speakers)
- **Vrste AS-ova:** **stub AS** (AS s jednim izlazom, ima vezu sa samo jednim AS-om i prenosi samo lokalni promet), **multihomed AS** (povezan s više AS-ova i prenosi samo lokalni promet), **transit AS** (povezan s više AS-ova i prenosi i tranzitni i lokalni promet)
- Osnovne upravljačke informacije: izvođena adresa, odredišna adresa, TTL
- CIDR = routing bez klasa (**prednosti**: efikasnije iskorištavanje IP prostora, manje routing tablice ; **nedostatak**: veća složenost)

RIP

• Značajke: besklasno usmjeravanje, maske podmreža, ruta sljedećeg skoka, autentifikacija, multicast usmjeravanje, koristi UDP na transportnom sloju, temelji se na algoritmu vektora udaljenosti

- RIPng = proširenje za IPv6 (128-bitna adresa)
- Operacije: prilikom pokretanja šalje poruku svim susjedima tražeći njihove tablice ; svoju tabicu šalje susjednim usmjeriteljima svakih 30s ; svaku promjenu topologije (metrike) broadcasta ostalim usmjeriteljima → usmjeritelj prihvata tablicu usmjeravanja, uspoređuje podatke sa svojom i ažurira ako je potrebno ; **ako usmjeritelj u 6x30s ne dobije tablicu od susjeda, postavlja rutu na beskonačnu metriku (16), a nakon još 2x30s briše rutu**
- Ograničenja: ne uzima u obzir propusnost poveznica nego samo broj skokova (udaljenost) ; **metrika** (broj skokova) **ograničena na max 16** → neprikladno za veće mreže ; **spora konvergencija protokola** (usmjeritelj prije nego pošalje info o prekidu dobije, od tog usmjeritelja kojem treba poslati info o prekidu, info da je metrika n. Usmjeritelj će ažurirati svoju tablicu na taj n i poslati to natrag usmjeritelju. To se vrti u krug sve dok usmjeritelj ne dobije info o kraćoj ruti – ako je metrika veliki broj, proći će dugo dok mreža nauči kraći put) ; **brojanje u beskonačnost** (usmjeritelj koji prima rutu od drugog usmjeritelja ne zna jesu li on sam dio te rute. Ako je, dolazi do beskonačne petlje) ; **detekcija ispadanja poveznice** 6x30s

Rješenja za brojanje u beskonačnost:

- **split horizon** → nikad ne oglašavati rutu na usmjeritelja s kojeg je dobivena
- **split horizon with poisoned reverse** → javiti da je zanemariti tu rutu (metrika 16)
- **postaviti hold-down timer 60-12s** → u tom vremenu zanemariti bilo kakve nove informacije o ruti

Rješenje za sporu konvergenciju: triggered update → slati update čim se detektira promjena

Format poruke RIPv2

0	8	16	24	31
Tip RIP datagrama	inačica	ne koristi se		
Identifikacija protokola (2 za IPv4)	Veza s ostalim protokolima (route tag)			
IP adresa (rute koja se šalje)				
maska podmreže				
sljedeći skok				
metrika				

- Tip: 1 – zahtjev, 2 – odgovor
- Veza s ostalim usmjeravajućim protokolima IGP, EGP
- IP adresa, maska podmreže, sljedeći skok i metrika su polja koja predstavljaju tijelo paketa RIP (informacije u ruti) – route table entries (RTE)
- RTE zapisa može biti najviše 25 u jednom paketu RIP

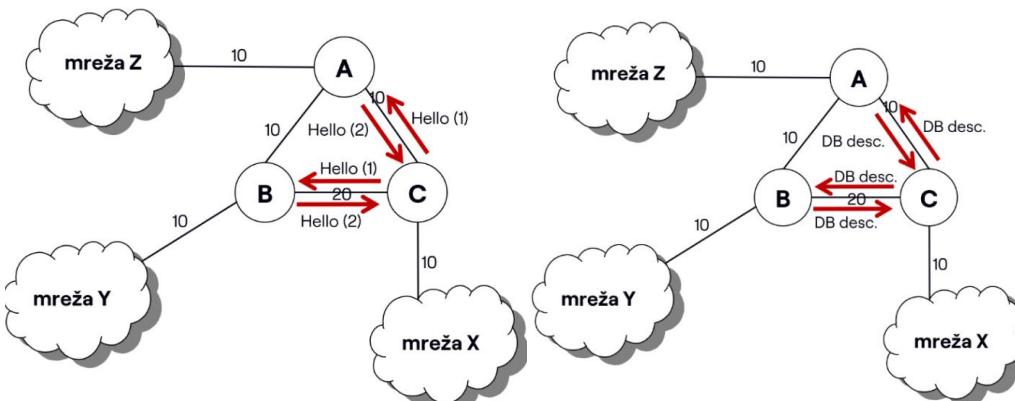
OSPF

- **Značajke:** brza konvergencija, CIDR, manji promet između routera, složeniji od RIP, stablo najkraćih putova, temelji se na algoritmu stanja poveznice

• **OSPFv3** = proširenje za IPv6 (veća adresa, IPv6 adrese se nalaze samo u paketima LSA dok ostali OSPF paketi ne sadrže IPv6 adresu, susjedni usmjeritelji se identificiraju prema broju a ne prema adresi, polja za autentifikaciju su izbačena iz OSPF zaglavlja → autentifikacija se oslanja na IPv6 AH i ESP)

• **Operacije:** otkrivanje susjeda, izbor nadležnog usmjeritelja (designated router, DR) i pomoćnog nadležnog usmjeritelja (backup designated router, BDR), sinkronizacija tablice usmjeravanja, kreiranje/održavanje tablica, oglašavanje stanja poveznica (LSA - link state advertisement), hijerarhijsko usmjeravanje (grupiranje u područja (areas) gdje svako područje ima svoj DR i BDR), kategorizacija usmjeravanja (internal, border, backbone), multipath routing (ECMP – uravnotežavanje opterećenja između ruta s istom težinom), identične info o usmjeravanju u svim routerima (routeri posjeduju potpunu sliku mreže - svaki router šalje info o stanju poveznica DR-u i BDR-u ; preplavljanje prilikom oglašavanja stanja poveznice - DR i BDR primljene info šalju svim ostalim routerima s kojima nisu direktno vezani), uzima u obzir kapacitet poveznice pri računanju costa (Dijkstrin algoritam), šalju se samo promjene u tablici, ne cijele tablice, podržava autentifikaciju, svaki usmjeritelj održava link-state database (informacije o svim routerima s kojima nisu direktno vezani)

- **Redoslijed OSPF paketa/poruka:**
 - 1- **Hello** → otkrivanje i održavanje susjednih odnosa kod usmjeritelja - šalje se svakih 10s (dobiva njihov Hello paket natrag i tako detektira susjeda), nakon 40s bez Hello paketa zaključuje prekid veze (tada prestaje oglašavati vezu i usmjerava pakete drugim putem) – **FAZA UPOZNAVANJA**
 - 2- **Database Description** → opisuje bazu podataka tijekom **inicijalne sinkronizacije**
 - 3- **Link State Request** → poruka kojom se zahtjeva stanje linka koje nema ili su noviji kod susjeda
 - 4- **Link State Update** → poruke kojima se **osvježavaju stanja linkova**
 - 5- **Link State Acknowledgement** → poruke kojima se **potvrđuje osvježeno stanje linka**



- **Sinkronizacija baza podataka:**
 - a) **Inicijalna sinkronizacija** → razmjena baza podataka (šalju se zaglavlja svih LSA-ova (serijom paketa database description), nakon toga se šalju zahtjevi svih LSA-ova kojih nema (Link State Request) i odgovori (Link State Update). Osvježeno stanje potvrđuje se s Link State Acknowledgement
 - b) **Kontinuirana sinkronizacija** → počinje kada usmjeritelj želi osvježiti neki od svojih LSA-ova, pojmom novih paketa za oglašavanje stanja linka (LSA-ova), preplavljanjem

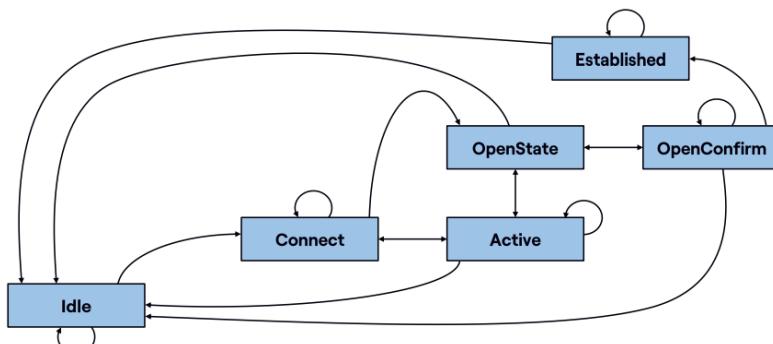
0	8	16	24	31
verzija	tip paketa	Duljina paketa		
	Oznaka (ID) izvornog OSPF usmjeritelja			
	oznaka (ID) OSPF područja			
zaštitna suma		tip autentifikacije		
		autentifikacija (64 bits)		

BGP

- Protokol usmjeravanja (jedini EGP u Internetu), Komunikacija usmjeritelja između AS-ova, Razmjena usmjerivačkih informacija između ISP-ova, te ISP-ova i većih korisnika, Koristi TCP (port 179), Ne ovisi o korištenom IGP-u unutar AS-a, **Temelji se na algoritmu vektora staza** (uzima u obzir stanje staze kao niz AS-ova na putu do odredišta)
- Značajke: Pronalazak susjednih usmjeritelja vrši se ručno (administrator mreže), Kada usmjeritelji uspostave TCP vezu razmijene cijele tablice usmjeravanja, Tablica usmjeravanja sadrži info o putu do AS-a u kojem je određena mreža
- Dva moda rada: a) unutarnji BGP (iBGP) → između usmjeritelja unutar AS-a
b) vanjski BGP (eBGP) → između usmjeritelja različitih AS-ova
- BGP operacije**
 - Dvije kategorije prometa: a) lokalni → izvor i odredište nalaze se unutar istog AS-a
b) tranzitni → izvor i odredište nisu unutar istog AS-a
 - Tranzitni usmjeritelji:** dopuštaju tranzitni promet ; Imaju potpune tablice usmjeravanja koje se mogu smanjiti CIDR-om i združivanjem staza
 - BGP staza** = slijed AS-ova koje treba proći do odredišta ; Mogući različiti putevi, različite politike usmjeravanja ; Svaku stazu obilježava skup atributa (parametara) koji definiraju politiku usmjeravanja
 - Staza se odabire na temelju:** parametara staze, dostupnosti staze, dodatnih pravila o prihvaćanju paketa (političkih, sigurnosnih), pravila o propuštanju paketa, ugovora između usmjeritelja, atributima
 - Objavljaju se porukom UPDATE**
 - BGP RIB** = baza puteva, sadrži ju svaki usmjeritelj
 - Baza RIB sadrži tri vrste popisa staza: 1) **Adj-RIBs-In** → popis neobrađenih staza koje su dobivene od susjednih usmjeritelja
2) **Loc-RIB** → popis staza s lokalnim informacijama o usmjeravanju koje su dobivene primjenom vlastitih pravila usmjeravanja i procesa odluke nad popisom neobrađenih ruta
3) **Adj-RIBs-Out** → popis staza koje se šalju susjednim usmjeriteljima porukom UPDATE
 - BGP poruke:** Veličina je od 19 (samo zaglavje) do 4096 okteta ; Polja: marker, length, type
 - Vrste BGP poruka:** 1) **OPEN** → uspostava sjednice između susjednih usmjeritelja i izmjena početnih postavki
2) **UPDATE** → razmjena informacija o stazama nakon uspostave sjednice (objava novih i ukidanje zastarjelih)
3) **KEEPALIVE** → održavanje sjednice, potvrda nakon poruke OPEN
4) **NOTIFICATION** → poruka o pogrešci i zatvaranju sjednice
 - BGP atributi staze:** nalaze se unutar poruke UPDATE, mogućavaju usmjeriteljima primjenu vlastite politike usmjeravanja
 - Obavezni parametri:** ORIGIN, AS path, Next hop
 - Izborni parametri:** Local preference, MED, Atomic Aggregate, Aggregator
 - Atribut ORIGIN** → Definira porijeklo staze, Generira ga usmjeritelj od kojeg staza potječe, polje atributa veličine 1 okteta
→ **IGP-0** = put potječe iz istog AS u kojem je usmjeritelj ; **EGP-1** = put potječe iz drugog AS-a ; **Incomplete-2** = put je doiven na nepoznat način
 - Atribut AS path** → Definira stazu kao listu AS-ova koje treba proći na putu do odredišta ; Dobro za višestruke puteve (različiti atributi za isto odredište) ; Filtriranje (zabrana prolaska paketa kroz neki AS) ; Izbjegavanje petlji ; Preferiranje neke staze
 - Atribut Next Hop** → Definira IP adresu usmjeritelja na koji prvo treba usmjeriti paket (sljedeći skok) ; Pri ažuriranju staze, atribut se modificira samo ako dolazi od peer-a eBGP vezom
 - Atribut MED** → Za odabir jednog od više puteva prema nekom AS-u ; **Manja vrijednost atributa MED = veći prioritet staze** ; Usmjeritelji daju savjete svojim susjedima kojim putem poslati pakete prema njima
 - Atribut Local Preference** → Određuje politiku usmjeravanja odlaznog prometa ; Atribut se izmjenjuje između lokalnih usmjeritelja unutar istog AS-a ; **Veća vrijednost atributa = veći prioritet staze**
 - Atribut Atomic Aggregate** → Združena staza do odredišta u svrhu reduciranja broja staza ; Vrijednost atributa je lista AS-ova ; Združena staza mora sadržavati prvu adresu koja joj pripada
 - Atribut Aggregator** → Uključen u poruke nastale združivanjem staza ; Združiti se mogu staze koje imaju iste atributte ; Usmjeritelj daje do znanja da je združio staze i zapisuje svoj AS broj i IP adresu

- Algoritam usmjeravanja: Odlučuje o **najboljoj stazi** do odredišta na temelju procesa odluke ; Nema **definiranog pravila** nego se primjenjuje politika lokalnog administratora AS-a sadržana u **PIB-u** (Policy Information Base) ; Promatraju se neobrađene staze objavljene u RIB-u

- Komunikacija protokolom BGP: može se predvići MODELOM KONAČNOG AUTOMATA



- **6 stanja:** Idle, Connect, Active, OpenState, OpenConfirm, Established

- BGP usmjeritelj se inicijalno nalazi u **stanju Idle**. U ovom stanju usmjeritelj odbija sve dolazne BGP konekcije. Kao odgovor na događaj Start, lokalni sustav inicijalizira sve BGP resurse, pokreće brojač ConnectRetry, te pokušava uspostaviti TCP vezu s konfiguiranim susjednim usmjeriteljima, i počinje slušati dolazne konekcije od udaljenih BGP usmjeritelja, te prelazi u stanje **Connect**. Ukoliko usmjeritelj otkrije pogrešku, zatvara vezu i prelazi u stanje **Idle**. U stanju **Connect** usmjeritelj čeka da se uspostavi TCP vezu s drugim usmjeriteljem. Ako je TCP vezu uspješno uspostavljena, lokalni sustav poništava brojač ConnectRetry, dovršava inicijalizaciju, šalje poruku OPEN usmjeritelju s kojim je veza uspostavljena, te prelazi u stanje **OpenState**. Ako TCP vezu nije uspostavljena, lokalni sustav resetira brojač ConnectRetry, nastavlja čekati konekcije koje može pokrenuti udaljeni BGP peer, i prelazi u stanje **Active**. Ako se dogodi događaj ConnectRetry timer expired (istek vremena brojača ConnectRetry), lokalni sustav resetira brojač ConnectRetry, pokreće uspostavu TCP veze s drugim usmjeriteljem, te nastavlja čekati konekciju koju može pokrenuti udaljeni usmjeritelj, i ostaje u stanju **Connect**. U stanju **Active** usmjeritelj se nalazi ako TCP vezu s drugim usmjeriteljem nije uspostavljena u prvom pokušaju. Usmjeritelj ponovno pokušava uspostaviti TCP vezu sa susjednim. Ako je TCP vezu uspješno uspostavljena, lokalni sustav poništava brojač ConnectRetry, dovršava inicijalizaciju, šalje poruku OPEN usmjeritelju s kojim je veza uspostavljena, postavlja svoj brojač Hold Timer na neku veliku vrijednost (predlaže se 4 minute), te prelazi u stanje **OpenState**. Ako se dogodi događaj ConnectRetry timer expired (istek vremena brojača ConnectRetry), lokalni sustav resetira brojač ConnectRetry, pokreće uspostavu TCP veze s drugim usmjeriteljem, te nastavlja čekati konekciju koju može pokrenuti udaljeni usmjeritelj, i prelazi u stanje **Connect**. Ako TCP vezu nije uspostavljena, vraća se u stanje **Idle**.

- Proces donošenja odluke o stazi na temelju atributa:

1. odaberi stazu s najvećom vrijednosti atributa **Local Preference**. Ako se staza ne može odrediti na temelju ovog kriterija, prijeđi na sljedeći korak

2. odaberi stazu koja je domaćeg porijekla (**Origin – vrijednost IGP-0**), dobivena iz vlastitog AS-a. Ako se staza ne može odrediti na temelju ovog kriterija, prijeđi na sljedeći korak

3. odaberi stazu s najkraćim atributom **AS path**. Ako se staza ne može odrediti na temelju ovog kriterija, prijeđi na sljedeći korak

4. odaberi stazu s manjom vrijednosti atributa **Origin**. Ako se staza ne može odrediti na temelju ovog kriterija, prijeđi na sljedeći korak

5. odaberi stazu s najmanjim atributom **MED**. Ako se staza ne može odrediti na temelju ovog kriterija, prijeđi na sljedeći korak

6. odaberi stazu koja je definirana **na temelju eBGP**

- Odabrani put se zatim zapisuje u tablicu usmjeravanja polazišnog usmjeritelja i izmjenjuje se s ostalim usmjeriteljima porukom UPDATE

- Ažuriranje BGP tablice usmjeravanja: Vrši se razmjenom BGP UPDATES poruka između susjednih BGP usmjeritelja ; Oglasavaju moguće staze ; Razmjenjuju se informacije o putevima (NLRI) ; Uz odredište i stazu navodi se sljedeći skok ; Ako dođe do prekida u mreži, put se briše

- Regionalni internetski registar (RIR): vrši raspodjelu brojeva AS-a i IP adresa dobivenih od IANA

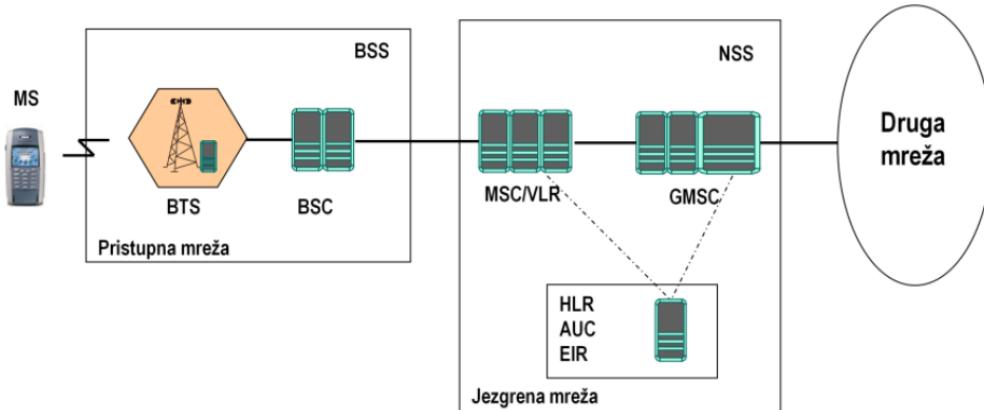
10. - Podatkovna komunikacija i protokoli u pokretnoj mreži

- **Pokretna mreža:** Javna mreža u kojoj se pristup zasniva na radijskoj komunikaciji koja omogućava pokretljivost
- Dva dijela: 1) **Jezgrena mreža** (izvodi se kao fiksna mreža) ; 2) **Pristupna mreža** (radijska pristupna mreža temeljena na sustavu celija)
- **Arhitektura pokretnе mreže:** čelijski radijski primopredajni sustav + čvorovi za povezivanje unutar pokretnе mreže i s drugim mrežama

GSM mreža (globalni sustav pokretnih mreža)

- Arhitektura GSM mreže:

- 1) **NSS (jezgrena mreža)** → **MSC/VLR** (pokretni dio) + **GMSC** (prilazni pokretni dio) + **HLR + AUC + EIR**
 - **VLR** (gostujući lokacijski registar) → uz svaki MSC ; sadrži podatke o domaćim i stranim preplatnicima koji su u LA
 - **HLR** (domaći lokacijski registar) → podaci o domaćim preplatnicima, gdje god oni bili
 - **AUC** (centar za provjeru autentičnosti) → provjera autentičnosti preplatnika
 - **EIR** (registrov identifikacijske opreme) → provjera vlasnika MS-a (pokretni postaje)
- 2) **BSS (pristupna mreža)** → **BTS** (primopredajni dio) + **BSC** (upravljački dio)
- 3) **MS (pokretna postaja)** → sastoji se od korisničkog terminala (pokretni telefon)



- Upravljanje pokretnivošću:

- **HLR** (domaći lokacijski registar) → trajni zapis preplatničkih podataka vlastitih preplatnika ; trenutna lokacija vlastitih preplatnika
- **VLR** (posjetiteljski lokacijski registar) → privremeni zapis dijela preplatničkih podataka vlastitih i tuđih preplatnika koji su u LA

- GSM protokoli po slojevima:

1) Fizički sloj

- **Kapacitet:** ograničen broj frekvencija u čeliji, izbjegavanje interferencije, uplink-downlink odvojeni 45MHz
- **Širina pojasa (bandwith):** 2 x 25 MHz
- **Prometni kontrolni kanali:** MS prihvata najjači kontrolni kanal nakon što skenira sve frekvencije

2) Sloj veze

- protokol **LAPDm** → rješenje za radio kanal, fiksne je duljine, bez zastavica na početku/kraju

3) Sloj poruka:

- Podsljovi:
 - **RR** (podsloj za upravljanje radijskim resursima) → služi za prijenos signalizacije između MS i BSS
 - **MM** (podsloj za upravljanje pokretnivošću) → služi za vezu između MS i MSC
 - **CM** (podsloj za upravljanje vezom) → služi za SMS i dodatne usluge između MS i MSC
- Dijelovi: **BSS AP** (aplikacijski dio u SS7 za GSM) ; **SCCP** (kontrolni dio za signalizaciju) ; **MTP** (dio za prijenos poruka)

- BSS procesi:

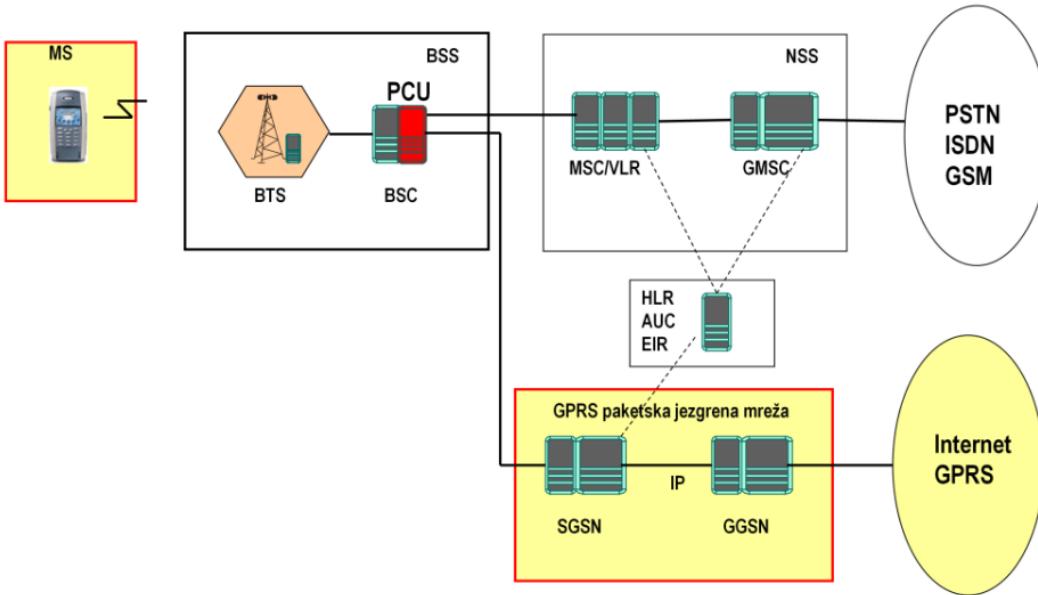
- **BSS MAP** → procedure između BSS i MSC koje zahtijevaju obradu informacija vezanih uz poziv i upravljanje radijskim resursima
- **DTAP** → transparentan prijenos informacija između MS i MSC za upravljanje pokretnivošću i vezom

→ Kod GSM-a se razdvajaju korisnička komunikacija (ide fizičkim kanalima) i upravljačka komunikacija (logičkim kanalima)

→ **GSM brzina = 14.4 kbit/s !!!!!**

GPRS mreža

- Proširenje GSM mreže ostvareno dodavanjem čvorova → Promjene: uvedena komutacija paketa, do 8 kanala iste frekvencije po jednom korisniku, BSC se proširuje s paketskom kontrolnom jedinicom (PCU), GPRS brzina do 115.2 kbit/s, naplata po prometu
- **GPRS čvorovi:** SGSN (uslužni GPRS potporni čvor - poslužuje korisnika) , GGSN (prilazni GPRS potporni čvor - povezuje korisnika s drugim podatkovnim mrežama)
- **SGSN:** usmjeravanje paketa od/prema MS unutar svojeg područja pokrivanja (RA) ; Upravlja sjednicom, pokretljivošću i logičkom vezom sa MS ; Prikuplja podatke za naplatu ; Kriptografska zaštita i provjera autentičnosti
- HLR sadrži podatke o GPRS pretplatnicima i info o usmjeravanju. Svakom pretplatniku dodjeljuje jedan ili više GGSN elemenata.
- BSC sadrži novu funkcionalnost za paketsku kontrolu kanala, paketsku kontrolnu jedinicu PCU i upravljanje pokretljivošću MM.
- **GGSN:** predstavlja sučelje prema drugim GPRS mrežama i prema vanjskim IP mrežama ; Upravlja sjednicom, pokretljivošću i logičkom vezom sa MS ; Prikuplja podatke za naplatu ; Kako bi omogućio komunikaciju s vanjskim mrežama, GGSN vrši translaciju formata podataka, signalizacijskih protokola i adresne informacije. Usmjerava promet određenom SGSN čvoru i vrši konverziju protokola. Može sadržati DNS i DHCP funkcije.



- **GPRS protokoli – kontrolna/signalizacijska ravnina:** Prenosi kontrolnu/upravljačku informaciju kojom se omogućuje paketska komunikacija ; MAC (kontrola pristupa korisnika) ; RLC (kontrola radijske veze) ; LLC (kontrola logičke veze – njom teku paketi) ; GMM (GPRS upravljanje pokretljivošću) ; SM (upravljanje sesijom) ; BSSGP (razmjenjuju se info o usmjeravanju i kvaliteti usluge - QoS) ; IP i TCP ili UDP (komunikacija između SGSN i GGSN) ; GTP (Tuneliranje paketa koji idu iz ili u vanjsku mrežu, Prijenos podataka između SGSN i GGSN, IP paketima dodaje GTP zaglavlje)

- **GPRS protokoli – korisnička/transmisijska ravnina:** SLOJ 1 (fizikalni sloj) → PDCH (jedan vremenski odsječak, mogu ga rabiti svi korisnici u čeliji) ; SLOJ 2 (kontrola i pristup mediju) → LLC (logička veza između MS i SGSN), RLC (kontrola pristupa kanalu), MAC (raspoređivanje zahtjeva za kanal) ; SLOJ 3 → SNDCP (prilagođava protokol IP radu u GPRS-u, prenosi podatke između MS i SGSN, multipleksira više konekcija mrežnog sloja u jednu logičku vezu sloja LLC)

Komunikacija u pokretnoj mreži

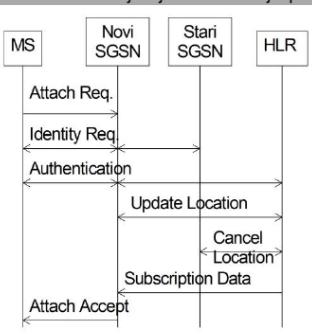
- **GSM:** kanalska komunikacija (upravljanje vezom)
- **GPRS:** paketska komunikacija (jer treba upravljati sjednicom tj. sudionicima, a ne samo vezom) → **To je ključna razlika s GSM-om!!**
- **pokretljivost:** zapis o kretanju kojim se MS pridružuje SGSN-u, u čijem je području → **MM context**
- **protokoli:** zapis o paketskom protokolu koji opisuje karakteristike veze → **PDP context**
- **radijski kanal:** podatak o fizikalnom kanalu kojim se prenose paketi na radijskom sučelju → **TBS**
- Stanja MS-a:
 - IDLE → MS je uključen, ali nije u GPRS -u
 - READY → omogućena razmjena paketa; ažuriranje čelije pri kretanju
 - STANDBY → u GPRS-u je MS, ali ne izmjenjuje pakete; ažurira se samo RA pri kretanju
- Upravljanje pokretljivošću – MM
 - 1) **Uključivanje (Attachment)** - pridruživanje sustavu ; 2) **Isključivanje (Deattach)** - izlazak iz sustava ; 3) **Ažuriranje lokacije** - ažuriranje promjene RA ili čelije (RA ima jednu ili više čelija, a obuhvaća cijeli LA ili jedan njegov dio)
 - Protokoli koji se pritom koriste: **SM, MM, LLC, RLC, MAC**

- Postupak uključivanja MS-a: MS šalje zahtjev za uključivanjem novom SGSN koji zahtjev **proslijeđuje** starom SGSN. Provjerava se autentičnost i identitet opreme i zapisuje nova lokacija u HLR. Stara lokacija se briše i novi SGSN dobiva podatke o pretplatniku, budući da se sada nalazi u njegovom području. Nakon toga novi SGSN šalje potvrdu o prihvaćanju uključivanja odnosno spajanja na GPRS mrežu.

- Postupak ažuriranja lokacije kod promjene SGSN-a: Prilikom kretanja MS mijenja područje usmjeravanja RA i tada je potrebno ažurirati lokaciju. Promjena područja usmjeravanja vrši se tako da MS SGSN-u **šalje zahtjev za ažuriranjem lokacije (RA update request)** koji sadrži oznaku ćelije i oznaku prethodne lokacije (stara RA). S obzirom da se novo područje usmjeravanja nalazi unutar različitog SGSN, u postupak ažuriranja se uključuje i GGSN. Novi SGSN šalje starom SGSN zahtjev za SGSN zapisom (**SGSN context**) i nakon toga stari SGSN briše sve informacije o dotičnom MS. Stari SGSN mora i poslati sve neisporučene podatke prema novom SGSN. Ažurira se nova lokacija u HLR (**Update Location**) i prebacuju informacije o pretplatniku novom SGSN. O promjeni moraju biti obaviješteni svi GGSN-ovi. Nakon toga, MS dobiva potvrdu o prihvaćanju nove lokacije (**RA Accept Accept**). Treba napomenuti da MS ne dobiva nikakvu informaciju o promjeni RA, odnosno SGSN.

1) a) Uključivanje MS-a u području novog SGSN-a:

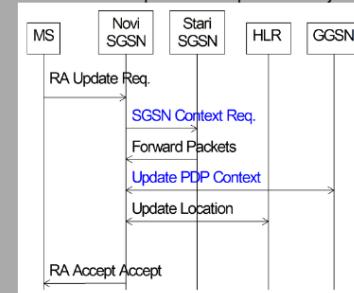
- MS šalje zahtjev za uključivanjem novom SGSN-u, koji ga proslijeđuje starom
- provjerava se identitet i autentičnost, te se zapisuje nova lokacija u HLR
- briše se stara lokacija, podaci o korisniku se šalju novom SGSN-u
- novi SGSN javlja MS-u da je prihvatio zahtjev



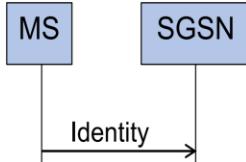
• Ažuriranje lokacije kod promjene SGSN-a:

- 3) a) Ažuriranje lokacije kod promjene SGSN-a (ako se mijenja samo RA, a ne i SGSN, onda ide samo prvi i zadnji korak)

- MS šalje zahtjev novom SGSN-u za ažuriranje lokacije
- novi SGSN zahtjeva od starog SGSN context
- stari SGSN mora proslijediti novom neisporučene podatke
- podaci o pretplatniku se prebacuju u novi SGSN, GGSN se obavještava
- ažurira se lokacija u HLR-u
- MS dobiva potvrdu o prihvaćanju nove lokacije



• Promjena lokacije unutar RA:



Postupak pristupa Internetu

- 1) MS zahtijeva aktiviranje PDP konteksta, 2) SGSN provjerava zahtjev na temelju info u HLR-u, 3) SGSN traži od DNS-a IP adresu GGSN-a, 4) Uspostavlja se tunel SGSN - GGSN, 5) GGSN dodjeljuje MS-u dinamički javnu IP adresu

Komunikacija porukama (SMS, EMS, MMS)

- SMS** → usluga kratkih poruka ; SMS-C (centar za uslugu kratkih poruka - slanje/primanje poruka prema/od MS, zadržava poruku dok ne dobije potvrdu o primitku ili dok ne istekne vrijeme valjanosti poruke) ; duljina 160 znakova (moguće ulančavanje),
- MMS** → prijenos se temelji na WAP protokolima ; Zahtijeva veće brzine prijenosa ; Formatirani tekst, slika u boji, audio i video

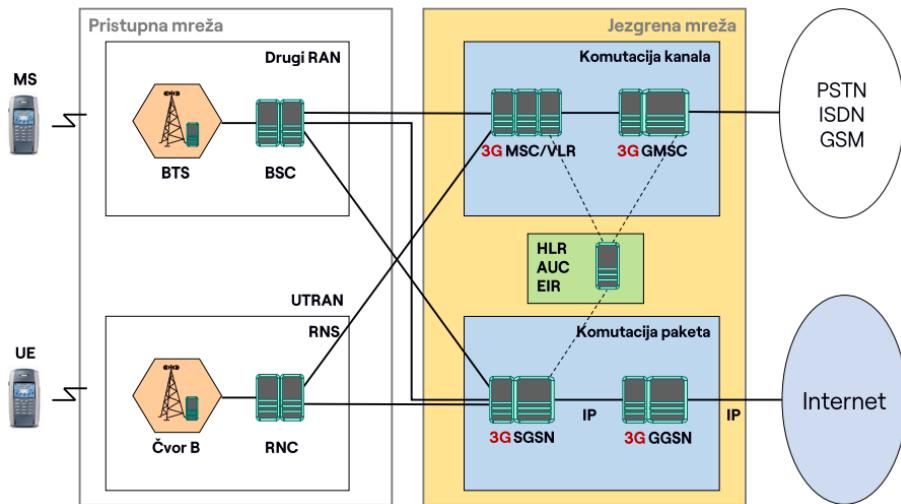
UMTS mreža

- Promjene u jezgrenoj mreži: komutacija kanala i paketa
- Uz pokretljivost terminala riješena je i osobna pokretljivost te pokretljivost, prenosivost i transparentnost usluga
- Brzina: do 144 kbit/s svugdje , do 384 kbit/s na otvorenom, do 2 Mbit/s u zatvorenom

- UMTS zahtjevi: Fleksibilnost (kretanje iz jedne mreže u drugu), Pristup uslugama bez obzira na pristupnu mrežu u kojoj se korisnik nalazi, Komutacija kanala i paketa, Prilagođavanje usluge s obzirom na korišteni terminal, Dostupnost usluge s obzirom na lokaciju, Upravljanje profilom usluge bez obzira na pristupnu mrežu i lokaciju

• Zemaljski radijski pristup (UTRA):

- Karakteristike: veći kapacitet i bolja pokrivenost u odnosu na pristupnu mrežu 2G ; Mogućnost varijabilne brzine prijenosa ; Prikladnost za paketski i kanalski prijenos ; Višestruke istodobne usluge u jednom terminalu



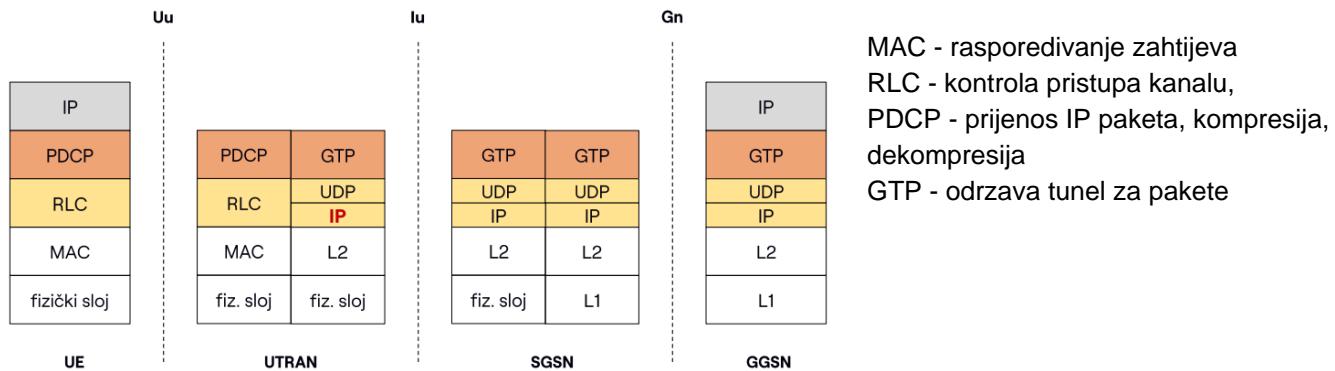
- **UTRAN** (zemaljska radijska pristupna mreža) → Sustavna kontrola pristupa ; **Sigurnost i privatnost** ; Upravljanje i kontrola radijskih resursa ; Kontrola radijskog prijenosa i veze između korisničke opreme i mreže (protokoli kontrolne ravnine) ; **Prijenos korisničkih podataka** između korisničke opreme i mreže (protokoli korisničke ravnine)

- **RNS** (radijski mrežni podsustav) → **osnovni element UTRAN-a**; Sadrži **RNC** (upravljač radijske mreže) + **čvor B s radijskim primopredajnim dijelom**

- **UMTS podržava CDMA tenologiju** prema kojoj korisnici dijele **isti frekvencijski spektar** u isto vrijeme, ali različitim dodjeljenim **kodovima** → postoje dvije kategorije: **W-CDMA** (za javne mreže s frekvencijskom podjelom) i **TD-CDMA** (za privatne mreže s vremenskom podjelom)

- **Protokoli:** **PDCP** (za segmentaciju IP paketa, kompresiju/dekompresiju,...) ; Funkcionalnost slična SNDCP-u i LLC-u u GPRS-u)

- **Protokolni složaj kod pristupa Internetu iz UMTS:** Na relaciji UE-UTRAN koriste se sljedeći protokoli: **MAC** protokol zadužen je za raspoređivanje zahtjeva za kanal. Zadaća **RLC protokola** je kontrola pristupa kanalu dok **PDCP protokol** omogućava prijenos IP paketa između korisničkog terminala i radijske pristupne mreže, kompresiju i dekompresiju korisničkih podataka i zaglavlja višeg sloja te segmentiranje IP paketa u MAC/RLC blokove prikladne za radijski prijenos preko radijskog sučelja. Na relaciji UTRAN-GGSN koristi se protokol **GTP** koji tunelira pakete između UTRAN-a i GGSN-a. Pritom se koristi **UDP transportni protokol**.



- **IP adresiranje** → Treba podijeliti jedinstvene IP adrese GPRS mrežnoj infrastrukturi radi spajanja na internet u roamingu.

U roamingu treba povezati SGSN posjećene mreže sa GGSN domaće mreže

- Vrste IP adresiranja: a) **Adresiranje mrežne infrastrukture** , b) **Adresiranje pokretnih terminala**

- Vrste IP adresa: a) **Privatne** (ograničeni broj adresa, nemogućnost adresiranja preko Interneta i dobivanja jedinstvene adrese)
b) **Javne** (moguće adresiranje preko Interneta, moguća jedinstvena adresa)

→ MS ima privatnu adresu, a entiteti mrežne infrastrukture javnu adresu

- **NAT** = mehanizam **prevođenja adresa** (privatna-javna) → MS-u se dodjeljuje javna adresa koja je raspoloživa tijekom trajanja veze s vanjskom mrežom

- **Roaming (prelaženje)** → **SGSN** iz jedne mreže se povezuje sa **GGSN** iz druge preko inter-PLMN mrežne okosnice

- Aktivnosti prilikom odlaska korisnika u posjećenu mrežu: 1) **Uključivanje MS/UE** , 2) **Aktiviranje PDP zapisa** , 3) **razmjena DNS podataka** , 4) **uključivanje graničnog prilaza (BG)** radi sigurnosti

- GPRS operateri mogu biti povezani: a) **Direktnom vezom** (tuneliranjem kroz javnu IP mrežu ili iznajmljenim vodom)

b) **GRX** (GPRS Roaming eXchange) čvorovima

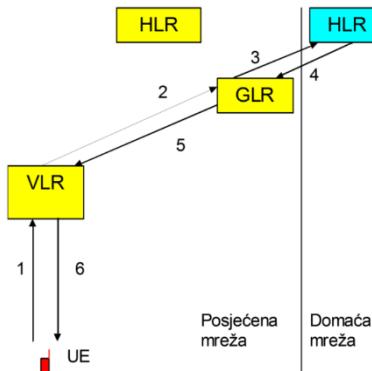
- Sporazum o prelaženju → svrha: **preplatnicima** nekog operatora omogućiti korištenje usluga u svojoj i u drugim mrežama ; naplata

usluga domaćim i stranim korisnicima

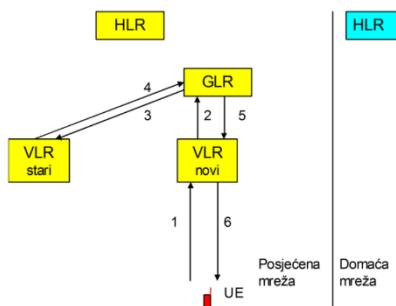
- Ako je zadovoljen sporazum, strani korisnik može koristiti: 1) Radio resurse u VPLMN (Visitor PLMN)
2) GGSN u HPLMN (Home PLMN)

- Registracija pokretnog UMTS uređaja u posjećenoj mreži:

- GLR → lokacijska baza podataka koja sadrži privremeni zapis podataka o korisniku i njegovu trenutnu lokaciju (adresu VLR-a)



Prva registracija: provodi se postupak dohvata korisničkih podataka od domaćeg HLR-a korisnika. Kao trenutna lokacija u HLR se zapisuje adresa GLR-a u posjećenoj mreži, a u GLR adresa VLR-a lokacijskog područja u kojem se korisnik trenutno nalazi.



Promjena lokacije: u GLR-u se registrira adresa novog VLR, a deregistrira adresa starog VLR. HLR ne sudjeluje pri promjeni lokacije u posjećenoj mreži, tako da ona ne izaziva dodatni signalizacijski promet između domaće i posjećene mreže.

11. – Signalizacijski protokoli u Internetu

- Signalizacija u mreži → za potrebe veze korisničkog informacijskog toka potreban je upravljački informacijski tok
- Signalizacijski protokoli:

a) s komutacijom kanala (sustav signalizacije zajedničkim kanalom SS7)

- javna fiksna nepokretna mreža – **PSTN**, javna pokretna mreža – **GSM** → uglavnom za prijenos govora

b) s komutacijom paketa - Internetska mreža IP

- primjenom signaliz. protokola u Internetu (npr. **SIP**), prijenosom signaliz. protokola Internetom (npr. **SIGTRAN**)

SIP (Session Initiation Protocol)

- Protokol aplikacijskog sloja, služi za pokretanje, promjenu i raskid sjednice s jednim ili više sudionika

- Značajke: pronalazi korisnika u mreži putem jedinstvene adrese (neovisno o trenutnom položaju!) radi uključivanja u sjednicu, razmjenjuje podatke o sjednici, upravlja sudionicima u sjednici (poziva korisnika u sjednicu i raskida sjednicu s korisnikom), mijenja parametre sjednice dok ona traje

- Omogućava osobnu pokretljivost korisnika

- Primjeri sjednica: pozivi u internetskoj telefoniji, distribucija višemedijskog sadržaja, višemedijska konferencija

- [sip:]<user>@<host>|<domain> → npr. kp-gj@zavod.tel.fer.hr

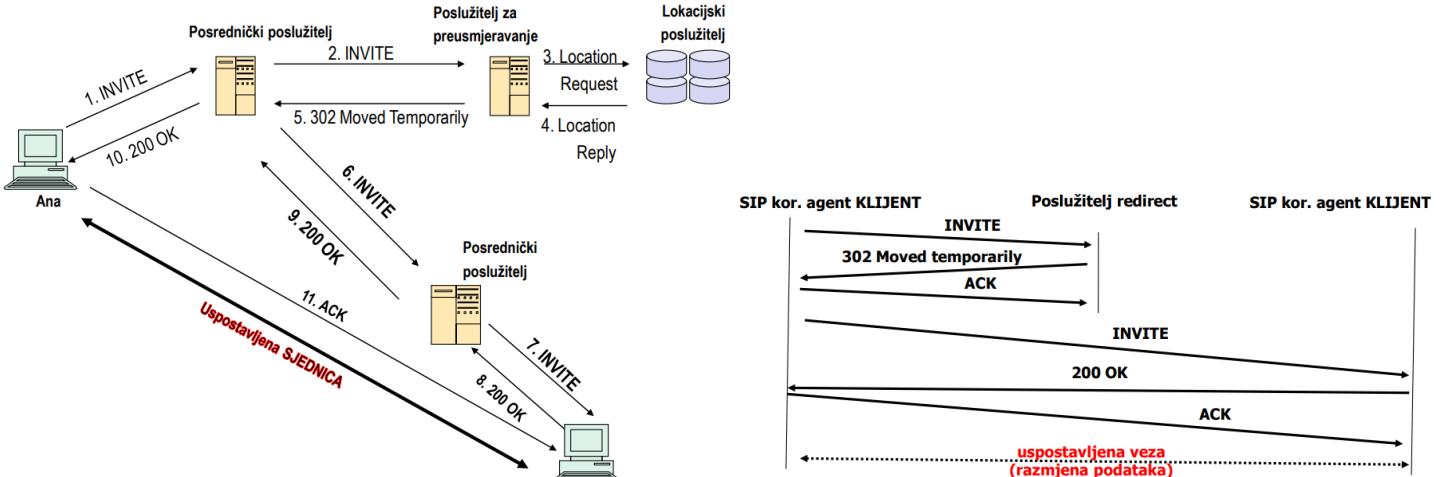
• SIP arhitektura:

- SIP koristi posredničke poslužitelje (proxy) za usmjeravanje prema trenutnom položaju pozvane osobe

- **Entiteti:** 1) Korisnički agent (**UA**) , 2) Posrednički poslužitelj (SIP usmjeritelj - prima poruke od korisničkog agenta ili drugog posredničkog poslužitelja i proslijeđuje ih na odredište) , 3) Poslužitelj za preusmjeravanje (prihvata zahtjeve za uspostavom sjednice i vraća adresu odgovarajućeg poslužitelja) , 4) Poslužitelj za registraciju (prihvata zahtjeve za registraciju, registrira korisnike unutar domene, održava podatke o korisnicima i njihovim trenutnim lokacijama unutar domene) , 5) Lokacijski poslužitelj

• Slijed operacija prilikom uspostave sjednice: 1) klijent šalje inicijalni **INVITE** zahtjev , 2) poslužitelj vraća odgovor , 3) klijent prima odgovor na inicijalni zahtjev , 4) klijent ili poslužitelj generiraju daljnje zahtjeve , 5) primanje dalnjih zahtjeva , 6) **BYE** - kraj sjednice ,

X) CANCEL - može se dogoditi bilo kada tijekom sjednice



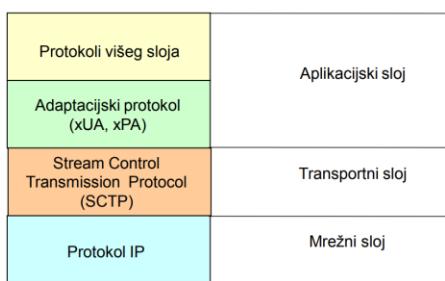
- SIP operacije: 1. **Adresiranje** (koristi URL) ; 2. **Lociranje poslužitelja** ; 3. **Slanje zahtjeva** ; 4. **SIP zahtjevi** (INVITE - poziv na sjednicu , REGISTER - UA obavještava mrežu o svojoj lokaciji, tj. trenutnoj IP adresi , BYE - raskid može inicirati neki od UA koji sudjeluje u sjednici (ne netko treći, sa strane) , ACK - potvrda, konačni odgovor na INVITE , CANCEL - zahtjev od točke do točke (prekid može biti iniciran od strane nekog UA ili posredničkog poslužitelja) , OPTIONS - provjera mogućnosti primatelja) ; 5. **SIP odgovori** (1xy - informativni, o statusu poziva (100 trying ; 180 ringing = odgovor da je INVITE primljen, ne šalje se ako pozvani odmah odgovori) ; 2xy - uspješno izvršenje zahtjeva (200 OK) ; 3xy - šalje ih posrednički usmjeritelj, ili usmjeritelj za preusmjeravanje kao odgovor na zahtjev za uspostavom sjednice (301 Moved Permanently) ; 4xy - pogreška na klijentu (404 Not Found) ; 5xy - greška na poslužitelju (500 Internal Server Error) ; 6xy - globalna greška (npr. Decline))

SIGTRAN (Signaling Transport)

- Skup protokola koji omogućava prijenos signalizacije SS7 preko IP mreže

- Tri komponente: 1) **Protokol za adaptaciju** - podržava specifične SS7 protokole , 2) **SCTP** - podržava pouzdane prijenosne funkcije za prijenos signalizacije , 3) **Internetski protokol IP**
- **SCTP**: spojno orientirani pouzdani protokol, transport pomoću mehanizama potvrde i retransmisije uz očuvani poredak okteta
- **prednosti nad nespojnim TCP-om**: Brzo otkrivanje grešaka uz kontrolu zagušenja, Podržava veliki broj sjednica
- **SGW**: Vrši konverziju protokola na transportnom sloju za prijenos signalizacije između SS7 i mreže IP
- **SIGTRAN protokolni složaj**:

Protokolni složaj



LTE mreža

- Značajke: Poboljšanje performansi i kapaciteta ; Brzina od 100 do 300 Mbit/s ; Potpuna IP arhitektura (samo komutacija paketa) ; Više usluga, niže cijene, otvorena sučelja ; Pojednostavljena arhitektura ; Smanjeno vrijeme čekanja ; Fleksibilnije korištenje postojećeg frekvencijskog pojasa (5-20 MHz) ; Pokretljivost između različitih pristupnih mreža

- Tehnologije:

- OFDMA → višestruki pristup ortogonalnim multipleksiranjem u frekvencijskoj podjeli za DL (downlink)
- SC-FDMA → višestruki pristup u frekvencijskoj podjeli na jednom nosiocu za UL (uplink)
- MIMO → velike brzine prijenosa pomoću višeantenskih rješenja koje podržavaju višestruki ulaz – višestruki izlaz
- TDD, WCDMA
- MIMO (Multiple Input Multiple Output) → višestruke antene, više paralelnih strujanja podataka prema korisniku

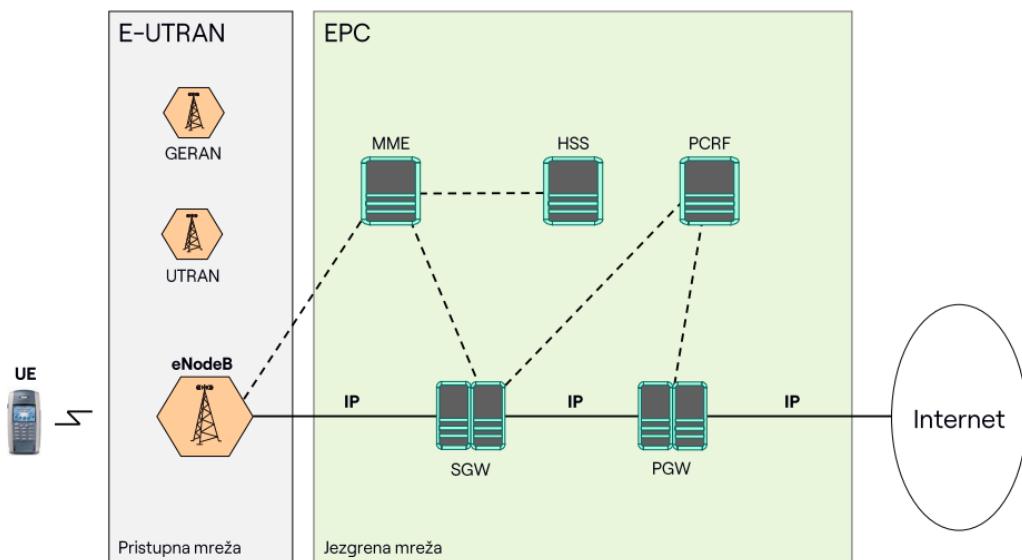
- Protokoli korisničke i upravljačke ravnine:

- NAS (ne-pristupni stratum) → Upravljanje sjednicom/vezom između terminala UE i jezgrene mreže , Registracija , Autentifikacija , Upravljanje lokacijskom informacijom , Aktivacija/deaktivacija radijskog nosioca
- RRC → Uspostava, održavanje i raskidanje radijske veze , Sigurnost , Pokretljivost , Upravljanje kvalitetom usluge (QoS) , Izvještavanje o mjerjenjima na radijskom sučelju (UE) , Prijenos podataka između UE i NAS , Informacije o razšiljanju
- PDPC → Kompresija , Šifriranje , Kontrola toka PDCP-paketa (Retransmisija , Potvrda , Detekcija duplih PDCP-paketa)
- RLC → Ispravljanje pogrešaka metodom ARQ , Dijeljenje podataka na veličinu radijskih transportnih blokova i spajanje segmenata u slučaju potrebe za retransmisijom , Upravljanje pristupom (MAC - Multipleksiranje/demultipleksiranje RLC blokova , Ispavljanje pogrešaka metodom HARQ)

• E-UTRAN: pristupna mreža , uključuje samo čvorove eNodeB → upravljanje čelijama, pokretljivošću (prekapčanje) i dijeljenim kanalom (protokol MAC), šifriranje, segmentiranje i spajanje (protokol RLC), retransmisija (protokol HARQ), nadzor radijske mreže, upravljanje radijskim resursima (protokol RRM)

- Arhitektura LTE mreže:

- EPC-SAE → jezgrena mreža – podržava pristupnu mrežu E-UTRAN ; Smanjenje kašnjenja, prekapčanje, **LTE + SAE = EPS (4G)**
- Čvorovi prilaza: a) S-GW → uslužni prilazni čvor – tunelira podatke do P-GW, upravlja pokretljivošću, brine o uspostavi veze s korisnicima drugih mreža (GPRS i UMTS) ; b) P-GW → paketski mrežni prilazni čvor – usmjerava podatke od jezgrenog dijela mreže prema ostalim mrežama, predstavlja krajnju točku pokretne mreže, ostvaruje vezu s ostalim mrežama, odgovoran za dodjelu IP-adrese korisničkim uređajima, naplatu i za pružanje usluga s određenom kvalitetom (QoS)
- Čvorovi jezgrene mreže: a) MME → entitet upravljanja pokretljivošću – temeljni čvor jezgrene mreže, brine o signalizacijskim porukama između UE i čvorova jezgrene mreže ; Funkcionalnosti MME: sigurnost, autentifikacija, prekapčanje poziva, dodjela mrežnih resursa, upravljanje pristupom, sjednicom i vezom, upravljanje lokacijom terminala u mirovanju ; b) HSS → poslužitelj domaćih pretplatnika - baza podataka koja sadrži parametre bitne za pružanje usluga (podaci o pretplatnicima, njihovim profilima, uslugama, ograničenjima) ; c) PCRF → čvor za upravljanje resursima i terećenjem – terećenje, autorizacija, provođenje pravila operatora, itd.



• Pristup Internetu putem LTE/SAE: prilikom uključivanja UE u mrežu, čvor MME kreira UE-kontekst u kojem su zapisane karakteristike veze i mogućnosti korisničkog terminala dobivene na temelju korisničkog profila preuzetog iz HSS-a. Kreiranjem konteksta, korisničkom terminalu je dodijeljena IP-adresa. Uspostavom veze UE-PGW omogućen je pristup Internetu

MVNO mobile virtual network operator

= pokretni virtualni mrežni operator - pruža pokretne usluge, ali ne posjeduje koncesiju frekvenčijskog sprekra niti vlastitu infrastrukturu nego plaća onima koji imaju to sve i koristi.

- 4 tipa MVNO-a: 1. niš nema (u potpunosti preuzima mrežnu infrastrukturu od svog operatara, pruža osnovne usluge, nizak trošak ulaganja, mali rizik poslovanja) ; 2. HLR + HSS (vlastite SIM kartice za korisnike) ; 3. HLR + MSC + SGSN + SGW ; 4. HLR + MSC + GMSC

+ SGSN + GGSN + SGW + PGW (posjeduje vlastitu infrastrukturu, podržava vlastito usmjeravanje prometa)

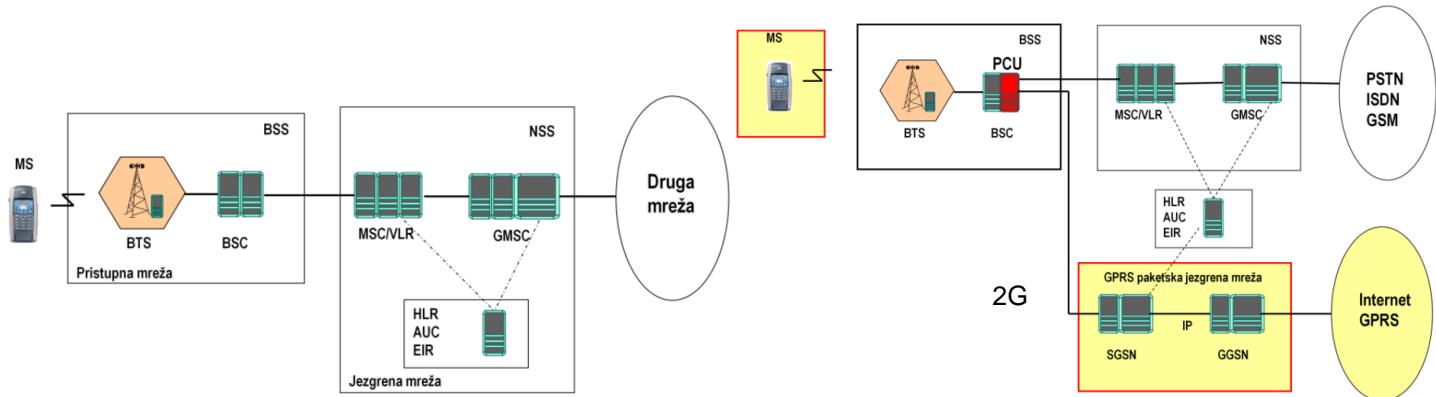
- Prednosti: minimalno ulaganje (nema vlastitu infrastrukturu), konkurentnost

- Nedostaci: vezanost za mrežnog operatora → veći trošak ulaganja = manja ovisnost

- MVNE → pokretna virtualna mreža - nudi tehničku infrastrukturu, usluge naplate, administraciju, potporu za bazne postaje, ali nema izravan kontakt s krajnjim korisnicima

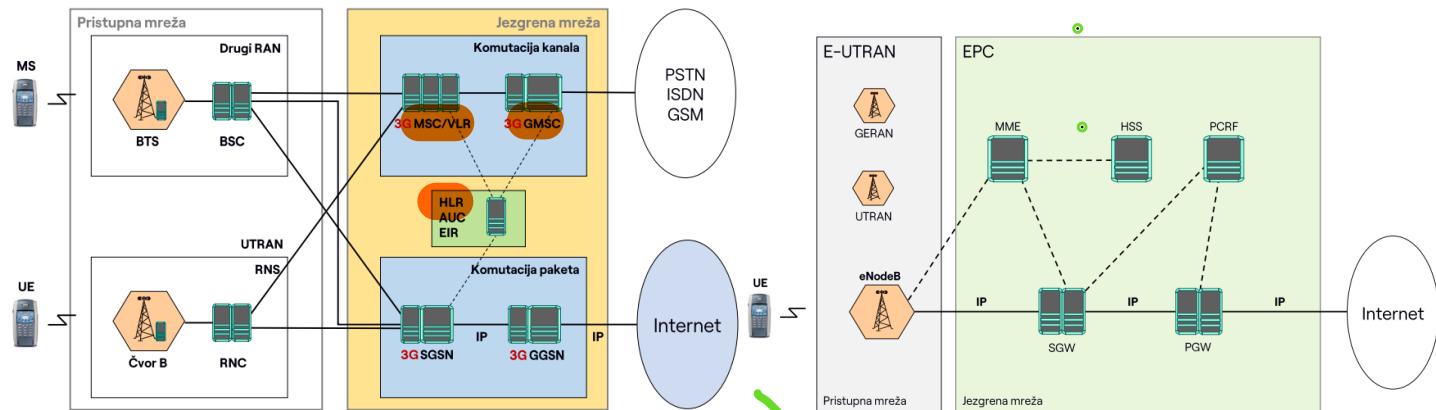
→ GSM:

→ GPRS:



→ UMTS:

→ LTE: 4G



UE - user equipment - kad stavis karticu u mobitel

UTRAN --> srce UMTS-a, Node B je isti kao BTS - prijenos podataka,

RNC - radio network controller, isti kao BSC, vise Node-ova je spojeno na 1 RNC, prebacuje pozive i internet

MSC (uspostava poruka i poziva) & GMSC (spajanje na dve operatore)

SGSN (upravlja subscrivierima) - GGSN (spajanje na vanjsku mrežu) - služi za internet

HLR - podaci o svim subscriberima od tog providera, VLR - podaci pretplatnika koji posjecuju lokacije

eNode je radijsko sucelje preko kojeg se na MME

(sigurnost i autentifikacija) koji je spojen na HSS (podaci o korisnickim preplatama)

SGW (gateway za podatke), PGW - prima i salje korisnicke podatke koji je spojen na internet

PCRF - naplaćivanje

Na zaokruživanje:

- 1a) Koji transportni protokol koristi RIP? → **UDP**
- 1b) Koja je uloga Binding update poruke? → MN registrira trenutnu adresu kod domaćeg agenta
- 1c) Koja od navedenih poruka se ne koristi u BGP? (Update, Open, DB Desc, Notification)
- 1d) Koja je uloga GGSN-a? → GGSN povezuje korisnika s drugim podatkovnim mrežama
- 1e) Petrijeva mreža je reverzibilna ako se iz barem jednog stanja može vratiti u početno stanje. → **NETOČNO**
- 1f) U protokolu IPv6 datagrami se mogu fragmentirati samo na izvorištu. → **TOČNO**
- 1g) Protokol RIP prilikom računanja rute uzima u obzir kapacitet poveznice te računa najkraći put korištenjem Dijkstrinog algoritma. → **TOČNO**
- 1h) Temtočelije služe za spajanje standardnih pokretnih uređaja na mrežu pokretnog operatora preko DSL-a ili širokopojasnog kabelskog pristupa. → **TOČNO**

Klasična pitanja:

- 2) Petrijeva mreža - graf stanja, konfliktnost i simultanost i koja mjesta su kriva za to da mreža nije označen graf
- 3) OSPF - bila je mreža, trebalo je za sve usmjeritelje tablice usmjerenja ispuniti + kad se dogodi prekid u trenutku prekida i nakon sinkronizacije tablice napisati za 2 usmjeritelja
- 4) BGP - slično ko u onom s materijala, ispuniti tablicu samo s parametrima
- 5) Funkcije NDP-a napisati i kratko objasnit
 - a) za sve čvorove: razlučivanje adrese (IP-adresa – MAC-adresa), otkrivanje duplicitne adrese, provjera dostupnosti susjednog čvora i određivanje sljedećeg skoka ; b) za računala: otkrivanje najbližeg usmjeritelja na svojoj lokalnoj poveznicici, otkrivanje mrežnog prefiksa i parametara, autokonfiguracija adrese, preusmjerenje (usmjeritelj informira računalo o boljem putu do odredišta) ; c) za usmjeritelje: oglašavanje prisutnosti
- 6) LTE protokolni složaj i važni protokoli u njemu
- 7) 5g mreža - nacrtat sve za korisničku i upravljačku ravninu te koji čvorovi su to u 4G mreži
- 8) CoAP - Observe CON način + gubitak prve poruke. Kao klijent prati senzor, senzor broji ljudi te se vrijednost smanjuje s 4 na 3 pa na 2. Nacrtat komunikaciju. Message id obavezno neki nasumični napisati.

U kojim se poljima razlikuju zaglavje IPv4 paketa kojeg je primio usmjeritelj i zaglavje paketa kojega je usmjerio prema odredištu i prosljedio sljedećem čvoru? → TTL i zaštitna suma

U kakvim okolnostima IPv4-usmjeritelj izaziva gubitak paketa (izbacuje ga) i zašto?

U slučaju neispravnog zaglavja IPv4 paketa, u slučaju kada je TTL <= 0 i u slučaju kada put u tablici usmjeravanja nije pronađen, a ne postoji default put

U kakvim okolnostima IPv6-usmjeritelj izaziva gubitak paketa (izbacuje ga) i zašto?

Situacije u kojima se paket izbacuje: TTL=0, zaglavje nije ispravno, ne može se razriješiti MAC adresa

Kakve su vrste adresa podržane protokolom IPv6?

Unicast (jednoodredišna), Multicast (višeodredišna), Anycast (adresa jednog iz skupa sučelja), Unspecified (nespecificirana adresa), Loopback (povratna adresa).

Objasnite načelo zaštite privatnosti u protokolu IPv6 korištenjem zaglavija ESP.

Šifriranjem zaglavja osigurava privatnost podataka i integritet datagrama, tj. da podaci nisu bili čitani niti mijenjani.

Dva mehanizma zaštite: transportni način ESP (zaštita nad podacima transportnog sloja) i tunelski način ESP (zaštita čitavog datagrama, uključujući zaglavljje).

Prijenos podataka: na izvorišnoj strani se formiraju datagrami koji se sastoje od šifriranog i nešifriranog dijela. Paketi se usmjeravaju do odredišta i svaki usmjeritelj na putu ispituje osnovno IP zaglavje i dodatna zaglavja koja nisu šifrirana. Na odredišnoj strani se provodi dešifriranje na temelju ESP zaglavljiva.

Navedite koja su ograničenja iz IPv4 protokola riješena u IPv6 protokolu.

Veći adresni prostor, učinkovitije usmjeravanje, dodatna zaglavja za posebne mogućnosti, jednostavniji format zaglavja, mogućnost označavanja paketa koji pripadaju istom toku.

Navedite dva mehanizma autokonfiguracije pri dodjeli IPv6 adrese. Koji se protokoli pritom koriste?

Stateless: Samostalna autokonfiguracija adrese (bez poslužitelja) bez poznavanja stanja uz primjenu protokola NDP (Neighbour Discovery Protocol).

Statefull: Autokonfiguracija s poslužiteljem uz poznavanje stanja uz primjenu protokola DHCPv6.

U kojim se poljima razlikuju zaglavje IPv4-paketa kojeg je primio usmjeritelj i zaglavje paketa kojega je usmjerio prema odredištu i proslijedio sljedećem čvoru?

TTL i zaštitna suma

U kojim se poljima razlikuju zaglavje IPv6-paketa kojeg je primio usmjeritelj i zaglavje paketa kojega je usmjerio prema odredištu i proslijedio sljedećem čvoru?

Samo TTL

U kakvim okolnostima IPv6-usmjeritelj izaziva gubitak paketa (izbacuje ga) i zašto?

Situacije u kojima se paket izbacuje: TTL=0, zaglavje nije ispravno, ne može se razriješiti MAC adresa

Objasnite dodatno zaglavje usmjeravanja koje definira protokol IPv6 i primjer njegove primjene.

Zaglavje varijabilne duljine koje sadrži popis usmjeritelja na putu od izvora do odredišta. Sadrži podatke o sljedećem zaglavljiju, veličini samog dodatnog zaglavja, vrsti usmjeravanja i popis čvorova koje paket još treba prijeći nego što dođe do odredišta.

Primjer primjene: odabir niza usmjeritelja putem kojih se povezuju izvor i odredište, Mobile IPv6

Usporedite protokole IPv4 i IPv6 s obzirom na funkcionalnost i performanse.

IPv4 funkcionalnosti: Definira shemu adresiranja u Internetu i provedbu fragmentacije

IPv4 performanse: 32-bitne adrese, datagramski način rada, nema mehanizam kontrole toka, nema jamstva očuvanja redoslijeda datagrama

IPv6 funkcionalnosti:

IPv6 performanse: 128-bitne adrese, pojednostavljenje formata zaglavja, potpora za kvalitetu usluge

Objasnite podjelu protokola usmjeravanja prema području djelovanja. Navedite primjer protokola koji se pritom koriste.

→ Protokole usmjeravanje prema području djelovanja možemo podijeliti na dvije skupine protokola: one koji djeluju unutar autonomnog područja te one koji djeluju izvan autonomnog područja. Prije nego objasnim samu podjelu važno je definirati što znači autonomno područje. Autonomno područje je skup usmjeravajućih entiteta koji pripadaju nekom pružatelju mrežnih usluga. Najbolji primjer jednog pružatelja je sam CARNET koji pruža mrežne usluge za sve znanstvene i obrazovne ustanove. Pružatelj usluga na svojem autonomnom području ima pravo definiranja načina usmjeravanja u mreži.

Protokoli koji djeluju unutar autonomnog područja utječu na tablice usmjeravanja unutar mreže jednog pružatelja (RIP, OSPF) dok protokoli koji djeluju izvan autonomnog područja utječu na usmjeravanje između svakog pojedinog pružatelja (BGP).

Navedite i opišite funkcionalnosti entiteta koje uvodi Mobile IP protokol.

→ Mobile IP uvodi 3 funkcionalna entiteta u već postoјedu mrežu, a u svrhu podrške pokretljivosti čvora. Navedeni entiteti su:

a) **Sam pokretni čvor** koji može mijenjati svoju trenutnu lokaciju, a s time i točku priključka na Internet. Pokretni čvor pri tome zadržava sve uspostavljene konekcije te drugi čvorovi mogu koristiti domaću adresu pokretnog čvora za uspostavu konekcije.

b) **Domaći agent** predstavlja usmjeritelj na domaćem linku pokretnog čvora, a zadužen je za održavanje informacija o trenutnoj lokaciji pokretnog čvora. Ovaj entitet također presreće datagrame adresirane na pokretni čvor te ih tunelira prema njegovoj trenutnoj adresi.

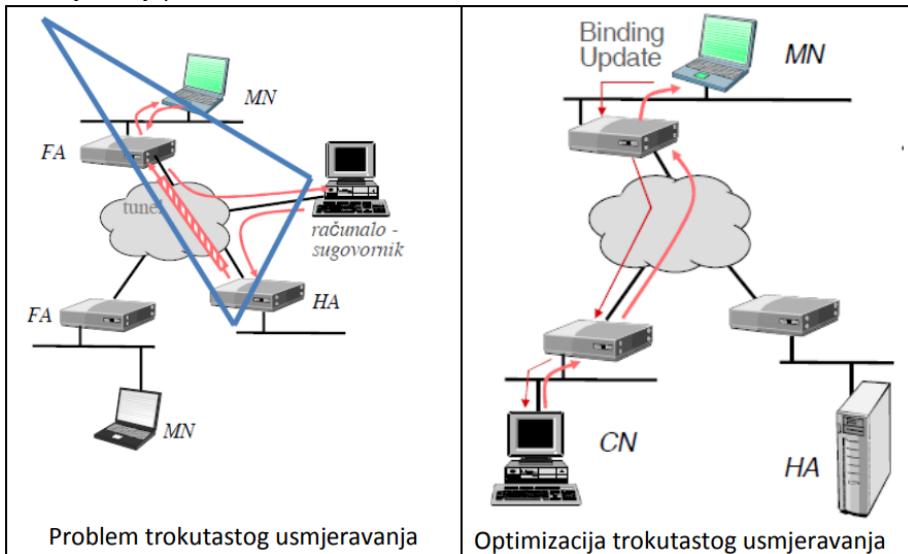
c) **Strani agent** čiji zadatak je obavijesti domaćeg agenta o trenutnoj adresi pokretnog čvora te da usmjerava paketa prema i od pokretnog čvora.

Objasnite i skicirajte problem trokutastog usmjeravanja koji se pojavljuje kod protokola Mobile IPv4. Kada je ovaj problem najizraženiji? Objasnite i skicirajte kako se ovaj problem optimizira korištenjem protokola Mobile IPv6.

→ Do problema trokutastog usmjeravanja dolazi zbog načina na koji Mobile IP usmjerava datagrame prema pokretnom čvoru. Kada računalo sugovornik želi uspostaviti konekciju prema pokretnom čvoru datagrami se prvo usmjeravaju prema domaćoj mreži pokretnog čvora. Domadi agent presreće te datagrame te ih usmjerava prema trenutnoj adresi pokretnog čvora. Datagrami se od pokretnog čvora prema čvoru sugovorniku šalju bez tuneliranja (naravno uz pretpostavku da se čvor sugovornik nalazi u svojoj domadoj mreži). Zbog tuneliranja između čvora sugovornika i domadeg agenta, datagrami moraju prolaziti kroz vedi broj usmjeritelja nego što je to stvarno potrebno što povedava kašnjenje te opterećenje mreže. Ovaj problem je najizraženiji kada su pokretni čvor i čvor sugovornik blizu jedan drugog, a daleko od domadeg agenta.

Kako bi se izbjeglo trokutasto usmjeravanje, kod Mobile IPv6 protokola koristi se Binding Update poruka. Ovu poruku šalje pokretni čvor čvoru sugovorniku. Čvor sugovornik pohranjuje tu informaciju u svoj priručni spremnik važeđih povezivanja (Binding Cache). Za svaki poslani paket, čvor sugovornik provjerava postoji li za odredišnu adresu podatak u spremniku. Ako postoji, paket se izravno usmjerava prema pokretnom čvoru, koristeci dodatno zaglavje usmjeravanja (nema tuneliranja) U suprotnom, paket se usmjerava

uobičajeno, tj. prema domadem linku.



Objasnite funkcionalnost protokola važnih za ostvarivanje komunikacije na relacijama UE-UTRAN, UTRAN-SGSN i SGSN-GGSN.

→ Na relaciji UE-UTRAN koriste se: **MAC** (za raspoređivanje zahtjeva za kanal), **RLC** (kontrola pristupa kanalu) i **PDCP** (omogućava prijenos IP paketa između korisničkog terminala i radijske mreže, kompresiju i dekomprimaciju korisničkih podataka i zaglavljiva višeg sloja te segmentiranje IP paketa u MAC/RLC blokove prikladne za radijski prijenos preko radijskog sučelja).

Na relaciji UTRAN-GGSN koristi se **GTP** (tunelira pakete između UTRAN-a i GGSN-a) i **UDP** (za transport).

Objasnite načine tuneliranja IPv6 datagrama kroz IPv4 mrežu.

→ 4 načina tuneliranja IPv6 datagrama kroz IPv4 mrežu, ovise o vrsti čvora na izvorišnoj odnosno odredišnoj strani tunela:

- Router-to-Router** način tuneliranja temelji se na usmjeriteljima s dvostrukim slojem, između kojeg se nalazi IPv4 infrastruktura. Tunel se stvara kroz IPv4 infrastrukturu na nekom unutarnjem segmentu puta datagrama,
- Host-to-Router** način tuneliranja temelji se na računalu sa dvostrukim IP slojem koje šalje podatke usmjeritelju dostupnom preko njegove IPv4 infrastrukture. Tunel se nalazi na prvom segmentu te se prostire do tog usmjeritelja,
- Tuneliranje **Host-to-Host** temelji se na računalima s dvostrukim IP slojem koji međusobno izmjenjuju podatke preko IPv4 infrastrukture. Tunel se prostire kroz cijeli put paketa od izvorišta do odredišta,
- Tuneliranje **Router-to-Host** temelji se na usmjeritelju s dvostrukim IP slojem koji tunelira IPv6 pakete prema računalu na odredištu koje također ima dvostruki IP sloj. Tunel se nalazi na zadnjem segmentu puta.

Opišite sustav signalizacije zajedničkim kanalom SS7.

→ Sustav signalizacije zajedničkim kanalom (CCS - Common Channel Signalling) SS7 koristi se u javnoj fiksnoj nepokretnoj mreži (PSTN) i javnoj pokretnoj mreži (GSM). Sadrži tri dijela:

- 1) dio za prijenos poruka (MTP - Message Transfer Part) kojim se ostvaruje prijenos signalizacijskih poruka,
- 2) korisnički dio (UP – User Part) kojim se rješava upravljačka informacija za pojedinu vrstu poziva usluga na raspolaganju korisnicima,
- 3) aplikacijski dio (AP – Application Part) kojim se rješava upravljačka informacija za posebne primjene.

Navedite glavne značajke protokola SIP (Session Initiation Protocol).

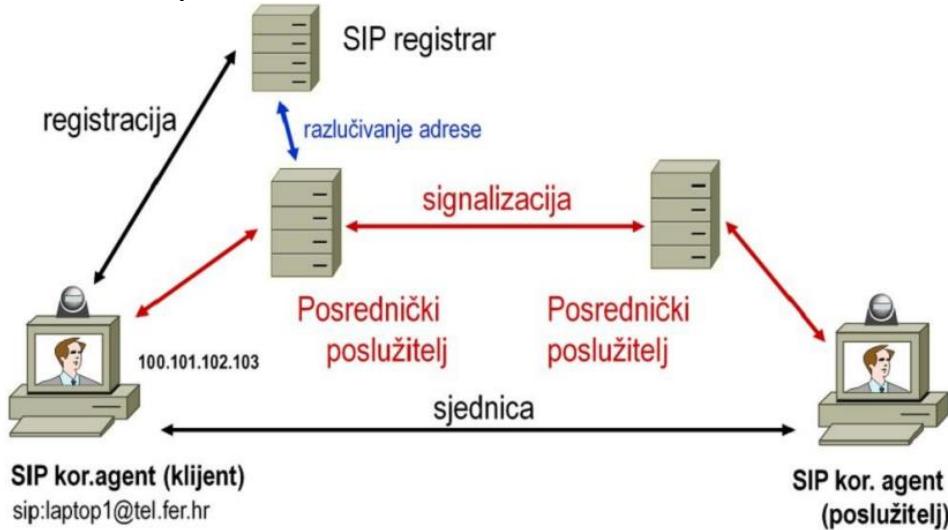
→ SIP je protokol aplikacijskog sloja koji služi za pokretanje, promjenu i raskid sjednice s jednim ili više sudionika, a njegove glavne značajke su:

- 1) pronalazak korisnika u mreži putem jedinstvene adrese (neovisno o trenutnom položaju) radi uključivanja u sjednicu,
- 2) razmjena podatka/parametra o sjednici (pregovara o sjednici),
- 3) upravljanje sudionicima u sjednici: upuđuje poziv korisniku za sudjelovanje u sjednici i raskida sjednicu s korisnikom,
- 4) mijenjanje parametara sjednice u toku sjednice.

Skicirajte arhitekturu sustava u kojemu korisnici komuniciraju korištenjem protokola SIP i navedite uloge pripadajućih entiteta sustava.

- 1) Korisnički agent (User Agent - UA) - UA klijent, UA poslužitelj
- 2) Posrednički poslužitelj - SIP usmjeritelj, prima SIP poruke od korisničkog agenta ili drugog posredničkog poslužitelja, usmjerava ih i prosljeđuje odredištu
- 3) Poslužitelj za preusmjeravanje - prihvata zahtjeve za uspostavom sjednice, ne prosljeđuje zahtjeve nego samo vraća adresu odgovarajućeg poslužitelja
- 4) Poslužitelj za registraciju - registrira korisnike unutar domene, prihvata zahtjeve za registracijom, održava podatke o korisnicima i

njihovim trenutnim lokacijama unutar domene



Navedite i objasnite protokole za kontrolu i pristup mediju na zračnom sučelju u GPRS mreži.

→ Kontrola i pristup mediju su obvezni protokoli u situacijama kad više korisnika (računala) pristupa zajedničkom mediju.

Takvo je rješenje poznato u lokalnim mrežama, a primjenjeno je i u GPRS-u. Naime, svakom PDCH može pristupiti bilo koji korisnik, a u jednom trenutku više korisnika može zahtijevati pristup. Zadaća MAC protokola je upravo raspoređivanje zahtjeva za kanal. Zadaća RLC protokola je kontrola pristupa kanalu, a LLC služi ostvarivanju logičke veze između komunicirajućih strana (MS i SGSN).

Kad MS odašilje podatke provode se sljedeće operacije 2. sloja:

- protokolna jedinica podataka logičke veze veličine je do 1500 okteta,
- LL PDU se u segmentima od 20-50 okteta dostavlja do RLC,
- MAC formira radio blokove od 456 bita koji se ubacuju u PDCH.

Tri operatora X, Y i Z žele omoguditi svojim GPRS korisnicima međusobnu razmjenu podataka. Objasnite rješenje kada korisnik jednog operatora želi ostvariti komunikaciju s korisnikom drugog operatora uz naznaku internetskih protokola koji se pritom moraju obaviti u mreži.

→ Jeden od mogućih rješenja je izgradnja mreže za izmjenu prometa između operatora koja se sastoji od GRX (GPRS Roaming Exchange) čvorova međusobno povezani direktno ili preko drugih GRX čvorova. Cilj međusobnog povezivanja GRX čvorova je mogućnost usmjeravanja prometa u bilo koji dio mreže. GRX usluge mogu pružati nezavisni davatelji GRX usluga ili sami mrežni operatori. Operatori iz scenarija pritom moraju biti spojeni na jedan od GRX čvorova. Više linkova prema GRX-u osigurava veću pouzdanost. Za razmjenu podataka između GRX-ova koriste se internetski protokoli temeljeni na TCP/IP protokolarnom složaju. GPRS Tunnel Protocol je primjer jednog takvog protokola koji se koristi za tuneliranje podataka.

Objasnite načelo upravljanja pokretljivošću u UMTS mreži te navedite protokole koji pritom sudjeluju.

Objasnite razliku između pokretnih virtualnih mrežnih operatora A-MVNO tipa 4 i operatora C-MVNO tipa 1.

- operatora C tipa 1
- operator A tipa 4

Kakve mogu biti posljedice pogreške u zaglavljima IPv6-paketa?

Zašto se u protokolu DHCPv6 primjenjuje višeodredišno adresiranje?

Autokonfiguracija kod IPv6 sa poznavanjem stanja protokola DHCPv6, skicirati razmjenu.

Navedite primjer autokonfiguracije IPv6 bez poznavanja stanja (stateless) i objasnite kako se provodi.

Navedite primjer autokonfiguracije IPv6 s poznavanjem stanja (stateful) i objasnite kako se provodi.

Što će se dogoditi IPv6-datagramu ako tijekom prijenosa smetnje izazovu pogrešku jednog bita u odredišnoj adresi?

Tijekom prijenosa IPv6 datagrama došlo je do izmjene polja koje sadrži podatke o izvorišnoj IP adresi. Kako će postupati usmjeritelj s takvim datagramom?

Kako se provodi fragmentacija za protokol IPv6 i kako se ustanovljava najveća dopuštena duljina fragmenta?

Navedite i objasnite razloge zbog kojih protokol IPv6 omogućuje učinkovitije usmjeravanje u mreži u odnosu na sadašnje stanje koje je proizašlo iz načina adresiranja i usmjeravanja te dodjele IPv4-adresa.

Komunikacijski protokoli

6. Mrežni protokol IPv6

Creative Commons



- slobodno smijete:
 - dijeliti – umnožavati, distribuirati i javnosti priopćavati djelo
 - remiksirati – prerađivati djelo
- pod sljedećim uvjetima:
 - imenovanje. Morate priznati i označiti autorstvo djela na način kako je specificirao autor ili davatelj licence (ali ne način koji bi sugerirao da Vi ili Vaše korištenje njegova djela imate njegovu izravnu podršku).
 - nekomercijalno. Ovo djelo ne smijete koristiti u komercijalne svrhe.
 - dijeli pod istim uvjetima. Ako ovo djelo izmijenite, preoblikujete ili stvarate koristeći ga, preradu možete distribuirati samo pod licencom koja je ista ili slična ovoj.

U slučaju daljnog korištenja ili distribuiranja morate drugima jasno dati do znanja licencne uvjete ovog djela. Najbolji način da to učinite je linkom na ovu internetsku stranicu.

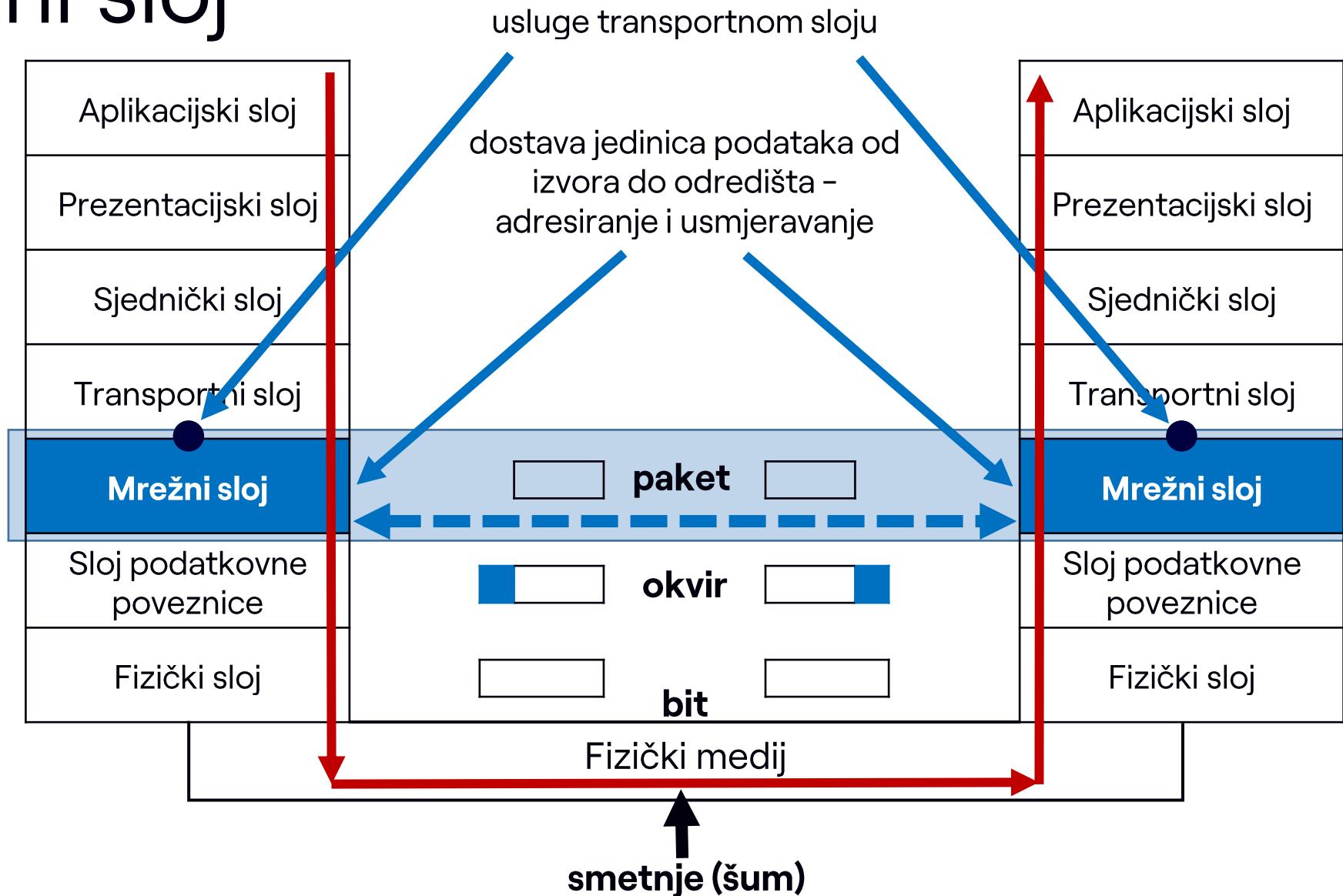
Od svakog od gornjih uvjeta moguće je odstupiti, ako dobijete dopuštenje nositelja autorskog prava. Ništa u ovoj licenci ne narušava ili ograničava autorova moralna prava.

Tekst licencije preuzet je s <http://creativecommons.org/>.

Sadržaj predavanja

- **Mrežni sloj i mrežni protokol IPv4 ukratko**
- Glavne značajke protokola IPv6
- Format datagrama, osnovno i dodatna zaglavlja
- Adresiranje
- Upravljački protokoli
 - ICMPv6
 - NDP
 - DHCPv6

Mrežni sloj



Usluge mrežnog sloja

- osnovna zadaća mrežnog sloja: dostaviti jedinice podataka - pakete od izvorišnog krajnjeg čvora do odredišnog krajnjeg čvora, izravno ili preko niza međučvorova
- dvije vrste usluge:
 - spojna usluga
 - nespojna usluga **← mrežni sloj u Internetu i IP-mrežama**
- dvije izvedbe usmjeravanja u mrežama s komutacijom paketa:
 - virtualni kanal
 - datagramske **← mrežni sloj u Internetu i IP-mrežama**

Mrežni sloj u Internetu i IP-mrežama

4 Aplikacijski sloj (*Application Layer*)

3 Transportni sloj (*Transport Layer*)

2 Mrežni sloj, internetski sloj (*Network Layer, Internet Layer*)

1 nije definiran → sloj podatkovne poveznice i fizički sloj
upotrijebljene mreže (pristup mreži)

IP

Odlike protokola IPv4 (1)

Internet Protocol (IP) verzija IPv4 (RFC 791, STD-5)

- Glavne odlike:
 - neovisan o nižim protokolima (Ethernet, IEEE 802.3, PPP, ...)
 - **datagramski** način rada
 - **nespojna** usluga bez potvrde
 - nema mehanizama **kontrole toka**
 - nema jamstva **očuvanja** redoslijeda datagrama
 - Uloga u protokolnom složaju TCP/IP:
 - **omatanje** (engl. *encapsulation*): IP prihvata podatke od višeg sloja (npr. transportnog protokola TCP, UDP), smješta ih u podatkovno polje IP datagrama te predaje datagram protokolu sloja podatkovne poveznice (npr. Ethernet)
- 
- usluga IP-a
transportnom sloju:
nepouzdana dostava
datagrama**

Odlike protokola IPv4 (2)

- **Nespojna usluga izvedena datagramski:** minimalni skup funkcija za dostavu **datagrama** s kraja na **kraj mreže**
- Mogući problemi:
 - povremeni gubitak paketa **zbog pogreške, smetnji** ili kvarova na nekoj od poveznica na putu
 - povremeni gubitak paketa **zbog zagušenja** u nekom od mrežnih čvorova na putu
 - povremena dostava paketa s narušenim redoslijedom u slučaju kad se izbor puta kroz mrežu promijeni tijekom komunikacije
 - veće **kašnjenje** u slučaju **retransmisijske** s kraja na kraj mreže
 - pošiljatelj nema povratnu informaciju o ishodu
- Rješavanje ovih problema prepušta se transportnom sloju!

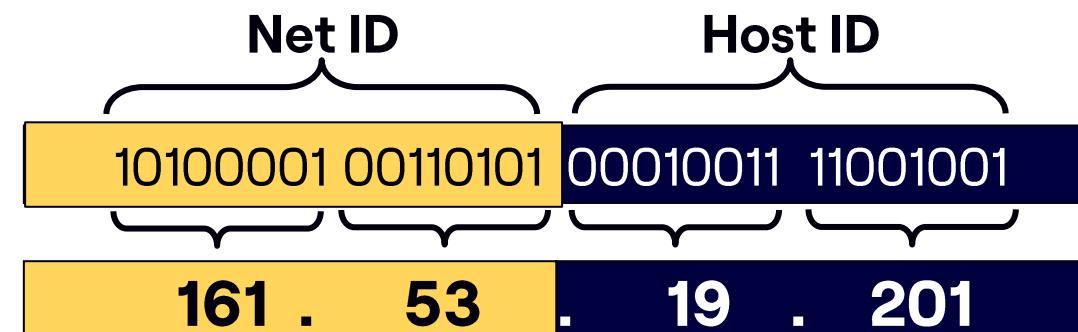
Funkcionalnost protokola IPv4

- Definira **shemu adresiranja** u Internetu
 - jedinstveni **adresni prostor**
 - svako **sustav** (krajnje računalo, mrežni čvor) ima po jednu **IP-adresu** za svako **mrežno sučelje**
 - krajnje računalo može koristiti i više posebnih adresa (npr., adrese **localhost**, **multicast**, **broadcast** ,...)
 - ako su **izvorišna** i **odredišna** adresa u različitim **mrežama**, datagrami se usmjeravaju preko jednog ili više IP-usmjeritelja
- Definira provedbu **fragmentacije**
 - datagram mora "stati" u podatkovno polje okvira sloja podatkovne poveznice (**MTU**)
 - **datagram** veći od podatkovnog polja okvira **fragmentirati** se kod **pošiljatelja**, a fragmenti se **sastavljaju** kod **primatelja**

Adresiranje

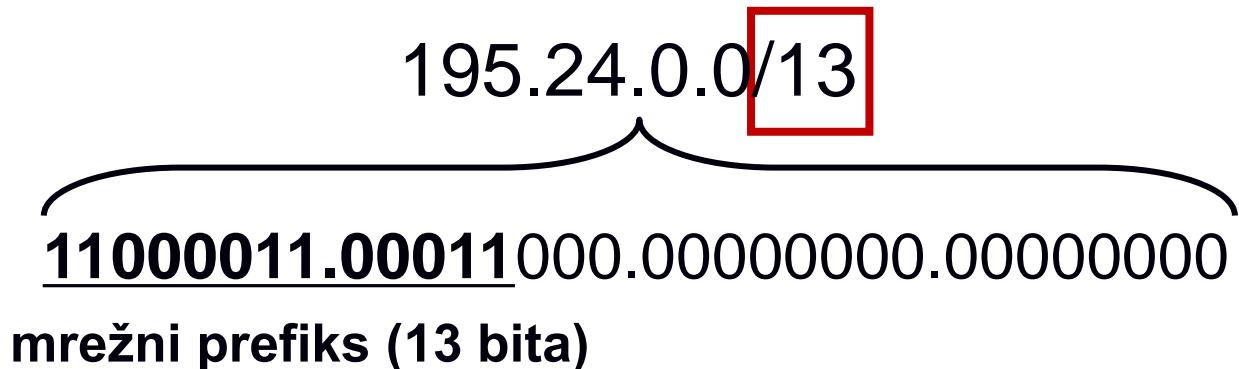
IP-adresa **32 bita** (IPv4): identifikator koji globalno i jednoznačno određuje mrežno sučelje

- krajnji sustav (npr. računalo priključeno na mrežu) obično ima jedno sučelje i jednu IP-adresu
- mrežni čvor (npr. usmjeritelj) priključen na više (pod)mreža ima više sučelja i isto toliko IP-adresa
- IP-adresa ima dva dijela:
 - identifikator mreže (engl. *Network Identifier*, Net ID)
 - identifikator krajnjeg računala (engl. *Host Identifier*, Host ID)



Prefiksni prikaz adrese i besklasno usmjeravanje

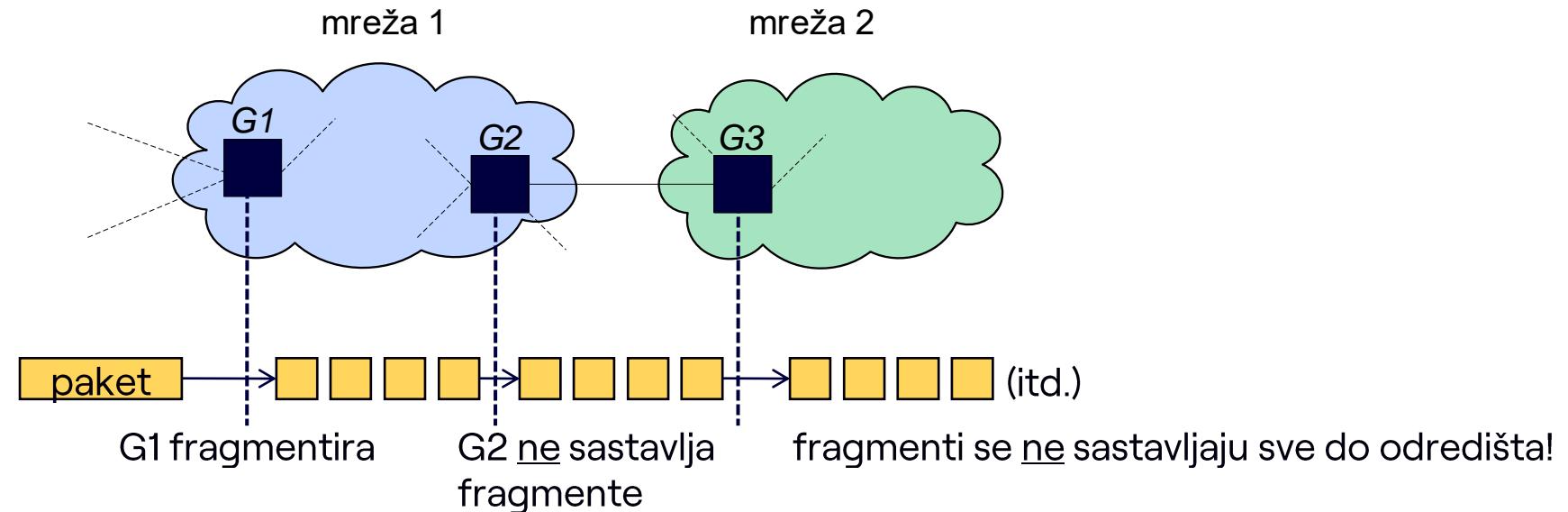
- **prefiksni prikaz** IP-adrese ne uzima u obzir izvorne klase A, B i C
- dioba između mrežnog i računalnog dijela adrese može biti na bilo kojem mjestu unutar adrese (ne samo na granici okteta kao kod klase!)
- duljina mrežnog dijela se označava **mrežnim prefiksom** iza adrese



- **besklasno usmjeravanje – Classless Inter-Domain Routing (CIDR)**
 - putevi usmjeravanja više se ne agregiraju prema **klasama adresa**, već prema mrežnom prefiksu

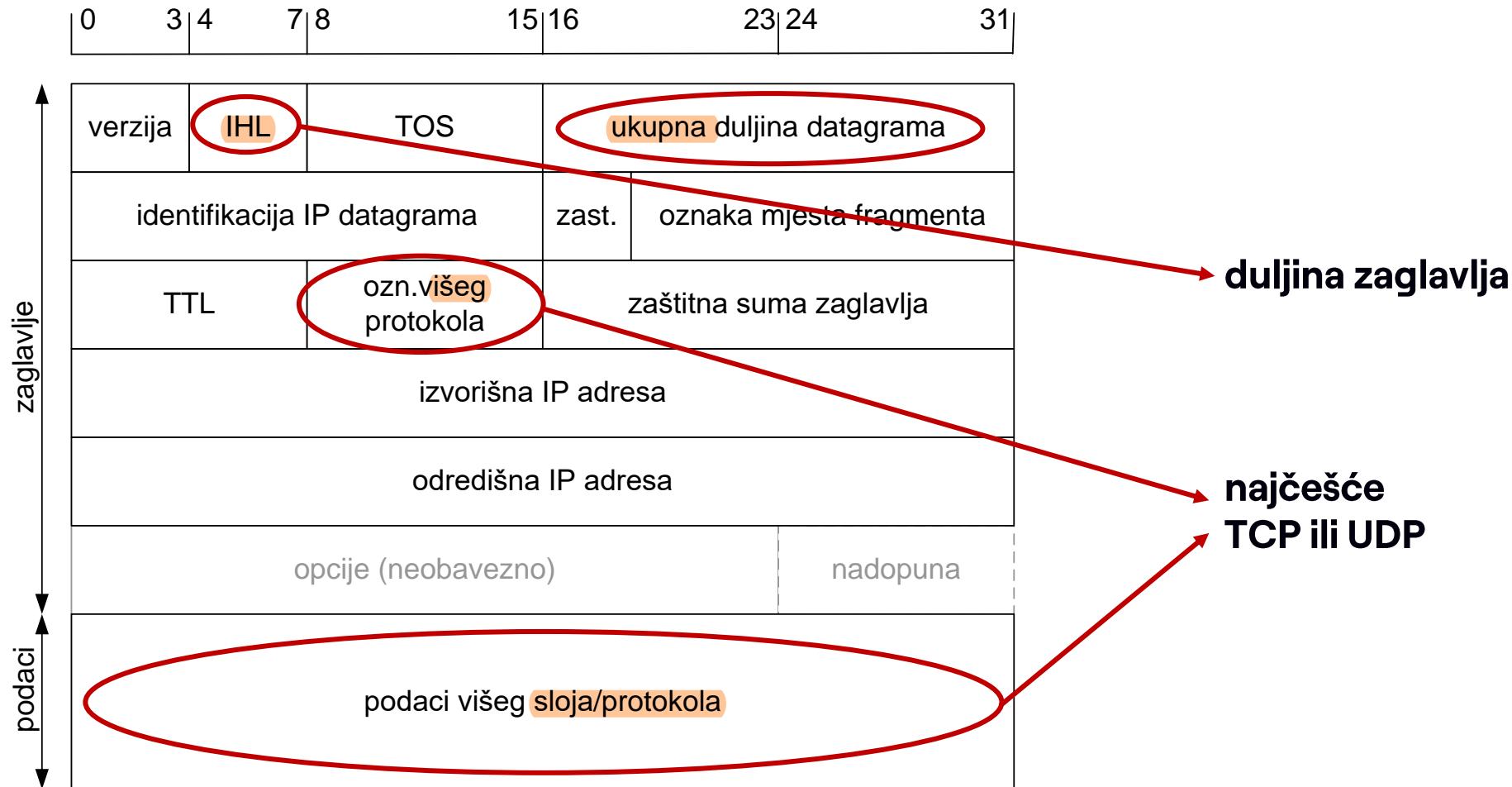
Fragmentacija

- tko provodi: **usmjeritelj**
- gdje: fragmenti se šalju u novim, međusobno neovisnim datagramima s usmjeritelja **na izvoru** i sastavljaju u originalni datagram na **odredištu**

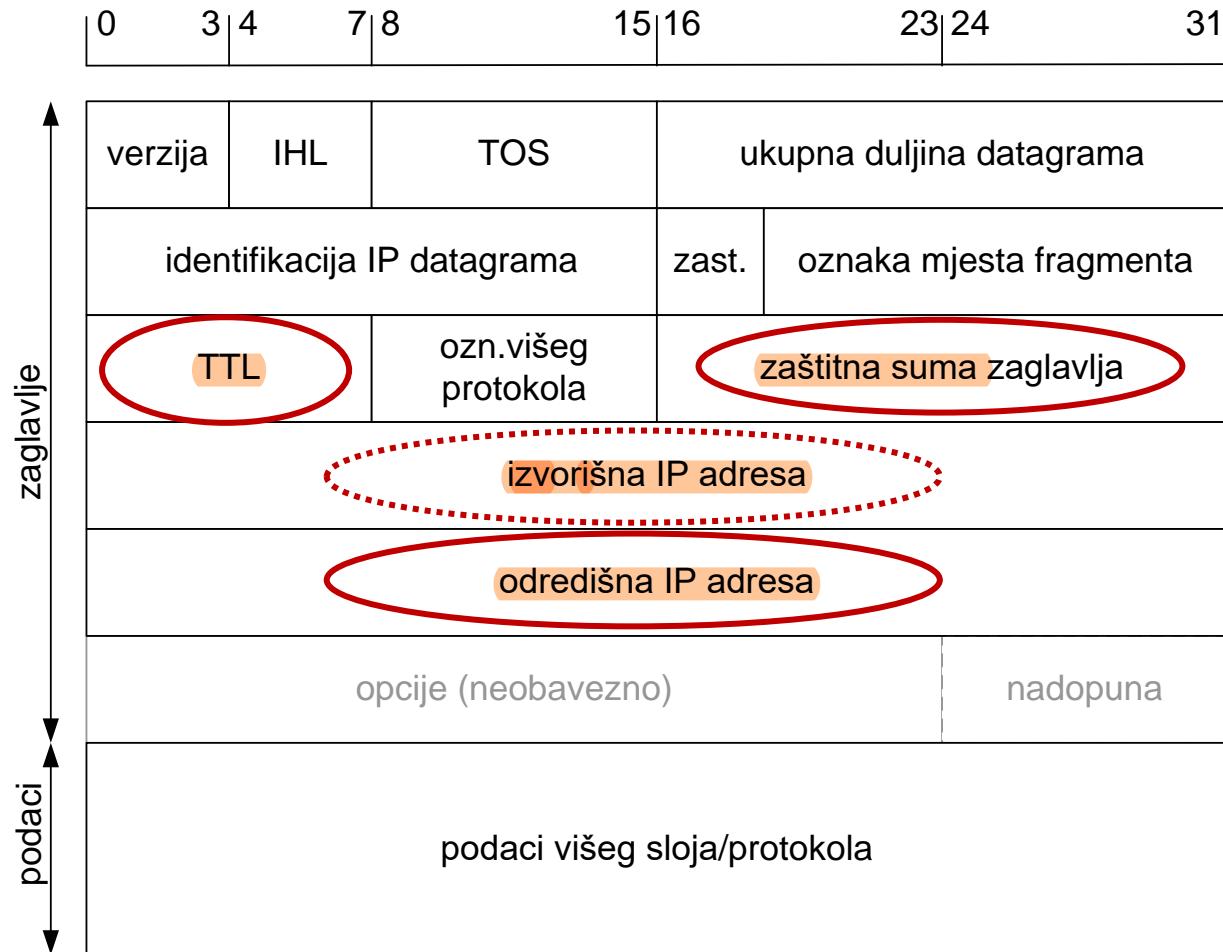


Netransparentna fragmentacija: model primjenjen u Internetu!

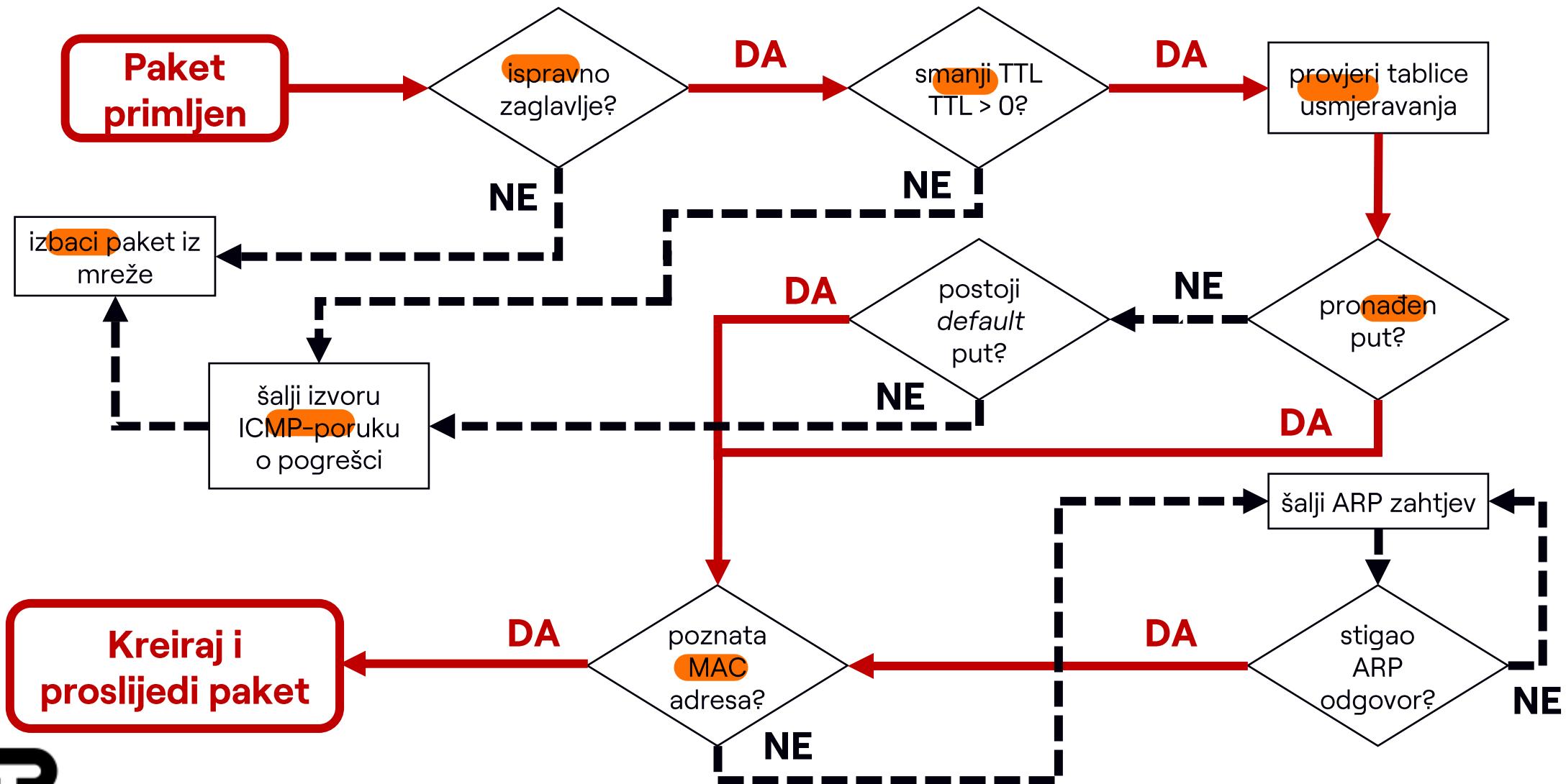
IPv4-zaglavje: polja vezana uz omatanje



IPv4-zaglavje: polja vezana uz usmjeravanje



Proces usmjeravanja IPv4-paketa u usmjeritelju (1)



Proces usmjeravanja IPv4-paketa u usmjeritelju (2)

1. U kojim se poljima razlikuju zaglavlje IPv4-paketa kojeg je primio usmjeritelj i zaglavlje paketa kojega je usmjerio prema odredištu i proslijedio sljedećem čvoru?
2. U kakvim okolnostima IPv4-usmjeritelj izaziva gubitak paketa (izbacuje ga) i zašto?

Sadržaj predavanja

- Mrežni sloj i mrežni protokol IPv4 ukratko
- **Glavne značajke protokola IPv6**
- Format datagrama, osnovno i dodatna zaglavlja
- Adresiranje
- Upravljački protokoli
 - ICMPv6
 - NDP
 - DHCPv6

Internet Protocol v6

Internet Protocol Version 6, IPv6 (RFC 2460 → RFC 8200)

- zadržava dobra svojstva prethodne verzije IP-a (IPv4), a ispravlja nedostatke i unosi poboljšanja:
 - veći adresni prostor omogućuje globalnu umreženost i dostupnost svih čvorova, bez "skrivenih" mreža i računala
 - učinkovitije usmjeravanje
 - nove mogućnosti

IPv4 – IPv6: ograničenja IPv4

- ograničenja IPv4:
 - broj raspoloživih adresa postao premalen (**32 bitne adrese**)
 - prevelike tablice **usmjeravanja** ← **ZAŠTO?**
 - problemi upravljanja mrežom
 - nedovoljni **sigurnosni mehanizmi** na mrežnom sloju
 - nedovoljni **mehanizmi pokretljivosti** na mrežnom sloju
 - slaba potpora za prijenos podataka u stvarnom vremenu – **kvaliteta usluge (QoS - Quality of Service)**

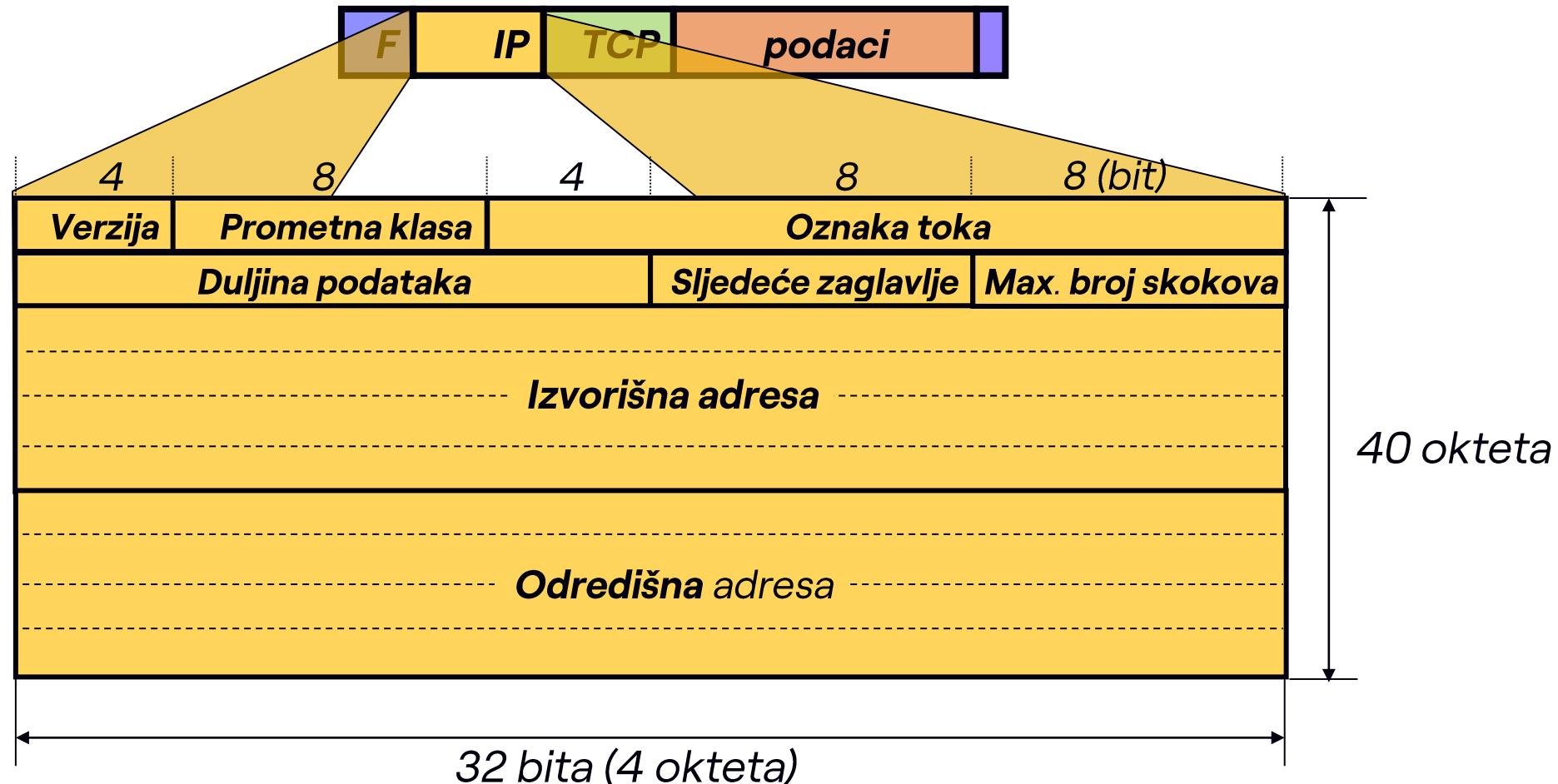
IPv4 – IPv6: nova rješenja u IPv6

- novosti u IPv6:
 - veći adresni prostor (**128 bitne adrese**)
 - pojednostavljenje formata zaglavlja
(fiksna duljina, manje polja)  **ZAŠTO?**
 - dodatna zaglavljia za posebne mogućnosti
 - unaprijeđeno usmjeravanje
 - mogućnost označavanja tokova (tj. paketa koji pripadaju istom toku)
 - bolja potpora za sigurnost: provjera autentičnosti i zaštita privatnosti, integritet podataka, povjerljivost
 - bolja potpora za pokretljivost (*Mobile IPv6*)
 - potpora za kvalitetu usluge

Sadržaj predavanja

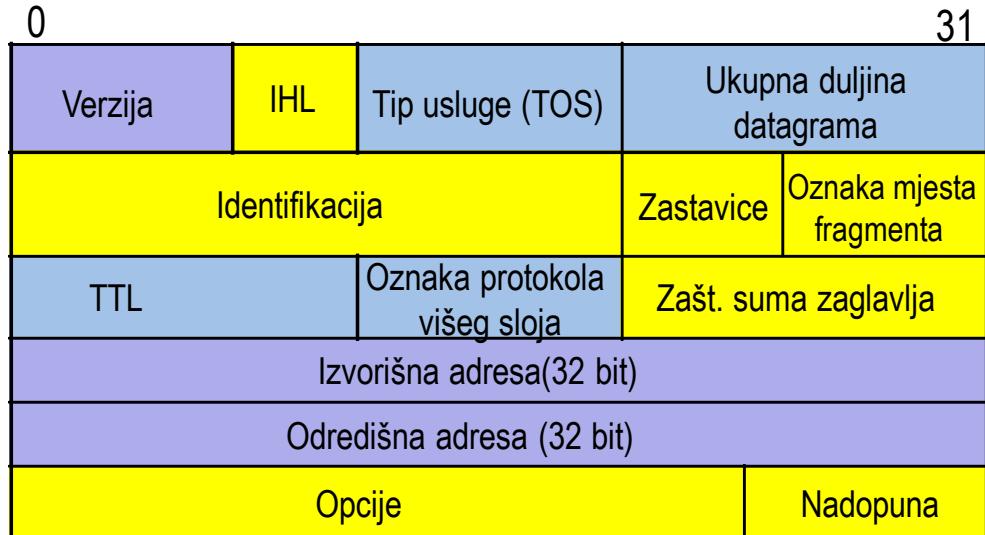
- Mrežni sloj i mrežni protokol IPv4 ukratko
- Glavne značajke protokola IPv6
- **Format datagrama, osnovno i dodatna zaglavla**
- Adresiranje
- Upravljački protokoli
 - ICMPv6
 - NDP
 - DHCPv6

Zaglavje IPv6



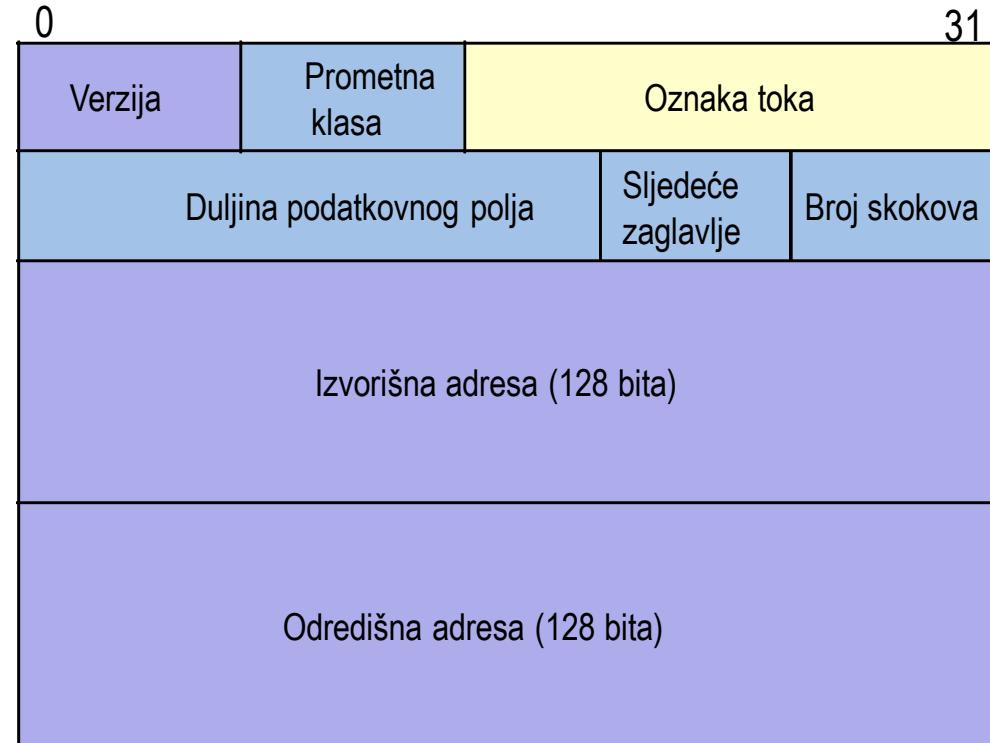
Usporedba zaglavlja IPv4 i IPv6

IPv4 -zaglavljje



Duljina zaglavlja: bez opcija 20 okteta; s opcijama max. 60 okteta

IPv6 -zaglavljje



Fiksno 40 okteta

Značenje boja na slikama:

- naziv polja isti u IPv4 i IPv6
- polje izbačeno u IPv6
- promjena imena i pozicije polja u IPv6
- novo polje u IPv6

Izvor:
https://www.cisco.com/en/US/technologies/tk648/tk872/technologies_white_paper0900aecd8054d37d.html

Proces usmjeravanja IPv6-paketa u usmjeritelju

1. U kojim se poljima razlikuju zaglavlje IPv6-paketa kojeg je primio usmjeritelj i zaglavlje paketa kojega je usmjerio prema odredištu i proslijedio sljedećem čvoru?
2. U kakvim okolnostima IPv6-usmjeritelj izaziva gubitak paketa (izbacuje ga) i zašto?
3. Kakve mogu biti posljedice pogreške u zaglavlju IPv6-paketa?

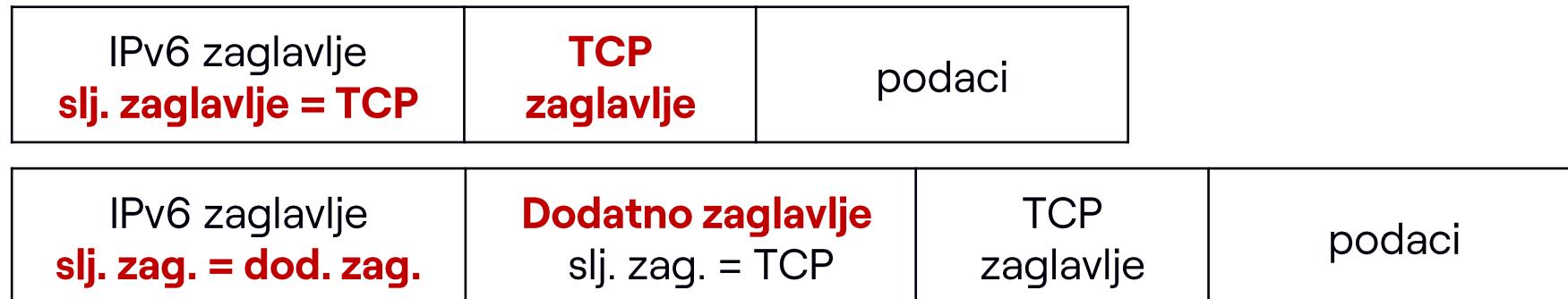
Dodatna zaglavlja IPv6

IPv4:

- korištenje posebnih opcija usporava prosljeđivanje paketa u usmjeriteljima

IPv6:

- umjesto opcija koriste se dodatna zaglavlja za proširenja koja se po potrebi dodaju iza osnovnog zaglavlja, npr.:



- sama specifikacija protokola IPv6 omogućuje uvođenje novih vrsta dodatnih zaglavlja:
<https://www.iana.org/assignments/ipv6-parameters/ipv6-parameters.xhtml>

Vrste i poredek dodatnih zaglavlja IPv6

IPv6 datagram:

1. Zaglavljje IPv6

2. Zaglavljje skok po skok (engl. *Hop-by-Hop Options header*)
3. Zaglavljje namijenjeno odredištu (1) (engl. *Destination Options header*)
4. Zaglavljje usmjerenja (engl. *Routing header*)
5. Zaglavljje fragmenta (engl. *Fragment header*)
6. Zaglavljje za provjeru autentičnosti (engl. *Authentication header*)
7. Zaglavljje za sigurnosno ovijanje podataka (engl. *Encapsulating Security Payload header*)
8. Zaglavljje namijenjeno odredištu (2)
 - nakon zadnjeg dodatnog IPv6 zaglavljja slijede zaglavljje i podaci protokolne jedinice transportnog sloja (TCP ili UDP) ili zaglavljje i podaci protokolne jedinice ICMPv6

Samo zaglavljje IPv6 je obvezno!

Zaglavljje skok po skok

Hop-by-Hop Options Header

- zaglavljje varijabilne duljine koje sadrži informaciju namijenjenu svakom čvoru na putu dostave datagrama
- sadrži podatke o sljedećem zaglavljju, veličini samog dodatnog zaglavja i opcionsko polje s jednom ili više definicija akcije koju poduzima čvor

Primjer primjene:

- prijenos vrlo velikih paketa $> 2^{16}$ okteta ("jumbo payload"), npr. video sadržaj, na putu s velikim MTU
 - polje "duljina podataka" u IPv6 zaglavljju = 0
 - ne primjenjuje se fragmentacija

Zaglavlje namijenjeno odredištu (1)

Destination Options Header (1)

- zaglavlje varijabilne duljine koje sadrži dodatnu informaciju za **prvo odredište i sva odredišta** koje sadrži **dodatno zaglavlje Routing Header**
- sadrži podatke o sljedećem zaglavlju, veličini samog dodatnog zaglavla i polje s jednom ili više definicija akcije koju poduzima čvor - odredište

Primjer primjene:

- **Mobile IPv6**

Zaglavlje namijenjeno odredištu (2)

Destination Header (2)

- zaglavlje varijabilne duljine koje **sadrži** dodatnu informaciju samo **za krajnje odredište**
- sadrži podatke o sljedećem zaglavlju, veličini samog dodatnog zaglavlja i polje s jednom ili više definicija akcije koju poduzima čvor - odredište

Primjer primjene:

- *Mobile IPv6*

Zaglavlje usmjeravanja

Routing Header

- zaglavlje varijabilne duljine koje **sadrži popis usmjeritelja** na putu od **izvora** do **odredišta**
- sadrži podatke o sljedećem zaglavlju, veličini samog dodatnog zaglavlja, vrsti usmjeravanja i popis čvorova koje paket još treba prijeći prije nego što dođe do odredišta
- početna specifikacija nesigurna za mrežu:
 - zlonamjerno usmjeravanje datagrama na neki čvor: zagušenje! (**DDoS** napad)

Primjer primjene:

- odabir niza usmjeritelja putem kojih se povezuju izvor i odredište
- *Mobile IPv6*

Zaglavlje fragmenata

Fragment Header

- zaglavlje fiksne duljine koje se primjenjuje za slanje datagrama većih od MTU-a puta
 - IPv6 propisuje minimalni MTU od 1280 okteta
- nefragmentirani dio zajednički za sve fragmente:
 - osnovno zaglavlje i dodatna zaglavla skok po skok i usmjeravanja
 - sadrži podatke o sljedećem zaglavlju, polje s mjestom fragmenta, zastavicu koja označava ima li još fragmenata (1) ili je riječ o zadnjem (0) i identifikacijsko polje koje označava fragmentirani paket

Primjena:

- fragmentiranje datagrama – isključivo na izvoru!

Vrste i poredek dodatnih zaglavlja IPv6

IPv6 datagram:

1. Zaglavljje IPv6

2. Zaglavljje skok po skok (engl. *Hop-by-Hop Options header*)
3. Zaglavljje namijenjeno odredištu (1) (engl. *Destination Options header*)
4. Zaglavljje usmjeravanja (engl. *Routing header*)
5. Zaglavljje fragmenta (engl. *Fragment header*)

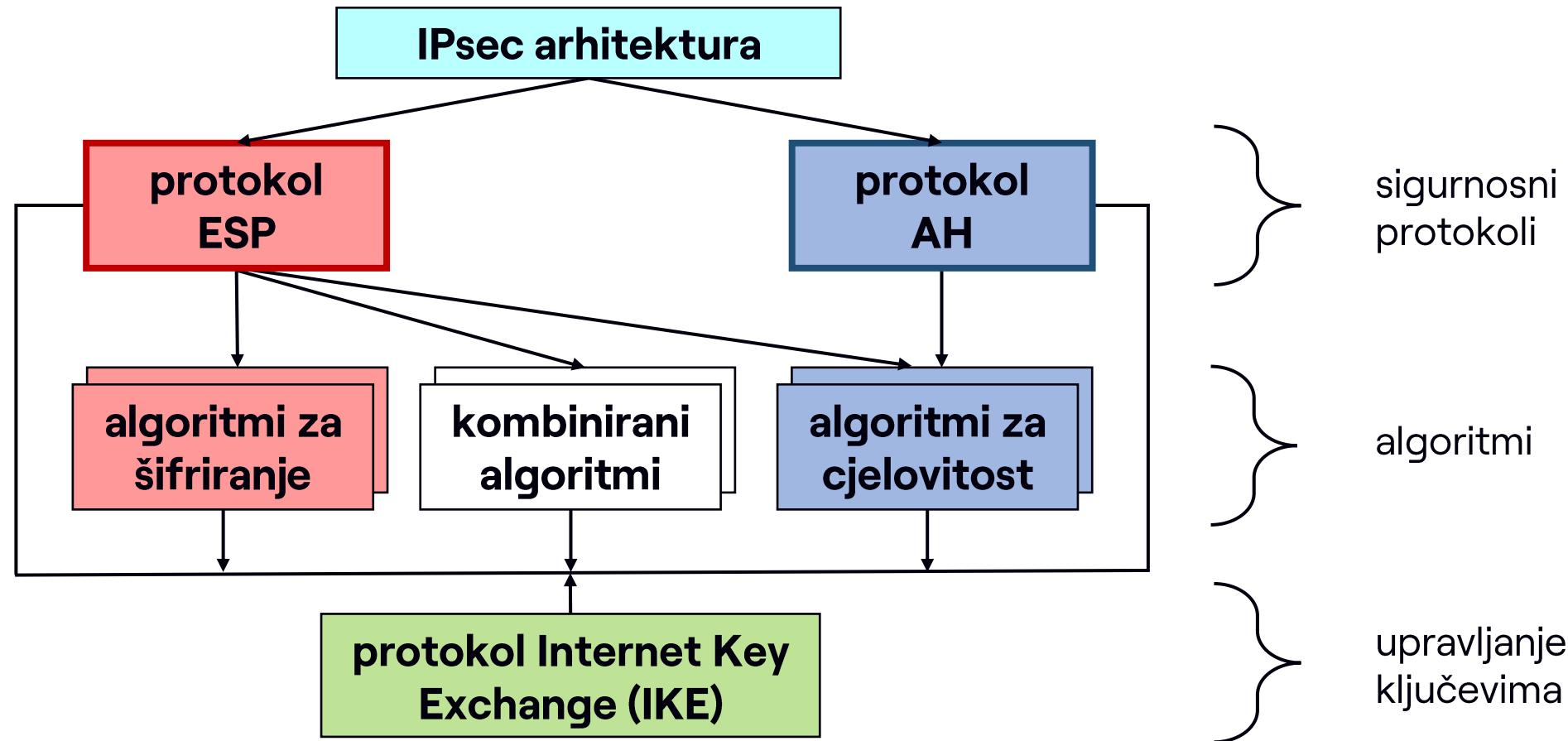
u okviru sigurnosne internetske arhitekture (IPsec)

6. Zaglavljje za provjeru autentičnosti (engl. *Authentication header*)
7. Zaglavljje za sigurnosno ovijanje podataka (engl. *Encapsulating Security Payload header*)
8. Zaglavljje namijenjeno odredištu (2)

- nakon zadnjeg dodatnog IPv6 zaglavljja slijede zaglavljje i podaci protokolne jedinice transportnog sloja (TCP ili UDP) ili zaglavljje i podaci protokolne jedinice ICMPv6

Samo zaglavljje IPv6 je obvezno!

Sigurnosna internetska arhitektura (IPsec)



Ova tema obrađuje se detaljno na kolegiju „Sigurnost u Internetu“.

Izvor: RFC 6071 IP Security (IPsec) and Internet Key Exchange (IKE)
Document Roadmap

Arhitektura IPsec, glavna obilježja

- IPSec definira protokole čija zadaća je prijenos podataka, pri čemu se podaci tijekom prijenosa mogu štititi na dva načina:
 - protokol AH: zaglavlje autentičnosti (engl. *Authentication Header*, AH):
 - štiti integritet datagrama, autentičnost izvora datagrama te štiti od napada ponavljanjem ranije snimljenih datagrama
 - protokol ESP: sigurnosno ovijeni podaci (engl. *Encapsulating Security Payload*, ESP):
 - sve što i AH te, dodatno, povjerljivost podataka
 - oba protokola mogu štiti bilo koji protokol više razine koji se prenosi IP datagramom
 - definirana su dva načina rada: transportni i tunelski način rada
- Dodatno, definira protokol IKE (Internet Key Exchange) koji provodi uzajamnu autentifikaciju dviju strana te između njih uspostavlja sigurnosnu asocijaciju, koja koristi protokole AH ili ESP i skup kriptografskih algoritama za zaštitu prometa koji se prenosi preko sigurnosne asocijacije.
 - protokol IKE omogućuje razmjenu informacija o podržanim algoritma i pregovaranje o onima koji će se primijeniti
 - u primjeni je verzija IKEv2 (RFC 7296)
- u implementaciji IPsec(v3) je protokol ESP definiran kao obavezan, a AH kao opcionalan

Arhitektura IPsec, primjene

- Vrlo široka primjena za ostvarivanje virtualnih privatnih mreža (engl. *Virtual Private Network*, skr. **VPN**)
 - koristi se ESP u tunelskom način rada (*gateway - gateway*)
 - krajne točke komunikacije "ne znaju" za tuneliranje, a kada paket prolazi dionicom kroz javni Internet, potencijalni napadači ne mogu sazнати ništa o unutarnjoj mreži (primjerice, IP adrese krajnjih točaka)
- VPN se može se iskoristiti i za **sigurnu komunikaciju** dvaju krajnjih računala, primjerice **poslužitelja i klijenta**
- Protokol AH se koristi za zaštitu određenih poruka protokola Mobile IPv6 (više na nekom od sljedećih predavanja)

Primjena IPsec-a u IPv4 i IPv6 mreži

Internet Protocol Security (IPsec) u IPv4 i IPv6

- sigurnosna opcija za IPv4
- sastavni dio IPv6: dodatna zaglavla AH i ESP
- sigurnosna arhitektura
 - sigurnosni protokoli
 - kriptografski algoritmi za šifriranje i vjerodostojnost (autentičnost)
 - procedure i protokoli za upravljanje kriptografskim ključevima
- primjena postupaka kojima se postiže:
 - autentičnost pošiljatelja datagrama (izvorišna IP-adresa)
 - integritet datagrama (nepromijenjen tijekom prijenosa)
 - povjerljivost/tajnost cijelog datagrama ili samo polja podataka

Zaglavlje za provjera autentičnosti

Authentication Header (AH)

- jamstvo da je primljeni datagram odaslan s izvorišne IP-adrese:
 - autentičnost izvora IP-datagrama,
- jamstvo da podaci nisu mijenjani pri prolasku kroz mrežu:
 - integritet podataka – IP-datagram nije mijenjan tijekom prijenosa

Zaglavlje za sigurnosno ovijanje podataka

Encapsulating Security Payload Header (ESP)

- šifriranjem osigurava povjerljivost/tajnost i integritet datagrama
 - jamči povjerljivost podataka, tj. jamči da podaci nisu bili čitani
 - jamči integritet podataka, tj. da podaci nisu bili mijenjani
- dva načina rada:
 - transportni način ESP (engl. *transport-mode ESP*): zaštita polja podataka u kojem je TCP/UDP paket
 - tunelski način ESP (engl. *tunel-mode ESP*): zaštita cijelog datagrama, uključujući zaglavlj

IPsec, transportni i tunelski način rada

izvorni IP-datagram

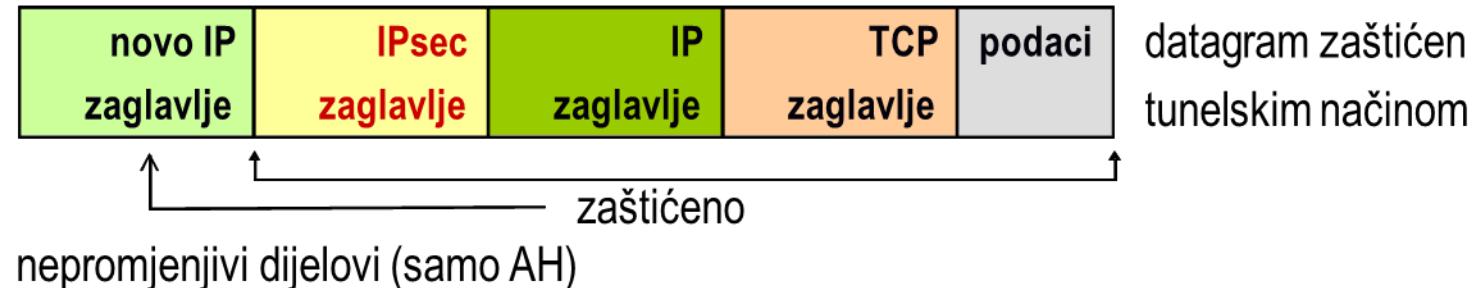


Transportni način: štiti podatke protokola viših slojeva (od transportnog na više)

datagram zaštićen
transportnim načinom



Tunelski način: štiti cijeli izvorni IP-paket



Sadržaj predavanja

- Mrežni sloj i mrežni protokol IPv4 ukratko
- Glavne značajke protokola IPv6
- Format datagrama, osnovno i dodatna zaglavlja
- **Adresiranje**
- Upravljački protokoli
 - ICMPv6
 - NDP
 - DHCPv6

Adresni prostor

- **Duljina IPv6-adresa je 128 bitova**
 - usporedba broja mogućih adresa:
 - IPv4: 2^{32} , odn. 4 294 967 296
 - IPv6: 2^{128} , odn. 340 282 366 920 938 463 463 374 607 431 768 211 456
- obilježja adresnog prostora IPv6:
 - 655 570 793 348 866 943 898 599 adresa za 1 m² površine Zemlje
 - omogućuje stvaranje domena koje odražavaju današnju topologiju Interneta, jer 128 bita dozvoljava višestruke razine hijerarhije i fleksibilnost
 - učinkovitije usmjeravanje, jer je omogućeno združivanje (agregaciju) adresa u hijerarhije mreža, davatelja usluga, korporacija, zemljopisnih područja i druge

Zapis adresa

- notacija: 8 grupa po 4 heksadekadske znamenke:
 - npr: EFD1:0989:AB02:7654:C4ED:890B:DE65:1240
- sažimanje okteta :00: → ::
 - npr. 1080:0:0:0:0:8:800:200C → 1080::8:800:200C
 - 0:0:0:0:0:0:1 → ::1
 - 0:0:0:0:0:0:0 → ::

dvije dvotočke (::) smiju se upotrijebiti **samo jednom** u adresi

1080:**0:0**:8:800:**0:0**:200C → 1080::8:800::200C

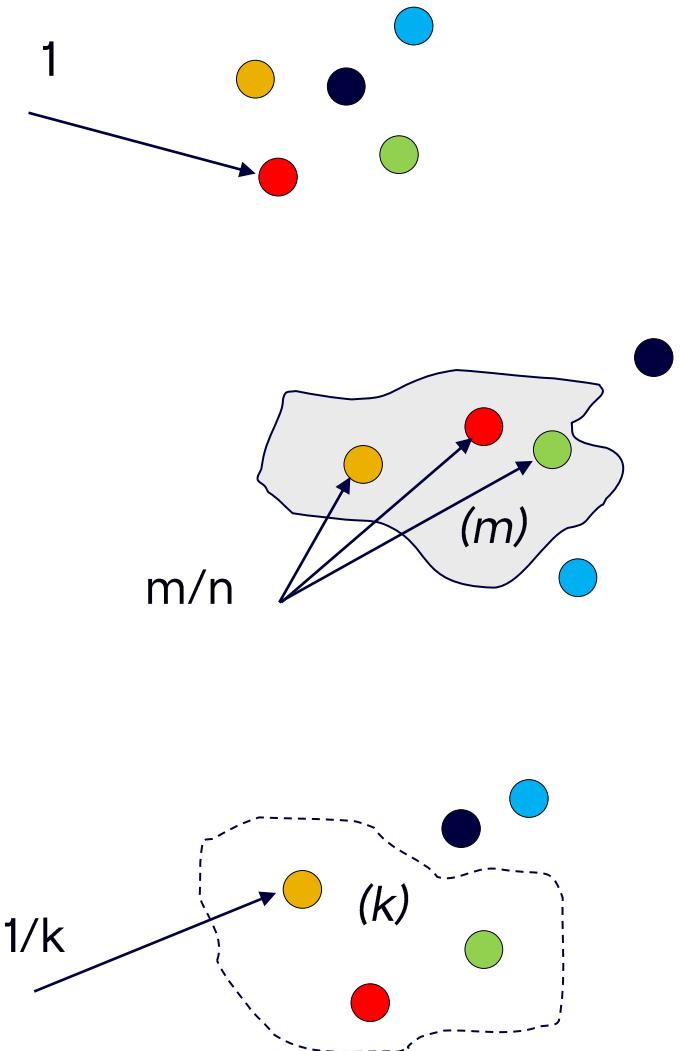


ZAŠTO?

- kao i kod IPv4, i IPv6-adrese imaju mrežni i računalni dio
prefiksni zapis: ip-adresa/prefiks
12AB:0:0:CD30::/60

Vrste IPv6 adresa (1)

- **Unicast – jednoodredišna adresa**
 - identificira jedno sučelje računala/čvora
 - globalna i lokalna adresa
- **Multicast – višeodredišna adresa**
 - određuje skup sučelja (obično na različitim čvorovima)
 - paket se dostavlja svim sučeljima određenima tom **multicast** adresom
- **Anycast – adresa više sučelja, dostava jednom iz skupa sučelja**
 - paket se dostavlja se samo jednom ("**najbližem**") sučelju od onih s tom **anycast** adresom



Vrste IPv6 adresa (2)

Vrsta adrese	Binarni prefiks	IPv6 prefiksna notacija
Nespecificirana (<i>unspecified</i>)*	00...0 (128 bita)	::/128
Povratna (<i>loopback</i>)*	00...1 (128 bita)	::1/128
Višeodredišna (<i>multicast</i>)	11111111	FF00::/8
Lokalna jednoodredišna na poveznici (<i>Link-Local Unicast</i>)	1111111010	FE80::/10
Globalna jednoodredišna (<i>Global Unicast</i>)	(sve ostalo)	
Anycast	iz jednoodredišnjog raspona	

Posebne IPv6-adrese

- **nespecificirana (*unspecified*) adresa**
 - 0:0:0:0:0:0 ili :: (naznačuje da nema adresu)
 - ekvivalentno adresi **0.0.0.0** u IPv4
 - primjena: izvorišna adresa paketa kojima se provjerava jednoznačnost tražene adrese (npr. kod autokonfiguracije).
 - ne smije se dodijeliti mrežnom sučelju niti koristiti kao odredišna adresa.
- **povratna (*loopback*) adresa**
 - **::1**
 - ekvivalent adresi **127.0.0.1** u IPv4
 - omogućuje čvoru da šalje podatke sam sebi (npr. testiranje)
 - paketi adresirani na povratnu adresu ne smiju se poslati na poveznicu

Višeodredišna adresa (*multicast*)



Paketi se dostavljaju **svim sučeljima** unutar grupe definirane adresom (*Group ID*)

- F - zastavica (*flag*), zastavica *Transient*:
 - T = 0, trajno dodijeljena *multicast* adresa
 - T = 1, privremeno dodijeljena *multicast* adresa
- S – doseg (*scope*), označava doseg adrese:
 - sučelje (*interface-local*), poveznica (*link-local*), globalno (*global*)
- posebne adrese koriste se za definiranje čvorova i usmjeritelja dosega sučelja i poveznice te druge primjene

Lokalna jednoodredišna adresa (*link-local unicast*)



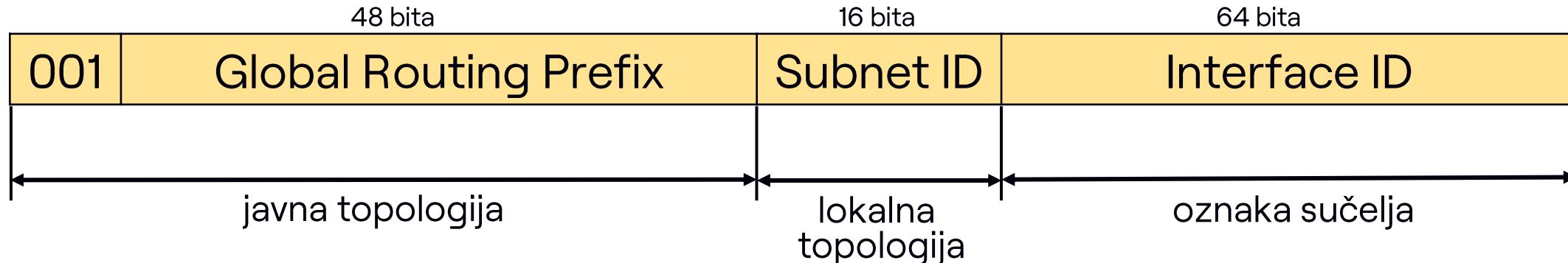
Za komunikaciju čvorova na istoj poveznici*:

- konfiguiraju se automatski
- IPv6-usmjeritelj ne prosljeđuje pakete s *link-local* adresom izvan poveznice
- potrebne za otkrivanje susjednih čvorova (Neighbor Discovery)

Prefiksni zapis = ?

*čvorovi ne komuniciraju putem usmjeritelja

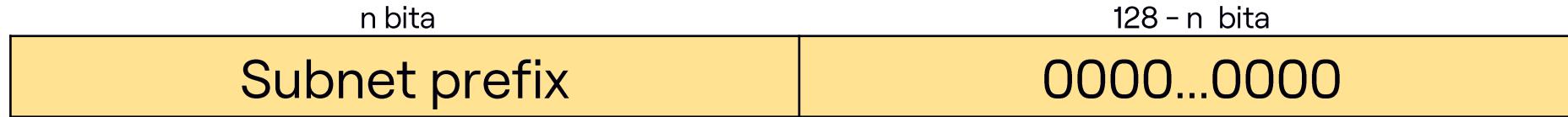
Globalna jednoodredišna adresa (*global unicast*)



Javna globalno dostupna jedinstvena adresa:

- **001** – format prefiksa (*format prefix*)
- **globalni prefiks usmjeravanja** (*Global Routing Prefix*) – identifikator organizacije – davatelja internetske usluge
- **identifikator podmreže** (*Subnet ID*) – identifikator podmreže u okviru organizacije
- **identifikator sučelja** (*Interface ID*) – u IEEE EUI-64 formatu

Adresa jednog iz skupa sučelja (anycast)



Paketi se dostavljaju „najbližem“ iz adresirane grupe sučelja

- mjera „bliskosti“ je broj skokova
- adresa *Subnet-Router anycast* dodjeljuje se usmjeriteljima (svakom sučelju za podmrežu u kojoj se nalazi. Ta je adresa jednaka prefiksu podmreže (*Subnet prefix*) u *unicast* adresi, sa svim ostalim bitovima postavljenima u 0.
- adresa *Subnet-Router anycast* omogućuje komunikaciju s jednim od usmjeritelja u podmreži.

Dodjela IPv6 adrese

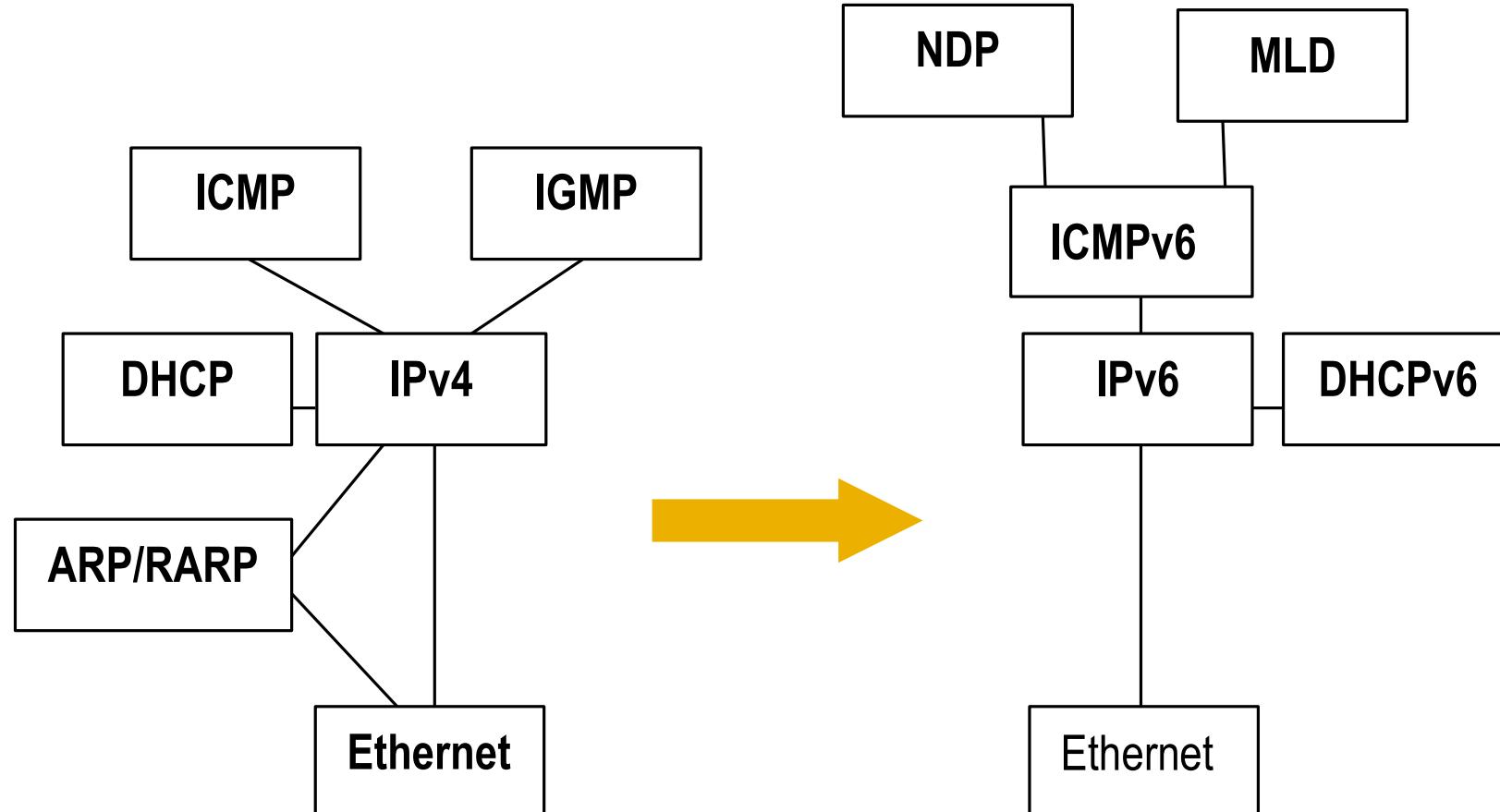
- **Dva mehanizma autokonfiguracije:**
- samostalna (bez poslužitelja) autokonfiguracija adrese (stateless)
 - zasnovana na MAC adresi predočenoj EUI-64-bitnim brojem (izведен iz eternetske 48 bitne adrese); primjena protokola **Neighbor Discovery Protocol (NDP)**
- autokonfiguracija s poslužiteljem (statefull)
 - koristi se poslužitelj **Dynamic Host Configuration Protocol for IPv6 (DHCPv6)**
 - uz samu IPv6-adresu, omogućena je potpuna i konfiguracija za TCP/IP

Upravljački protokoli!

Sadržaj predavanja

- Mrežni sloj i mrežni protokol IPv4 ukratko
- Glavne značajke protokola IPv6
- Format datagrama, osnovno i dodatna zaglavlja
- Adresiranje
- **Upravljački protokoli**
 - ICMPv6 (Internet Control Message Protocol for IPv6)
 - NDP (Neighbor Discovery Protocol)
 - DHCPv6 (Dynamic Host Configuration Protocol for IPv6)

Upravljački protokoli za IPv6 (1)



Podsjetimo se



pa uočimo razliku!

Upravljački protokoli za IPv6 (2)

- ***Internet Control Message Protocol for IPv6 (ICMPv6)***
 - slično kao kod IPv4; služi za dojavu pogrešaka i dijagnostiku (npr. ICMPv6 "ping")
 - prenosi poruke za protokole NDP i MLD
- ***Neighbour Discovery Protocol (NDP)***
 - zamjenjuje protokol Address Resolution Protocol (ARP) iza IPv4 i proširuje njegovu funkcionalnost
- ***Multicast Listener Directory (MLD)***
 - zamjenjuje Internet Group Management Protocol (IGMP) za IPv4 i proširuje njegovu funkcionalnost
 - višeodredišno usmjeravanje i komunikacija obrađuju se u predmetu „Višemedijske komunikacije“
- ***Dynamic Host Configuration Protocol for IPv6 (DHCPv6)***
 - protokol za autokonfiguraciju adrese pomoću poslužitelja – slično kao kod IPv4, DHCPv6 poslužitelj dinamički dodjeljuje IPv6 adresu i pruža druge konfiguracijske informacije

Protokol ICMPv6

Internet Control Message Protocol for IPv6 (ICMPv6)

- IP je jednostavan protokol koji nema mogućnost dojave pogreške – to za njega radi ICMP (“dijagnostika” u IP-mreži)
- ICMPv6 proširuje funkcionalnost ICMPv4
- ICMPv4 i ICMPv6 nisu međusobno kompatibilni
- Vrste poruka:
 - poruke o pogreškama (odredište nedostupno, prevelik paket, istek vremena, problem s parametrima)
 - informativne poruke (echo request, echo replay) – IPv6 ping
 - specifične poruke vezane uz druge protokole (npr. NDP, MLD)
- Primjena vezana uz fragmentiranje:
 - Određivanje MTU-puta (Path MTU Discovery)

Protokol ICMPv6: određivanje MTU-puta

- IPv6 propisuje minimalni MTU od 1280 okteta
- datagrami se mogu fragmentirati samo na izvoru i sastavljati na odredištu: **MTU-puta = MTU-poveznice_{min}**
- Postupak:
 1. izvor šalje datagram veličine MTU vlastite poveznice
 2. usmjeritelj na putu proslijedi datagram ako nije veći od MTU-poveznice po kojoj ga šalje, inače ga **odbacuje** i izvoru vraća **ICMPv6** poruku „prevelik paket“ s informacijom o njegovom MTU-poveznice (prihvatljiva veličina paketa)
 3. izvor po primitku poruke „prevelik paket“ smanjuje veličinu paketa na novu vrijednost MTU i šalje paket takve veličine. Postupak 2 - 3 se ponavlja sve dok paket ne stigne na odredište. Time je određen **MTU-puta**.

Protokol NDP

NDP (*Neighbour Discovery Protocol*)

- upravljački protokol – preuzima i proširuje funkcije protokola ICMP i ARP iz IPv4 i definira nove poruke ICMPv6
- „susjedi” – čvorovi (računala i usmjeritelji) na istoj poveznici
- „otkrivanje susjeda” – poruke i procesi kojima se određuje odnos susjednih čvorova
- osigurava funkcije na lokalnoj poveznici
 - za sve čvorove: razlučivanje adrese (IP-adresa – MAC-adresa, otkrivanje duplicitne adrese, dostupnosti čvora i sljedećeg skoka)
 - za računala: otkrivanje usmjeritelja, mrežnog prefiksa i parametara, autokonfiguracija adrese, preusmjeravanje
 - za usmjeritelje: oglašavanje prisutnosti

Funkcije protokola NDP (1)

- **Razlučivanje adrese** (*address resolution*) – za otkrivanje MAC-adrese na temelju poznate IP sučelja (odgovora ARP-zahtjevu u IPv4)
- **Otkrivanje duplicitne adrese** (*duplicate address detection*) – provjera koristi li se već IP-adresa u istoj mreži
- **Provjera dostupnosti** (*neighbor unreachability detection*) – određivanje dostupnosti susjednog čvora
- **Određivanje sljedećeg skoka** (*next-hop determination*) – određuje slanje datagrama na temelju odredišne adrese datagrama
- **Preusmjeravanje** (*redirect*) – usmjeritelj informira računalo o boljem putu do određenog odredišta

Funkcije protokola NDP (2)

- **Autokonfiguracija adrese** (*address autoconfiguration*) – automatska konfiguracija adrese računala
- **Otkrivanje usmjeritelja** (*router discovery*) – računalo otkriva usmjeritelja na svojoj lokalnoj poveznici
- **Otkrivanje prefiksa** (*prefix discovery*) – računalo otkriva kojoj mreži pripada
- **Otkrivanje parametara** (*parameter discovery*) – računalo otkriva parametre lokalne poveznice i/ili usmjeritelja (npr. MTU)

Napomena: Protokol NDP primjenjuje se i za pokretni IPv6 (*Mobile IPv6*).

Poruke protokola NDP

IPv6 zaglavje slj. zag. = 68 (ICMPv6)	ND zaglavlje poruke	ND opcije poruke
---	-------------------------------	----------------------------

Vrste poruka ICMPv6:

- traženje/pobudživanje usmjeritelja (*Router Solicitation*)
- oglašavanje usmjeritelja (*Router Advertisement*)
- traženje/pobudživanje susjeda (*Neighbour Solicitation*)
- oglašavanje susjeda (*Neighbour Advertisement*)
- preusmjeravanje (*Redirect*)

Adresiranje poruka ICMPv6:

- zahtjevi za nekom funkcijom - višeoodredišno (*multicast*)
- odgovori - jednoodredišno (*unicast*)

NDP: otkrivanje usmjeritelja

- računalo, nakon spajanja na mrežu, treba otkriti adresu najbližeg usmjeritelja
- usmjeritelj se periodički oglašava porukom *Router Advertisement* kojom dojavljuje svoju IP-adresu i druge parametre adresirajući sve čvorove u dosegu (*multicast*)
- računalo, da ne bi čekalo oglašavanje, može adresirati sve usmjeritelje u dosegu (*multicast*) porukom *Router Solicitation* koji će se odazvati s *Router Advertisement* samo tom računalu (*unicast*)

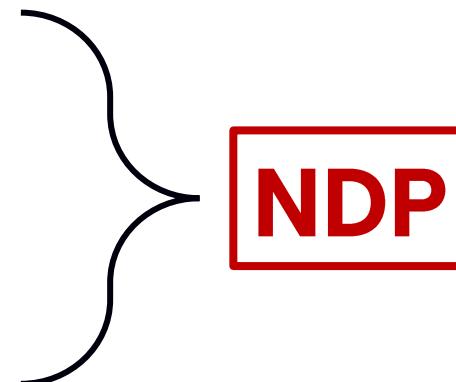
NDP: samostalna autokonfiguracija IP-adrese (1)

Autokonfiguracija bez poznavanja stanja (*stateless*):

- u mrežama bez poslužitelja DHCPv6

Postupak:

1. Jednoznačno adresiranje čvora na lokalnoj poveznici (*link-local unicast*): IPv6 adresa izvedena iz EUI-64 fizičke adrese (MAC-adrese)
2. Provjera jedinstvenosti adrese
3. Određivanje načina autokonfiguracije i parametara za autokonfiguraciju globalne adrese



NDP: samostalna autokonfiguracija IP-adrese (2)

Provjera jedinstvenosti adrese:

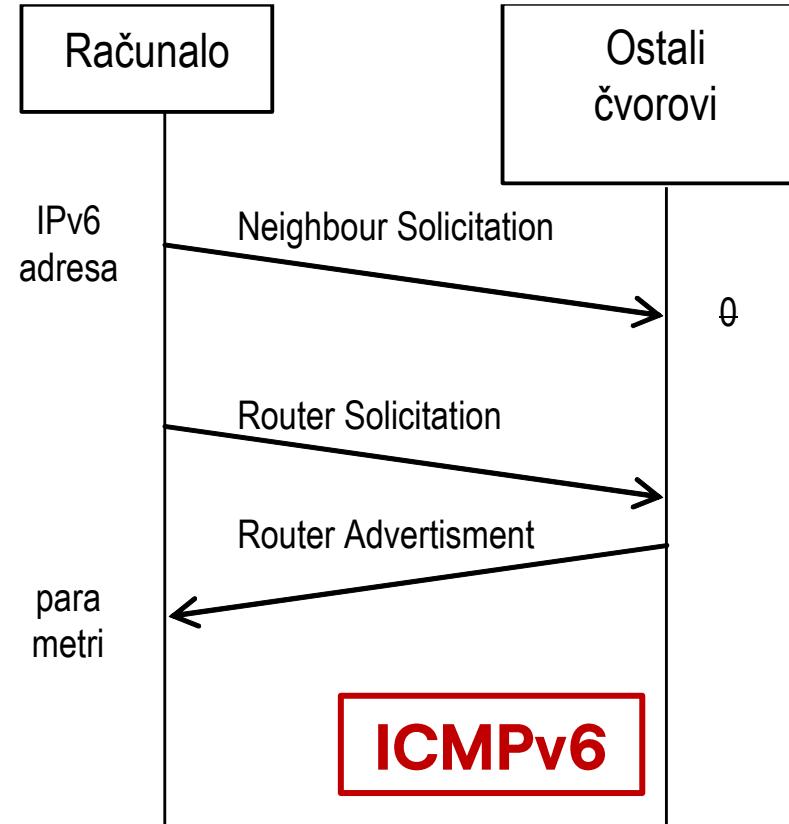
- računalo šalje višeoodredišnu poruku *Neighbour Solicitation*
- ako se neki drugi čvor odazove na tu adresu porukom *Neighbour Advertisement* koja označava duplicitanu adresu, autokonfiguracija nije moguća i prekida se – prelazi se na ručnu konfiguraciju (mrežni administrator)
- ako je adresa jedinstvena, računalo je spojeno na mrežu i omogućeni su prijam/predaja paketa na lokalnoj poveznici

NDP: samostalna autokonfiguracija IP-adrese (3)

Određivanje načina autokonfiguracije i informacije za autokonfiguraciju:

- računalo otkriva poslužitelja koji određuje način autokonfiguracije
 - autokonfiguracija s poznavanjem stanja s poslužiteljem DHCPv6 (*stateful*)
 - autokonfiguracija bez poznavanja stanja
- za autokonfiguraciju bez poznavanja stanja dostavlja potrebne parametre
- ako se usmjeritelj ne oglašava, preostaje autokonfiguracija putem poslužitelja DHCPv6

NDP: samostalna autokonfiguracija IP-adrese (3)



Uspješna samostalna autokonfiguracija adrese:

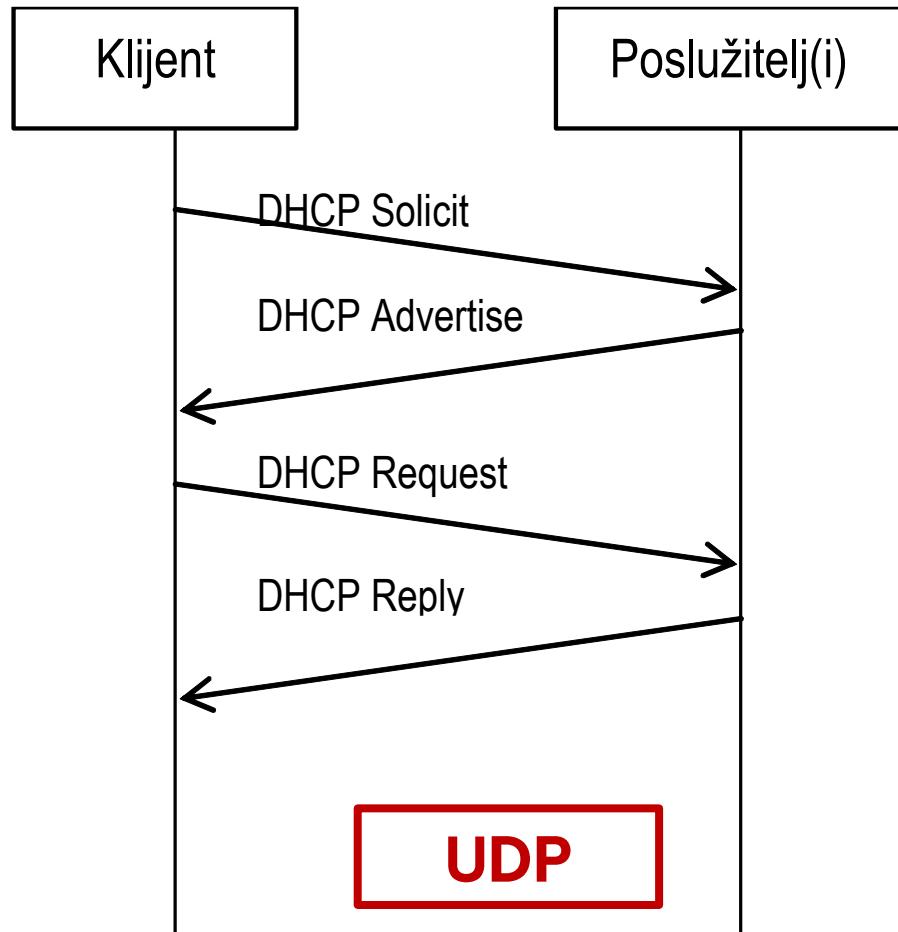
- Jedinstvena lokalna adresa na poveznici
- Usmjeritelj određuje način autokonfiguracije bez poznavanja stanja i dostavlja potrebne parametre

Protokol DHCPv6

Dynamic Host Configuration Protocol v6 (DHCPv6)

- autokonfiguracija adrese s poznavanjem stanja
- protokol klijent–poslužitelj koji omogućuje računalu (DHCPv6-klijent) dobivanje konfiguracijskih parametara od poslužitelja (DHCPv6-poslužitelj)
- transport poruka između klijenta i poslužitelja: UDP
- zasniva se na mogućnostima IPv6:
- višeodredišno adresiranje DHCPv6-poslužitelja i njihovih posrednika (*relay*)

Protokol DHCPv6 (2)



DHCP **Solicit**

- traži se poslužitelj DHCP-a ili posrednik (*relay*) - multicast

DHCP **Advertise**

- oglašava se poslužitelj DHCP-a

DHCP **Request**

- klijent odabire jednog od poslužitelja koji su se oglasili i zahtijeva konfiguracijske parametre

DHCP **Reply**

- poslužitelj dostavlja klijentu IPv6 adresu i druge zahtijevane parametre (npr. vrijeme valjanosti, poslužitelj DNS-a)

Protokol DHCPv6 (3)

Uz navedene poruke, primjenjuju se još dvije:

- **DHCP Release**: otpuštanje nekih dobivenih parametara, npr. adresu koju više neće koristiti
- **DHCP Reconfigure**: promjena nekih parametara

Zadaci (1)

- Istražite stanje primjene protokola IPv6 u svijetu i Hrvatskoj te pripremljenost web-sjedišta za rad s IPv6.
- Istražite internetski promet, podatke o broju korisnika i korištenju karakterističnih vrsta usluga (pretraživanje, trgovanje, društveno umrežavanje, ...)
- Izmjerite brzinu fiksnog pristupa Internetu u svojem stanu/studentskom domu u karakterističnim dijelovima dana u kojima se može očekivati/prepostaviti različit intenzitet internetskog prometa.
- Istražite napade na internetski promet i usluge.

Zadaci (2)

- Usporedite protokole IPv4 i IPv6 s obzirom na funkcionalnost i performanse.
- Što će se dogoditi IPv6-datagramu ako tijekom prijenosa smetnje izazovu pogrešku jednog bita u odredišnoj adresi?
- Kako se provodi fragmentacija za protokol IPv6 i kako se ustanavlja najveća dopuštena duljina fragmenta?
- Navedite i objasnite razloge zbog kojih protokol IPv6 omogućuje učinkovitije usmjeravanje u mreži u odnosu na sadašnje stanje koje je proizašlo iz načina adresiranja i usmjeravanja te dodjele IPv4–adresa.
- Kakve su vrste adresa podržane protokolom IPv6?

Zadaci (3)

- Koje su zadaće protokola NDP?
- Navedite primjer autokonfiguracije IPv6 bez poznavanja stanja (*stateless*) i objasnите kako se provodi.
- Navedite primjer autokonfiguracije IPv6 s poznavanjem stanja (*stateful*) i objasnите kako se provodi.
- Zašto se u protokolu DHCPv6 primjenjuje višeodredišno adresiranje?

Komunikacijski protokoli

7. Uvođenje protokola IPv6 u mrežu

Pokretljivost u IP-mreži

Creative Commons



- **slobodno smijete:**
 - **dijeliti** — umnožavati, distribuirati i javnosti priopćavati djelo
 - **remiksirati** — prerađivati djelo
- **pod sljedećim uvjetima:**
 - **imenovanje.** Morate priznati i označiti autorstvo djela na način kako je specificirao autor ili davatelj licence (ali ne način koji bi sugerirao da Vi ili Vaše korištenje njegova djela imate njegovu izravnu podršku).
 - **nekomercijalno.** Ovo djelo ne smijete koristiti u komercijalne svrhe.
 - **dijeli pod istim uvjetima.** Ako ovo djelo izmijenite, preoblikujete ili stvarate koristeći ga, preradu možete distribuirati samo pod licencom koja je ista ili slična ovoj.

U slučaju daljnog korištenja ili distribuiranja morate drugima jasno dati do znanja licencne uvjete ovog djela. Najbolji način da to učinite je linkom na ovu internetsku stranicu.

Od svakog od gornjih uvjeta moguće je odstupiti, ako dobijete dopuštenje nositelja autorskog prava.

Ništa u ovoj licenci ne narušava ili ograničava autorova moralna prava.

Tekst licencije preuzet je s <http://creativecommons.org/>.

Sadržaj predavanja

- Uvođenje IPv6 u mrežu
 - Prelazak na IPv6
 - Suživot IPv4 i IPv6
- *Mobile IP*
 - Adresiranje i funkcijски entiteti
 - Procedure pokretnog čvora
 - Usmjeravanje
- *Mobile IPv6*
 - Adresiranje i funkcijски entiteti
 - Otkrivanje promjene točke priključka
 - Autokonfiguracija adrese
 - Registracija
 - Usmjeravanje

Uvođenje IPv6 u mrežu

Prelazak na IPv6 (1)

- Protokoli IPv4 i IPv6 **nisu** međusobno kompatibilni
- Očekuje se da će prelazak na IPv6 trajati godinama, uz “suživot” protokola IPv4 i IPv6
- Različiti čvorovi u mreži:
 - IPv4-čvor (samo IPv4)
 - **IPv6/IPv4-čvor (IPv6 i IPv4) - dvostruki IP-sloj (dual IP layer)**
 - IPv6-čvor (samo IPv6)
- Za komunikaciju čvorova preko IPv4-infrastrukture, IPv6-infrastrukture ili njihove kombinacije primjenjuju se tranzicijski postupci:
 - **tuneliranje datagrama**

Prelazak na IPv6 (2)

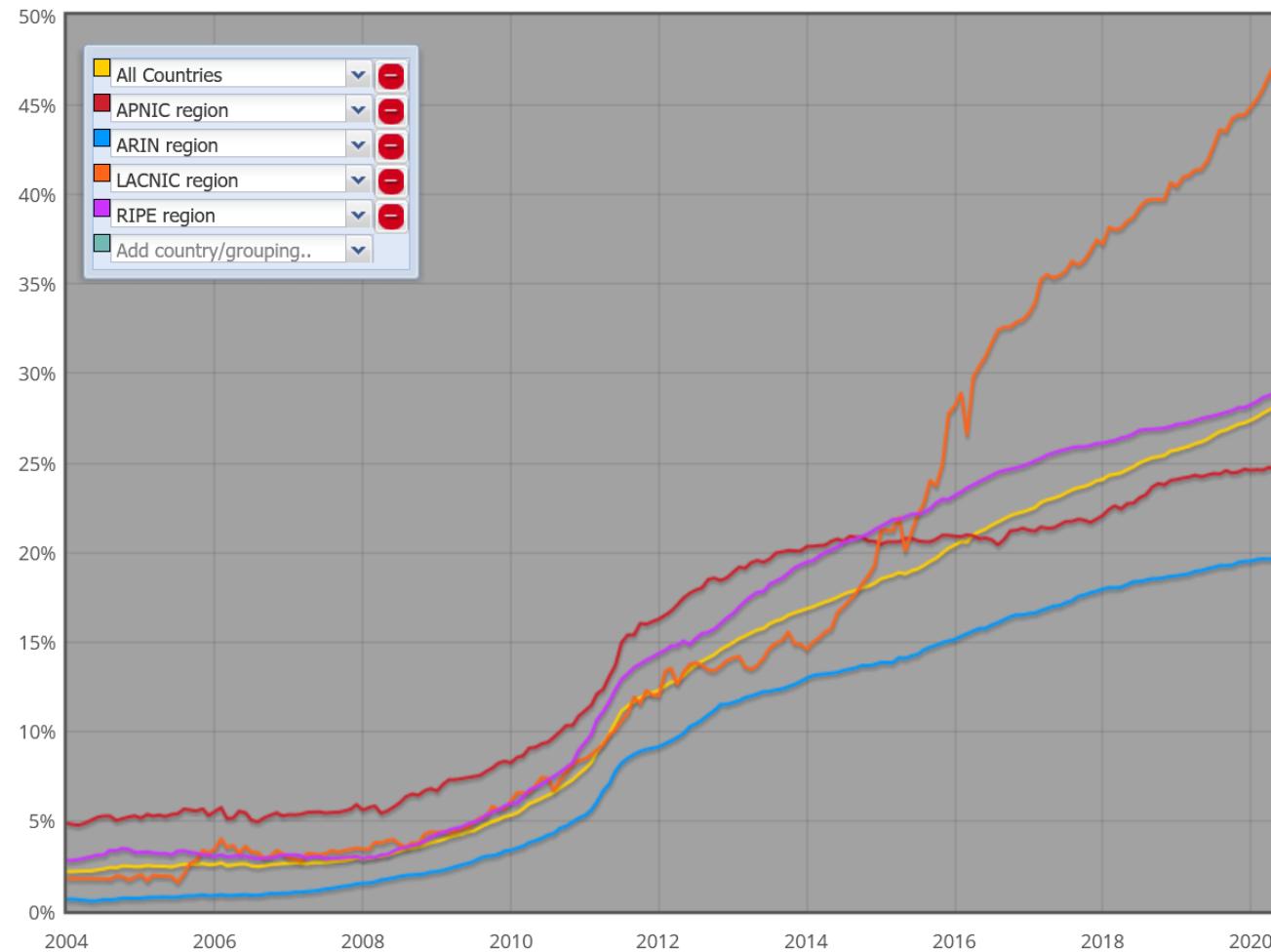
Sustav imenovanja domena (DNS – Domain Name System):

- Dogradnja za IPv6:
 - A zapisi za pretvorbu simboličko ime → IPv4-adresa (IPv4-čvor i IPv6/IPv4-čvor)
 - AAAA zapisi za pretvorbu simboličko ime → IPv6-adresa (IPv6-čvor i IPv6/IPv4-čvor)
 - PTR zapisi za pretvorbu IPv4-adresa → simboličko ime (IPv4-čvor i IPv6/IPv4-čvor)
 - PTR zapisi za pretvorbu IPv6-adresa → simboličko ime (IPv6-čvor i IPv6/IPv4-čvor)

A (*Address Record*), AAAA (*IPv6 Address Record*)

PTR (*Pointer Record*)

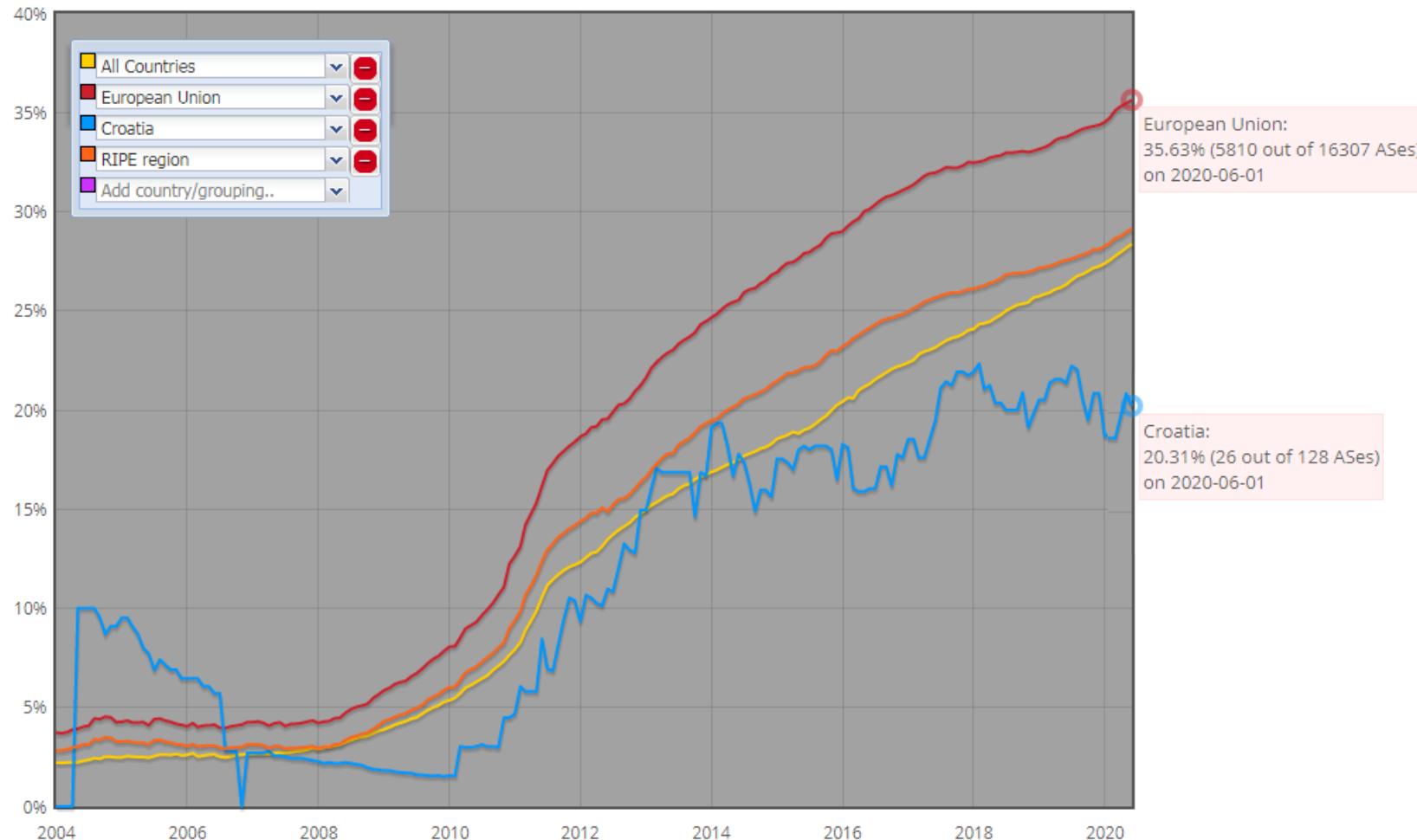
Primjena IPv6 u svijetu



Izvor:
RIPE NCC
<http://v6asns.ripe.net/v/6>

Graf prikazuje postotak
autonomnih sustava (AS-ova)
koji oglašavaju IPv6 prefiks u
nekog državi, skupini država ili
regiji.

Primjena IPv6 u Europi i RH



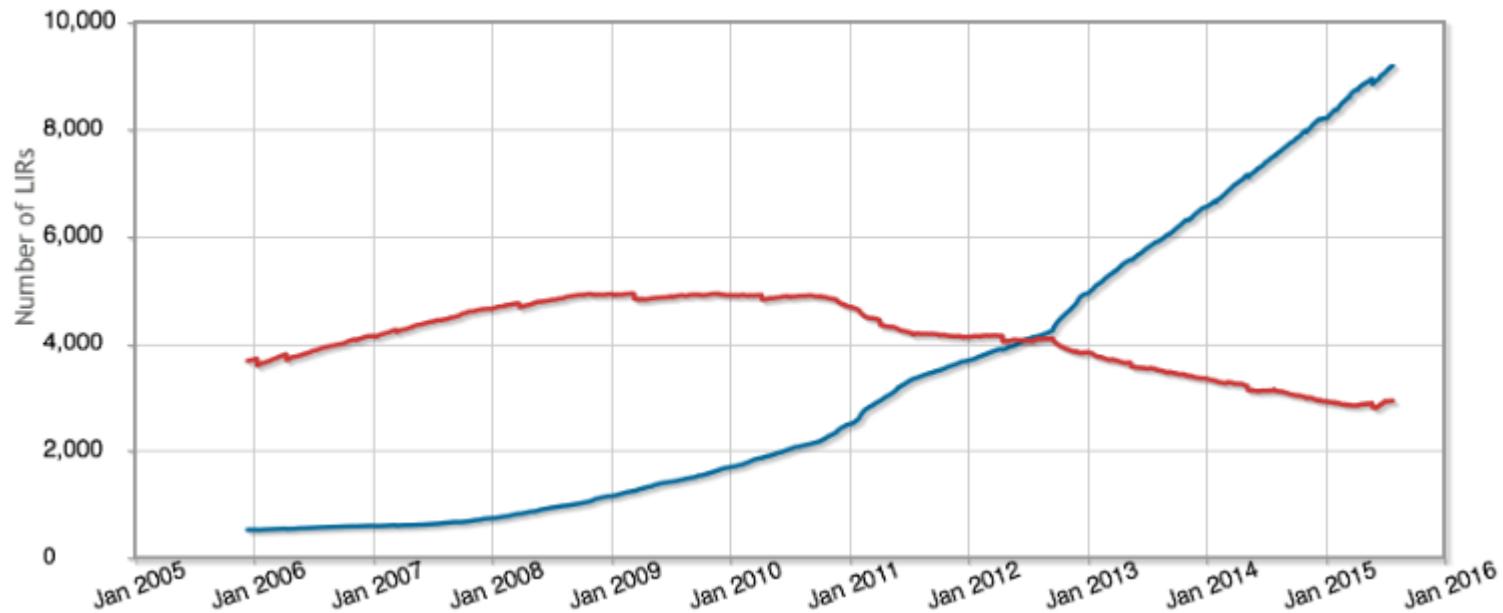
Izvor:
RIPE NCC
<http://v6asns.ripe.net/v/6>

Graf prikazuje postotak
autonomnih sustava (AS-ova)
koji oglašavaju IPv6 prefiks u
nekog državi, skupini država ili
regiji.

Postotak AS-ova koji
koriste IPv6:

- Europska Unija: 35,63%
(5810 od 16307 AS-ova)
- RH 20,30%
(26 od 128 AS-ova)

Podrška za IPv6 adrese



Izvor:

RIPE NCC

[https://www.ripe.net/publications/ipv6-info-
centre/statistics-and-tools](https://www.ripe.net/publications/ipv6-info-centre/statistics-and-tools)

Graf prikazuje broj lokalnih internetskih registara (*Local Internet Registry, LIR*) u regiji RIPE NCC (regionalni registar koji pokriva područje Europe, Bliskog istoka i Zajednice neovisnih država) koji imaju IPv6 resurse (plava crta) i koje ih (još) nemaju (crvena crta).

Primjena IPv6 u CARNetu

IP adrese alocirane u Republici Hrvatskoj:

https://sysportal.carnet.hr/hr_alloclist



Provjera IPv6 veze:

https://test-ipv6.carnet.hr/index.html.hr_HR

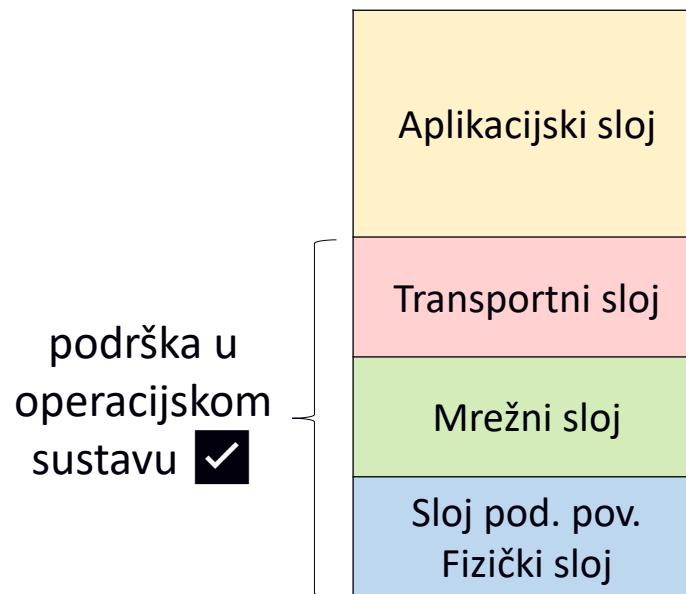
Peering matrica (IPV4 i IPV6) :

<https://www.cix.hr/usluge/peering-matrica>



IPv6/IPv4-čvor – dvostruki IP-sloj

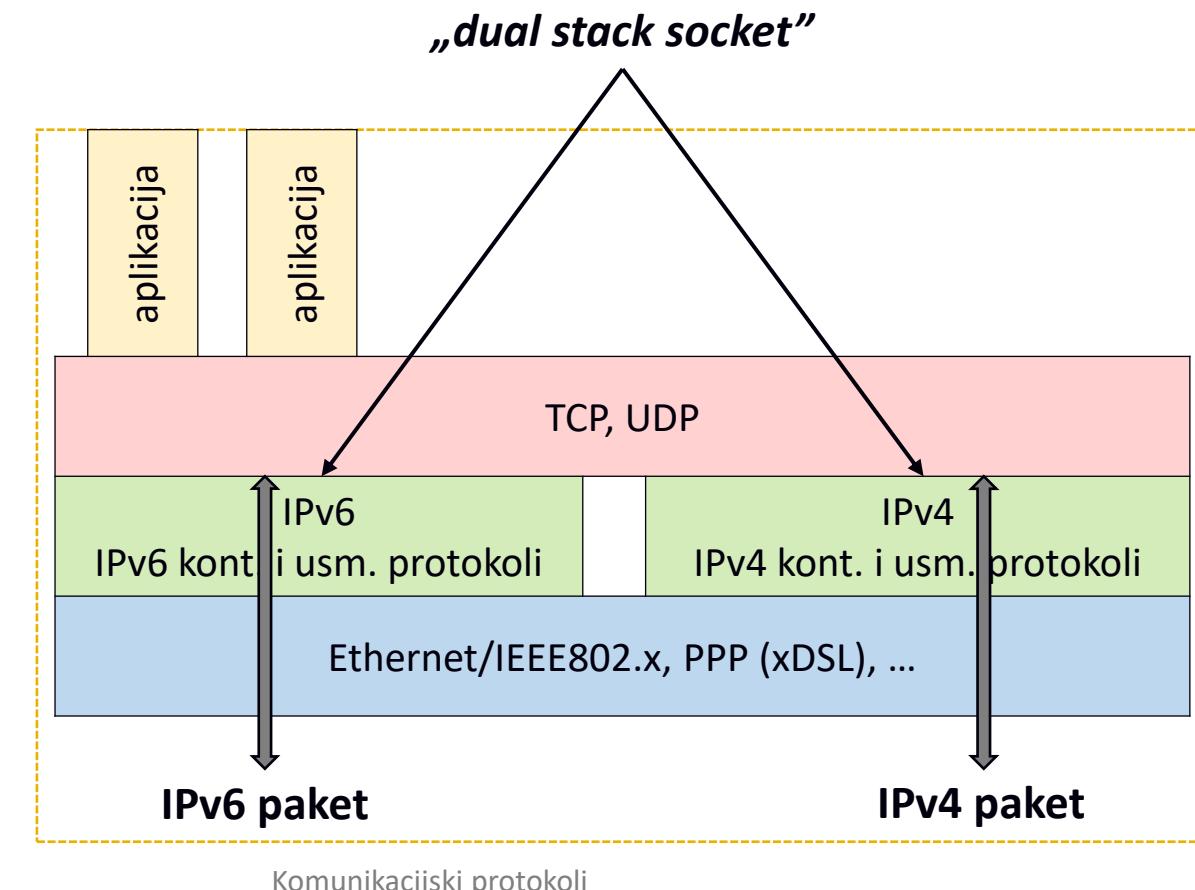
- IPv6-čvor koji sadrži i izvedbu protokola IPv4 za kompatibilnost unatrag



<https://www.ipv6ready.org/>

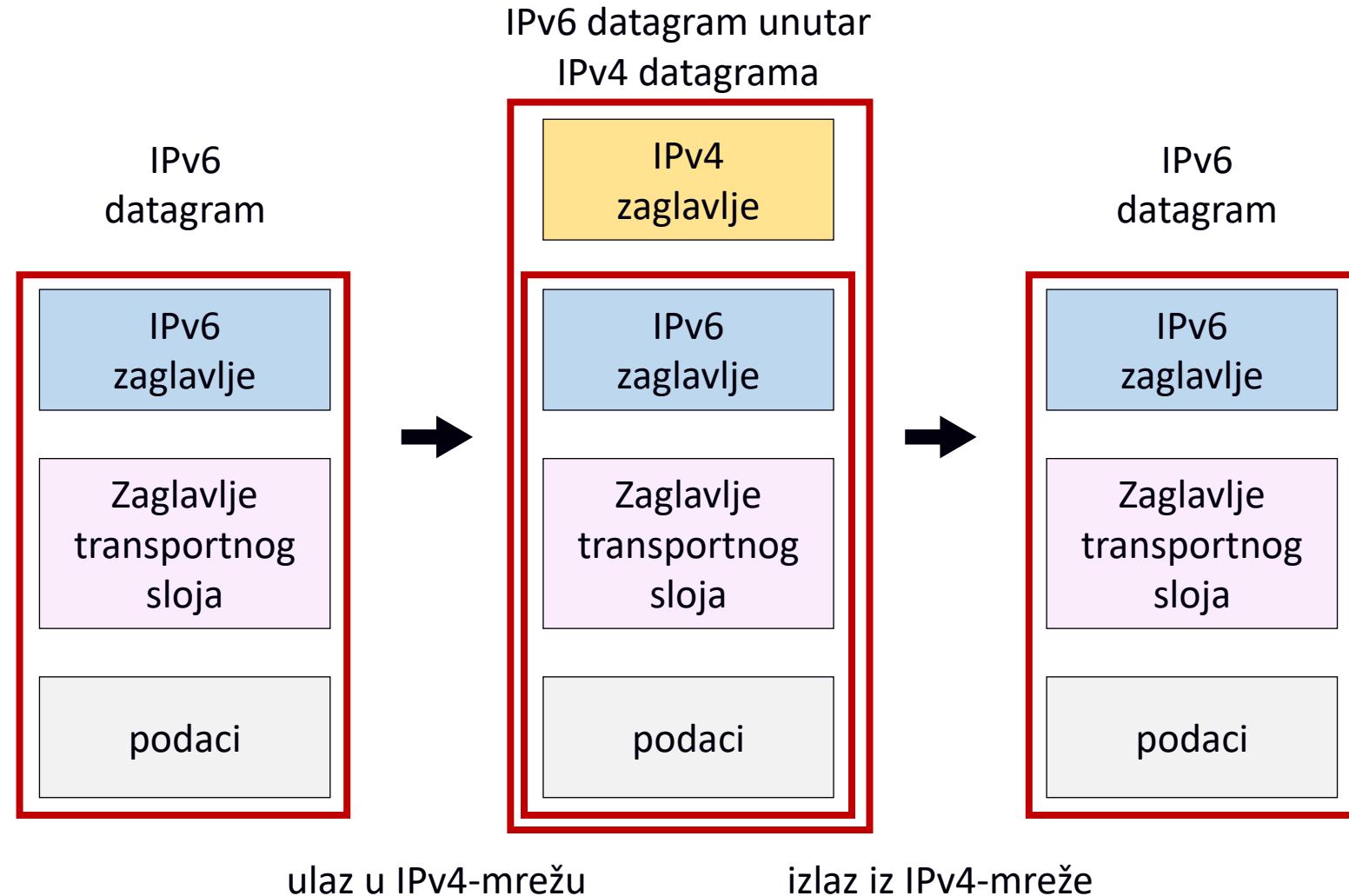


16.12.2022.



11

Načelo tuneliranja IPv6-datagrama kroz IPv4-mrežu



Tuneliranje IPv6 datagrama kroz IPv4 mrežu

Tunel na relaciji:

- ***Usmjeritelj-usmjeritelj***: IPv6/IPv4-usmjeritelji, između kojih se nalazi IPv4-infrastruktura, kreiraju u njoj tunel preko kojeg izmjenjuju pakete. Tunel se nalazi na unutarnjem segmentu puta paketa.
- ***Računalo-usmjeritelj***: IPv6/IPv4-računala šalju podatke usmjeritelju koji je dostupan samo preko IPv4-infrastrukture. Tunel se nalazi na početnom segmentu puta paketa i prostire se do tog usmjeritelja.
- ***Računalo-računalo***: IPv6/IPv4-računala izmjenjuju međusobno podatke, preko IPv4-infrastrukture. Tunel se ovdje prostire kroz cijeli put paketa, od izvora do odredišta.
- ***Usmjeritelj-računalo***: IPv6/IPv4-usmjeritelji tuneliraju IPv6 pakete prema konačnom IPv6/IPv4-odredištu. Tunel se nalazi na završnom segmentu puta paketa.

Primjer: tunel na relaciji usmjeritelj-usmjeritelj

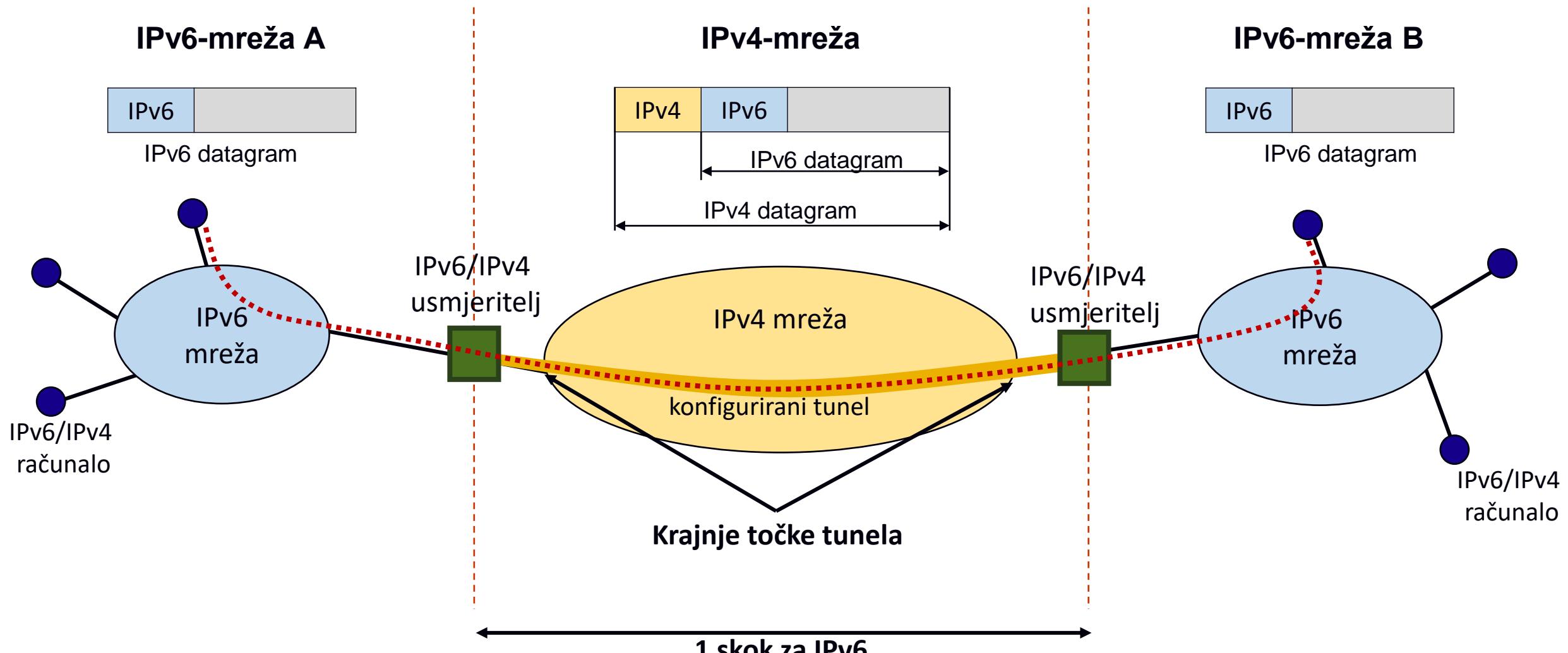
Konfigurirani tunel:

- Mrežni administrator „ručno“ konfigurira tunel, tj. određuje njegov početak i kraj te put(ove) kroz IPv4-mrežu

Automatski tunel:

- Krajnje točke tunela određuju se primjenom posebnih postupaka i adresa:
 - **6to4**
 - ISATAP (*Intra-Site Automatic Tunnel Addressing Protocol*) – primjena u intranetu
 - **Teredo** – primjena u mrežama s NAT (Network Address Translator)

Konfiguirani tunel usmjeritelj-usmjeritelj



Automatski tunel usmjeritelj-usmjeritelj „6to4” (1)

Adresa „6to4”:

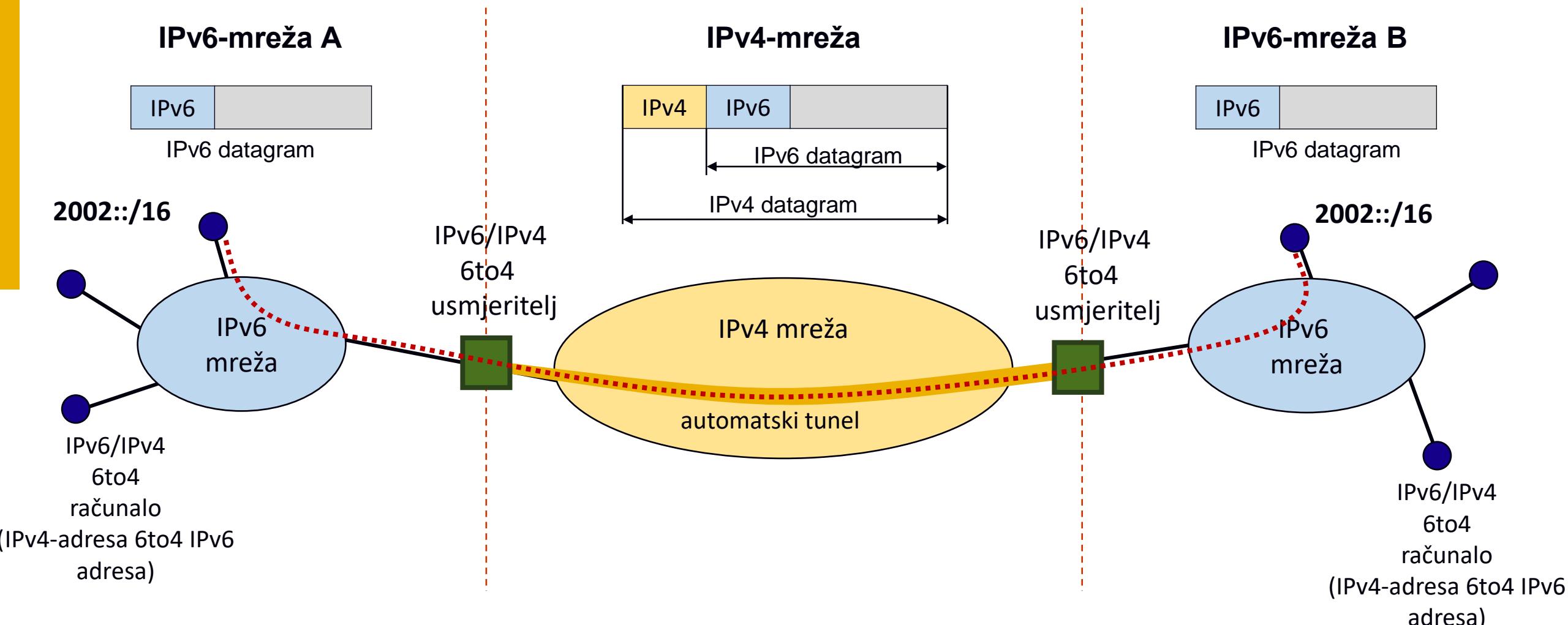
- Stvaranje globalnog adresnog prefiksa za IPv6/IPv4-čvor



IPv6 adresa počinje s 2002::/16

- primjer: 2002:WWXX:YYZZ::/48
 - WWXX:YYZZ je heksadekadski zapis javne IPv4-adrese w.x.y.z
 - IPv4-adresa: 131.107.0.1. (dekadski zapis)
 - IPv4-adresa: 836b:1 (heksadekadski zapis)
 - 6to4-adresa: 2002:836b:1::/48

Automatski tunel usmjeritelj-usmjeritelj „6to4“ (2)



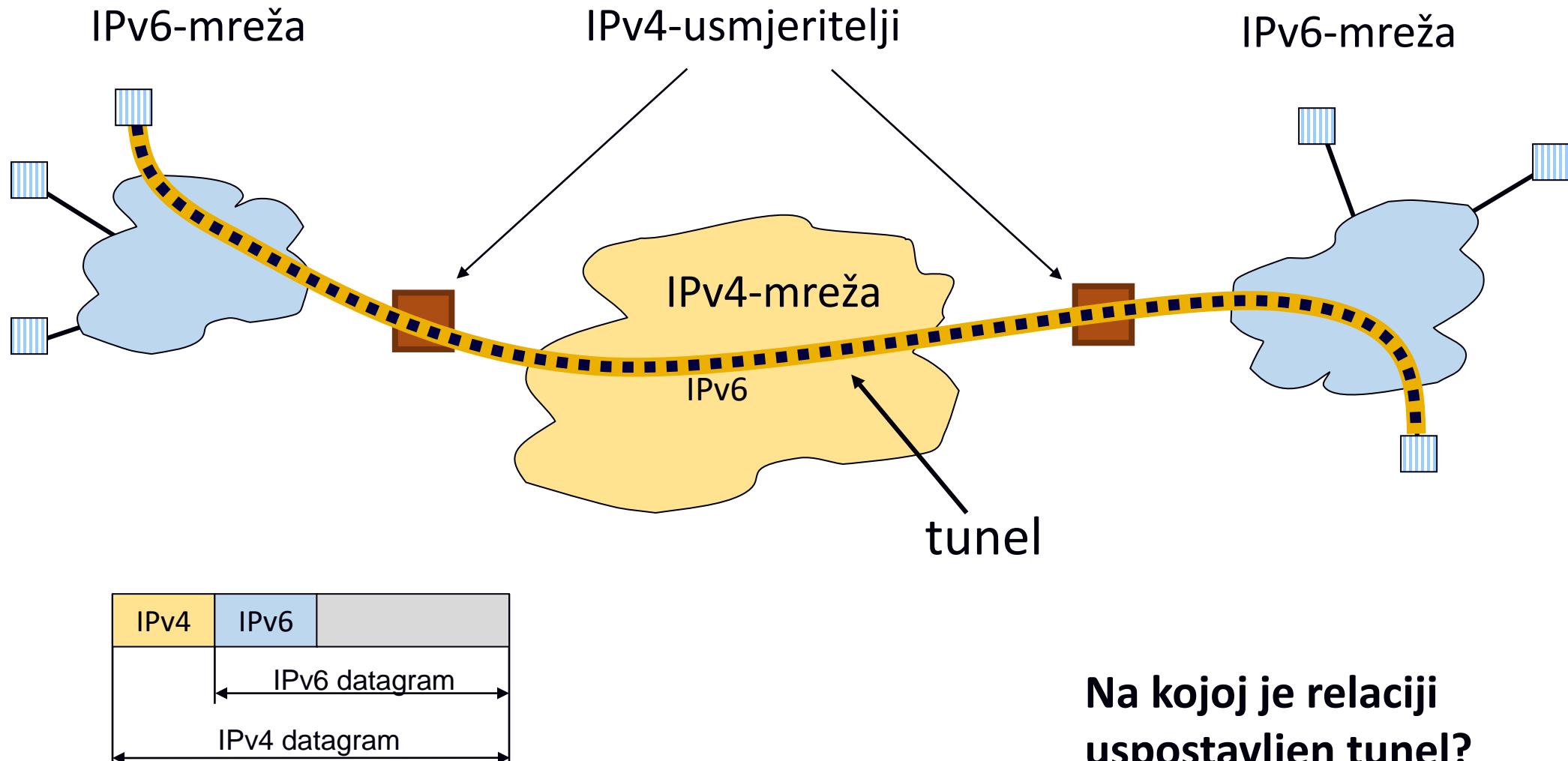
Postupno uvodenje IPv6

Suživot IPv4 i IPv6:

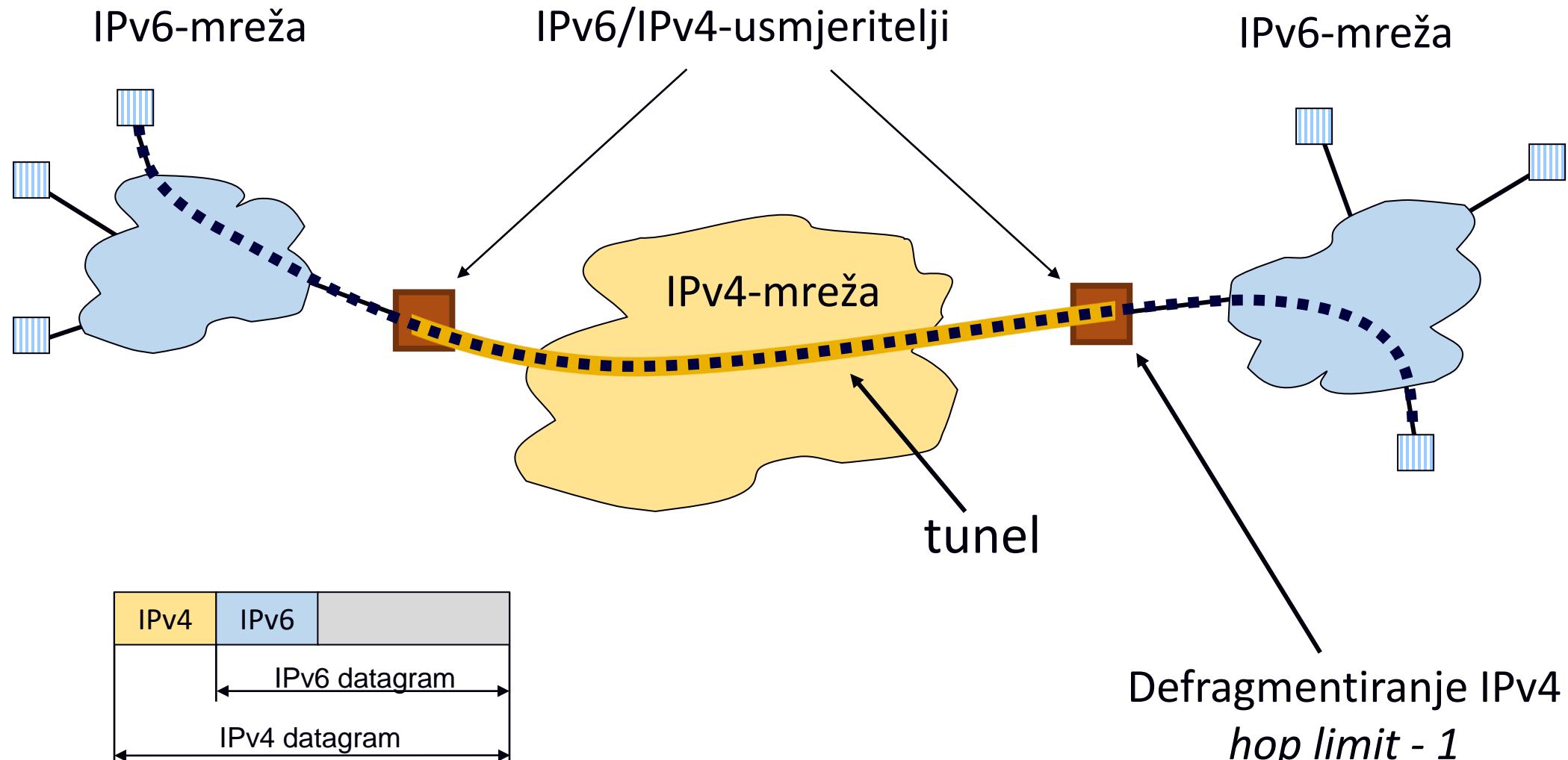
- prevladavajući protokol IPv4
 - IPv6-mreže komuniciraju putem IPv4-mreže s usmjeriteljima koji ne podržavaju IPv6 (IPv4-usmjeritelji)
 - IPv6-mreže komuniciraju putem IPv4-mreže s usmjeriteljima koji podržavaju IPv6 (IPv6/IPv4-usmjeritelji)
- prevladavajući protokol IPv6
 - IPv4-mreže („otoci s IPv4“) komuniciraju putem IPv6 mreže

Konačno rješenje s IPv6

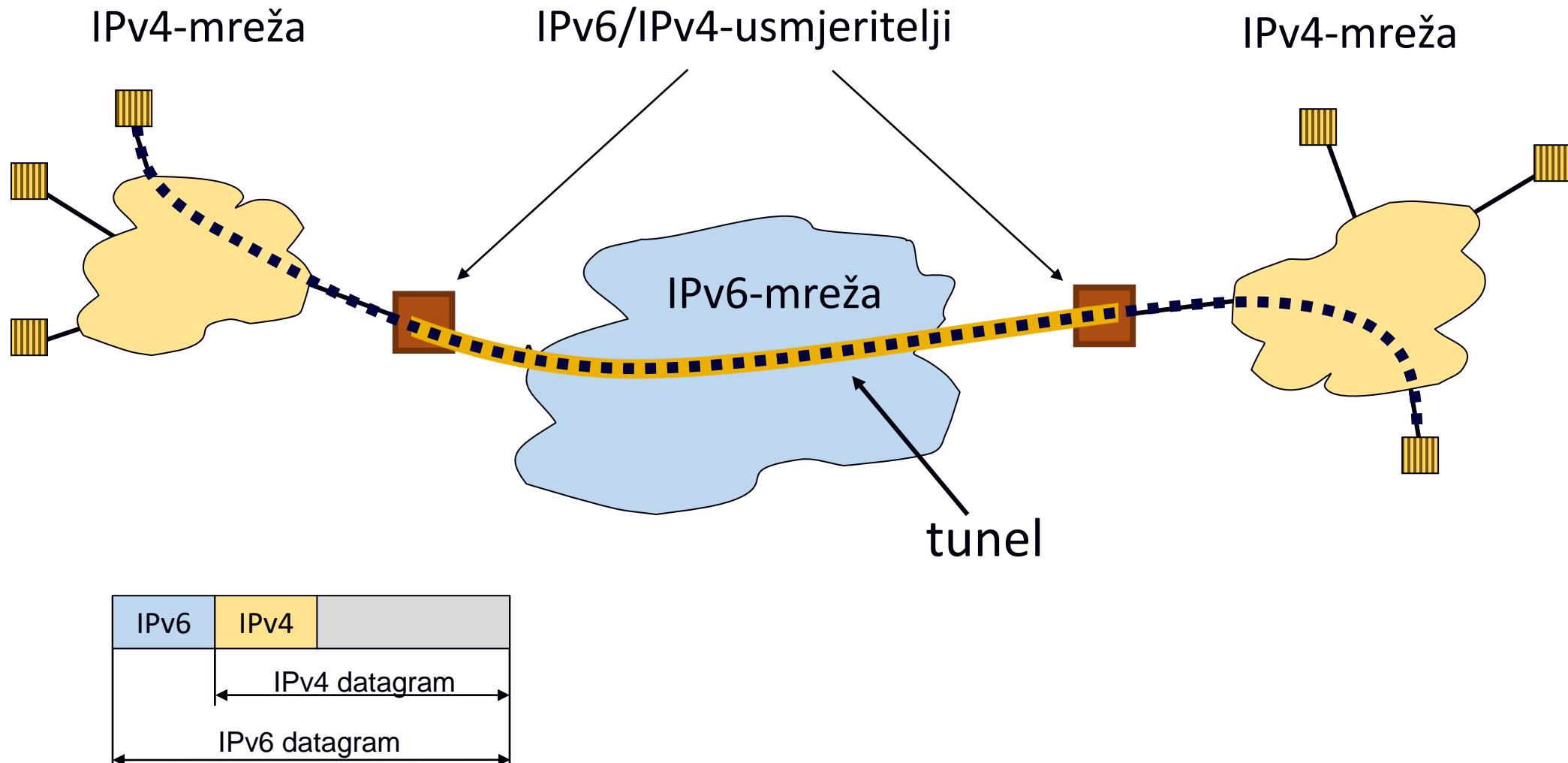
Suživot IPv4 i IPv6 (1)



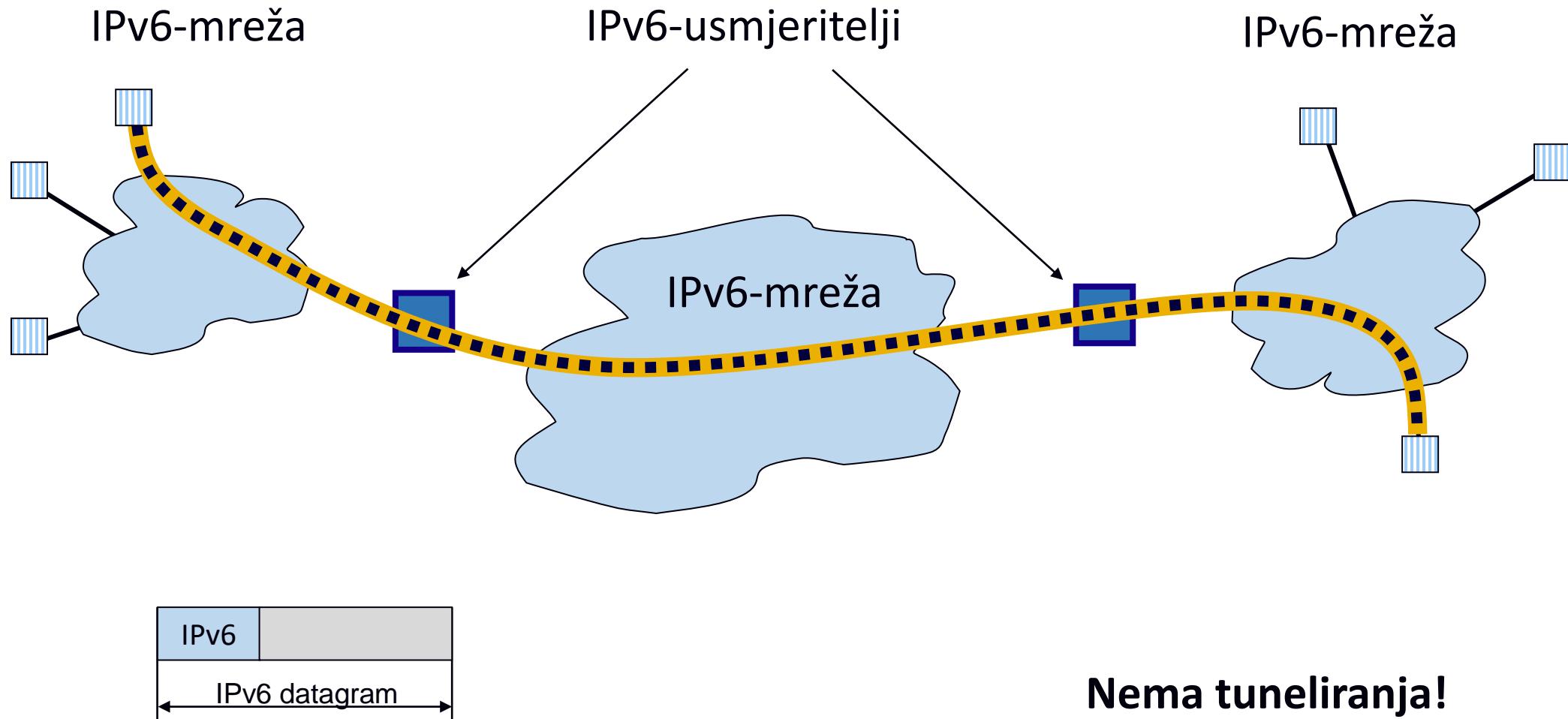
Suživot IPv4 i IPv6 (2)



Suživot IPv4 i IPv6 (3)



Konačno rješenje s IPv6



Zadaci (1)

- Istražite može li se odabranom sjedištu weba pristupiti protokolom IPv6 i analizirajte performance poslužitelja.
- Istražite može li vaše računalo/pametni telefon priхватiti informacijski promet iz mreže s protokolom IPv6.
- Istražite kako se razmjenjuje internetski promet između davaljatelja internetskih usluga, posebice u Hrvatskoj i osposobljenost za IPv6.
- Istražite kada i kako se primjenjuje tranzicijski postupak tuneliranja *Teredo*.

Zadaci (2)

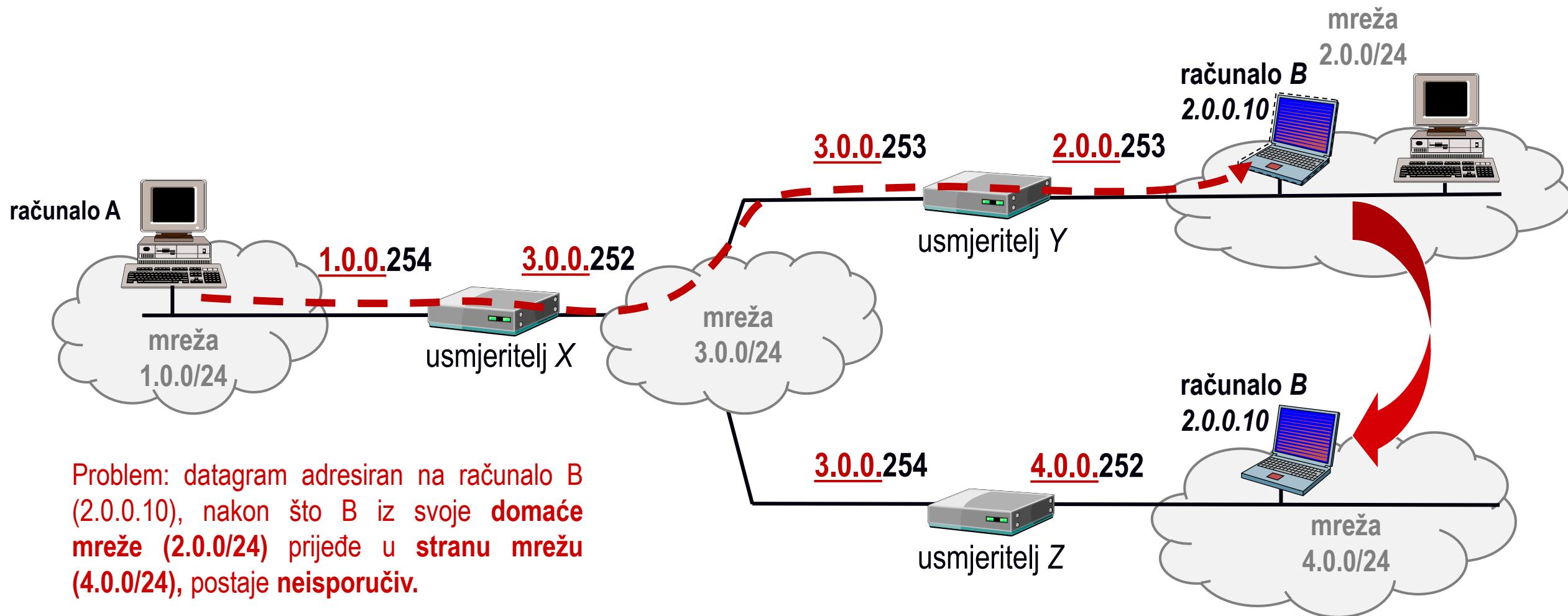
- Pređočite grafički situacije u kojima se provodi tuneliranje kroz IPv4-mrežu na putu između dva IPv6/IPv4-računala na ovim relacijama:
 - računalo-usmjeritelj
 - usmjeritelj-računaloi navedite izvorišne i odredišne adrese u zaglavljima datagrama.
- Kakve se pretvorbe trebaju obaviti i gdje da bi računalo koje raspolaže samo protokolom IPv4 moglo komunicirati s računalom koje raspolaže samo protokolom IPv6?

Pokretljivost u IP mreži

“Klasični” Internet (bez pokretljivosti)

- IP-adresa globalno i jednoznačno označuje sučelje računala, odn. usmjeritelja
- protokoli usmjeravanja usmjeravaju datagrame na temelju odredišne adrese:
 - računala čije adrese pripadaju istoj podmreži izravno izmjenjuju datagrame
 - računala čije adrese pripadaju različitim podmrežama izmjenjuju datagrame koristeći niz usmjeritelja na putu od izvora do odredišta
- odluka o sljedećem usmjeritelju u donosi se na temelju mrežnog prefiksa

Kako utječe promjena točke priključka?



Zahtjevi na pokretljivost u Internetu

1. pokretni čvor mora moći komunicirati s drugim čvorovima nakon **promjene točke priključka**
2. pokretni čvor mora moći komunicirati uporabom svoje stalne **IP-adrese**, neovisno o trenutnoj točki priključka na Internet
3. pokretni čvor mora moći komunicirati s drugim čvorovima koji **nemaju uvedene funkcije pokretljivosti**
4. pokretni čvor **ne smije** biti izložen **dodatnim sigurnosnim rizicima** u odnosu na „fiksne“ čvorove

Rješenja: Mobile IP (IPv4) i Mobile IPv6

Usporedba IP - pokretni IP



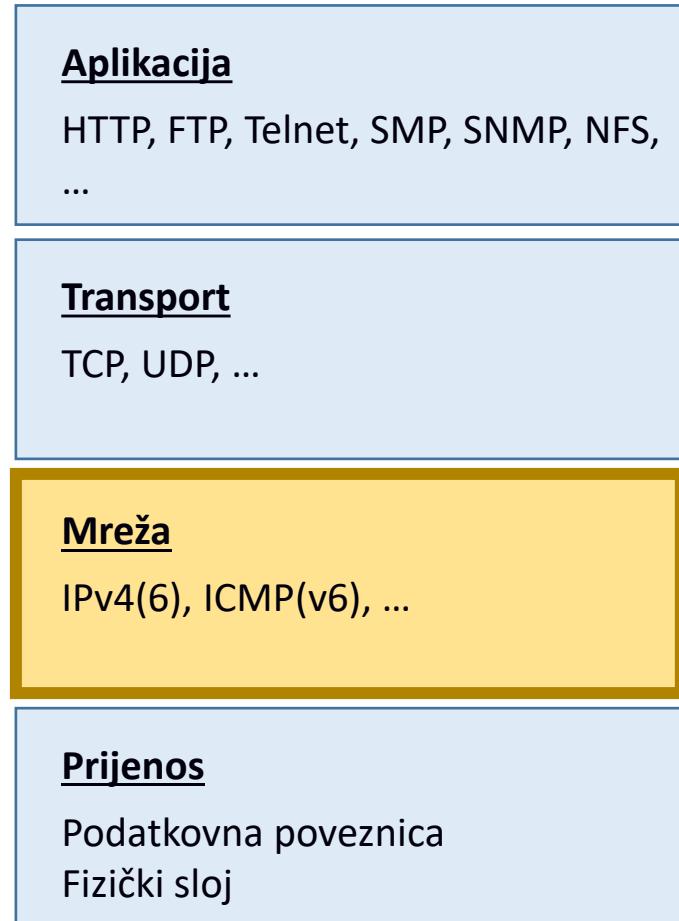
- “Klasični” IP:
 - pokretni korisnik/čvor zahtijevaao bi promjenu IP-adrese, s posljedicama na transport i aplikacije
- Pokretni IP:
 - zadržati stalnu IP-adresu
 - uvođenje novih funkcijskih entiteta i trenutne adrese
 - ne mijenjati programsku podršku u usmjeriteljima

Pokretni IP - prijenos



- **Fizički sloj**
 - žično/bežično
- **Podatkovna poveznica**
 - promjena priključne točke (*handoff, handover*)
 - više terminala na istoj priključnoj točki (*hidden terminal*)
 - otkrivanje susjeda (*neighbor discovery*)
 - kompresija i sigurnost

Pokretni IP - mreža



Pokretljivost u mrežnom sloju

Mobile IPv4: proširenje protokola IPv4

Mobile IPv6: rješenje u okviru
protokola IPv6

- identifikacija čvora i mreže
- određivanje priključne točke
- usmjeravanje datagrama prema „pravom” odredištu

Mobile IP

Mobile IP - adrese

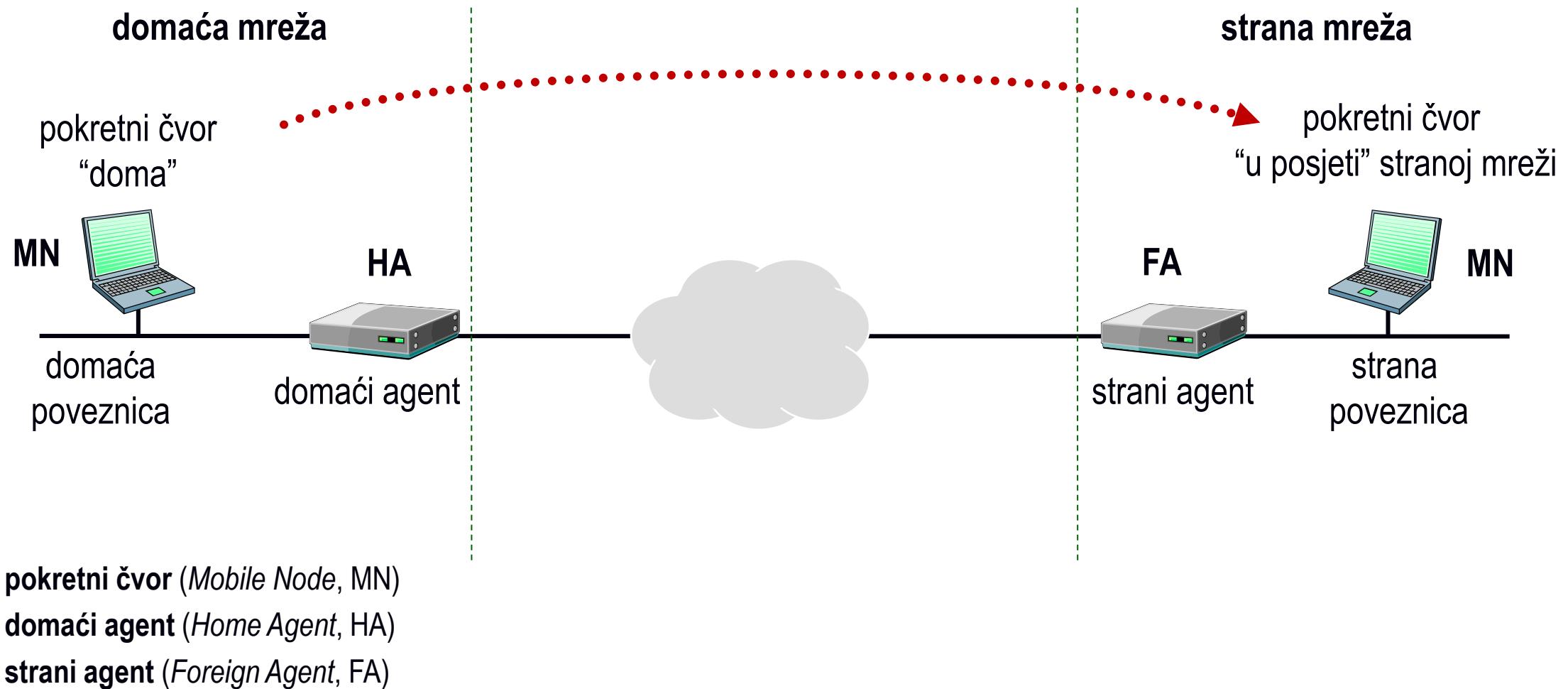
Domaća adresa (*home address*)

- IP-adresa stalno dodijeljena pokretnom čvoru, koja se ne mijenja prigodom kretanja čvora

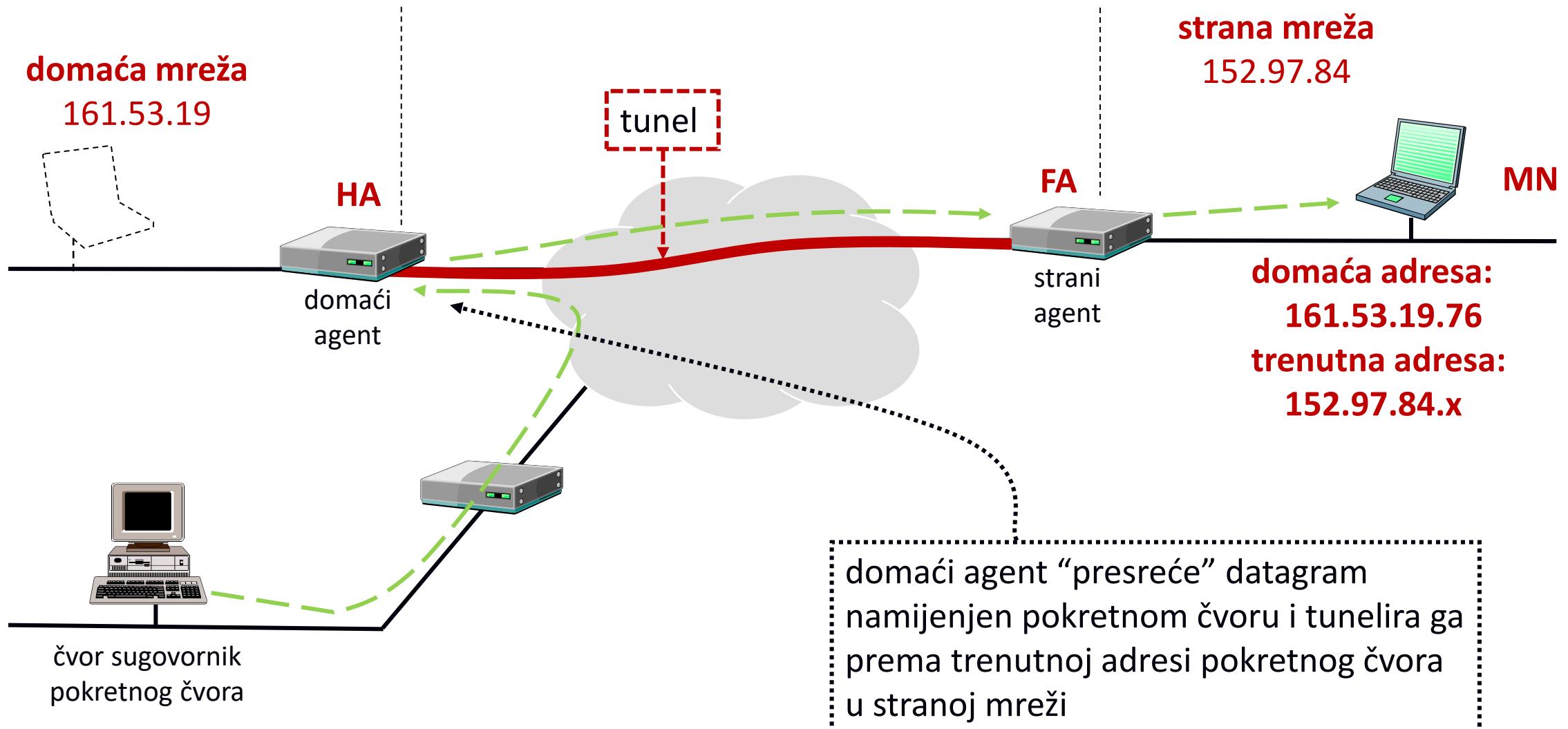
Trenutna adresa (*care-of address*)

- IP-adresa dodijeljena pokretnom čvoru kad je priključen u stranoj mreži preko neke posjećene točke priključka
 - jednoznačno je određena za svaku točku priključka
 - mijenja se pri promjeni točke priključka
 - odredišna je za datagrame namijenjene pokretnom čvoru

Mobile IP - funkcijski entiteti



Mobile IP – tuneliranje do strane mreže

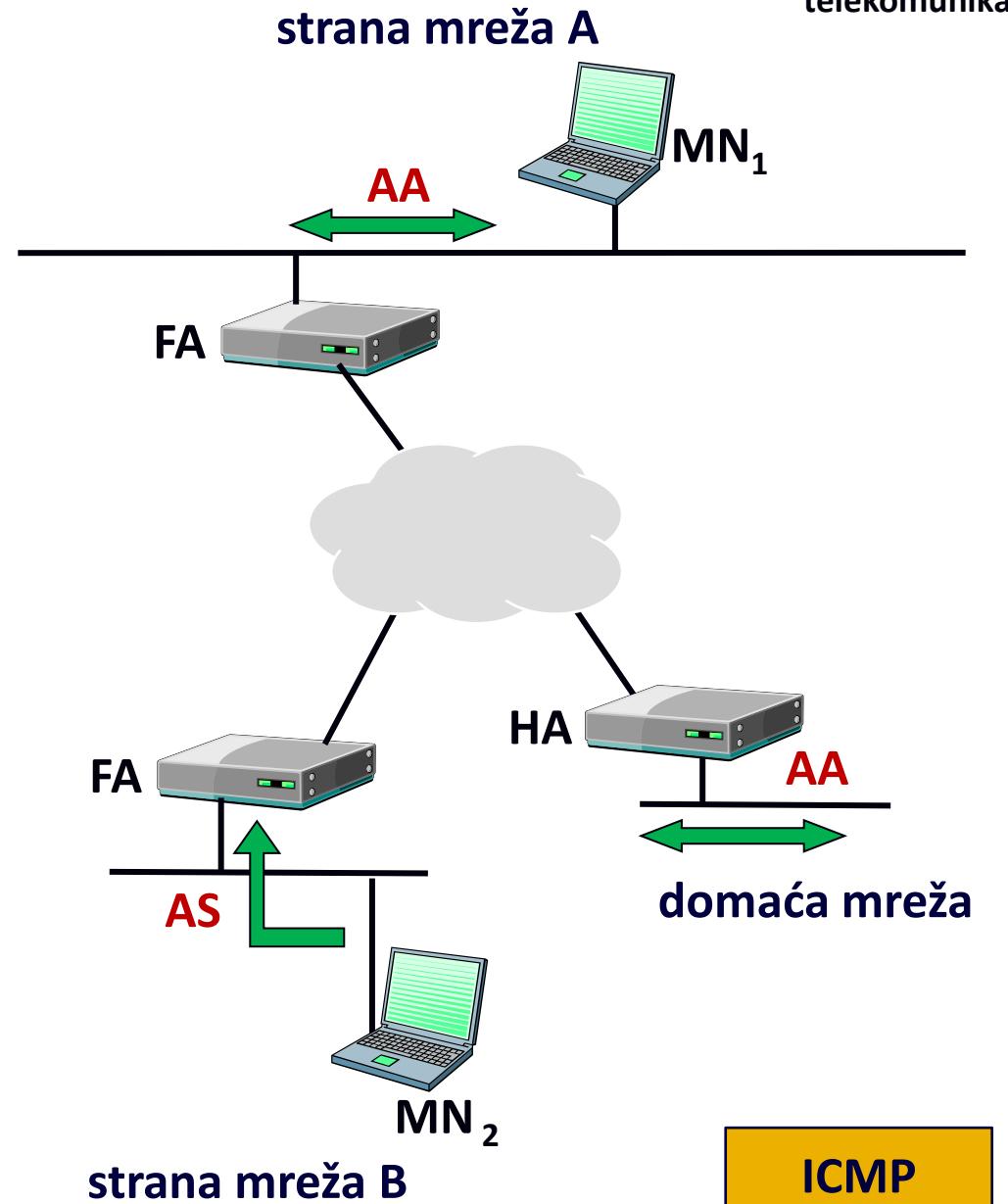


Procedure pokretnog čvora

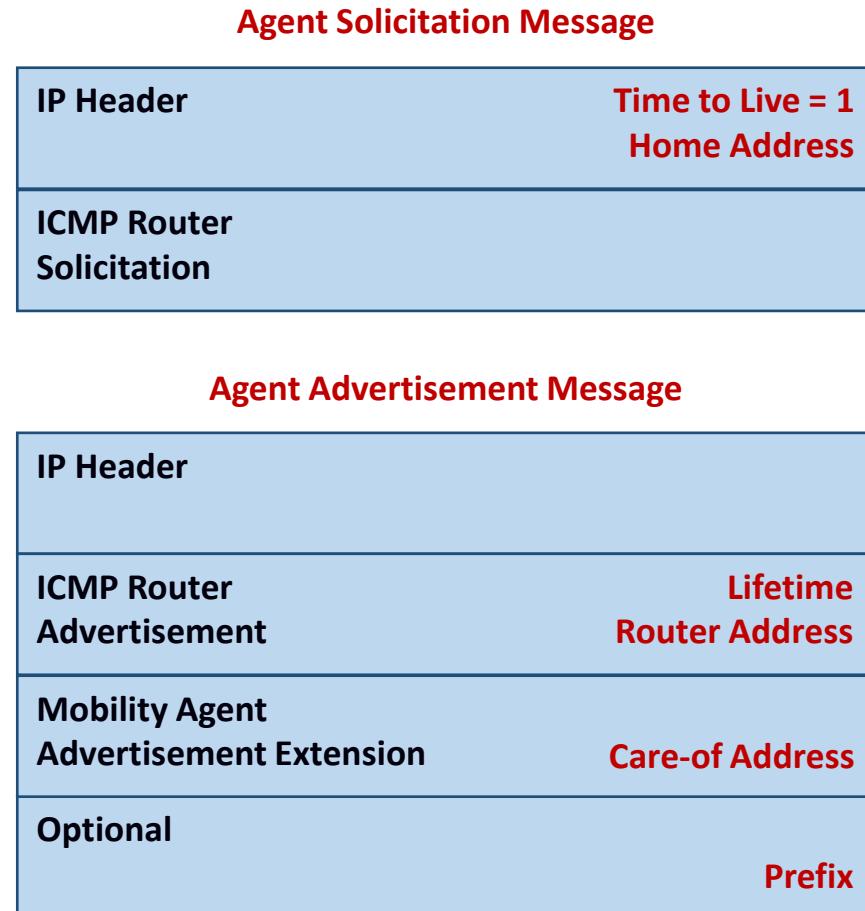
- **Otkrivanje agenta (*Agent Discovery*)**
 - Čvor određuje je li spojen na domaću ili stranu poveznicu
 - Čvor utvrđuje je li promijenio poveznicu
 - Čvor dobiva trenutnu (*care-of*) adresu kad promijeni poveznicu
- **Registracija (*Registration*)**
 - Čvor zahtijeva uslugu usmjeravanja od stranog agenta na stranom linku
 - Čvor obavještava domaćeg agenta o svojoj trenutnoj adresi
 - Čvor periodički obnavlja registraciju
 - Čvor se de-registrira pri povratku na domaću poveznicu

Otkrivanje agenta

- **Oglašavanje agenta (AA - Agent Advertisement)**
 - svaki agent periodički odašilje AA-poruke na sve poveznice za koje služi kao domaći agent ili strani agent
 - pokretni čvor MN_1 ustanavljava prisutnost agenta
- **Traženje agenta (AS - Agent Solicitation)**
 - pokretni čvor MN_2 odašilje AS- poruke da bi potaknuo agenta(e) na AA



Poruke AS i AA



Format ICMP-poruka

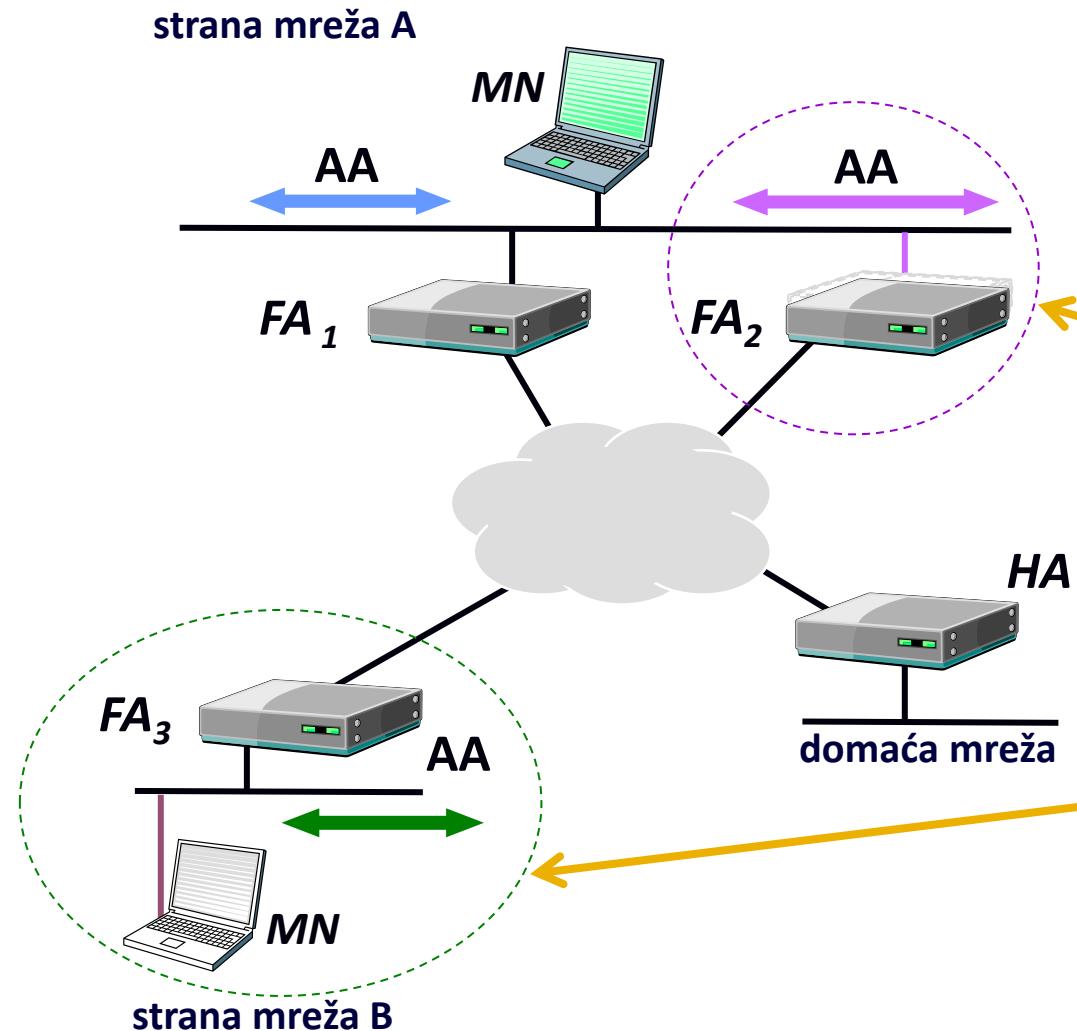
- ***Lifetime***
 - govori kada pokretni čvor može očekivati poruku
- ***Network Prefix***
 - izračunava se iz ***Router Address*** i ***Prefix*** u AA (različit za svaku poveznicu)

Utvrđivanje promjene poveznice (1)

Pokretni čvor može pretpostaviti da je promijenio poveznicu:

- ako u vremenu određenom poljem ***Lifetime***, ne primi poruku AA od stranog agenta koji ga je do tada posluživao
- ako ispitivanjem mrežnog prefiksa na temelju polja ***Router Address*** i ***Prefix*** u poruci AA od drugog agenta utvrdi promjenu poveznice.

Utvrđivanje promjene poveznice (2)



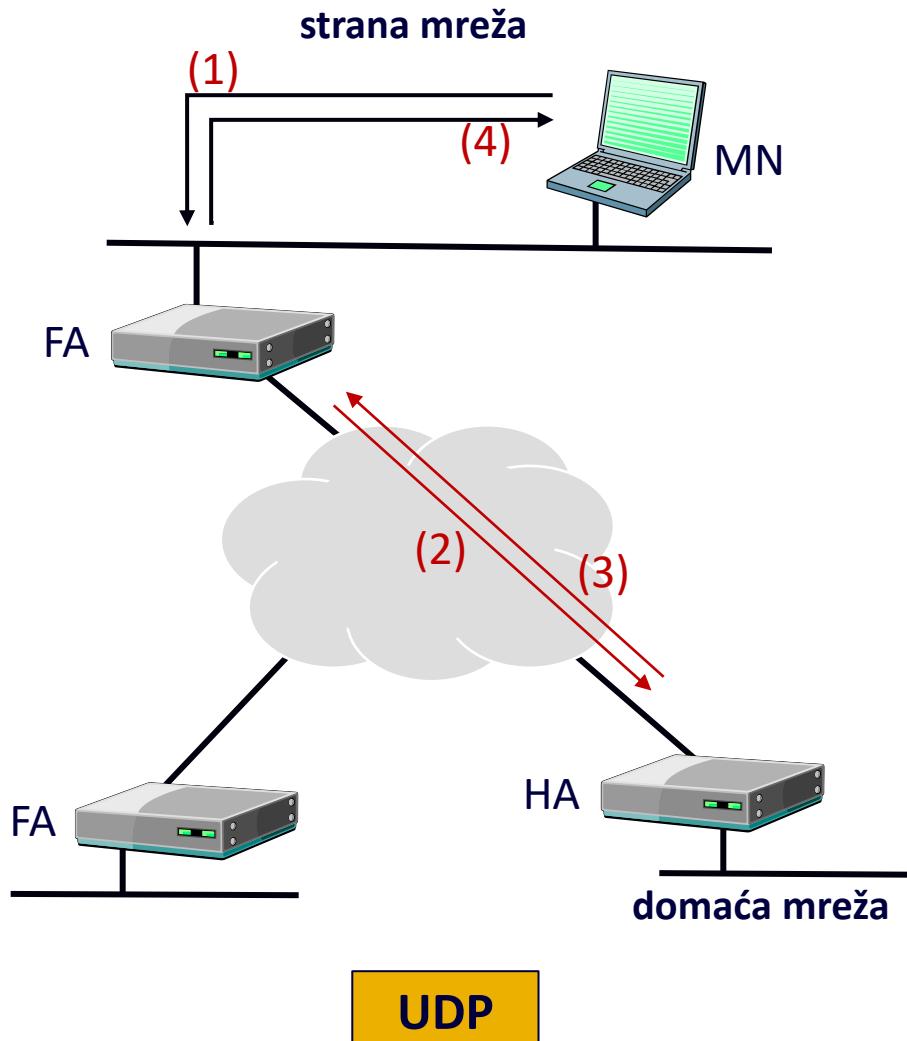
Ako MN primi AA od drugog stranog agenta, dvije su mogućnosti:

1. isti mrežni prefiks:
drugi agent na istoj poveznici (ostaje postojeća registracija)
2. novi mrežni prefiks:
promjena poveznice (ponovna registracija)

Problemi s otkrivanjem agenta

- Što ako je pokretni čvor priključen, ali ne primi AA niti nakon slanja nekoliko AS poruka?
 - **1. pretpostavka: MN se nalazi u domaćoj mreži** (a domaći agent ne radi, jer bi inače slao AA!)
Rješenje: Pokušaj komuniciranja s default usmjeriteljem na domaćoj poveznici (*ICMP Echo Request/Reply*). Ako pokušaj uspije, to potvrđuje pretpostavku.
 - **2. Pretpostavka: MN se nalazi u stranoj mreži** (a nema stranog agenta)
Rješenje A: Pokušaj dobivanja adrese od poslužitelja DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*)
Rješenje B: Ručno konfiguriranje IP adrese

Registracija (1)



(1), (2) Registration Request

- pokretni čvor šalje registracijski zahtjev (koji sadrži trenutnu adresu) preko stranoga agenta do domaćeg agenta

(3), (4) Registration Reply

- domaći agent prihvata ili odbija registraciju i šalje registracijski odgovor preko stranog agenta do pokretnog čvora

Postupak registracije moguć je bez stranog agenta (koristi se DHCP).

Registracija (2)

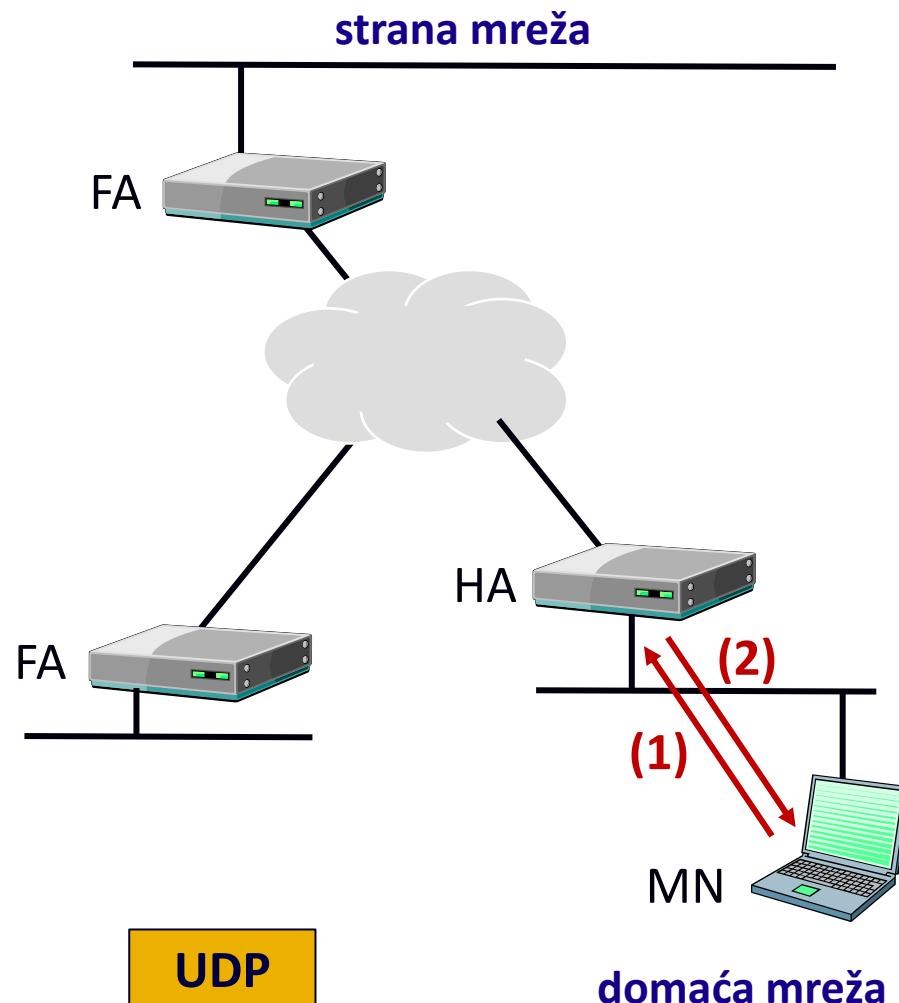
Registration Request

IP Header
UDP Header
Type: Reg. Request Lifetime(s) Home Address Home Agent Care-of Address Identification (Reg. Request) Security Extension

Registration reply

IP Header
UDP Header
Type: Reg. Reply Code (Reg. Reply result) Lifetime(s) Home Address Home Agent Identification (Reg. Reply) Security Extension

Deregistracija



(1) (de-)Registration Request

- pokretni čvor se prijavljuje domaćem agentu po povratku u domaću mrežu i time „briše“ (deregistrira) trenutnu odr. *care-of* adresu

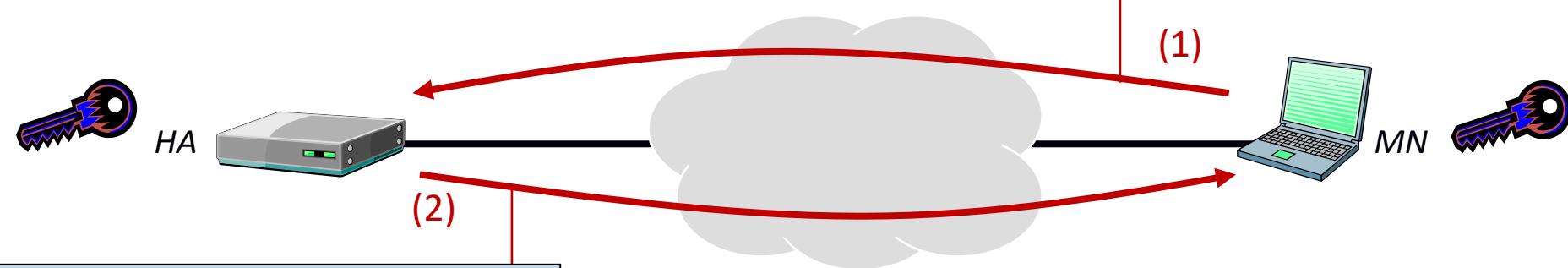
(2) (de-)Registration Reply

- domaći agent potvrđuje deregistraciju

Autentičnost i integritet registracijskih poruka

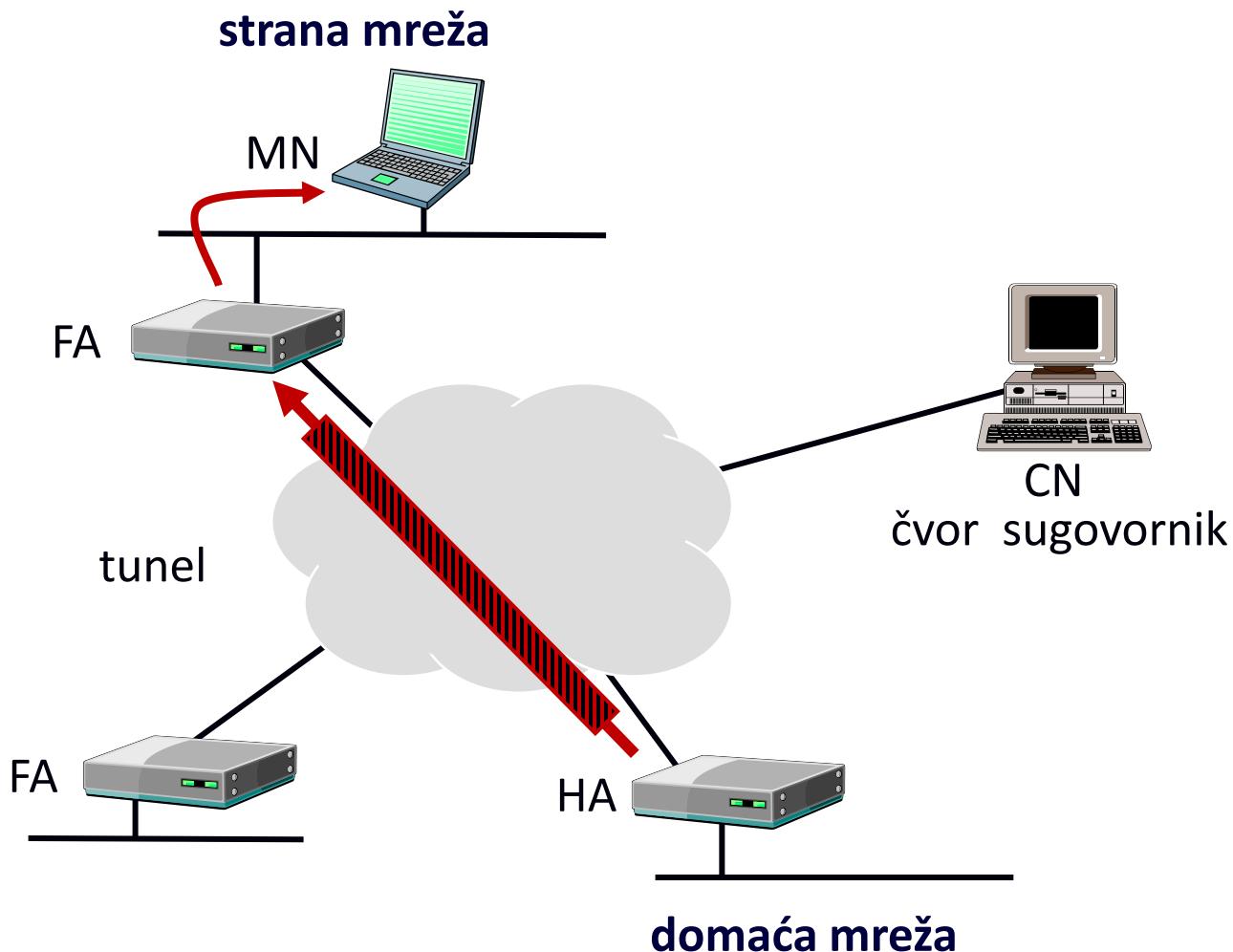
- registracijske poruke se štite postupkom *Mobile-Home Authentication*
- jamči se autentičnost i integritet

Registration Request (Fixed length)
Home address Care-off address
...optional extrengs...
Mobile-Home Authentication 
...more optional extrengs ...



Registration Reply (Fixed length)
Home address Care-off address
...optional extrengs...
Mobile-Home Authentication 
...more optional extrengs ...

Usmjeravanje datagrama na pokretni čvor (CN-->MN)



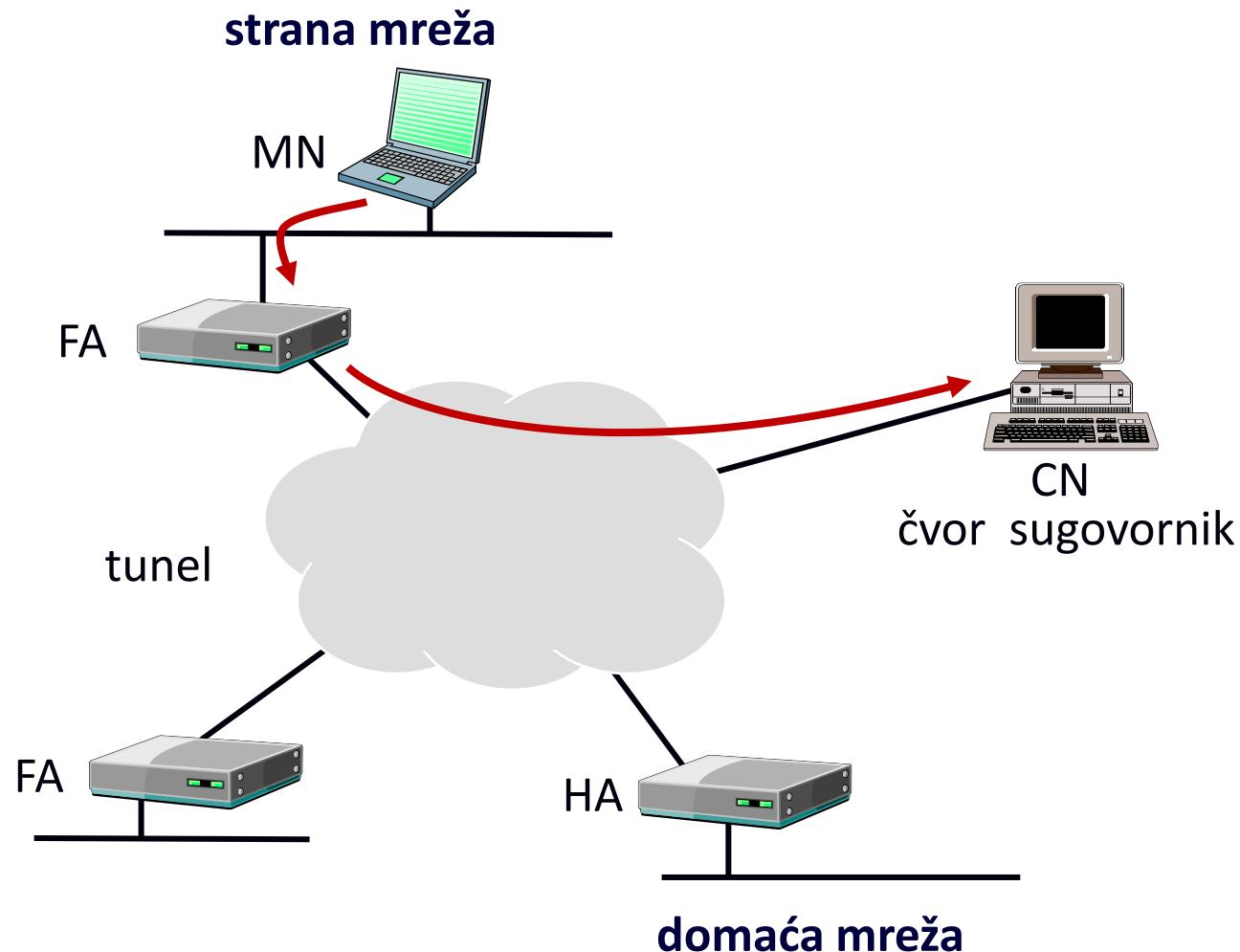
Domaći agent, HA

- presreće datagrame upućene na domaću adresu pokretnog čvora
- tunelira datagrame do stranog agenta

Strani agent, FA

- “otpakira” izvorne datagrame i isporučuje ih pokretnom čvoru

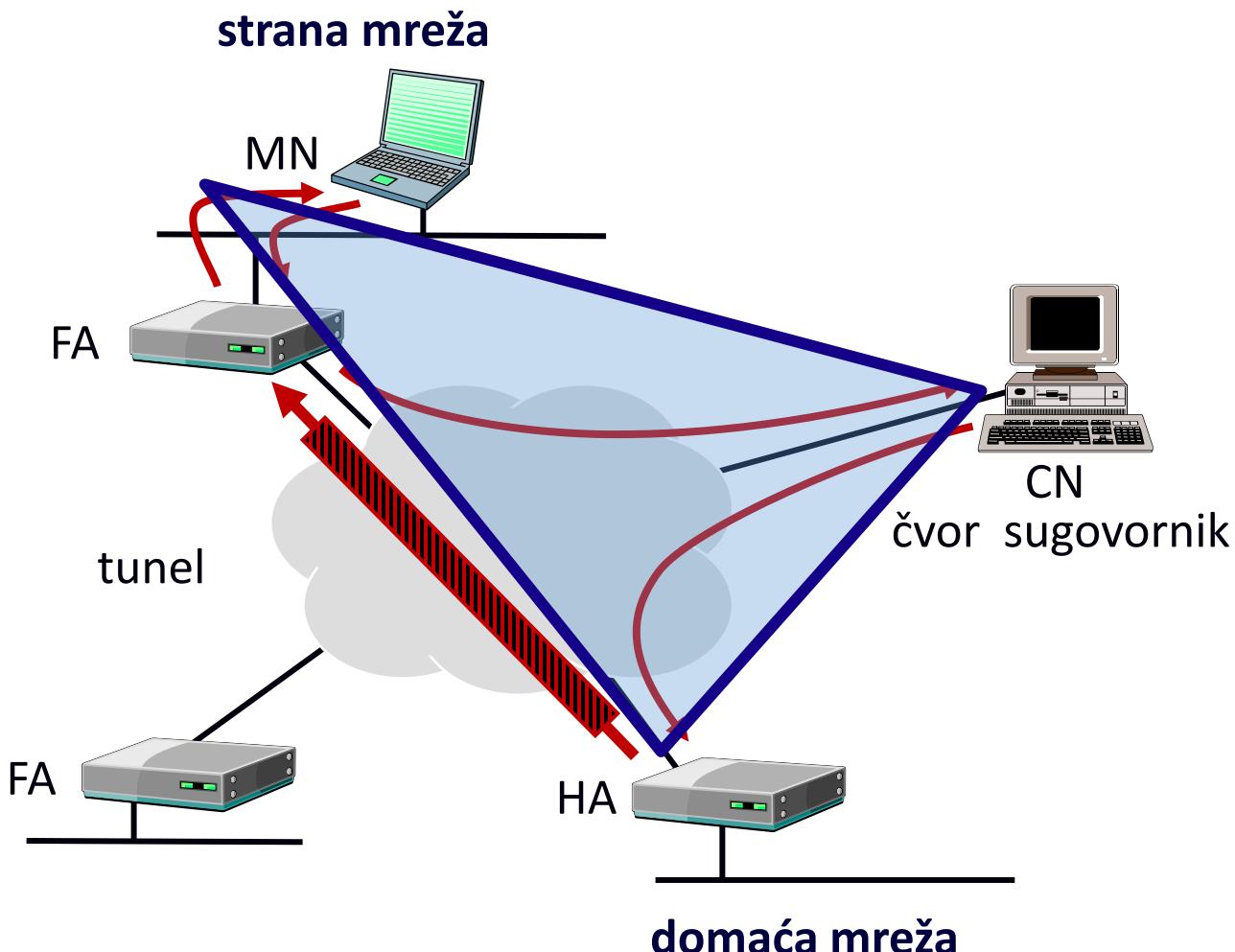
Odašiljanje datagrama s pokretnog čvora (MN-->CN)



Strani agent, FA

- samostalno usmjerava datagrame prema odredištu
- umjesto stranog agenta može se koristiti i neki drugi usmjeritelj naveden u poruci Agent Advertisement

Problem trokutastog usmjeravanja



- usmjeravanje u trokutu CN – HA – MN može se optimizirati
- važno posebice za slučaj kada je pokretni čvor „daleko“ od domaćeg agenta, a „blizu“ čvora sugovornika (u smislu broja skokova)

Mobile IPv6

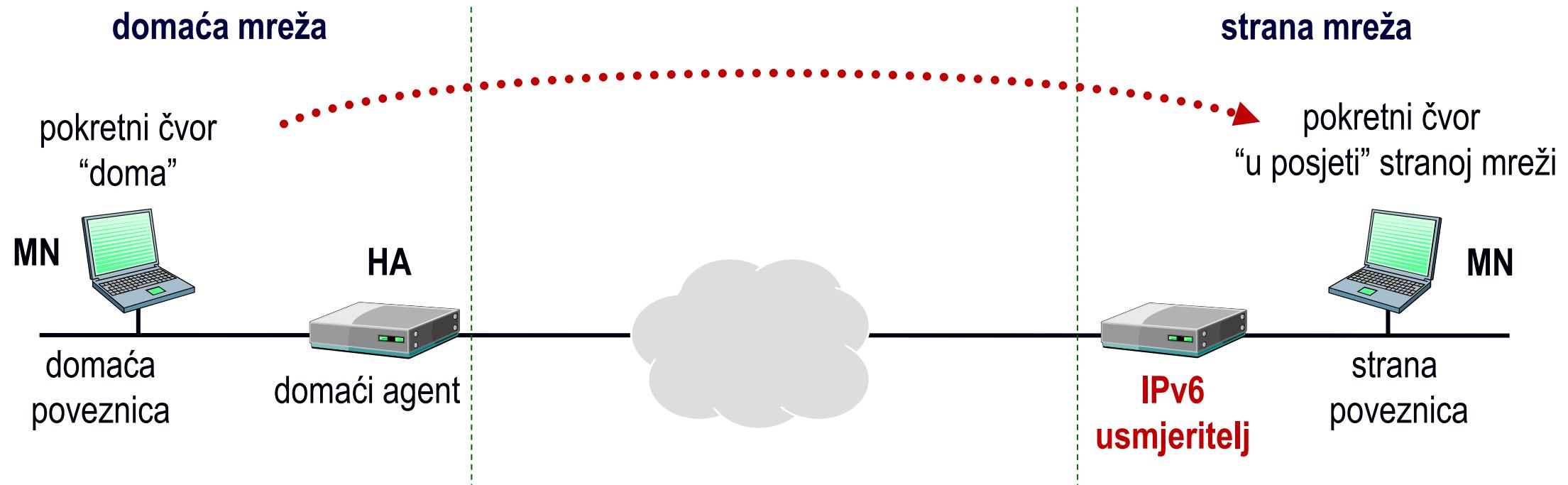
Mobile IPv6 – pregled (1)

- **Što je isto kao u Mobile IP?**
 - pokretni čvor, domaći agent, domaća i strana poveznica
- **Što je drugačije u odnosu na Mobile IP?**
 - adresiranje, pridjeljivanje domaće i trenutne adrese
 - nema stranog agenta - koristi se IPv6 usmjeritelj
- **Što je novo u odnosu na Mobile IP?**
 - čvor sugovornik (*Correspondent Node, CN*) ima ugrađenu dodatnu funkcionalnost radi optimizacije usmjeravanja
 - *anycast* adresiranje pojednostavljuje komunikaciju s jednim domaćim agentom (ako ih ima više)
 - optimizacija puta je integralni dio specifikacije (rješenje za „trokutasto usmjeravanje“)
 - zaštita podataka u IPv6 (IPsec)

Mobile IPv6 – pregled (2)

- funkcijski entiteti: HA, MN, CN
- dodatno zaglavljje pokretljivosti (*Mobility Header*):
 - registracija i optimizacija usmjeravanja
- dodatno zaglavljje usmjeravanja (*Routing Header*):
 - izravno usmjeravanje CN – MN (trenutna adresa)
- dodatno zaglavljje namijenjeno odredištu (*Destination Option Header*):
 - dojava stalne adrese MN-a
- ICMP-poruke za otkrivanje domaćeg agenta, dobivanje mrežnog prefiksa
- dodatne podatkovne strukture: povezivanje trenutne i stalne adrese

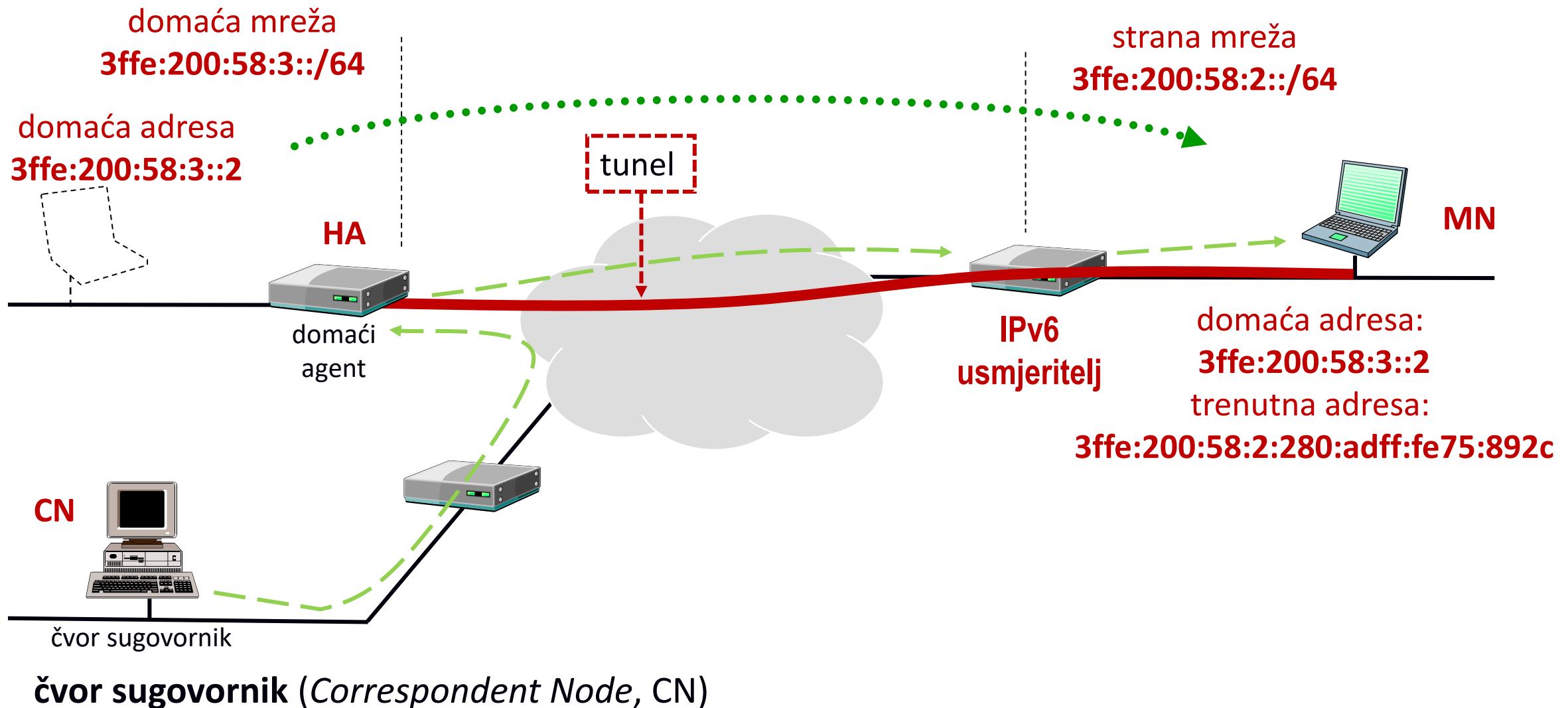
Mobile IPv6 - funkcijski entiteti



pokretni čvor (Mobile Node, MN)
domaći agent (Home Agent, HA)

Nema stranog agenta, koristi se IPv6 –usmjeritelj!

Mobile IPv6 - način rada (1)



Mobile IPv6 - način rada (2)

Postupak:

1. pokretni čvor (MN) otkriva promjenu točke priključka/poveznice - nalazi se u stranoj mreži
2. MN autokonfigurira trenutnu adresu u stranoj mreži
3. MN postupkom povezivanja registrira trenutnu adresu kod domaćeg agenta (HA) porukama u dodatnom zaglavlju pokretljivosti (*Mobility Header*)
4. omogućena izmjena paketa između MN i čvora sugovornika (CN)
5. provodi se optimizacija usmjeravanja

Otkrivanje usmjeritelja i utvrđivanje promjene poveznice (1)

Mobile IPv6 koristi protokol otkrivanja susjeda (Neighbor Discovery Protocol, NDP) za interakciju s čvorovima priključenim na istu poveznicu porukama:

- **traženje/pobuđivanje usmjeritelja (*Router Solicitation*)**
 - višeodredišna adresa na poveznici (*link-local*)
- **oglašavanje usmjeritelja (*Router Advertisement*)**
 - višeodredišna adresa na poveznici (*link-local*) kod regularnog pseudo periodičkog oglašavanja (slučajni period)
 - jednoodredišna adresa čvora kod odgovora na *Router Solicitation*

Zašto multicast?

Sličnost s postupkom otkrivanja agenta kod Mobile IP!

Otkrivanje usmjeritelja i utvrđivanje promjene poveznice (2)

- usmjeritelj periodički razašilje poruku Router Advertisement kojom oglašava da je raspoloživ i označava kad će se ponovno oglasiti (*Lifetime*) kao *default* usmjeritelj
- pokretni čvor osluškuje poruke Router Advertisement
- ako unutar određenog vremena (*Lifetime*) ne primi **Router Advertisement** od *default* usmjeritelja, pokretni čvor prepostavlja da je promijenio poveznicu i prelazi na autokonfiguraciju trenutne adrese

Autokonfiguracija trenutne adrese

- pokretni čvor provodi autokonfiguraciju (*stateful* ili *stateless*) svoje nove adrese kada ustanovi da je promijenio točku priključka:
 - promijenio se *default* usmjeritelj ili
 - premjestio se s jedne poveznice na drugu
- nova adresa koristi se kao trenutna adresa
- prefiks nove, trenutne adrese odgovara mrežnom prefiksu posjećene mreže

Povezivanje (1)

- postupak registracije kod MIPv6 naziva se **povezivanje (*Binding*)**
- postupak je u biti isti kao kod *MIPv4*, tj:
 - pokretni čvor registrira novu adresu kao trenutnu adresu kod domaćeg agenta
 - domaći agent potvrđuje registraciju
- **primjenjuje se dodatno zaglavljje pokretljivosti (*Mobility Header*) s porukama:**
 - ažuriranje povezanosti (*Binding Update*)
 - potvrda povezanosti (*Binding Acknowledgement*)
 - zahtjev za osvježavanje povezanosti (*Binding Refresh Request*)
 - domaća adresa (*Home Address*)

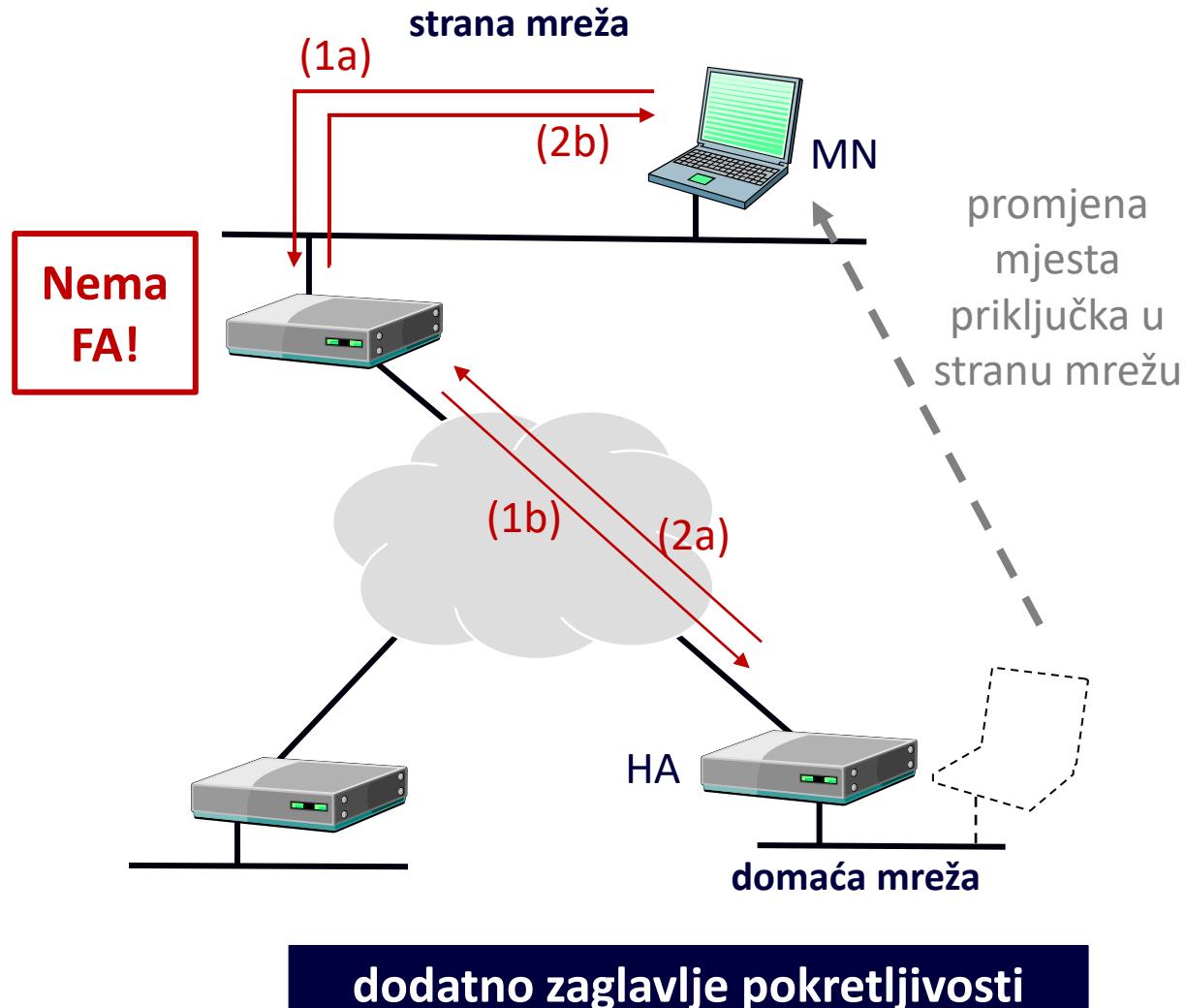
Gdje se postavlja ovo dodatno zaglavljje: iza/ispred kojeg zaglavlja?

Povezivanje (2)

Poruke dodatnog zaglavlja pokretljivosti:

- ***Binding Update***
 - poruka kojom pokretni čvor obavješćuje domaćeg agenta o svojoj trenutnoj adresi
- ***Binding Acknowledgement***
 - poruka kojom domaći agent potvrđuje primljeni Binding Update
- ***Binding Refresh Request***
 - poruka sa zahtjevom bilo kojeg čvora (sugovornika pokretnog čvora) da mu pokretni čvor pošalje Binding Update za važeću trenutnu adresu
- ***Home Address***
 - poruka koju šalje pokretni čvor kao obavijest o svojoj domaćoj adresi

Povezivanje (3)



(1a-b) Binding Update

- ažuriranje povezanosti: pokretni čvor registrira trenutnu adresu kod domaćeg agenta

(2a-b) Binding Acknowledgement

- potvrda povezanosti: domaći agent šalje odgovor pokretnom čvoru

Dodatne podatkovne strukture

- svaki IPv6-usmjeritelj ima priručni spremnik pridruženih adresa (*Binding Cache*)
 - po primitku *Binding Update*, adresa se pohranjuje u spremnik
 - za svaki poslani paket se provjerava postoji li zapis o povezivanju u spremniku i, ako postoji, paket se usmjerava na trenutnu adresu, koristeći **IPv6 dodatno zaglavlje usmjeravanja (Routing Header)**
- svaki pokretni čvor ima popis svojih poslanih *Binding Update* poruka čija važnost nije istekla
- svaki pokretni čvor ima popis svih domaćih agenta za promatranu poveznicu

Usmjeravanje paketa (1)

Od CN prema MN:

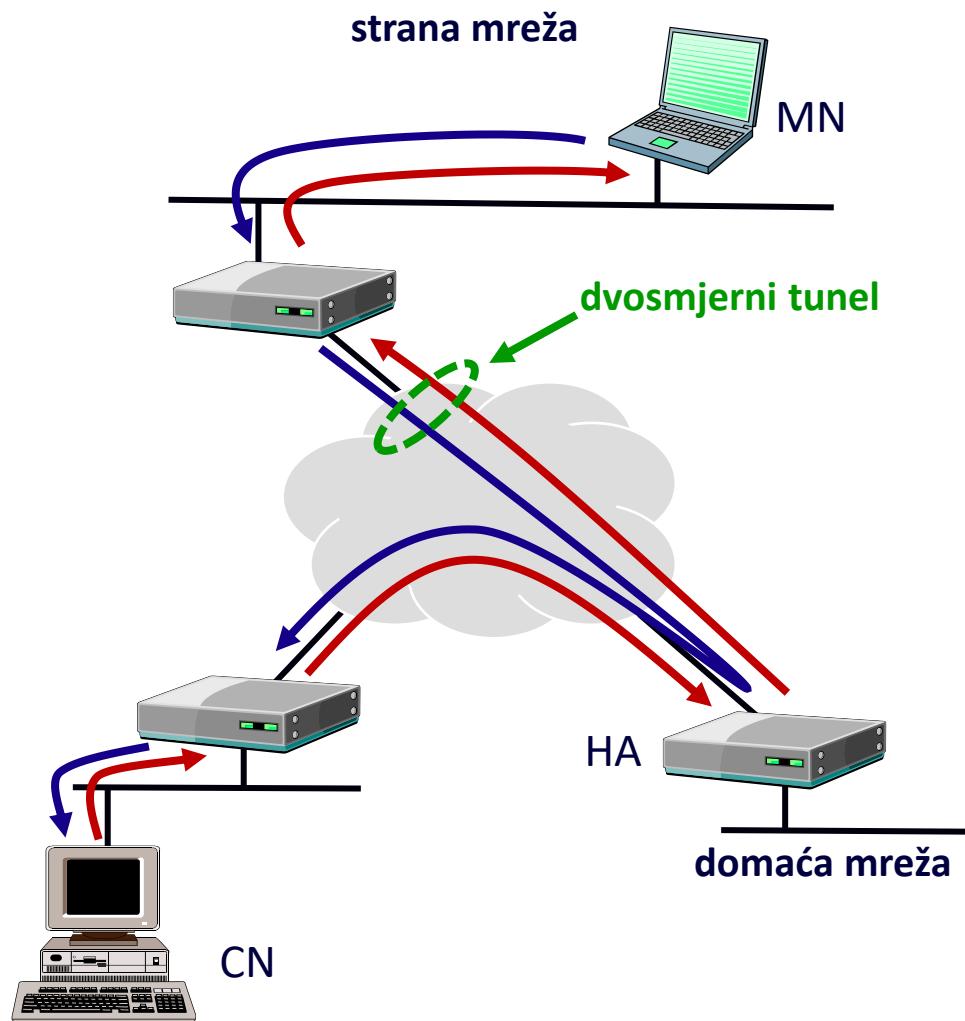
- domaći agent presreće pakete od čvora sugovornika adresirane na pokretni čvor i tunelira ih prema njegovoj trenutnoj adresi

Od MN prema CN:

- pokretni čvor pakete prema čvoru sugovorniku tunelira u suprotnom smjeru do svojeg domaćeg agenta koji ih dalje usmjerava do čvora sugovornika

Dvosmjerni tunel na relaciji HA-MN!

Usmjeravanje paketa (2)



Usmjeravanje sa čvora sugovornika na pokretni čvor:

- HA presreće datagrame adresirane na MN i tunelira ih prema MN

Usmjeravanje s pokretnog čvora na čvora sugovornika:

- istim tunelom u suprotnom smjeru

Neučinkovito, zašto?

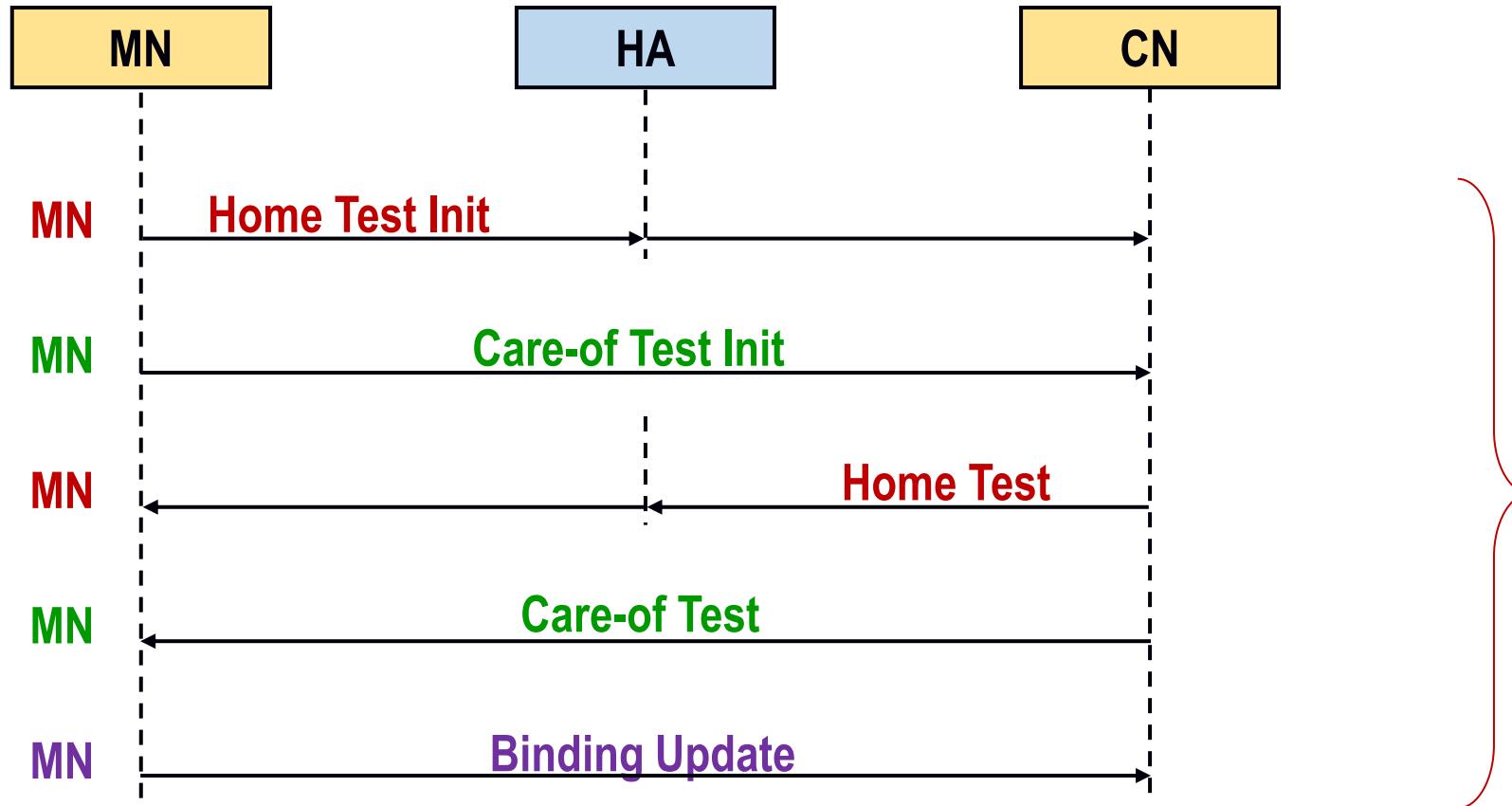
Optimizacija usmjerenja paketa (1)

Postupak optimizacije upravljanja pokreće pokretni čvor nakon primitka paketa od čvora sugovornika:

- MN šalje poruke prema CN:
 - pokreni test domaće adrese (*Home Test Init*, HoTI) – preko HA
 - pokreni test trenutne adrese (*Care-of Test Init*, CoTI) – izravno
- CN vraća poruke prema MN:
 - test domaće adrese (*Home Test Init*, HoT) – preko HA
 - test trenutne adrese (*Care-of Test Init*, CoT) – izravno

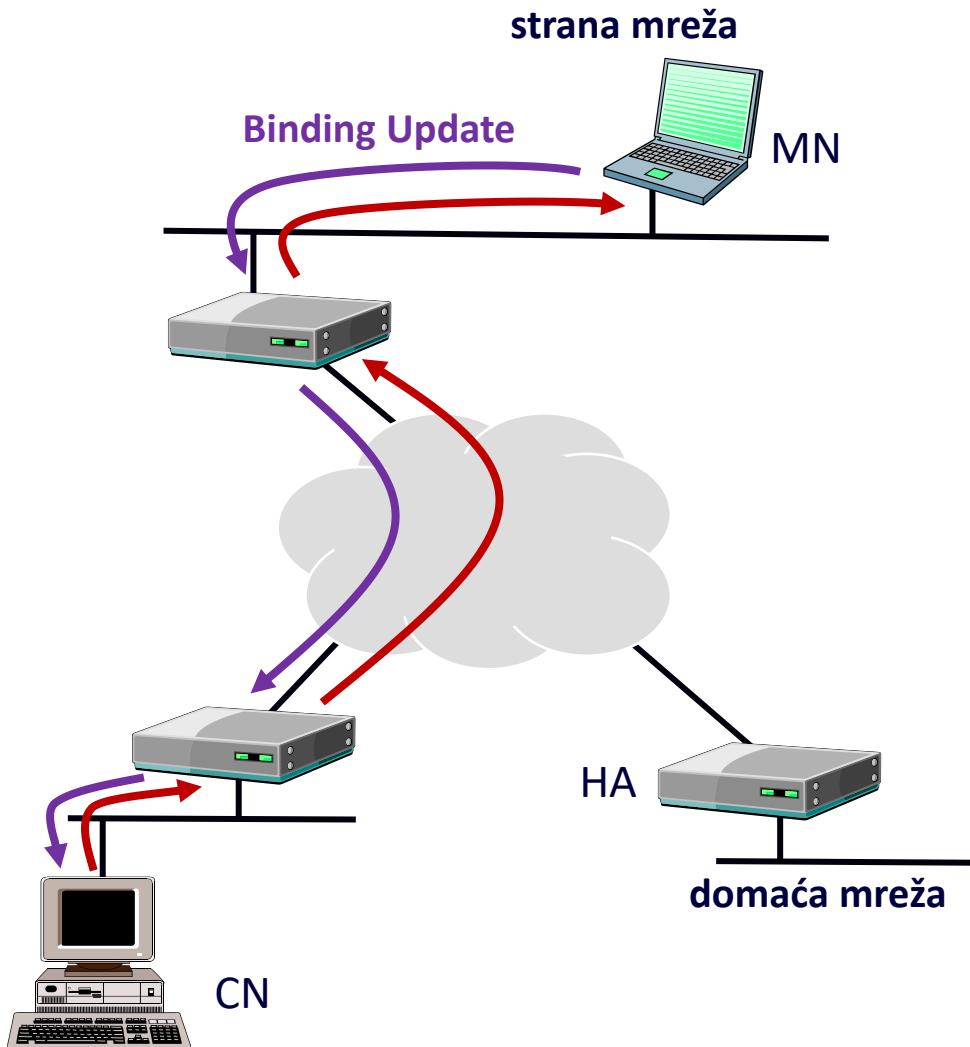
Po završenoj izmjeni poruka pokretni čvor šalje *Binding Update* čvoru sugovorniku – MN i CN su povezani, ne treba tunelirati!

Optimizacija usmjerenja paketa (2)



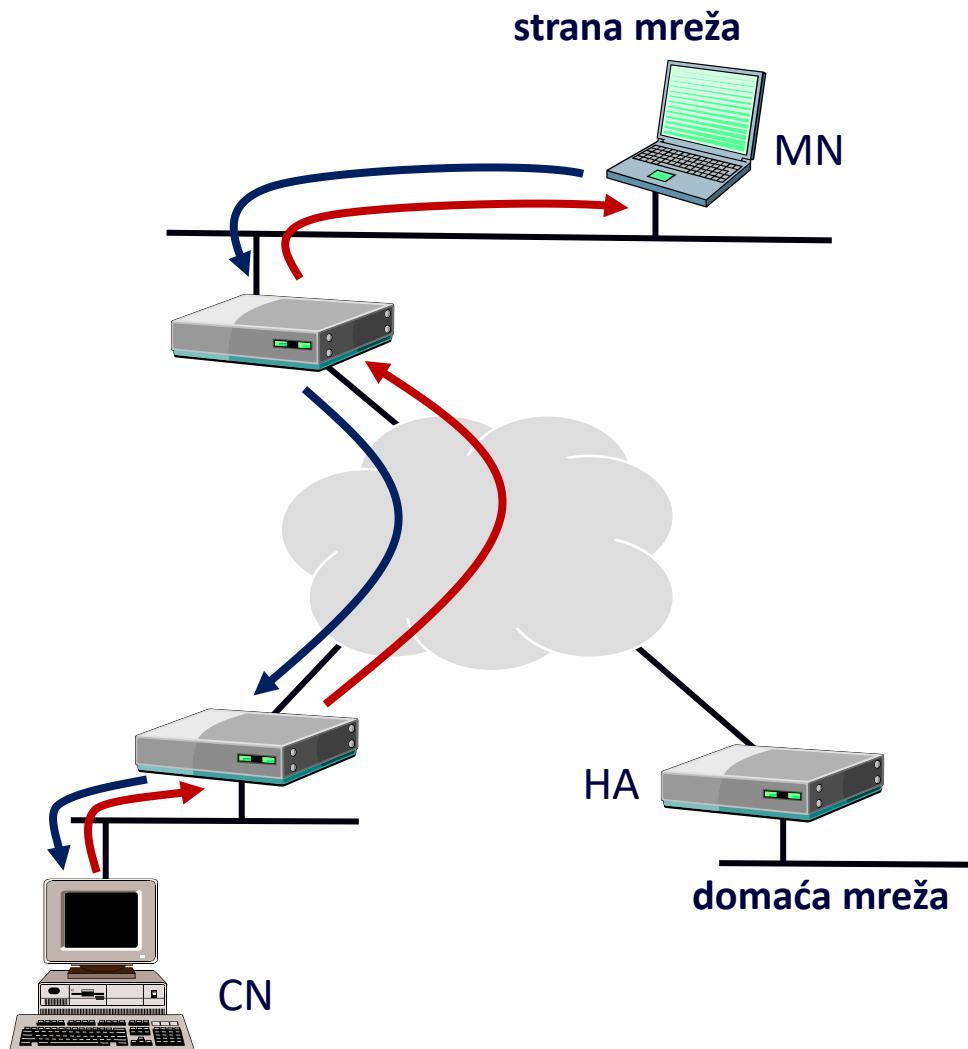
**Poruke dodatnog
zaglavlje
usmjerenja
(*Mobility Header*)**

Optimizacija usmjeravanja paketa (3)



- MN šalje prema CN ***Binding Update*** sa svojom trenutnom adresom
- CN usmjerava pakete prema MN izravno, koristeći **IPv6 dodatno zaglavlje usmjeravanja** koje sadrži domaću adresu MN-a
- MN zamjenjuje u zaglavju datagrama u polju „Odredišna adresa“ trenutnu s domaćom adresom

Optimizacija usmjeravanja paketa (4)



Usmjeravanje na pokretni čvor:

- izravno
- primjena **dodatnog zaglavlja usmjeravanja: odredišna adresa = trenutna adresa MN**

Usmjeravanje s pokretnog čvora:

- Izravno

Nema trokuta!

Zaštita podataka

- nužno za sve poruke ***Binding Update/Acknowledgement***
- jamči se autentičnost, integritet i tajnost
- koriste se dodatna IPv6-zaglavlja:
 - Zaglavlj za provjeru autentičnosti (***Authentication Header, AH***), koje daje jamstvo da poruka stvarno dolazi s navedenog izvora i da nije mijenjana na putu
 - Zaglavlj za sigurnosno ovijanje podataka (***Encrypted Security Payload, ESP***), koje jamči povjerljivost/tajnost podataka, tj. da poruka nije na putu bila čitana

Usporedba Mobile IP i Mobile IPv6

Mobile IPv4	Mobile IPv6
pokretni čvor, domaća poveznica, domaći agent, strana poveznica	(isto)
domaća adresa pokretnog čvora	domaća adresa može biti globalna ili lokalna na razini poveznice
strani agent	“obični” IPv6 usmjeritelj (nema više stranog agenta)
(nije definiran)	čvor sugovornik
trenutna adresa dobiva se preko otkrivanja agenta, pomoću DHCP-a, ili ručnom konfiguracijom	trenutna adresa dobiva se <i>stateless</i> autokonfiguracijom, pomoću DHCP-a ili ručnom konfiguracijom
otkrivanje agenta	otkrivanje usmjeritelja
provjera autentičnosti domaćeg agenta	provjera autentičnosti domaćeg agenta i ostalih sugovornika
optimizacija puta u posebnoj specifikaciji	integrirana podrška za optimizaciju puta

Zadaci (1)

- Zašto se registracijske poruke u Mobile IP prenose transportnim protokolom UDP, a ne koristi se protokol TCP?
- U kojem je slučaju, s motrišta lokacije čvorova, problem trokutastog usmjeravanja za pokretni čvor najizraženiji? Odgovor popratite skicom koja ilustrira problem!
- Istražite kako izgleda IPv6-datatype koji sadrži poruku *Binding Update*. Prikažite osnovno i sva korištena dodatna zaglavla.
- Istražite kako izgleda IPv6-datatype koji sadrži poruku *Binding Acknowledgement*. Prikažite osnovno i sva korištena dodatna zaglavla.

Zadaci (2)

- Navedite upravljačke protokole i dodatna zaglavla koja se primjenjuju u *Mobile IPv6*

Funkcija	Upravljački protokol ili dodatno zaglavje
Otkrivanje usmjeritelja i utvrđivanje promjene poveznice	
Autokonfiguracija	
Povezivanje	
Optimizacija usmjeravanja paketa	
Otkrivanje domaćeg agenta	

Komunikacijski protokoli

8. Protokoli usmjeravanja u Internetu
Protokoli RIP, OSPF i BGP

Creative Commons



- slobodno smijete:
 - **dijeliti** – umnožavati, distribuirati i javnosti priopćavati djelo
 - **remiksirati** – prerađivati djelo
- pod sljedećim uvjetima:
 - **imenovanje.** Morate priznati i označiti autorstvo djela na način kako je specificirao autor ili davatelj licence (ali ne način koji bi sugerirao da Vi ili Vaše korištenje njegova djela imate njegovu izravnu podršku).
 - **nekomercijalno.** Ovo djelo ne smijete koristiti u komercijalne svrhe.
 - **dijeli pod istim uvjetima.** Ako ovo djelo izmijenite, preoblikujete ili stvarate koristeći ga, preradu možete distribuirati samo pod licencom koja je ista ili slična ovoj.

U slučaju daljnog korištenja ili distribuiranja morate drugima jasno dati do znanja licencne uvjete ovog djela. Najbolji način da to učinite je linkom na ovu internetsku stranicu.

Od svakog od gornjih uvjeta moguće je odstupiti, ako dobijete dopuštenje nositelja autorskog prava.

Ništa u ovoj licenci ne narušava ili ograničava autorova moralna prava.

Tekst licencije preuzet je s <http://creativecommons.org/>.

Sadržaj predavanja

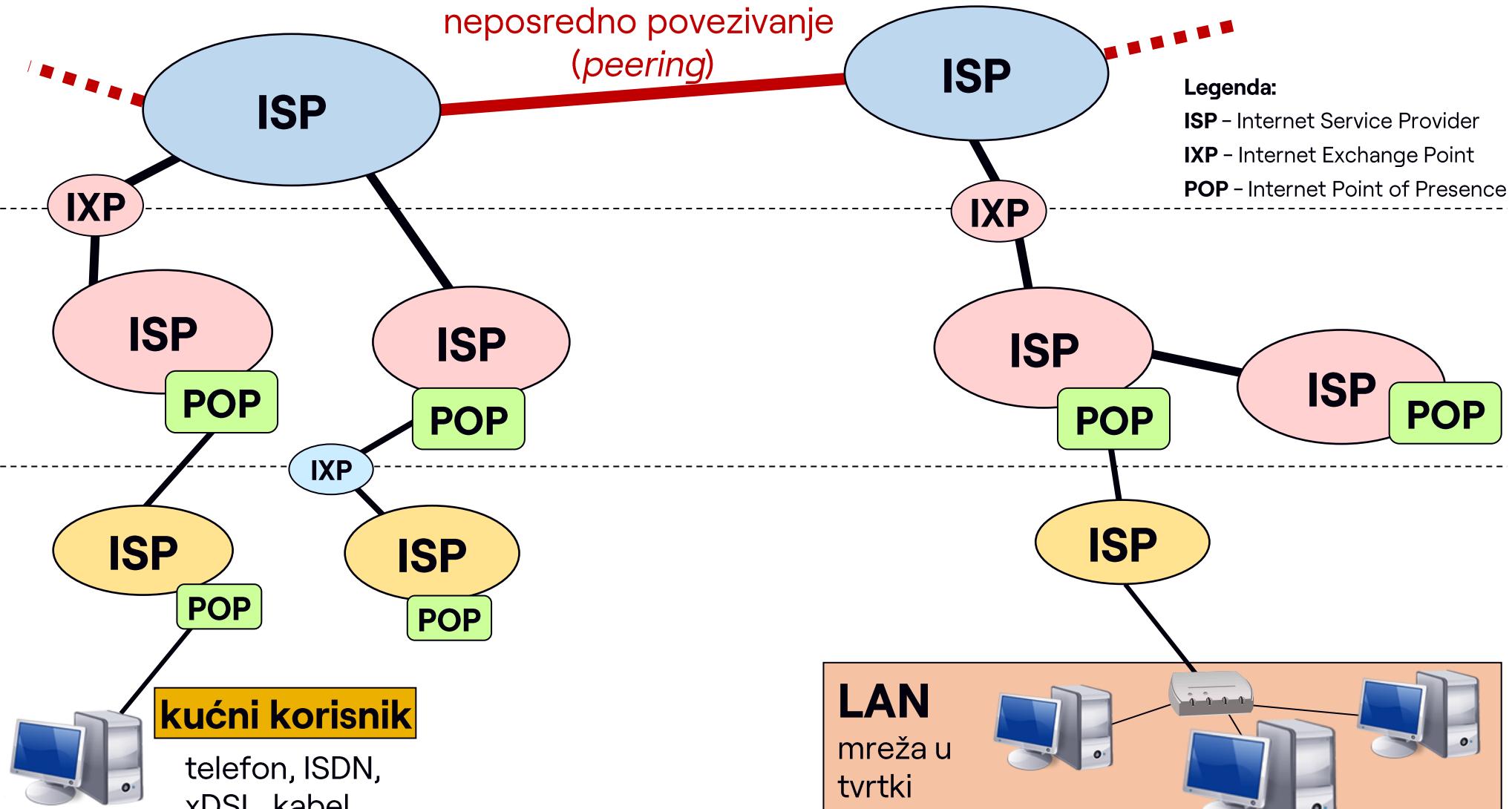
- Protokoli usmjeravanja
 - Routing Information Protocol (RIP)
 - Open Shortest Path First (OSPF)
- Protokoli usmjeravanja između autonomnih sustava
 - Osnove protokola BGP
 - Primjer BGP mreže
- Hrvatska akademska mreža CARNet
 - Croatian Internet eXchange (CIX)

Protokoli usmjeravanja

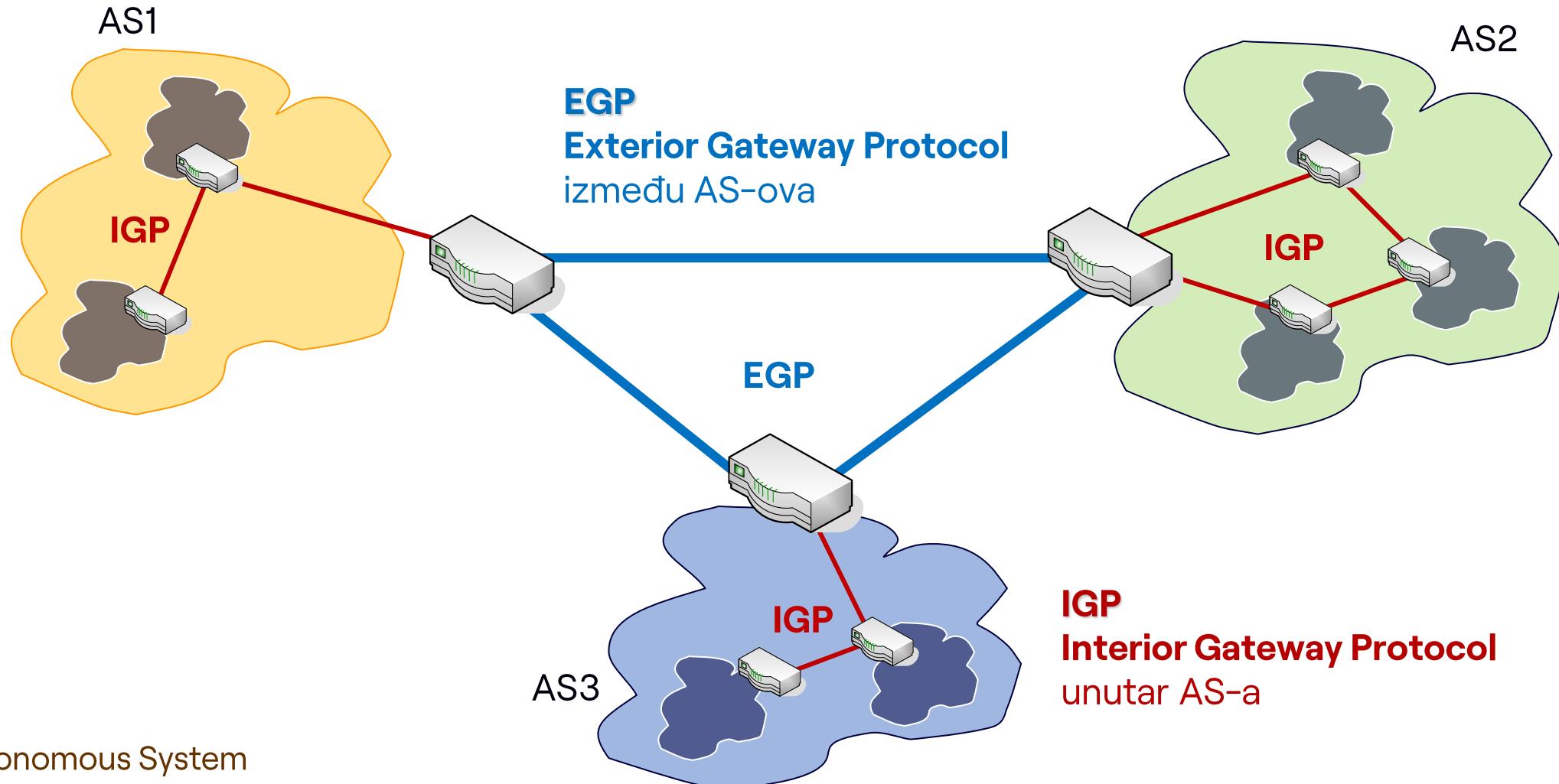
- **Protokoli usmjeravanja** izvedeni su u usmjeriteljima, a uključuju strategiju usmjeravanja i algoritme usmjeravanja
- Proces usmjeravanja:
 - prikuplja znanje o ostalim usmjeriteljima i računalima na Internetu
 - ažurira i pohranjuje podatke o topologiji mreže i/ili stanju putova u **tablice usmjeravanja**
 - na osnovu podataka u tablicama usmjeravanja, za svaki datagram bira put i proslijeđuje ga po odabranom putu prema sljedećem usmjeritelju

Organizacija Interneta

Tier 1



Klasifikacija protokola usmjeravanja



Protokoli usmjeravanja

IGP protokoli:

- ***Routing Information Protocol (RIPv2)***
 - temelji se na (dinamičkom) algoritmu vektora udaljenosti
- ***Open Shortest Path First Protocol (OSPFv2)***
 - temelji se na (dinamičkom) algoritmu stanja poveznice

EGP protokol (u praksi, samo jedan!):

- ***Border Gateway Protocol (BGPv4)***
 - algoritam vektora puta (engl. vector path)
 - sličan algoritmu vektora udaljenosti, ali uzima u obzir putove ili "staze" kao niz AS-ova na putu do odredišta

Algoritam usmjeravanja

- “Puni” tablicu usmjeravanja i time određuje kako će se datagram s nekom odredišnom adresom usmjeriti do sljedećeg usmjeritelja
- Zahtjevi: jednostavnost, korektnost, robusnost, stabilnost, optimalnost i pravednost
- Kriterij optimalnosti puta: kašnjenje, udaljenost, cijena, sigurnost
- Vrste: statički i dinamički

Klasifikacija algoritama usmjeravanja

- **neadaptivni (statički) algoritmi**
 - unaprijed izračunati putovi na temelju nekog(ih) kriterija (npr. udaljenost, cijena, ...)
 - putovi se postavljaju prilikom prvog pokretanja čvora i više se ne mijenjaju; ne uzimaju u obzir trenutno stanje
- **adaptivni (dinamički) algoritmi**
 - donose odluke o usmjeravanju temeljene na mjeranjima ili procjeni važećeg stanja u mreži (npr. aktualna topologija, opterećenje, ...)
 - pitanja "skupljanja znanja" o stanju u mreži i prilagodbe:
 - što pratiti? (udaljenost, broj skokova, opterećenje, cijenu,...?)
 - koga pitati? (samo susjedne čvorove, sve čvorove, ...?)
 - kada reagirati? (periodički, na promjenu topologije – opterećenja, ...?)

Algoritmi usmjeravanja

- Usmjeravanje najkraćim putem
 - Preplavljivanje
 - Usmjeravanje prema vektoru udaljenosti
 - Usmjeravanje prema stanju poveznice
- }
- neadaptivni algoritmi**
-
- Posebni slučajevi:
 - hijerarhijsko usmjeravanje
 - opće razašiljanje, difuzija (engl. *broadcast*)
 - višeodredišno razašiljanje (engl. *multicast*)
 - kada su krajnji čvorovi u pokretu (pristup Internetu u pokretu)
 - kada nema infrastrukture (ad-hoc mreže)
- }
- adaptivni algoritmi**

Protokol *Routing Information Protocol* (RIP)

- Standardizirani protokol IETF STD 56 - RIP Version 2 (RFC 2453)
- Svojstva RIPv2:
 - Besklasno usmjeravanje
 - Maske podmreža
 - Ruta sljedećeg skoka (*next hop route*)
 - Autentifikacija
 - Višedredišno usmjeravanje (*multicast*)
- RIPng – proširenja za IPv6
- Koristi UDP na transportnom sloju
- Temelji se na algoritmu vektora udaljenosti (*distance vector*)
- Dvije vrste izvođenja
 - aktivno – usmjeritelji
 - pasivno – računala

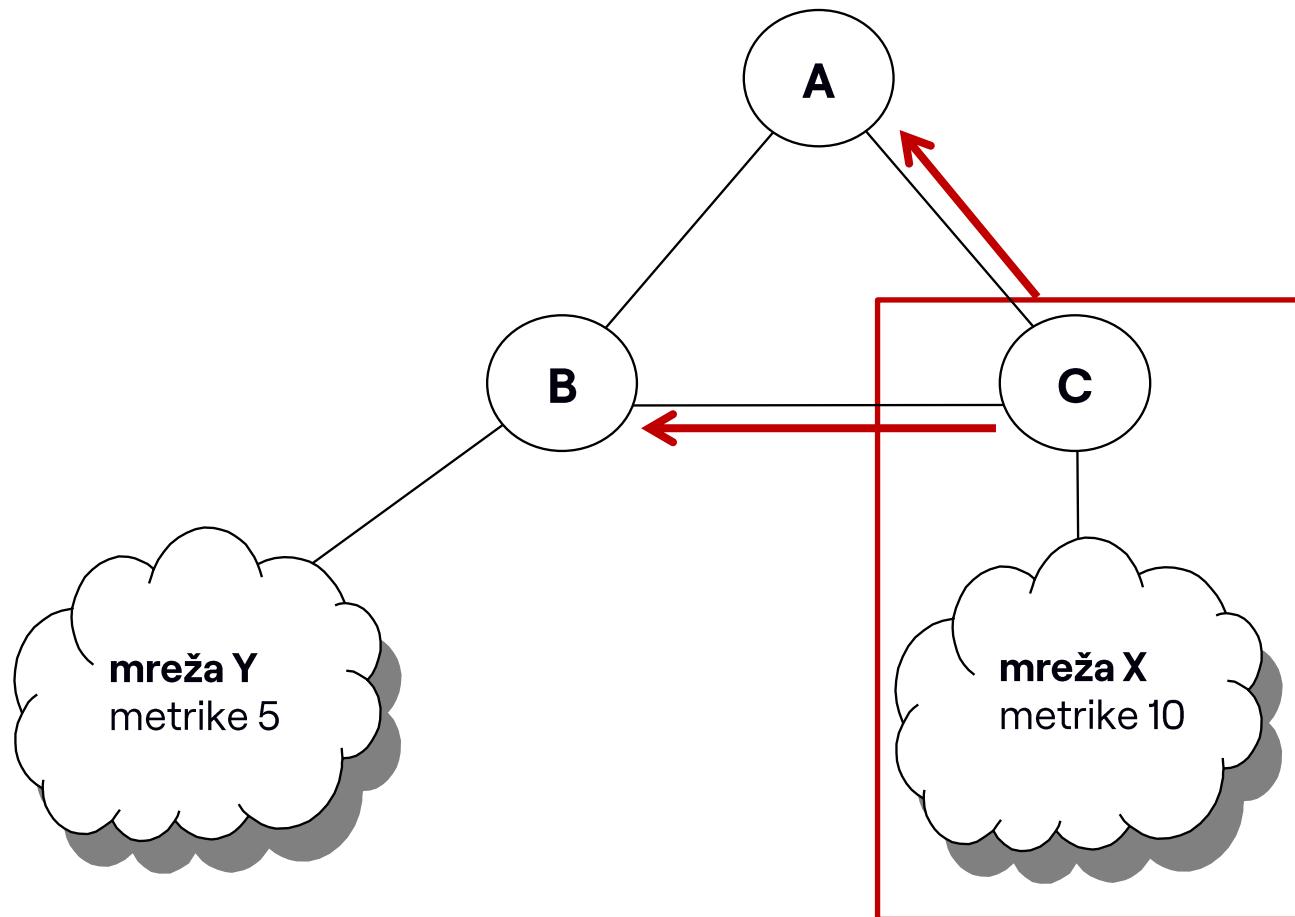
Operacije protokola RIP

- Osnovne operacije
 - Prilikom pokretanja šalje poruku svim susjedima tražeći kopije njihovih tablica usmjeravanja
 - U aktivnom načinu rada šalje tablice usmjeravanja susjednim usmjeriteljima **svakih 30 sekundi**, periodički
 - Svaka promjena topologije (metrike) šalje se ostalim usmjeriteljima skupnim razašiljanjem (broadcast)
 - Usmjeritelj prihvata tablicu usmjeravanja, uspoređuje podatke sa svojom te ažurira ako je potrebno
 - Ako usmjeritelj ne dobije poruku od susjeda **unutar 6 ciklusa** (180 s) ruta se postavlja na beskonačnu metriku (16), a nakon 60 s se briše

Ograničenja protokola RIP

- Ograničenja
 - Ne uzima u obzir propusnost poveznica, već samo udaljenost (broj skokova)
 - Maksimalna metrika 16 (mreža nakon toga nedostupna)
 - metrika = broj skokova
 - ograničenost na 16 skokova
 - neprikladan za velike mreže
 - Neprikladan za brze promjene topologije u mreži – spora konvergencija
 - “Brojanje u beskonačnost”
 - Detekcija ispada poveznice do 180 sekundi (6 ciklusa)
 - Koristi fiksnu metriku temeljenu na duljini puta (broj skokova)

RIP – punjenje tablice usmjerenja (korak 1)



Usmjeritelj A

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža Y	B	2
default	B	

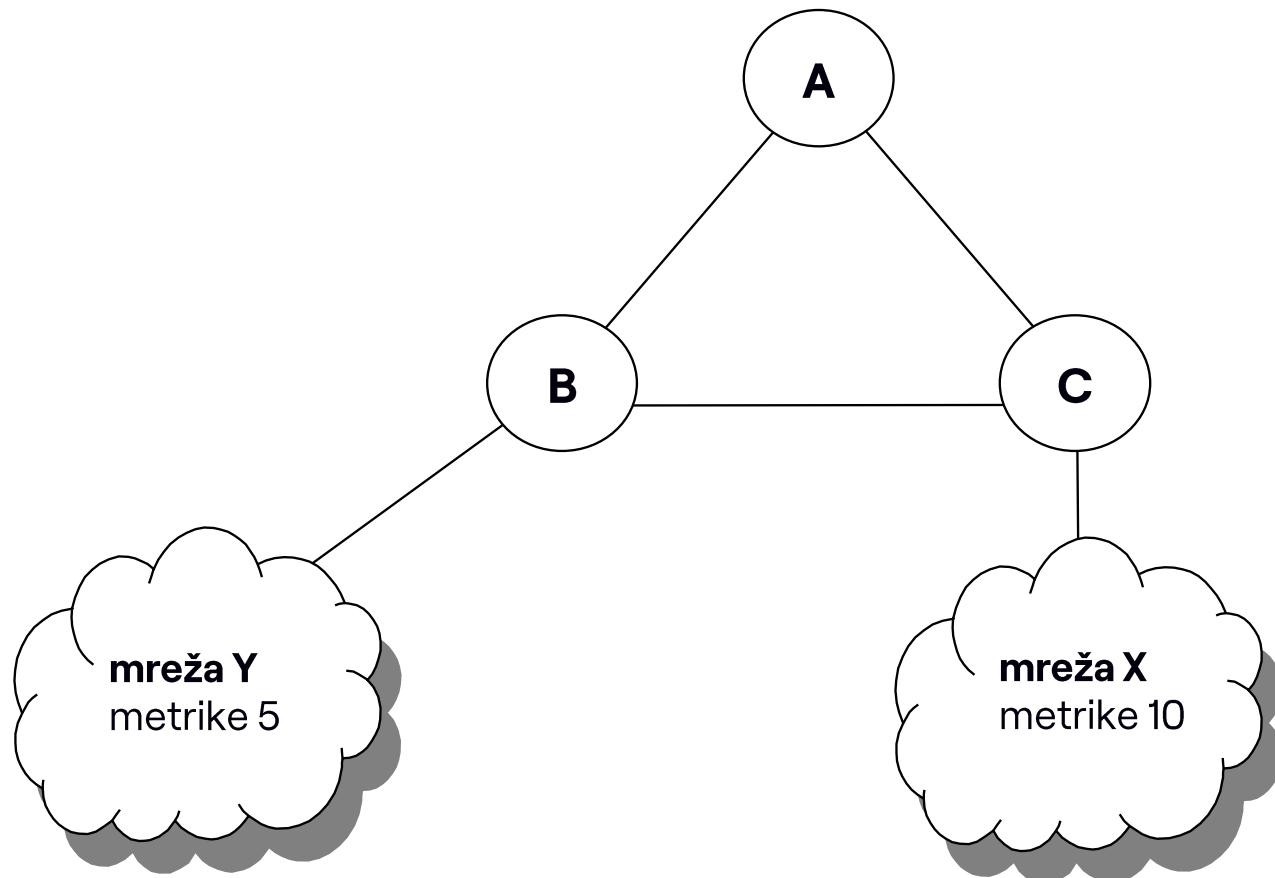
Usmjeritelj B

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža Y	-	1
default	A	

Usmjeritelj C

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	-	1

RIP – punjenje tablice usmjeravanja (korak 2)



Usmjeritelj A

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	C	2
mreža Y	B	2
default	B	

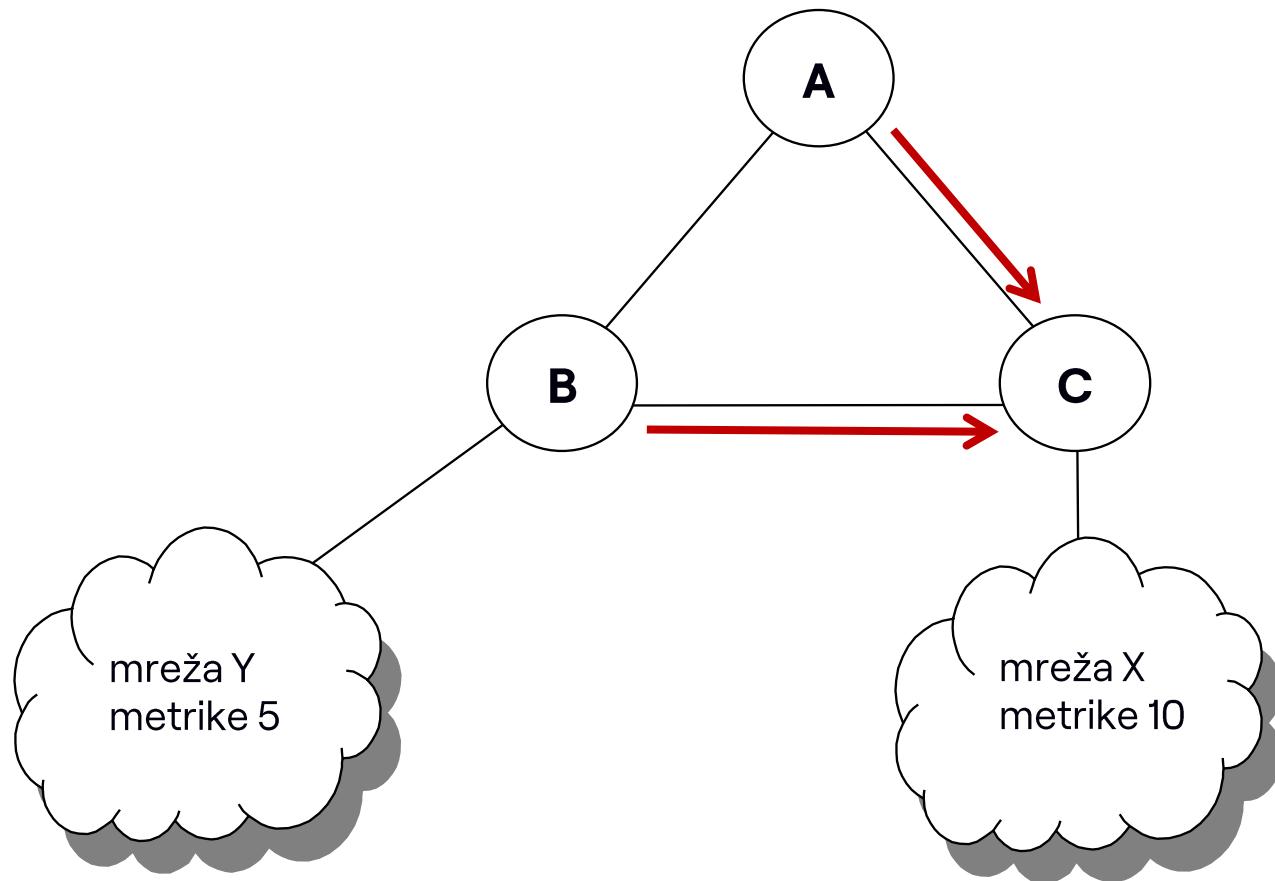
Usmjeritelj B

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	C	2
mreža Y	-	1
default	A	

Usmjeritelj C

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	-	1

RIP – punjenje tablice usmjeravanja (korak 3)



Usmjeritelj A

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	C	2
mreža Y	B	2
default	B	

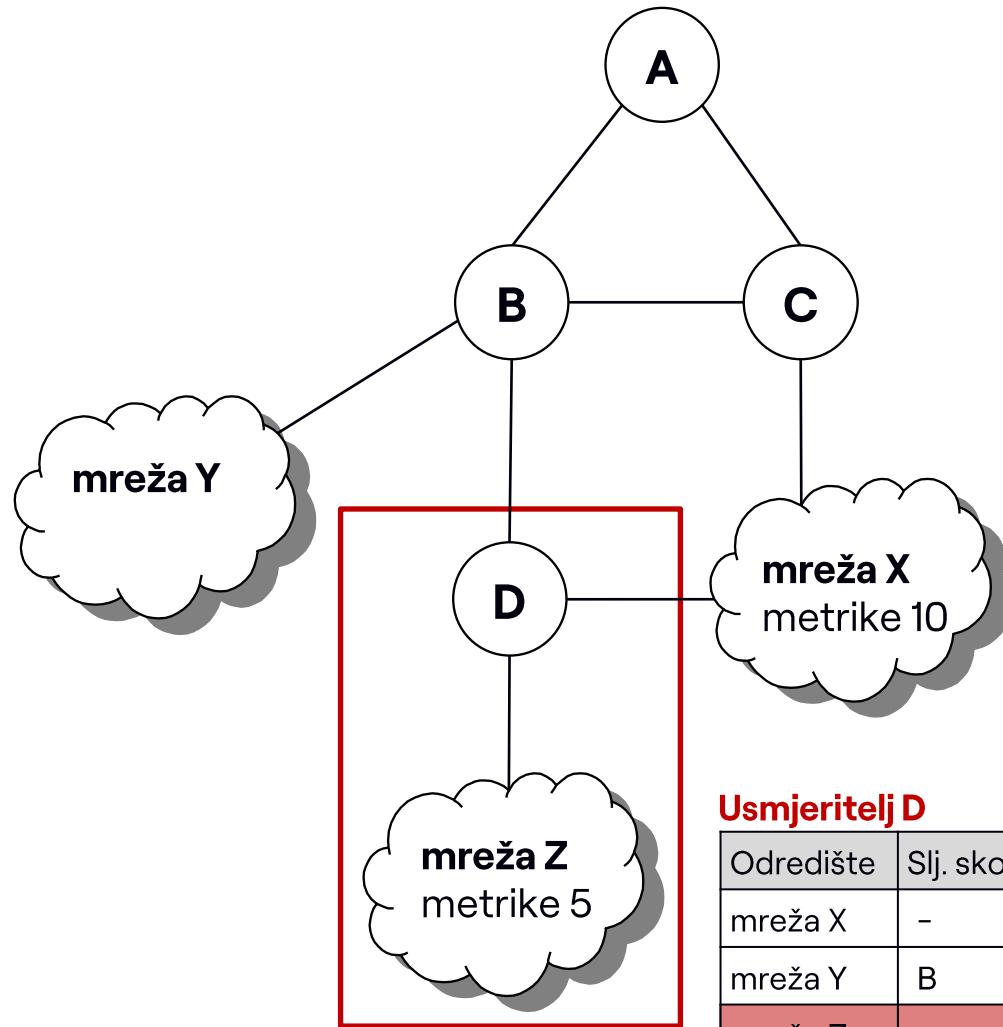
Usmjeritelj B

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	C	2
mreža Y	-	1
default	A	

Usmjeritelj C

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	-	1
mreža Y	B	2
default	B	

RIP – primjer uvođenja novog usmjeritelja



Usmjeritelj A

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	C	2
mreža Y	B	2
mreža Z	B	3
default	C	

Usmjeritelj B

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	C	2
mreža Y	-	1
mreža Z	D	2
default	C	

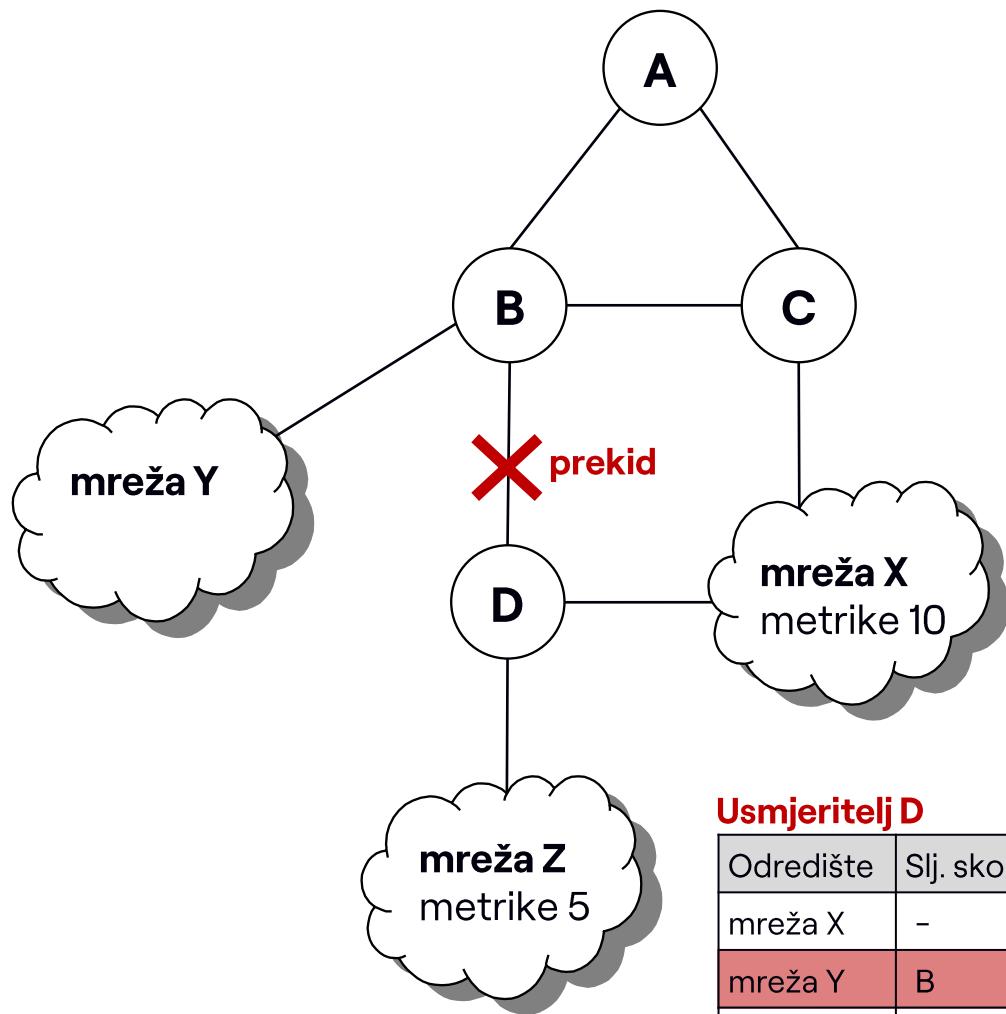
Usmjeritelj D

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	-	1
mreža Y	B	2
mreža Z	-	1
default	B	

Usmjeritelj C

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	-	1
mreža Y	B	2
mreža Z	B	3
default	B	

RIP – primjer prekida veze (1)



Usmjeritelj A

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	C	2
mreža Y	B	2
mreža Z	B	3
default	C	

Usmjeritelj B

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	C	2
mreža Y	-	1
mreža Z	D	16
default	C	

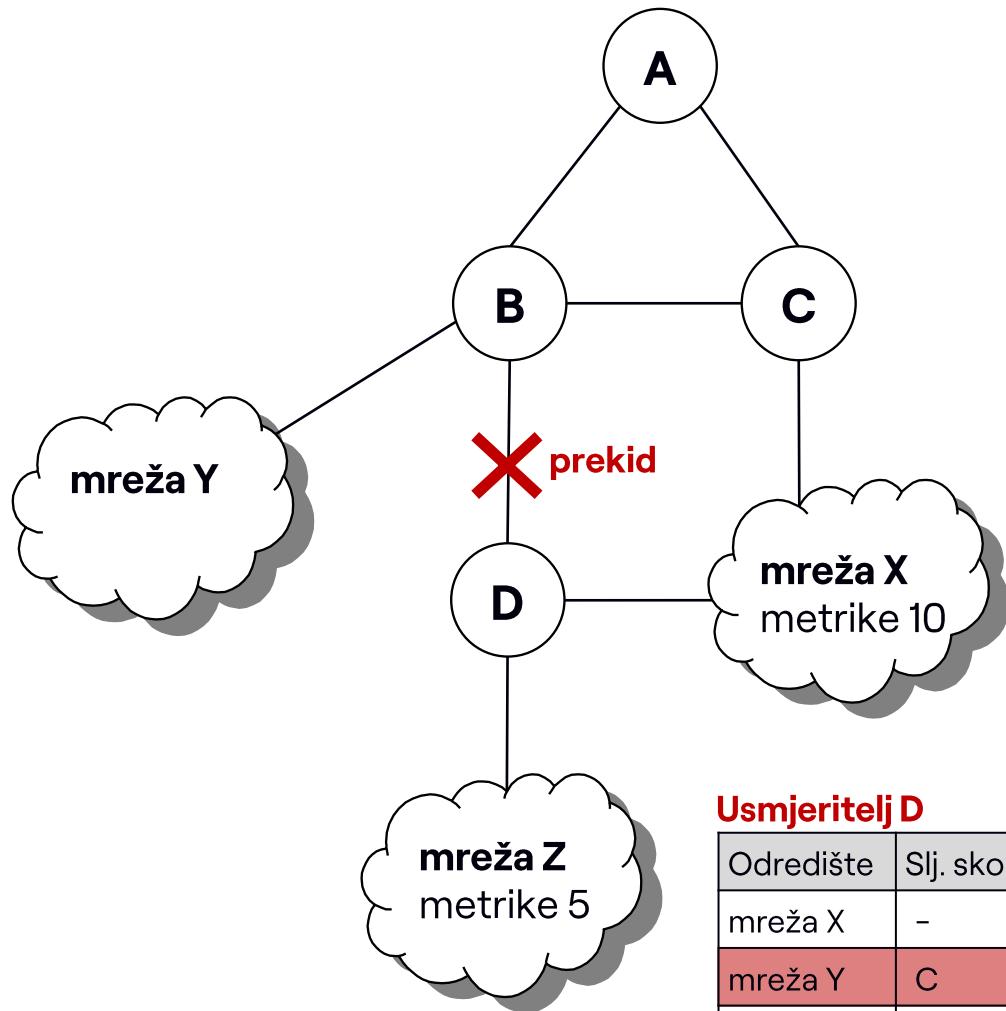
Usmjeritelj D

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	-	1
mreža Y	B	2
mreža Z	-	1
default	B	

Usmjeritelj C

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	-	1
mreža Y	B	2
mreža Z	B	3
default	B	

RIP – primjer prekida veze (2)



Usmjeritelj A

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	C	2
mreža Y	B	2
mreža Z	C	13
default	C	

Usmjeritelj B

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	C	2
mreža Y	-	1
mreža Z	C	13
default	C	

Usmjeritelj D

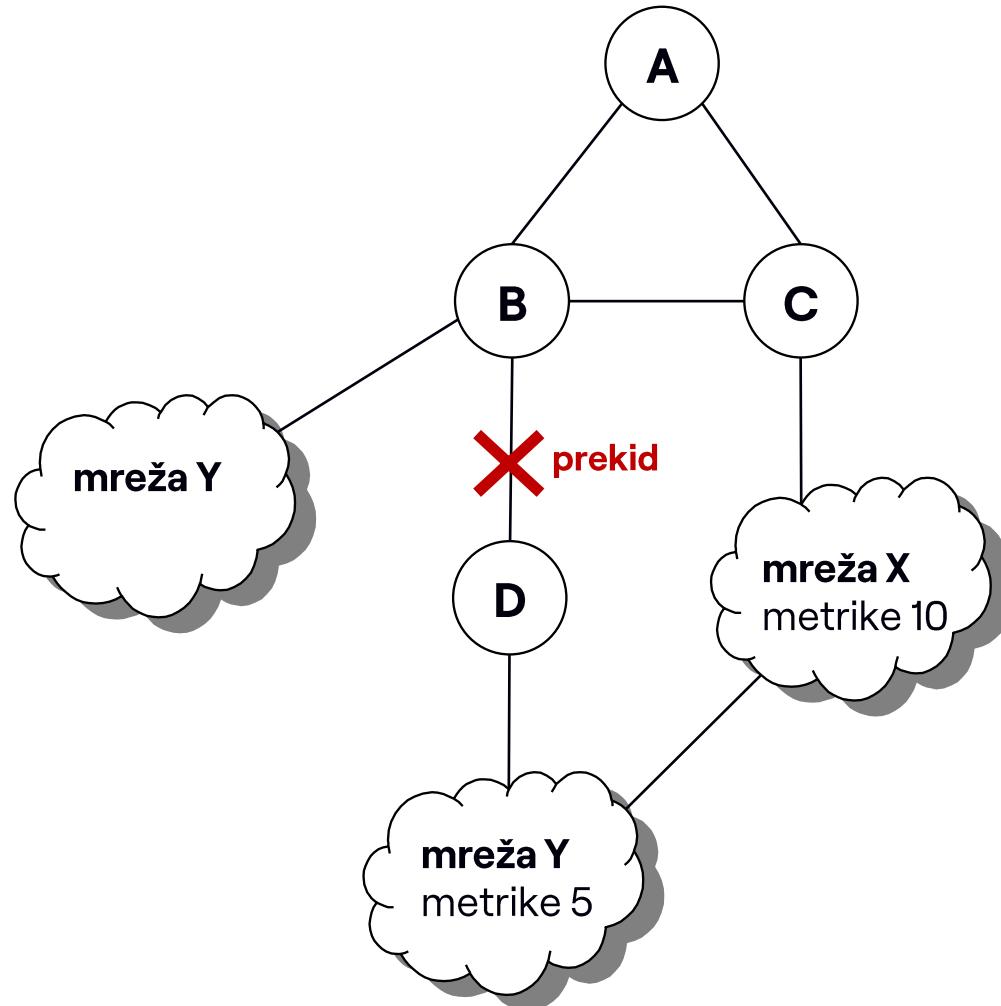
Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	-	1
mreža Y	C	13
mreža Z	-	1
default	B	

Usmjeritelj C

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	-	1
mreža Y	B	2
mreža Z	D	12
default	B	

Zadatak

Objasnite slučaj kad dođe do prekida između usmjeritelja B i D te B dobije tablicu usmjeravanja od A prije nego što o novonastalom prekidu obavijesti usmjeritelja A!
Što će se dogoditi?



Poboljšanja protokola RIP

- Rješenja za “brojanje u beskonačnost” (*counting to infinity*)
 - zanemariti povratne informacije o ruti od usmjeritelja koji su naučili o ruti upravo od tog usmjeritelja (podjela obzorja - *split horizon*)
 - Ne rješava problem u svim slučajevima
 - može se slati povratna informacija s metrikom 16 (*split horizon with poisoned reverse*)
 - nakon detekcije prekida postaviti vremensku kontrolu (60–120 sekundi) i za to vrijeme zanemariti bilo kakve nove informacije o ruti (zadržavanje promjene o prekidu - *hold-down*)
- Rješenje za sporu konvergenciju
 - Informacija o promjeni šalje se čim se promjena dogodi (*triggered updates*)

Format poruke RIPv2

0	8	16	24	31
Tip RIP datagrama	inačica		ne koristi se	
Identifikacija protokola (2 za IPv4)		Veza s ostalim protokolima (route tag)		
IP adresa (rute koja se šalje)				
maska podmreže				
sljedeći skok				
metrika				

- Tip: 1 – zahtjev, 2 – odgovor
- Veza s ostalim usmjeravajućim protokolima IGP, EGP
- IP adresa, maska podmreže, sljedeći skok i metrika su polja koja predstavljaju tijelo paketa RIP (informacije u ruti) – route table entries (RTE)
- RTE zapisa može biti najviše 25 u jednom paketu RIP

RIPng – RIPv6

- **RIPng – RIPv6**
- RFC 2080
- Nema većih razlika između RIP-2 i RIPng
 - 128-bitna adresa

Protokol Open Shortest Path First Protocol (OSPF)

- **Standardizirani protokol IETF STD 54 – OSPFv2 (RFC 2328)**
- Koristi algoritam stanja poveznice (*link-state*)
 - Stablo najkraćih putova (*shortest path first tree*)
 - Brza konvergencija
 - Podržava CIDR
 - Mali promet generiran prilikom komunikacije usmjeritelja
 - Složeniji protokol od RIP-a
- Proširenje za IPv6
 - OSPFv3 (RFC 5340, RFC 5838 – OSPFv3 over IPv4 for IPv6 transition)

Operacije protokola OSPF (1)

- Osnovne operacije:
 - Otkrivanje susjednih usmjeritelja (*neighbor discovery*)
 - Izbor nadležnog (*designated*) usmjeritelja i pomoćnog nadležnog usmjeritelja (*backup*)
 - Sinkronizacija tablica usmjerenja
 - Kreiranje/održavanje tablica usmjerenja
 - Oglašavanje stanja poveznica (LSA - *Link State Advertisement*)

Operacije protokola OSPF (2)

- Hierarchyko usmjeravanje – primjena u velikim mrežama
 - Grupiranje mreža u tzv. područja (areas)
 - Svako područje ima nadležnog i pomoćnog nadležnog usmjeritelja
 - Kategorizacija usmjeravanja
 - *internal, border, AS boundary, backbone*
- Više paralelnih ruta (*multipath routing*)
 - *Equal Cost Multi-Path routing* (ECMP) – uravnoteženje opterećenja između ruta s jednakom težinom (cijenom)
- Svaki usmjeritelj ažurira raspodijeljenu bazu podataka LSDB (*Link State Database*)
 - Sadrže podatke o usmjeriteljima s kojima nisu izravno povezani

Operacije protokola OSPF (3)

- Identične informacije o usmjerenju u svim usmjeriteljima (u stabilnom stanju)
 - Usmjeritelji posjeduju cjelokupnu sliku o topologiji mreže
 - Svaki usmjeritelj informacije o stanju poveznica šalje nadležnom i pomoćnom nadležnom usmjeritelju
 - Preplavljanje prilikom oglašavanja stanja poveznice
 - Nadležni i pomoćni nadležni usmjeritelj primljene informacije o stanju poveznica šalju svim ostalim usmjeriteljima u području
- Uzima u obzir kapacitet poveznice prilikom računanja rute
 - Računanje najkraćeg puta – Dijkstrin algoritam
- Šalju se samo promjene u tablici usmjerenja, ne cijele tablice
- Autentifikacija

OSPF-poruke

- Tipovi paketa/poruka
 - 1 - *Hello* – otkrivanje i održavanje susjednih odnosa između usmjeritelja
 - 2 - *Database Description* – opisuju bazu podataka, poruke se izmjenjuju tijekom inicijalne sinkronizacije;
 - 3 - *Link State Request* – poruka kojom se zahtjeva stanje linka;
 - 4 - *Link State Update* – poruke kojima se opisuju ili osvježavaju stanja linka;
 - 5 - *Link State Acknowledgment* – poruke kojima se potvrđuje osvježeno stanje linka;

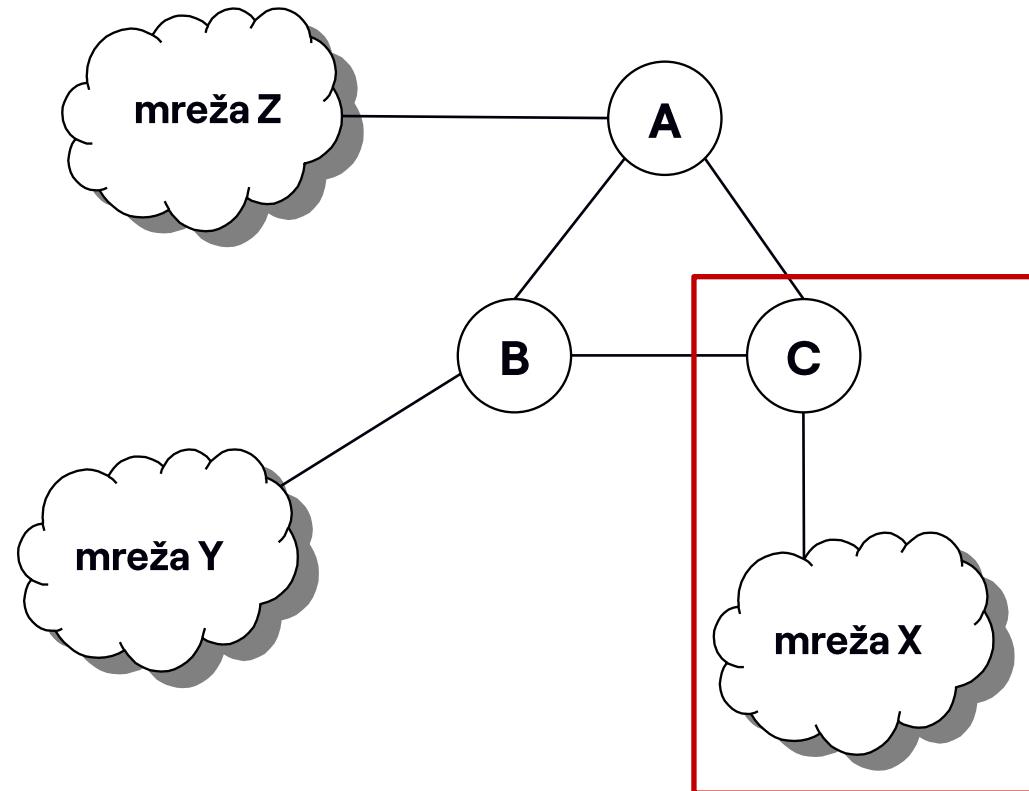
Protokol Hello

- Otkrivanje susjeda periodičkim slanjem *Hello* paketa
- Usmjeritelj šalje *Hello* pakete **svakih 10 sekundi**, dobiva njihov *Hello* paket natrag i time detektira postojanje susjeda
- Ukoliko ne dobije *Hello* paket **unutar 40 sekundi**, zaključuje da je došlo do prekida veze
 - Prestaje oglašavati vezu
 - Usmjerava pakete drugim putem

Sinkronizacija baza podataka

- **Inicijalna sinkronizacija**
 - Dva usmjeritelja tek počinju komunicirati
 - Razmjena baza podataka
 - Šalju se zaglavja svih LSA-ova (serijom paketa *Database Description*)
 - Nakon toga zahtjevi za LSA kojih nema (*Link State Request*) i odgovori (*Link State Update*)
- **Kontinuirana sinkronizacija**
 - Pojavom novih paketa za oglašavanje stanja linka (LSA)
 - Preplavljanjem
 - Počinje kada usmjeritelj želi osvježiti neki od svojih LSA-ova ukoliko mu se promjenilo neko od lokalnih stanja

OSPF primjer – punjenje tablica usmjeravanja (1)



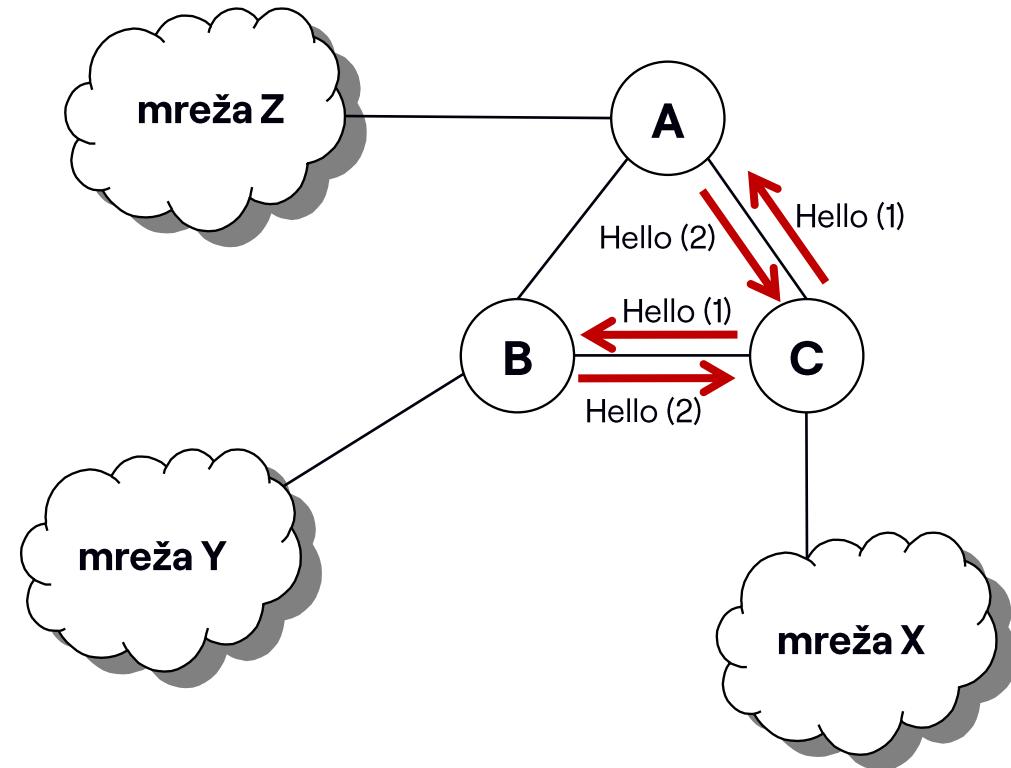
Usmjeritelj A

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža Y	B	20
mreža Z	-	10
default	B	

Usmjeritelj C

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	-	10

OSPF primjer – upoznavanje (koraci 1 i 2) (2)



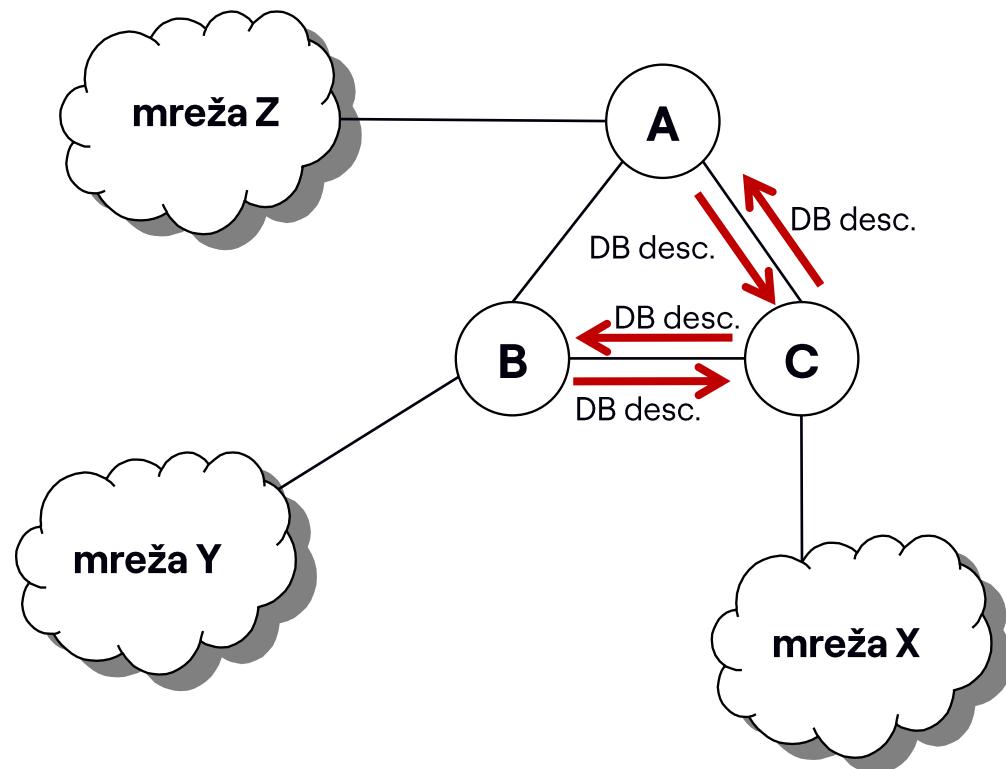
Usmjeritelj A

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža Y	B	20
mreža Z	-	10
default	B	

Usmjeritelj C

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	-	10

OSPF primjer – inicijalna sinkronizacija (korak 3) (3)



Usmjeritelj A

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	C	20
mreža Y	B	20
mreža Z	-	10
default	B	

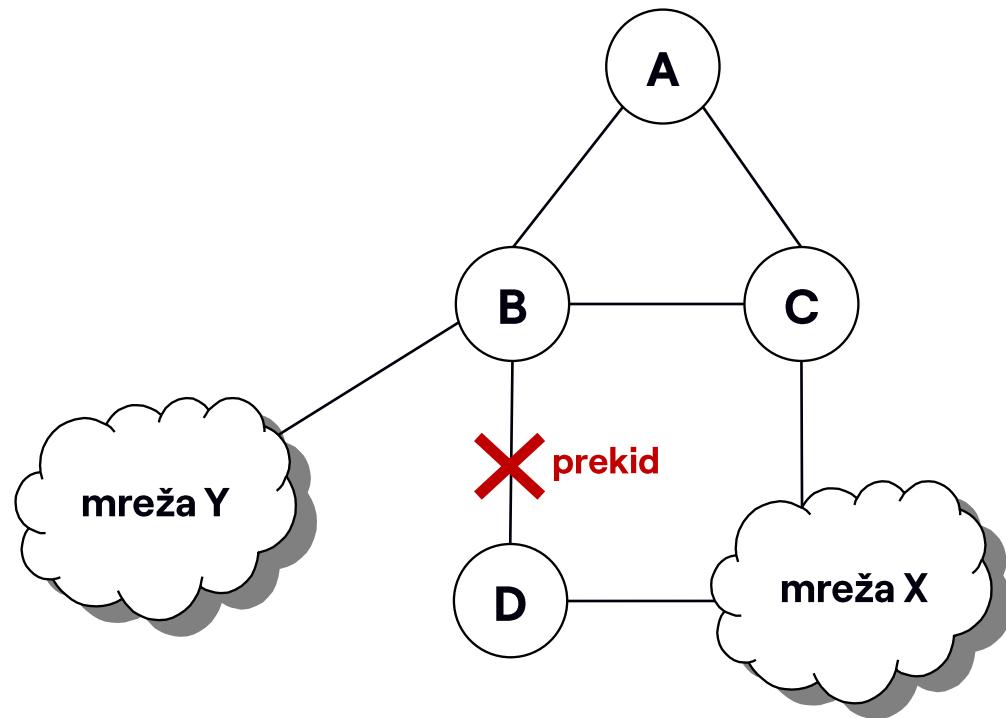
Usmjeritelj C

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	-	10
mreža Y	B	30
mreža Z	A	20
default	A	

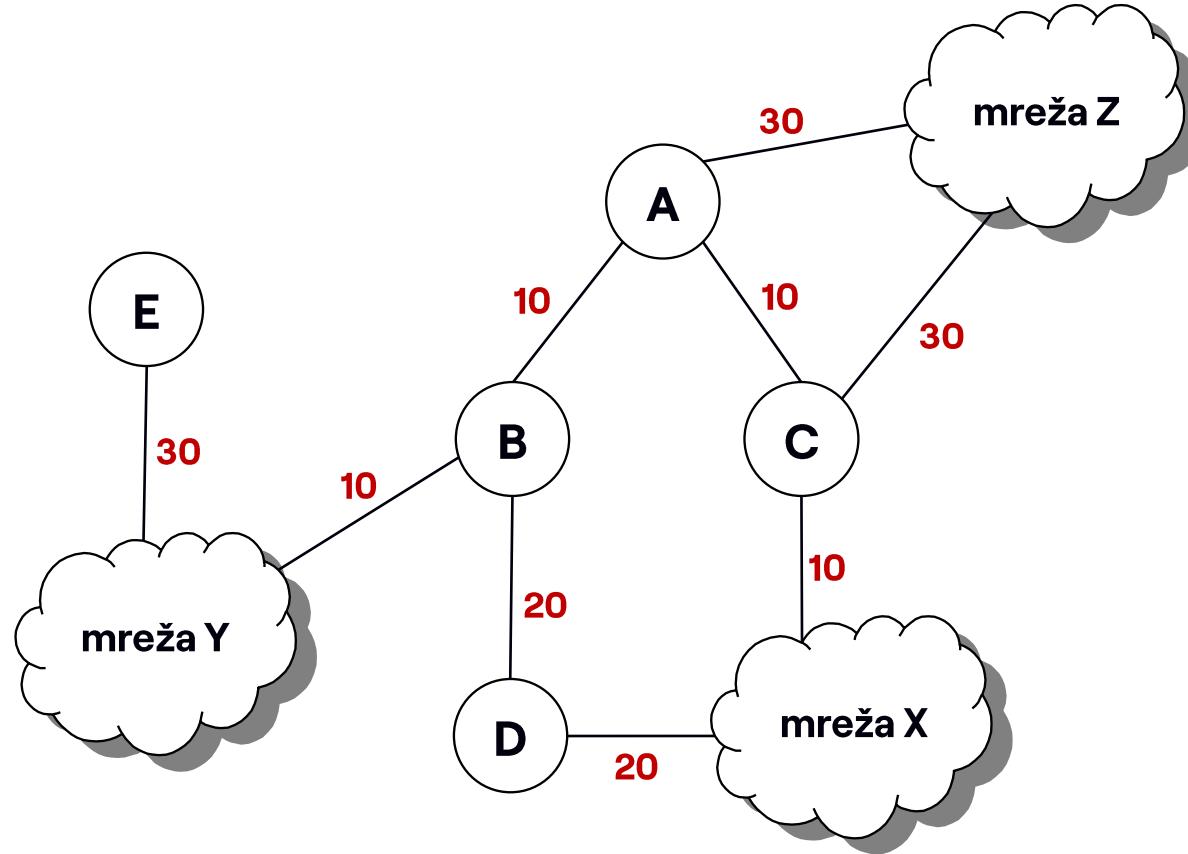
OSPF primjer – inicijalna sinkronizacija (korak 3) (3)

Usmjeritelj A

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	B	80
	C	60
mreža Y	B	90



Primjer OSPF – određivanje puta



LSBD

	A	B	C	D	E
A		10	10		
B	10			20	
C	10				
D		20			
E					
X			10	20	
Y		10			30
Z	30		30		

Usmjeritelj E

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	B	60
mreža Y	-	30
mreža Z	B	70

OSPF-zaglavje

0	8	16	24	31
verzija	tip paketa	Duljina paketa		
Oznaka (ID) izvornog OSPF usmjeritelja				
oznaka (ID) OSPF područja				
zaštitna suma		tip autentifikacije		
autentifikacija (64 bits)				

Proširenje za IPv6

- Nema većih razlika, većina naslijedena iz IPv4
- Glavne su promjene vezane uz adresu
 - Veća adresa
 - IPv6 adrese se nalaze samo u paketima LSA, ostali OSPF paketi ne sadrže IPv6 adresu
 - Susjedni usmjeritelji se identificiraju prema broju (ID), a ne prema adresi (kod *Hello* protokola)
 - Polja za autentifikaciju su izbačena iz OSPF zaglavlja – autentifikacija se oslanja na IPv6 AH i ESP

Zadatak

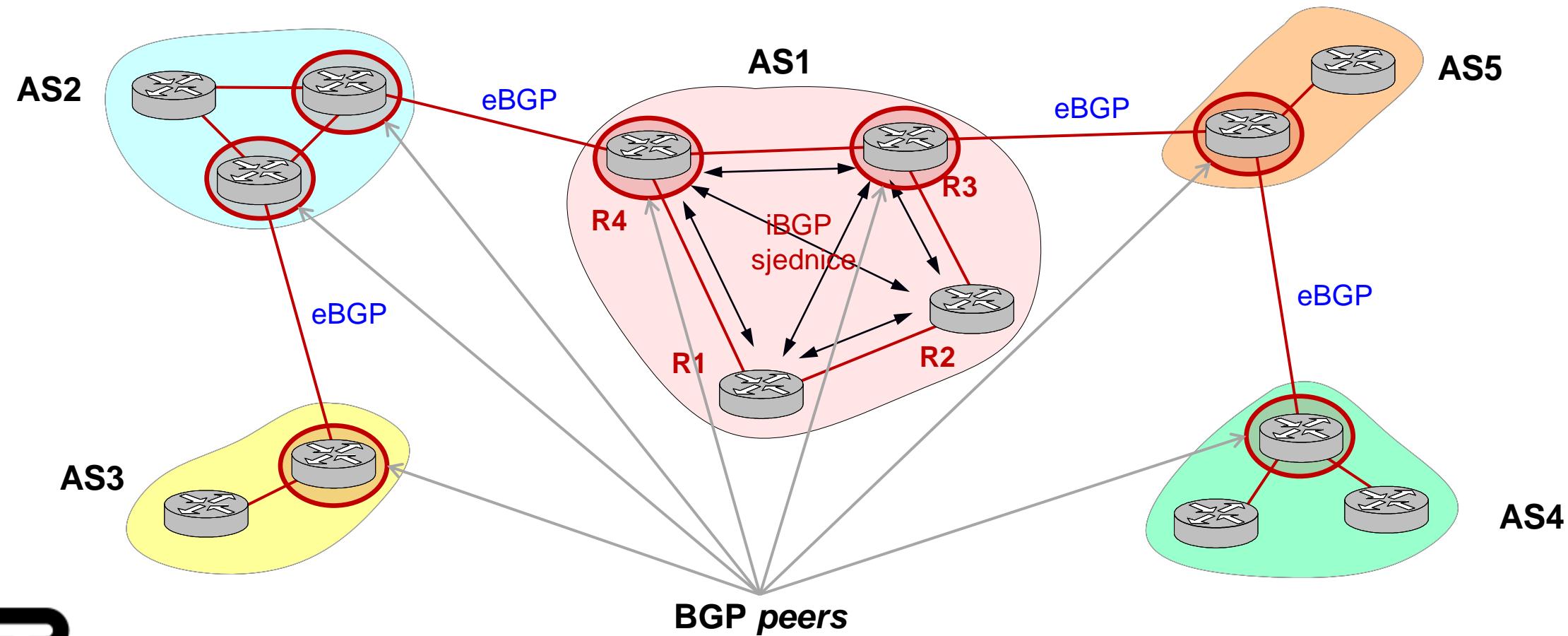
- Zadajte topologiju mreže prikladnu za usporedbu protokola usmjeravanja RIP i OSPF. Za svaki od protokola definirajte tablice usmjeravanja te prikažite promjene u slučaju proširenja mreže (dodavanje novog usmjeritelja), prekida neke poveznice ili isпадa jednog od usmjeritelja.

Pojam autonomnog sustava AS

- Skup mreža i usmjeritelja temeljenih na istim načelima pod zajedničkom upravom i zajedničkom politikom usmjeravanja "prema van", odnosno prema ostalim AS-ovima
- Jedinstveni broj AS
 - Javni i privatni AS-ovi
 - Davatelji internetskih usluga ISP-ovi (T-Com, VIPNet, Iskon, Metronet, Optima Telekom ...)
- Koriste jedinstveni IGP protokol usmjeravanja
- "Rubni" (vanjski) usmjeritelj na AS-u koji koristi eBGP naziva se "**peer**"
 - Administrativne granice, povezuje različite AS-ove
 - Izmjenjuje **informacije/poruke o putovima** s drugim AS-ovima –Network Layer Reachability Information (NLRI)

Komunikacija autonomnih sustava

- Komunikacija AS-ova odvija se preko BGP usmjeritelja (**BGP peers** ili **BGP speakers**)



Vrste autonomnih sustava

- ***Stub AS*** – AS s jednim izlazom, ima vezu sa samo jednim AS-om te prenosi samo lokalni promet
- ***Multihomed AS*** – povezan je s više AS-ova, ali ne prenosi tranzitni promet
- ***Transit AS*** – povezan je s više od jednog AS-a i u skladu sa definiranim pravilima prenosi tranzitni i lokalni promet
- **Protokol BGP neovisan je o korištenom protokolu IGP**

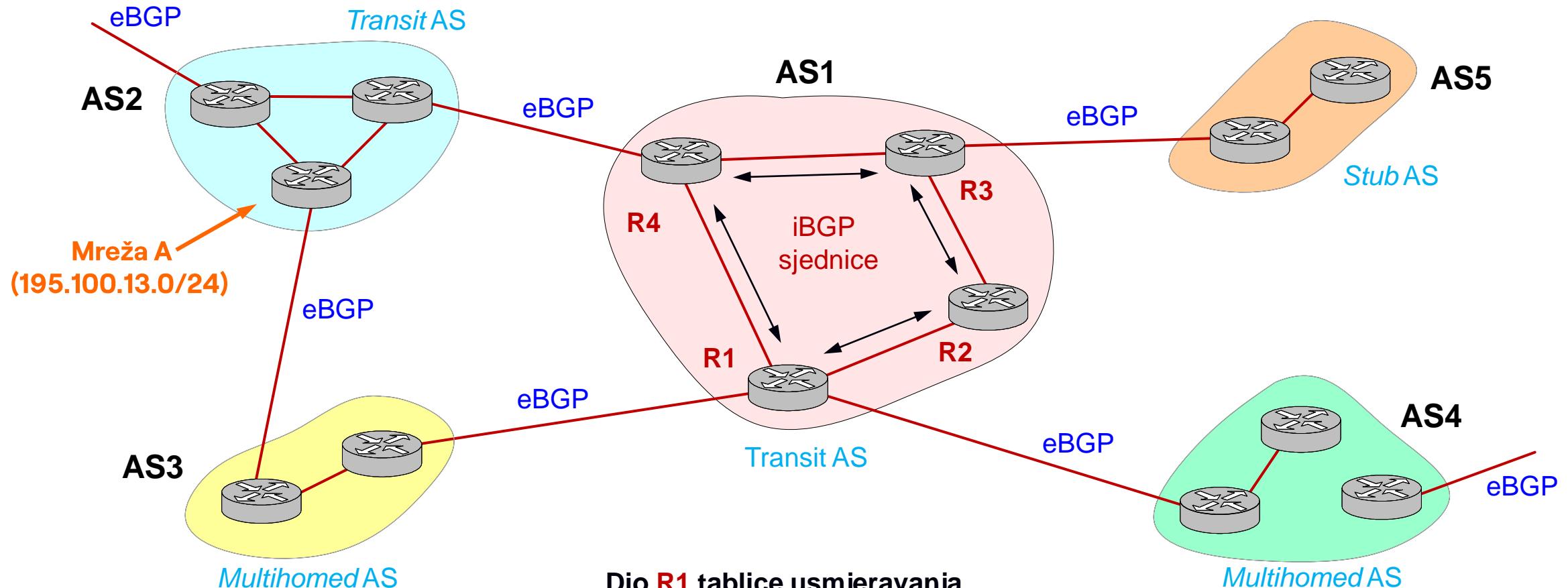
Border Gateway Protocol (BGP)

- Draft Standard protokol, BGP-4 (RFC 4271)
- **Protokol usmjeravanja (EGP)**
- **Komunikacija usmjeritelja između autonomnih sustava (AS)**
- Razmjena usmjerivačkih informacija između davatelja internetskih usluga (ISP-ova) te ISP-ova i većih korisnika
- **Jedini EGP u Internetu**
- Koristi TCP, port 179
- Podržava TCP veze između BGP usmjeritelja između AS-ova

Border Gateway Protocol (BGP)

- Temelji se na **algoritmu vektora staza** (path-vector algorithm)
 - sličan algoritmu vektora udaljenosti, uzima u obzir stanje staze kao niz AS-ova na putu do odredišta
- Neovisan o korištenom IGP-u unutar AS-a
- Dva moda rada
 - unutarnji BGP (internal, iBGP) – između usmjeritelja unutar istog AS-a
 - vanjski BGP (external, eBGP) – između usmjeritelja različitih AS-ova

BGP usmjeritelji i vrste AS-ova



Dio R1 tablice usmjeravanja

Odredište	Slj. skok	RP
195.100.13.0/24	R4	BGP
R3	R2	IGP

Korišteni protokol
usmjeravanja

BGP operacije

- Dvije kategorije prometa
 - lokalni – izvorište i odredište unutar istog AS-a
 - tranzitni – izvorište i odredište u različitim AS-ovima
- Tranzitni BGP usmjeritelji
 - dopuštaju prolazak tranzitnog prometa
 - može nametnuti ograničenja
 - obično imaju **potpune tablice usmjeravanja**
 - Preko 500,000 ruta (<http://bgp.potaroo.net>)
- Korištenjem CIDR i združivanja staza (*route aggregation*) smanjuju se veličine tablica usmjeravanja

Osnove protokola BGP

- Usmjerava internetski promet između usmjeritelja na temelju algoritma vektora staza
- Pronalazak susjednih usmjeritelja vrši se **ručno** (administrator mreže)
- Kad usmjeritelji uspostave **TCP vezu** (*BGP speakers*), razmijene cijele tablice usmjeravanja
- Usmjeritelji izmjenjuju informacije o stazama (NLRI)
- Tablica usmjeravanja sadrži informacije o stazama prema AS-u u kojem se nalazi odredišna mreža

BGP staza

- Staza se sastoji od sljeda autonomnih sustava koje treba proći do odredišta
- Mogu postojati višestruke staze
- Dopušta se primjena različitih politika usmjeravanja
- Svaku stazu obilježavaju **skup parametara (atributa)** koji definiraju politiku usmjeravanja
- Staza kojom se usmjerava paket odabire se na temelju:
 - parametara staza
 - dostupnosti staze
 - dodatnih pravila o prihvaćanju paketa (političkih, sigurnosnih,...)
 - pravila o propuštanju paketa
 - ugovora između usmjeritelja...

atributa

BGP RIB

- BGP staze se objavljuju pomoću poruke UPDATE
- Svaki usmjeritelj sadrži bazu staza RIB (BGP Routing Information Base)
- Baza RIB sadrži tri vrste popisa
 - Popis neobrađenih staza koje su primljene od susjednih usmjeritelja – uzimaju se u obzir kod procesa odluke (Adj-RIBs-In)
 - Popis staza s lokalnim informacijama o usmjeravanju do kojih se dolazi primjenom vlastitih pravila usmjeravanja i provođenjem procesa odluke nad popisom neobrađenih ruta (Loc-RIB)
 - Popis staza koje se šalju susjednim usmjeriteljima slanjem *update* poruka (Adj-RIBs-Out)

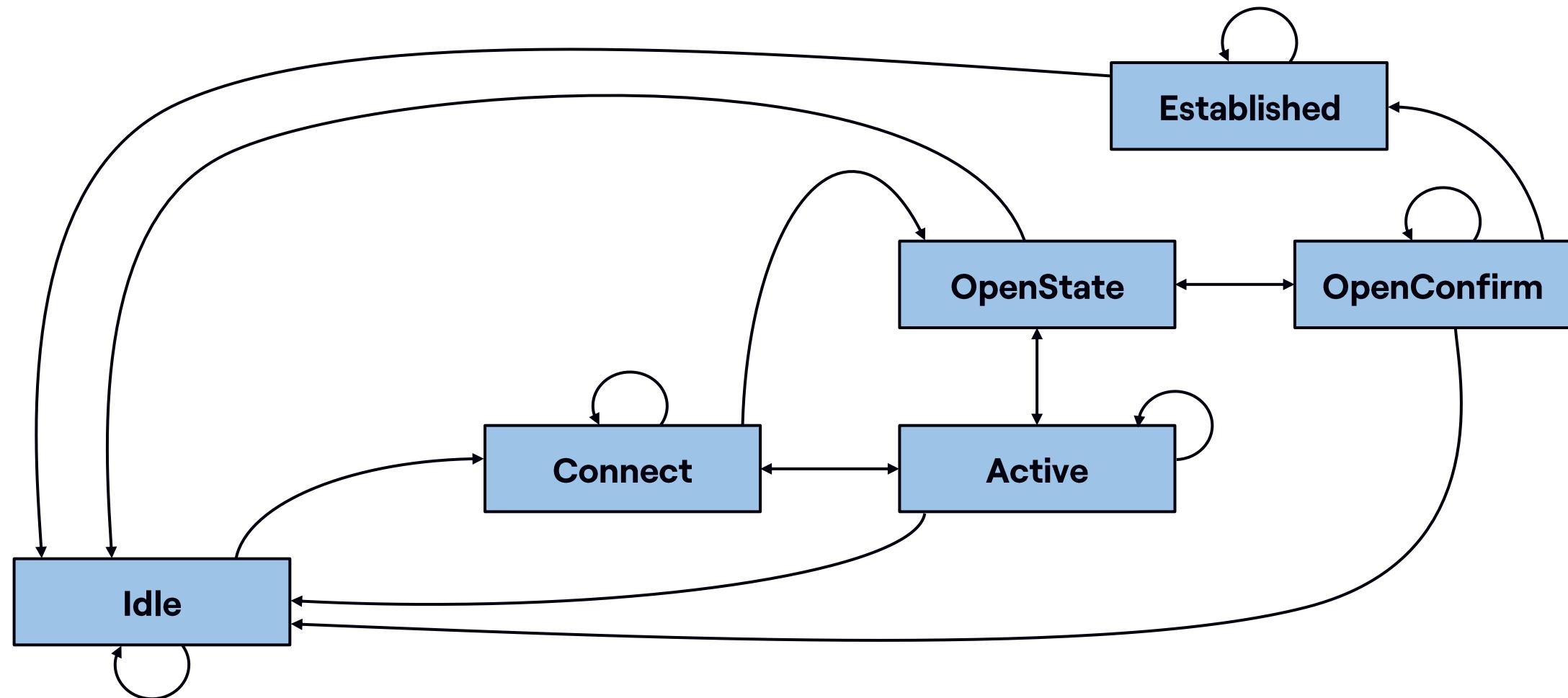
BGP poruke

- Veličina poruke je od 19 (zaglavlje) do 4096 okteta
- Tri polja: oznaka (*marker*), veličina (*length*) i **vrsta** (*type*)
- **Vrste** BGP poruka:
 - OPEN
 - Uspostava veze (sjednice) između susjednih usmjeritelja i izmjena početnih postavki (identificiranje međusobnih mogućnosti)
 - UPDATE
 - Razmjena informacija o stazama (objava novih i ukidanje zastarjelih) nakon uspostave sjednice
 - KEEPALIVE
 - Održavanje sjednice između usmjeritelja, potvrda nakon poruke *open*
 - NOTIFICATION
 - Obavijesti o pogreškama i zatvaranju sjednice

Komunikacija protokolom BGP

- Komunikacija BGP usmjeritelja u internetskoj mreži može se predočiti modelom konačnog automata
- Definirana su šest stanja:
 - *Idle*
 - *Connect*
 - *Active*
 - *OpenState*
 - *OpenConfirm*
 - *Established*

Model konačnog automata protokola BGP



BGP atributi staze

- Nalaze se unutar poruke *UPDATE*
- Omogućavaju usmjeriteljima primjenu vlastite politike usmjeravanja
 - dobro poznati obavezni (*well-known mandatory*)
 - dobro poznati neobavezni (*well-known discretionary*)
 - izborni tranzitni (*optional transitive*)
 - odnose se na sve AS-ove (globalni)
 - izborni lokalni (*optional non-transitive*)
 - odnose se na AS koji ih prima
- Svaka staza može imati jedan ili više izbornih atributa kao dodatak dobro poznatim atributima

Atributi staze

- 1 - ORIGIN
- 2 - AS path
- 3 - Next hop
- 4 - Multi-Exit Discriminator (MED)
- 5 – Local preference
- 6 – Atomic aggregate
- 7 - Aggregator

Atribut *ORIGIN*

- **Definira porijeklo staze (origin)**
- **Dobro poznati obavezni atribut staze**
- Generira ga usmjeritelj od kojeg staza potječe
- Polje atributa je veličine jednog okteta
- **IGP-0:** put koji se prenosi unutar polja NLRI potječe iz istog AS-a u kojem se nalazi usmjeritelj
- **EGP-1:** put koji se prenosi unutar polja NLRI potječe iz drugog AS-a
- **Incomplete-2:** put koji se prenosi unutar polja NLRI dobiven je nekim drugim načinom (nije poznat)

Atribut AS path

- **Definira stazu** – listu AS-ova (segmenata puta) koje treba proći do odredišta
- **Dobro poznati obavezni atribut staze**
- Svaki segment puta AS-a zapisan je trojkom:
 - tip (skup AS-ova koje je poruka *update* prešla),
 - duljina (broj prijeđenih AS-ova),
 - vrijednost (brojevi AS-ova)
- Korisno kod višestrukih staza – različiti atributi za isto odredište
- Izbjegavanje petlji
- Filtriranje – zabrana usmjeravanja paketa kroz određeni AS
- Preferiranje staze

Atribut *Next hop*

- **Definira IP adresu usmjeritelja na koji prvo treba usmjeriti paket** kako bi došao do odredišta (sljedeći skok)
- **Dobro poznati obavezni atribut staze**
- Kod ažuriranja puta atribut se modifcira samo ako dolazi od BGP usmjeritelja (peer) eBGP vezom

Atribut MED

- Višeizlazni diskriminirajući atribut MED (Multi-Exit Discriminator)
- **Služi za odabir jednog od više ponuđenih staza prema istom AS-u**
- **Izborni lokalni atribut**
- Usmjeritelji daju savjete svojim susjedima kojim putem poslati pakete prema njima (dolazni promet)
- Atribut predstavlja savjet samog AS-a kojem se šalju paketi
 - preferira se određeni put prema vlastitom AS-u
- Kada prema AS-u postoji više mogućih staza, odabire ona staza koja ima najmanju vrijednost atributa MED (uzimajući u obzir i ostale attribute odnosno kada se put ne može odabrati na temelju ostalih atributa)

Atribut *Local preference*

- Određuje politiku usmjeravanja odlaznog prometa
- Dobre poznati neobavezni atribut staze
- Atribut se izmjenjuje između lokalnih usmjeritelja istog AS-a
 - Atribut ne utječe na ostale autonomne sustave
- U slučaju kada postoji više izlaznih staza iz AS-a odabire se onaj koji ima veću vrijednost atributa što označava veći prioritet staze

Atribut *Atomic aggregate*

- **Združena staza do odredišta**
- **Dobro poznati neobavezni atribut staze**
- Združivanje staze omogućava da više putova sa svojim karakteristikama može biti združeno i objavljeno kao jedan put u svrhu reduciranja broja putova
 - Smanjen broj staza koji se moraju pohranjivati i izmjenivati između usmjeritelja
- Vrijednost atributa obično odgovara polju *tip* u atributu *AS path* i sastoji se od liste AS-ova od kojih je napravljen združena staza

Atribut Aggregator

- **Izborni tranzitni atribut**
- **Uključen u poruke koje su nastale združivanjem staza**
- Združivati se mogu staze koji imaju iste attribute
- Daje do znanja da je usmjeritelj združio rutu i zapisuje svoj AS broj i IP adresu

Primjer združivanja staza

- **Pronaći združenu stazu za sljedeće putove (adrese)**

- 192.168.98.0 (11000000.10101000.01100010.00000000)
- 192.168.99.0 (11000000.10101000.01100011.00000000)
- 192.168.100.0 (11000000.10101000.01100100.00000000)
- 192.168.102.0 (11000000.10101000.01100110.00000000)
- 192.168.104.0 (11000000.10101000.01101000.00000000)
- 192.168.105.0 (11000000.10101000.01101001.00000000)
 (11000000.10101000.01100000.00000000)
 192 .168. .96 .0

Združena staza je 192.168.96.0/20
Maska podmreže 255.255.240.0

Primjer združivanja staze (2)

- Oprez: rješenje sadrži i staze koji ne pripadaju združenom putu
 - 192.168.96.0, 192.168.97.0, 192.168.101.0, 192.168.103.0
- Združena staza mora isključiti prve dvije staze koje ustvari ne pripadaju združenoj stazi
 - 192.168.96.0, 192.168.97.0
- Združena staza mora sadržavati prvu adresu koja pripada združenoj stazi
- **Rješenje:**
 - **192.168.98.0/20**

Primjer združivanja staze (3)

- Združena staza 10.10.1.32/27
- Priпадa li združenoj stazi adresa 10.10.1.44/27?
- Priпадa li združenoj stazi adresa 10.10.1.90/27?

Algoritam usmjeravanja

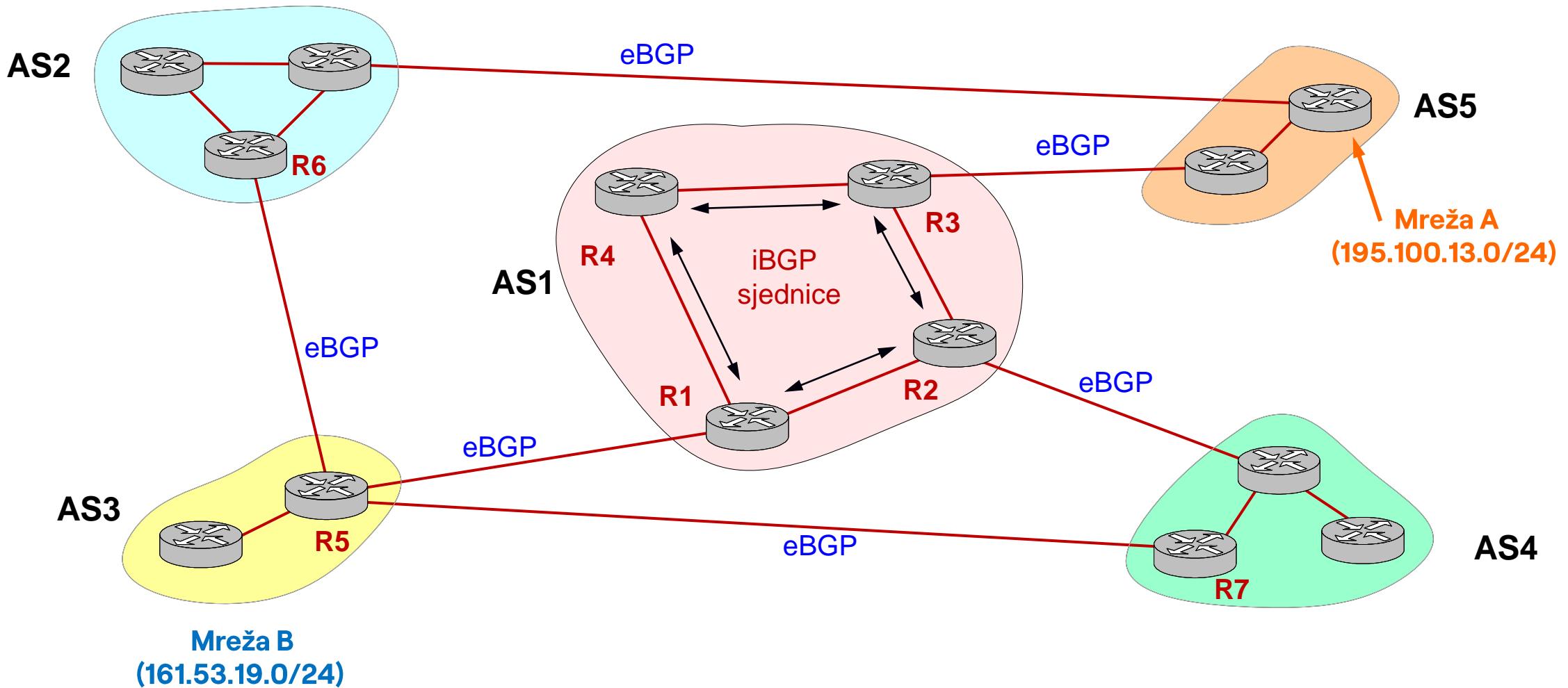
- Algoritam usmjeravanja odlučuje o “najboljoj stazi” za zadano odredište na temelju **procesa odluke** (*decision process*)
- Nema definiranog pravila već se primjenjuje vlastita politika lokalnog administratora AS-a definirana u PIB (Policy Information Base)
- Promatraju se neobrađene staze objavljeni u RIB-u (Adj-RIBs-In)

Primjer algoritma usmjeravanja

- **Proces donošenja odluke o stazi:**

- odaberi stazu s najvećom vrijednosti atributa *local pref*. Ako se staza ne može odrediti na temelju ovog kriterija prijeđi na sljedeći korak
- odaberi stazu koja je domaćeg porijekla (*origin*), dobivena iz vlastitog AS-a. Ako se staza ne može odrediti na temelju ovog kriterija prijeđi na sljedeći korak
- odaberi stazu s najkraćim atributom *AS path*. Ako se staza ne može odrediti na temelju ovog kriterija prijeđi na sljedeći korak
- odaberi stazu s manjom vrijednosti atributa *origin*. Ako se staza ne može odrediti na temelju ovog kriterija prijeđi na sljedeći korak
- odaberi stazu s najmanjim atributom *MED*. Ako se staza ne može odrediti na temelju ovog kriterija prijeđi na sljedeći korak
- odaberi stazu koja je definirana na temelju eBGP

Primjer odabira staze na temelju atributa



Primjer odabira staze od AS3 prema AS5

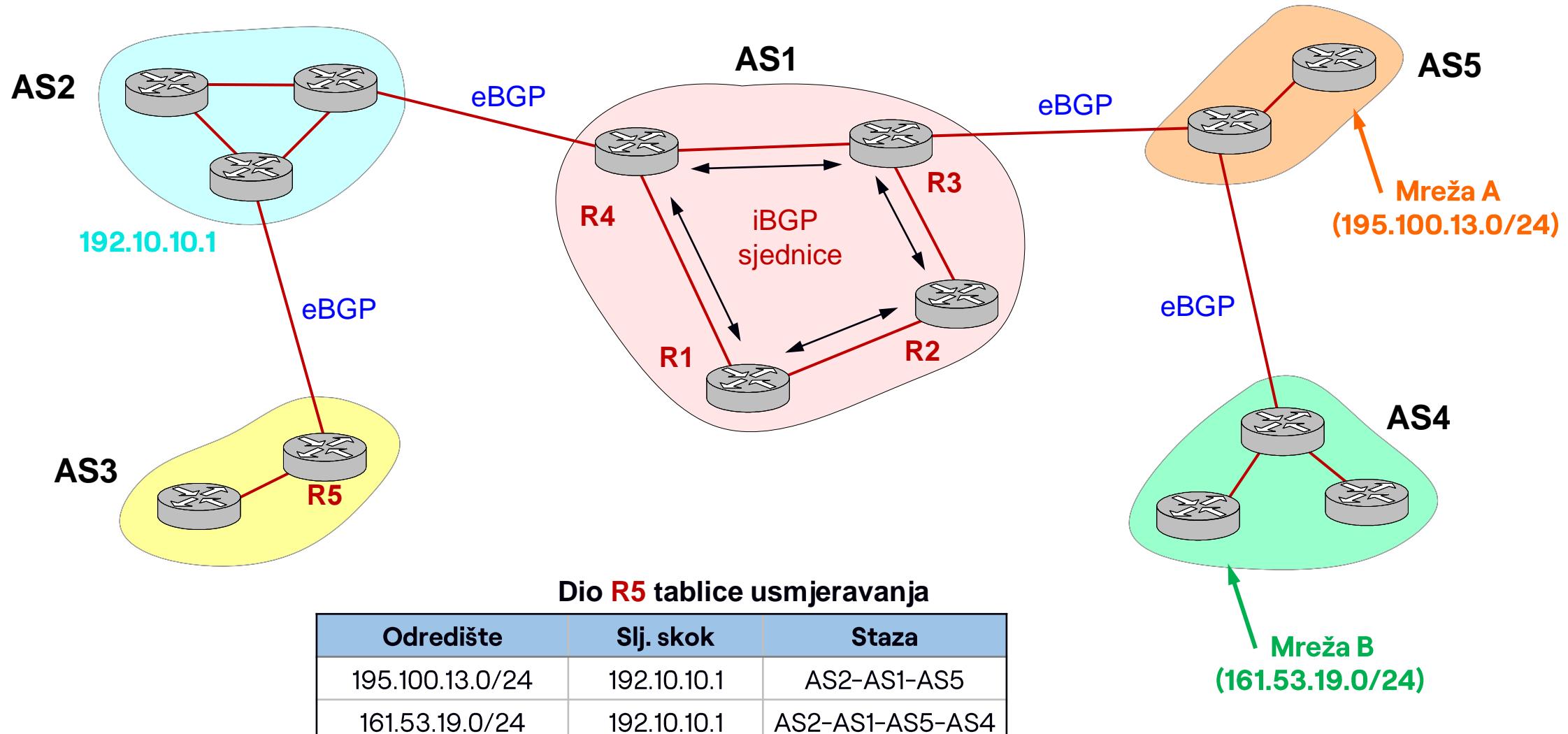
- Atributi staze 1
 - Origin: IGP-0
 - AS path: AS2 – AS5
 - Local preference: 3
 - **MED: 1**
- Atributi staze 2
 - Origin: IGP-0
 - AS path: AS1 – AS5
 - Local preference: 3
 - **MED: 2**
- Atributi staze 3
 - Origin: IGP-0
 - **AS path: AS4 – AS1 – AS5**
 - Local preference: 3
 - MED: 3

Ažuriranje tablice usmjeravanja

- Vrši se razmjenom poruka *BGP updates*
- Komunikacija između susjednih BGP usmjeritelja
- Izmjenjuju informacije o putovima (NLRI)
- **Oglašavaju** se moguće staze prema AS-ovima

- Tablica usmjeravanja
 - odredište, put
- Uz oznaku puta navodi se sljedeći skok
- **Ukoliko dođe do prekida u mreži put se briše!**

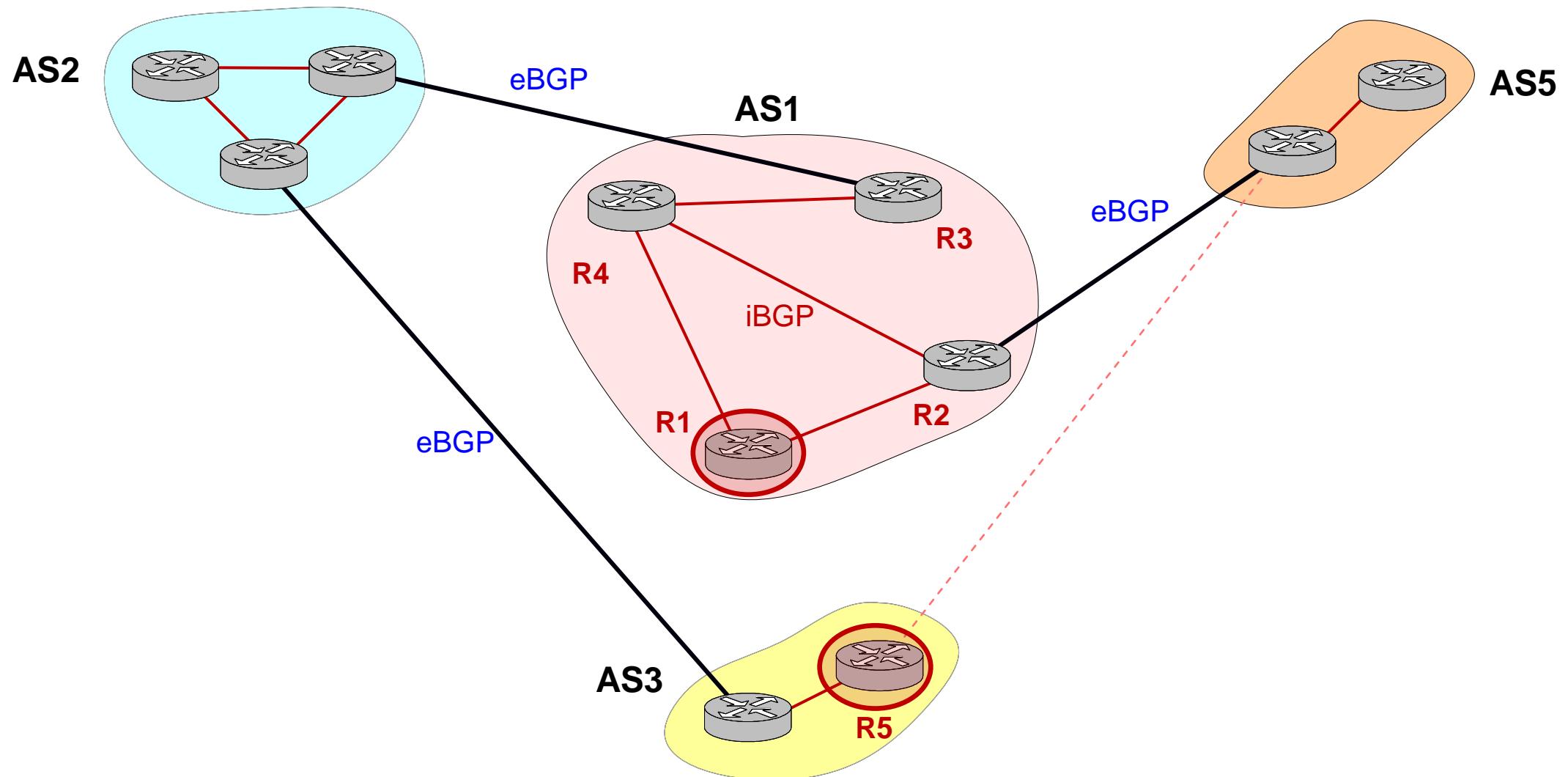
Primjer BGP tablice usmjeravanja



Zadatak

- Za zadanu mrežu na slici (sljedeći slajd) prepostavite da AS2 i AS5 koriste OSPF, a AS1 i AS3 koriste RIP kao IGP-protokol usmjeravanja.
- Za usmjeravanje između AS-ova koriste se protokoli eBGP i iBGP.
- Za početak prepostavite da nema fizičke veze između AS3 i AS5.
- Usmjeritelj R1 zna put do usmjeritelja R5 i informacija o toj stazi zapisana je u tablici usmjeravanja.

Slika uz zadatak



Ažuriranje tablice usmjerenja

- Hoće li zapis o toj stazi biti usmjeren preko usmjeritelja R2 ili preko usmjeritelja R4? Objasnite.
- Pretpostavite da između AS3 i AS5 postoji fizička veza (označeno crtano na slici). Pretpostavite da usmjeritelj R1 zna da je R5 dostupan preko AS2, kao i preko AS5. Hoće li usmjeravanje ići preko usmjeritelja R2 ili R4? Objasnite.
- Pretpostavite da se na putu između AS3 i AS5 nalazi još jedan autonomni sustav – AS4 (nije prikazan na slici). Pretpostavite da usmjeritelj R1 zna da do R5 može doći preko AS2-AS3, odnosno AS5-AS4-AS3. Hoće li usmjeravati preko R2 ili preko R4? Objasnite.

Regionalni internetski registar

- Regionalni internetski registar RIR (Regional Internet Registry) vrši raspodjelu brojeva AS-a i IP adresa dobivenih od IANA (Internet Assigned Number Authority)
- Aktivno je pet registara s područjem djelovanja:
 - **RIPE NCC (RIPE Network Coordination Centre) – Europa, Bliski Istok i središnja Azija**
 - ARIN (American Registry for Registry Numbers) – Sjeverna Amerika i dijelovi Kariba
 - APNIC (Asia-Pacific Network Coordination Centre) – Azija i Tihij ocean
 - LACNIC (Latin American and Caribbean Internet Address Registry) – Latinska Amerika i Karibi
 - AfriNIC (African Network Information Centre) – Afrika

Hrvatska akademska istraživačka mreža

- Hrvatska akademska istraživačka mreža (CARNet)
- Upravlja s 164092 IP adrese
 - 82.132.0.0 – 82.132.127.255 (/17), 32767 adresa
 - 161.53.0.0 – 161.53.255.255 (/16), 65535 adresa
 - 192.84.105.0 – 192.84.105.255 (/24), 255 adresa
 - 193.198.0.0 – 193.198.255.255 (/16), 65535 adresa
- Ostvaruje vezu s Internetom preko pan-europske istraživačke mreže GEANT brzinom 100 Gbit/s (2018.)
- Veza prema drugim ISP-ovima u Hrvatskoj ostvarena je kroz **mjesto razmjene internetskog prometa u Hrvatskoj – CIX** (Croatian Internet eXchange)

CIX

- **Croatian Internet eXchange (CIX) je hrvatsko nacionalno središte za razmjenu internetskog prometa**
- Otvoren je za sve ISP-ove u RH, kako za komercijalne tako i nekomercijalne, odnosno privatne mreže
- Uspostavom izravnih komunikacijskih kanala među hrvatskim ISP-ovima postiže se velika ušteda u razmjeni podataka među hrvatskim internetskim korisnicima.
 - izravno međusobno povezivanje ISP-ova smanjuje nepotrebni promet kroz treće mreže
- **CIX članice dogovaraju međusobni peering za izmjenu prometa**
- Protokol usmjeravanja je BGPv4, a baza za dokumentiranje CIX peeringu je RIPE baza podataka

Komunikacijski protokoli

9. Podatkovna komunikacija i
protokoli u pokretnoj mreži (2G/3G)

Creative Commons



- **slobodno smijete:**
 - **dijeliti** – umnožavati, distribuirati i javnosti priopćavati djelo
 - **remiksirati** – prerađivati djelo
- **pod sljedećim uvjetima:**
 - **imenovanje.** Morate priznati i označiti autorstvo djela na način kako je specificirao autor ili davatelj licence (ali ne način koji bi sugerirao da Vi ili Vaše korištenje njegova djela imate njegovu izravnu podršku).
 - **nekomercijalno.** Ovo djelo ne smijete koristiti u komercijalne svrhe.
 - **dijeli pod istim uvjetima.** Ako ovo djelo izmijenite, preoblikujete ili stvarate koristeći ga, preradu možete distribuirati samo pod licencem koja je ista ili slična ovoj.

U slučaju daljnog korištenja ili distribuiranja morate drugima jasno dati do znanja licencne uvjete ovog djela. Najbolji način da to učinite je linkom na ovu internetsku stranicu.

Od svakog od gornjih uvjeta moguće je odstupiti, ako dobijete dopuštenje nositelja autorskog prava.

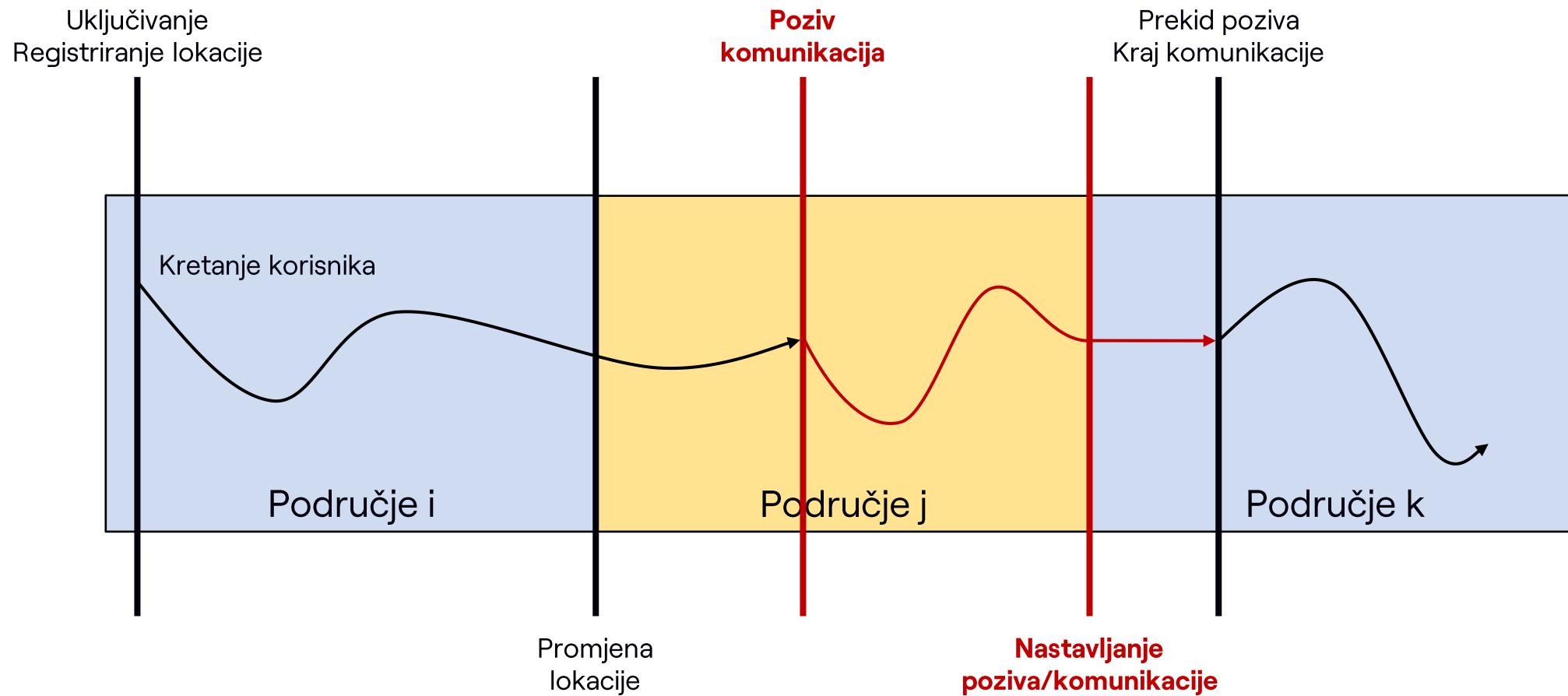
Ništa u ovoj licenci ne narušava ili ograničava autorova moralna prava.

Tekst licencije preuzet je s <http://creativecommons.org/>.

Sadržaj predavanja

- Evolucija sustava pokretnih telekomunikacija
- Globalni sustav pokretnih komunikacija – GSM
- Opće paketske radijske usluge – GPRS
 - Protokoli SNDCP i GTP
 - Postupak pristupa Internetu
- Sustav poboljšanih brzina prijenosa podataka – EDGE
- Pokretna mreža UMTS
 - UMTS radijska pristupna mreža
 - Sučelja i protokoli jezgrene mreže UMTS

Model pokretljivosti



Pokretljivost terminala, osoba i usluga

- **Pokretljivost terminala (*Terminal Mobility*)**

- Bežični pristup – prijenosni terminal
- Inteligencija mreže: određivanje lokacije terminala i praćenje kretanja

- **Pokretljivost osoba (*Personal Mobility*)**

- Žični ili bežični pristup
- Inteligencija mreže: identifikacija osobe i dostup osobi

- **Pokretljivost usluga (*Service Mobility*)**

- Usluga se ostvaruje u kretanju te pri prijelazu između mreža
- Inteligencija mreže: odabir najpovoljnijeg pristupa

- **Pokretljivost sjednice (*Session Mobility*)**

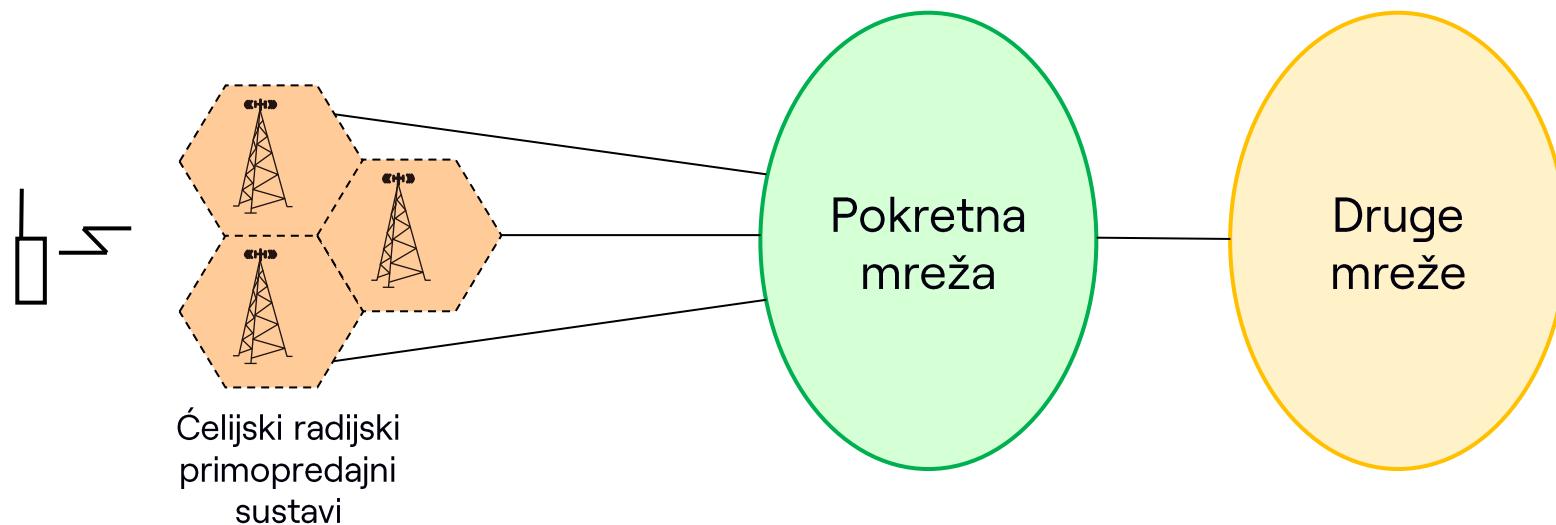
- Prebacivanje sjednice sa jednog uređaja na drugi na zahtjev korisnika
- Inteligencija mreže: određeni događaj pokreće prebacivanje poziva na temelju definiranih pravila od strane korisnika

Pokretna mreža (*Mobile Network*)

- **Javna mreža** u kojoj se pristup zasniva na **radijskoj komunikaciji** koja omogućuje **pokretljivost korisničke opreme** – terminala na području pokrivanja radijskim signalom
- **Jezgrena mreža**
 - Izvodi se kao **fiksna mreža**
- **Pristupna mreža**
 - Radijska pristupna mreža temeljena na **sustavu ćelija**

Opća arhitektura pokretne mreže

- Ćelijski radijski primopredajni sustav
- Ćvorovi za povezivanje unutar pokretne mreže i s drugim mrežama



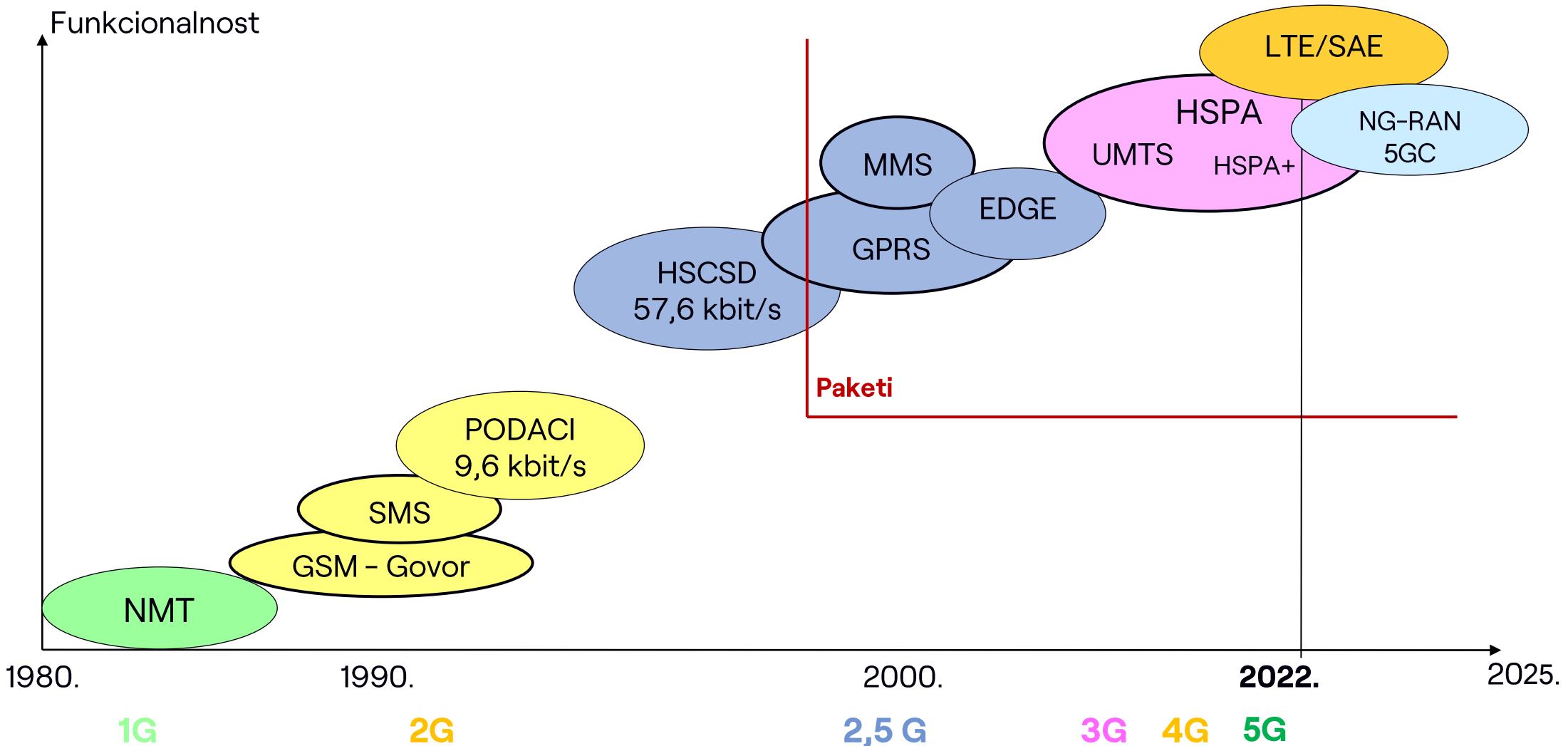
Evolucija sustava pokretnih telekomunikacija (1)

- Generacije sustava: u svim generacijama **višestruki pristup** – više korisnika pristupa skupini komunikacijskih kanala
- **Prva generacija 1G**
 - **Analogni sustavi**, višestruki pristup u **frekvencijskoj** podjeli (*Frequency Division Multiple Access, FDMA*)
- **Druga generacija 2G**
 - **Digitalni sustavi**, Višestruki pristup u **vremenskoj** podjeli (*Time Division Multiple Access, TDMA*), 124 frekvencije x 8 kanala = 992 kanala, GSM (*Global System for Mobile communications*), GSM-900/DCS-1800 (*Digital Communication System*)
 - **Prijenos govora dominantan, komutacija kanala**
 - 2,5G – HSCSD, GPRS, EDGE – **podaci**

Evolucija sustava pokretnih telekomunikacija (2)

- Treća generacija, 3G
 - Međunarodne pokretne telekomunikacije 2000 (International Mobile Telecommunications 2000, IMT-2000)
 - Europa: Opći pokretni telekomunikacijski sustav (Universal Mobile Telecommunications System, UMTS)
 - Širokopojasni višestruki pristup u kodnoj podjeli (Wideband Code Division Multiple Access, WCDMA)
- 3,5G: Brzi paketski pristup - High Speed Packet Access, HSPA (HSDPA/HSUPA)
- Evolucija brzog paketskog pristupa - High Speed Packet Access Evolution, HSPA+
- 4G: Dugoročna evolucija radijske pristupne mreže - Long Term Evolution, LTE
- 5G

Evolucija mreže



Globalni sustav pokretnih komunikacija

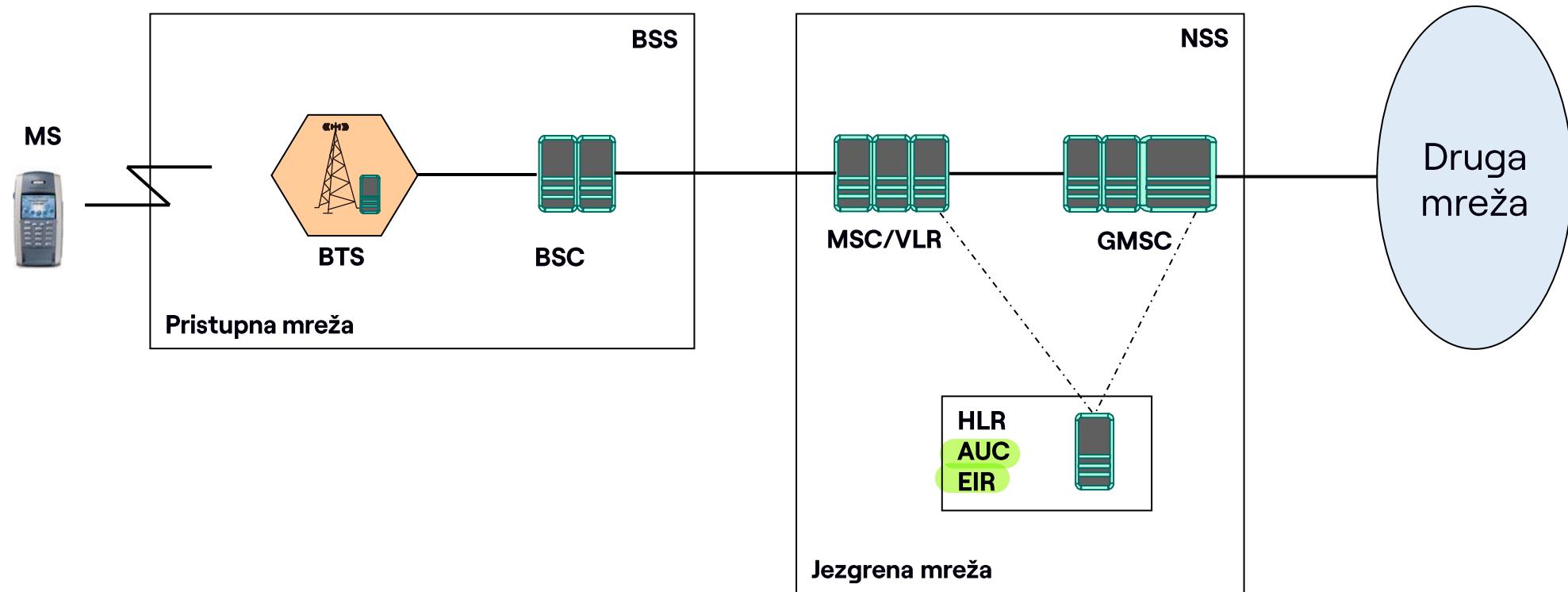
Global System for Mobile communications, GSM

- **Mrežni sustav** (*Network System, NSS*)
 - Prilazni pokretni komutacijski centar (*Gateway Mobile Switching Centre, GMSC*)
 - Pokretni komutacijski centar (*Mobile Switching Centre, MSC*)
- **Sustav baznih postaja** (*Base Station System, BSS*)
 - Upravljač bazne postaje (*Base Station Controller, BSC*)
 - Primopredajna bazna postaja (*Base Transciever Station, BTS*)
- **Pokretna postaja** (*Mobile Station, MS*)
 - Korisnički terminal (pokretni telefon)

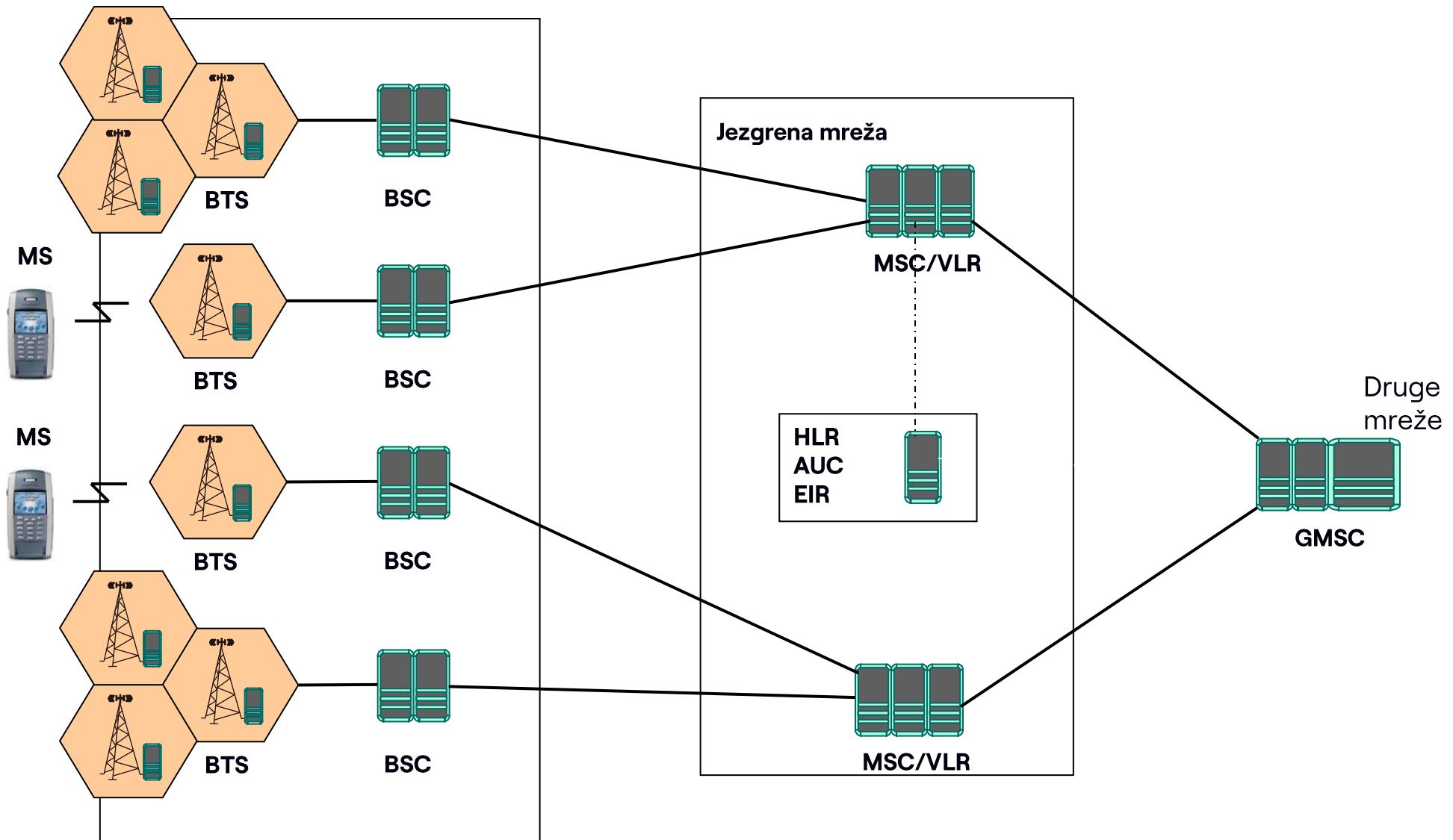
Arhitektura GSM mreže (1)

- **Domaći lokacijski registar** (*Home Location Register, HLR*)
 - Podaci o vlastitim (domaćim) pretplatnicima
- **Gostujući lokacijski registar** (*Visitor Location Register, VLR*)
 - Uz svaki MSC,
 - Podaci o vlastitim pretplatnicima i pretplatnicima drugih mreža
- **Centar za provjeru autentičnosti** (*Authentication Centre, AUC*)
 - Provjera autentičnosti pretplatnika
- **Registar identifikacije opreme** (*Equipment Identification Register, EIR*)
 - Provjera vlasnika pokretne postaje

Arhitektura GSM mreže (2)



GSM mreža



Upravljanje pokretljivošću

Domaći lokacijski registar

(HLR – *Home Location Register*)

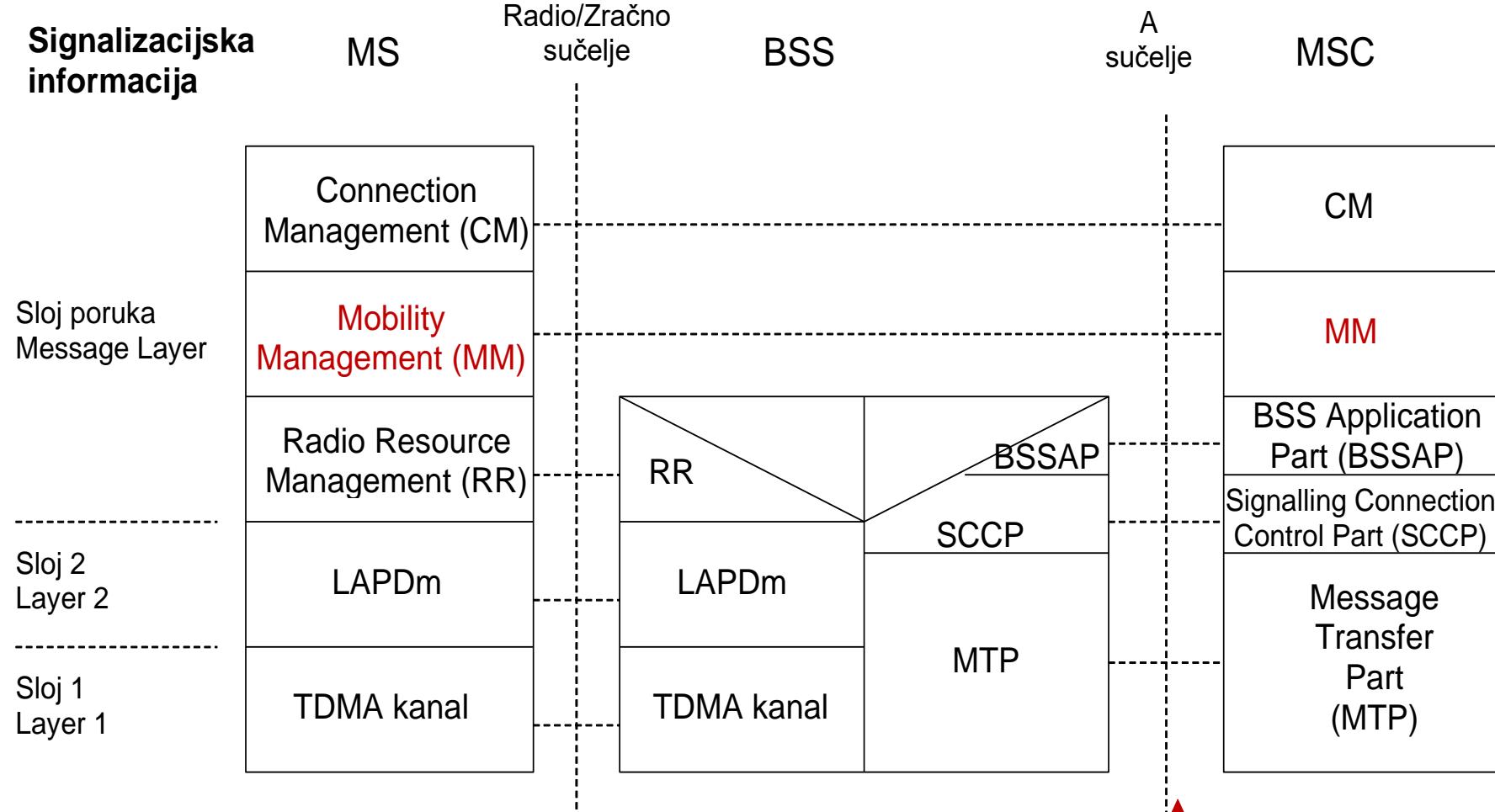
- Trajni zapis pretplatničkih podataka vlastitih pretplatnika
- Trenutna lokacija vlastitih pretplatnika

Posjetiteljski lokacijski registar

(VLR – *Visitor Location Register*)

- Privremeni zapis dijela pretplatničkih podataka vlastitih i tuđih pretplatnika koji su trenutno u lokacijskom području
- Tuđi pretplatnici se poslužuju temeljem ugovora o prelaženju između mreža

Komunikacijski protokoli GSM-a



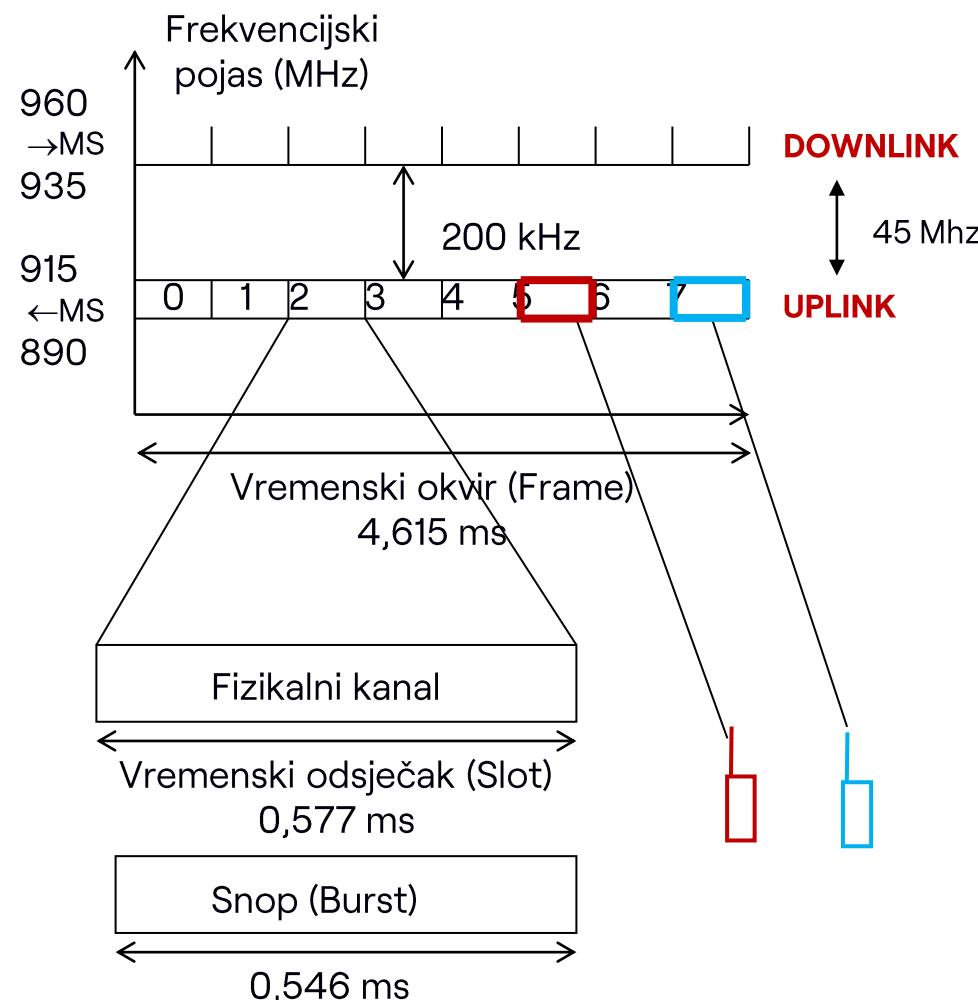
Korisnička informacija

MS – BSS: TDMA kanal

BSS – MSC – GMSC: 64 kbit/s govorni kanal

Sustav signalizacije zajedničkim kanalom
SS7

Fizikalni kanal (sloj 1)



Fizikalni kanali:
124 frekvencijskih x 8 vremenskih = 992

Kapacitet

- broj frekvencija u ćeliji, ograničeni broj
- **izbjegavanje interferencije**
- uplink-downlink odvojeni 45Mhz (890–935Mhz)
- kanali razmaknuti 200kHz u istom smjeru
- susjedne ćelije – različite frekvencije
- udaljene ćelije – iste frekvencije

Širina pojasa (bandwith)

- 2x25 MHz

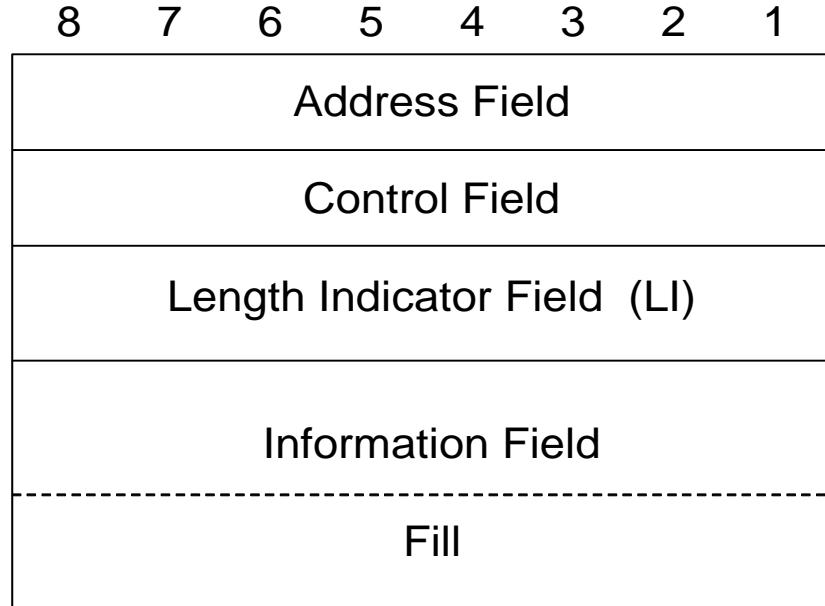
Modulacija

- GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying Modulation)

Prometni i kontrolni kanali

- spajanje MS – skenira cijeli frekv. spektar i prihvata najači kontr. kanal

Protokol sloja veze (sloj 2)



LI - označava duljinu Information Field
Fill - punjenje do 23 okteta

LAPDm (*Link Access Protocol D mobile*)

- izведен iz ISDN LAPD

Rješenje za radio kanal

- Fiksna duljina – razgraničavanje okvirom
- Bez zastavica (*flag*) na početku/kraju
- Informacijsko polje od 184 bita se kriptografski kodira u 456 bita, koji stanu u 4 snopa (4 x 114 bita)

Protokoli sloja poruka (sloj 3)

- **Podsloj za upravljanje radijskim resursima** (*RR* – Radio Resource Management Sublayer)
 - uspostavljanje fizikalne veze preko radijskog kanala za prijenos signalizacije između MS i BSS
- **Podsloj upravljanja pokretljivošću** (*MM* – Mobility Management Sublayer)
 - uspostavljanje, održavanje i prekidanje veze, uključivanje, lociranje, isključivanje između MS i MSC
- **Podsloj upravljanja vezom** (*CM* – Connection Management Sublayer)
 - dodatne usluge i SMS između MS i MSC

Opće paketske radijske usluge

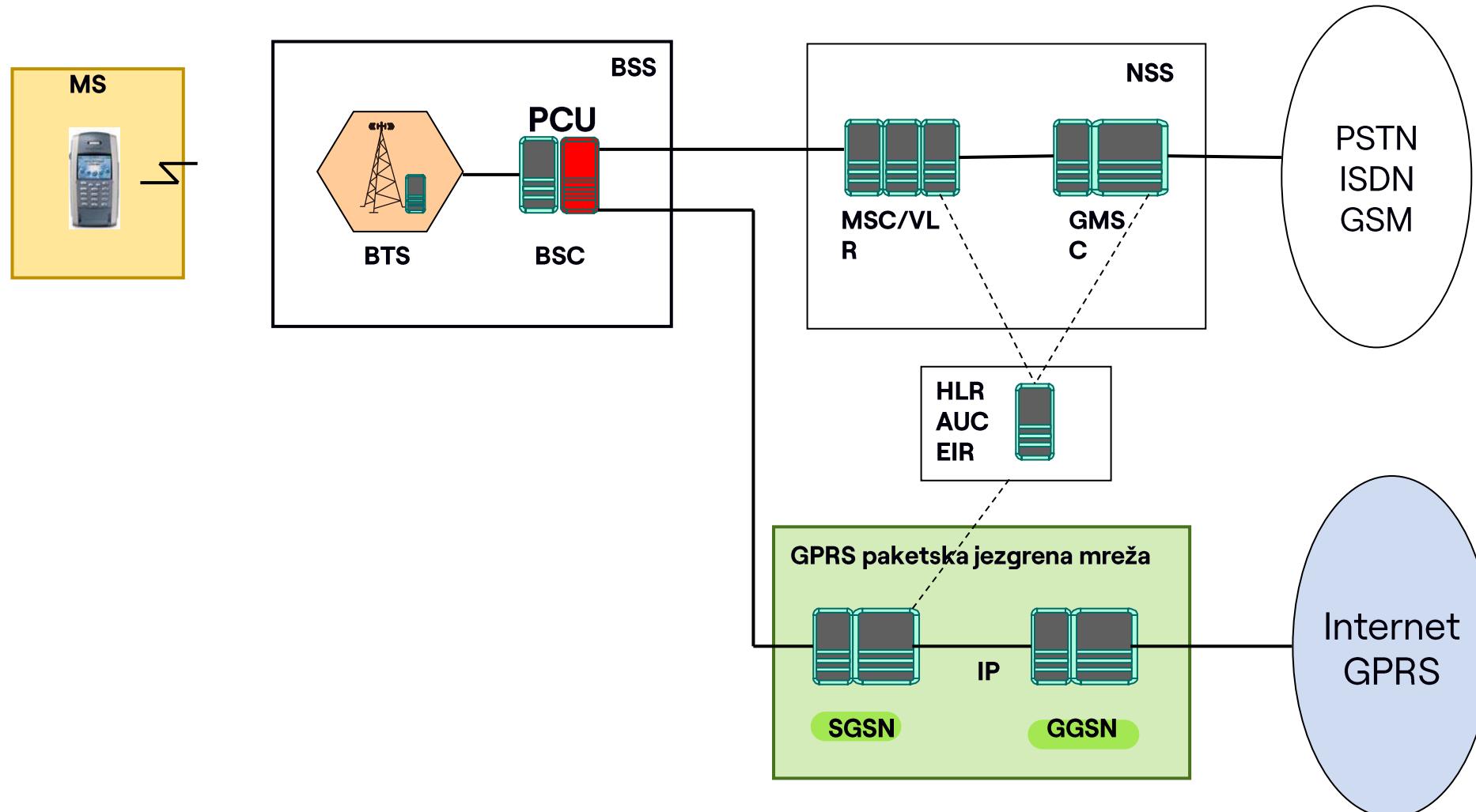
General Packet Radio Service, **GPRS**

- Proširenje GSM-a s **komutacijom paketa**
- Korištenje do **8 kanala iste frekvencije** po jednom korisniku
- Male promjene u pristupnoj mreži
 - BSC se proširuje s **paketskom kontrolnom jedinicom** (Packet Control Unit, PCU)
 - PCU se povezuje s paketskim dijelom mreže protokolom IP
- Brzina prijenosa podataka do 115,2 kbit/s
- Naplata po **količini prometa**

GPRS čvorovi

- **Uslužni GPRS potponi čvor** (Serving GPRS Support Node, SGSN)
 - Poslužuje korisnika
- **Prilazni GPRS potporni čvor** (Gateway GPRS Support Node, GGSN)
 - Povezuje korisnika s drugim podatkovnim mrežama

Arhitektura mreže GPRS



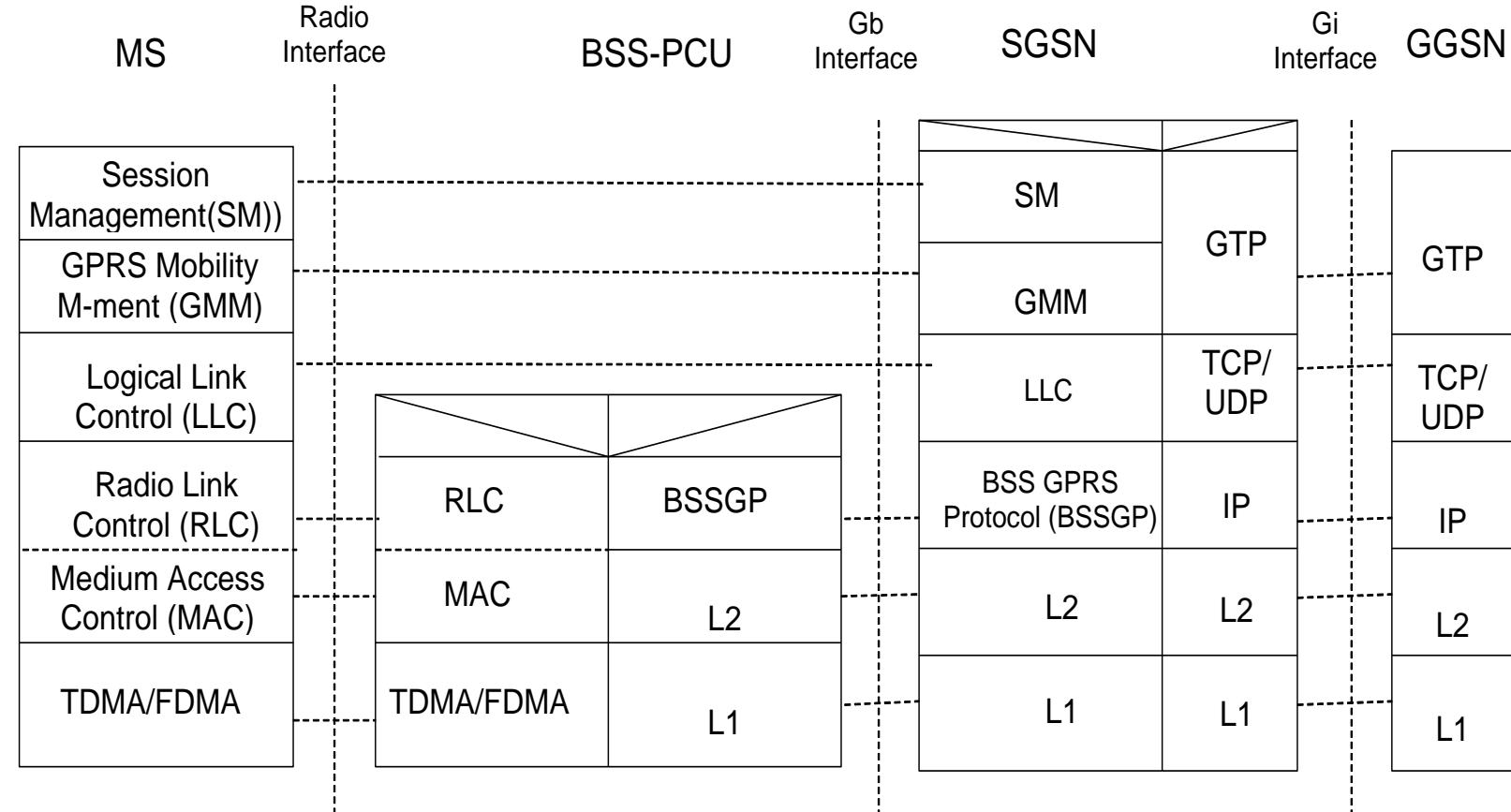
Uslužni GPRS potporni čvor (SGSN)

- Usmjeravanje paketa iz/u područje usmjeravanja (RA) od/prema MS
- Kriptografska zaštita i provjera autentičnosti
- Upravljanje sjednicom
- Upravljanje pokretljivošću
- Upravljanje logičkom vezom prema MS
- Prikupljanje podataka za naplatu
- Suradnja s HLR, MSC, BSC, GMSC i GGSN

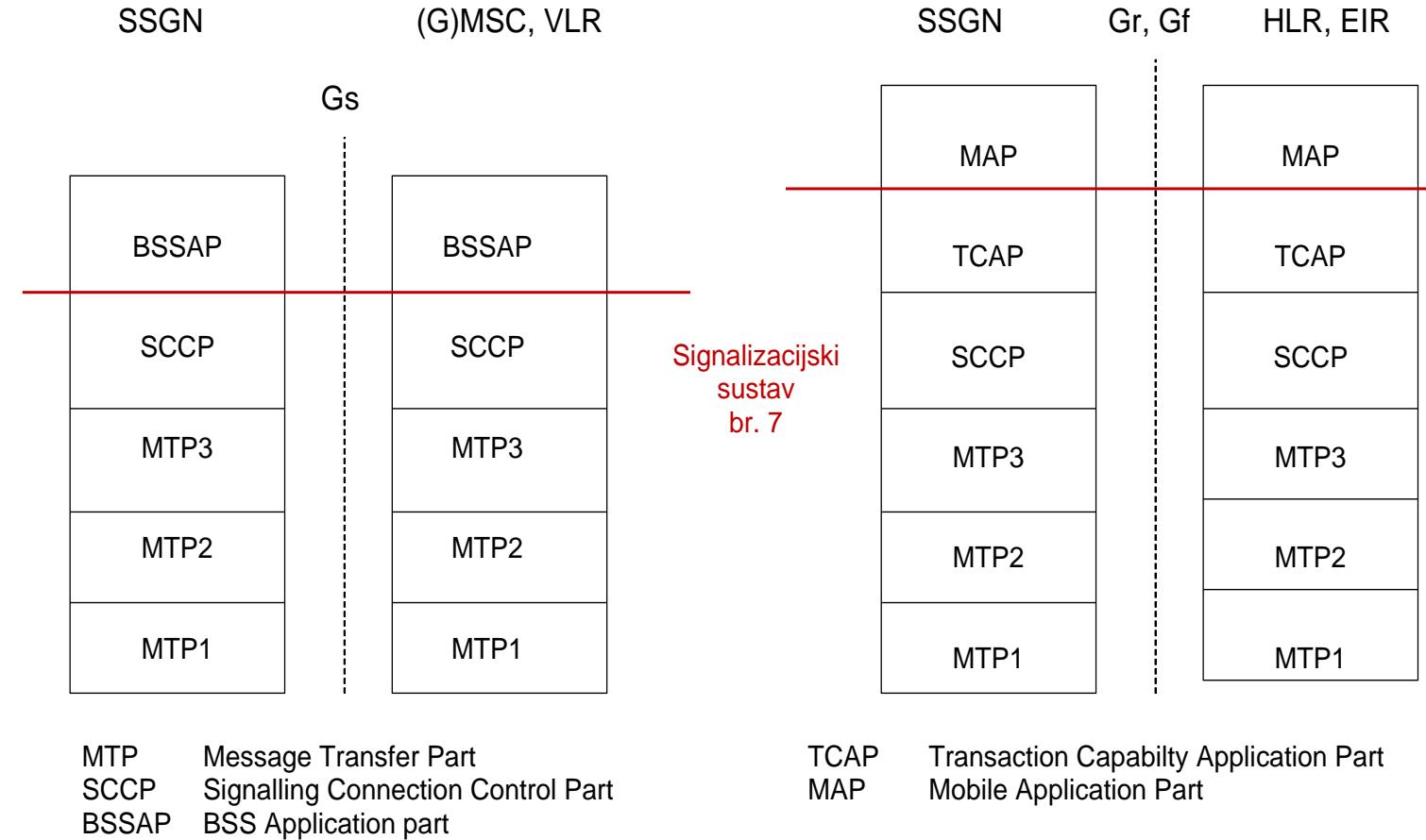
Prilazni GPRS potporni čvor (GGSN)

- Sučelje prema vanjskim IP mrežama
- Upravljanje GPRS sesijom i uspostavljanje komunikacije prema vanjskim mrežama
- Pridruživanje korisnika pravom SGSN-u
- Upravljanje pokretljivošću
- Upravljanje logičkom vezom prema MS
- Prikupljanje podataka za naplatu
- Suradnja s SGSN-om

GPRS protokoli: kontrolna/signalizacijska ravnina (1)



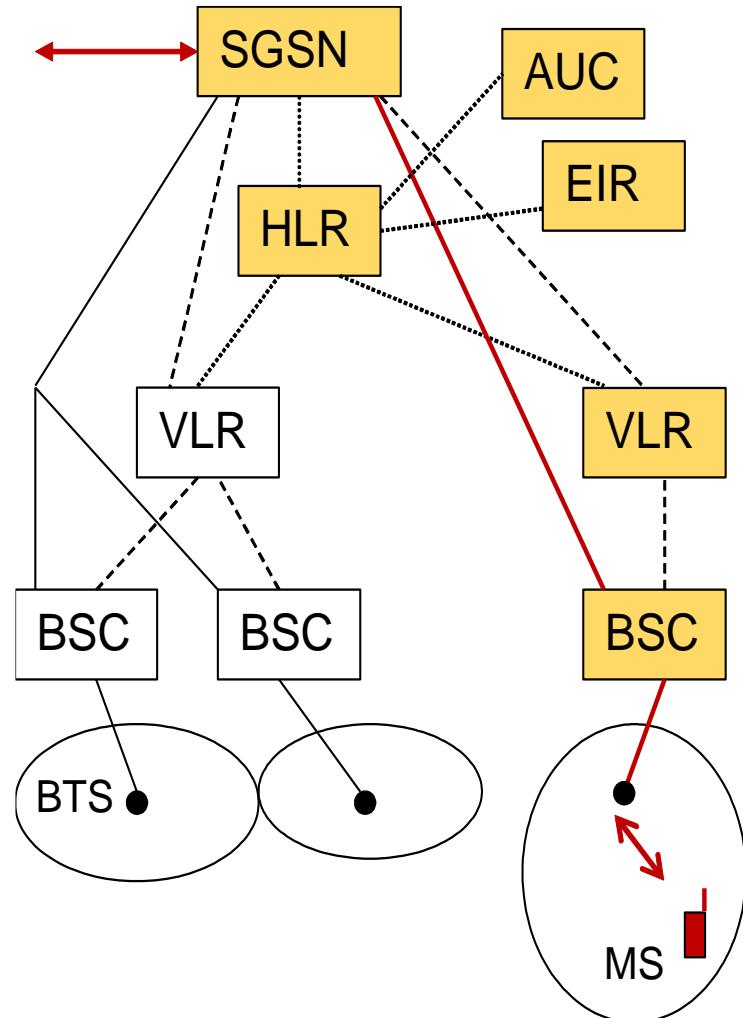
GPRS protokoli: kontrolna/signalizacijska ravnina (2)



Paketska komunikacija u pokretnoj mreži

- Kanalska komunikacija: upravljanje vezom
 - GSM: Connection Management
- Paketska komunikacija: **upravljanje sjednicom**
 - GPRS: Session Management
- Pokretljivost: **zapis o kretanju**
 - GPRS: Mobility Management Context
- Protokoli: **zapis o paketskom protokolu** (karakteristikama veze)
 - GPRS: Packet Data Protocol Context
- Radijski kanal: **podatak o fizikalnom kanalu**
 - GPRS: Temporary Block File

Uključivanje MS-a



Uključivanje (Attachment)

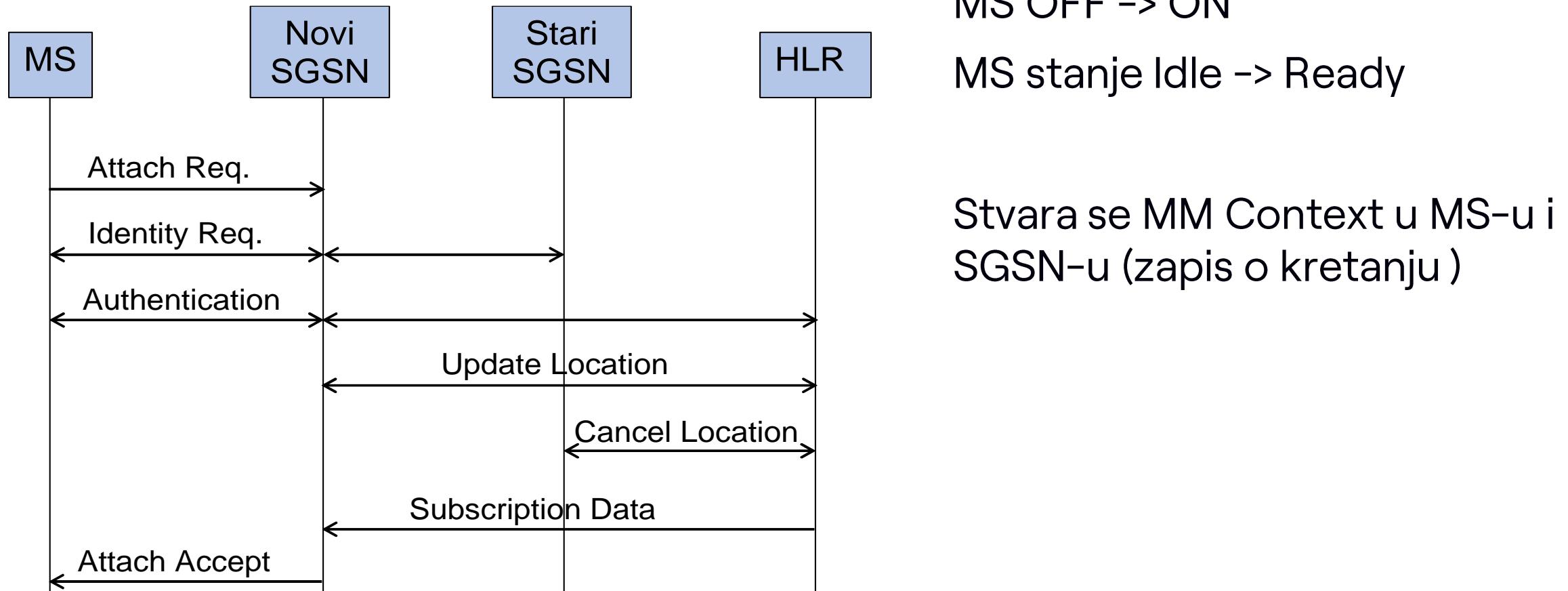
MS šalje zahtjev SGSN-u

- provjera autentičnosti (AUC) i identiteta opreme (EIR)
- nova lokacijska informacija u VLR i HLR
- SGSN vraća potvrdu

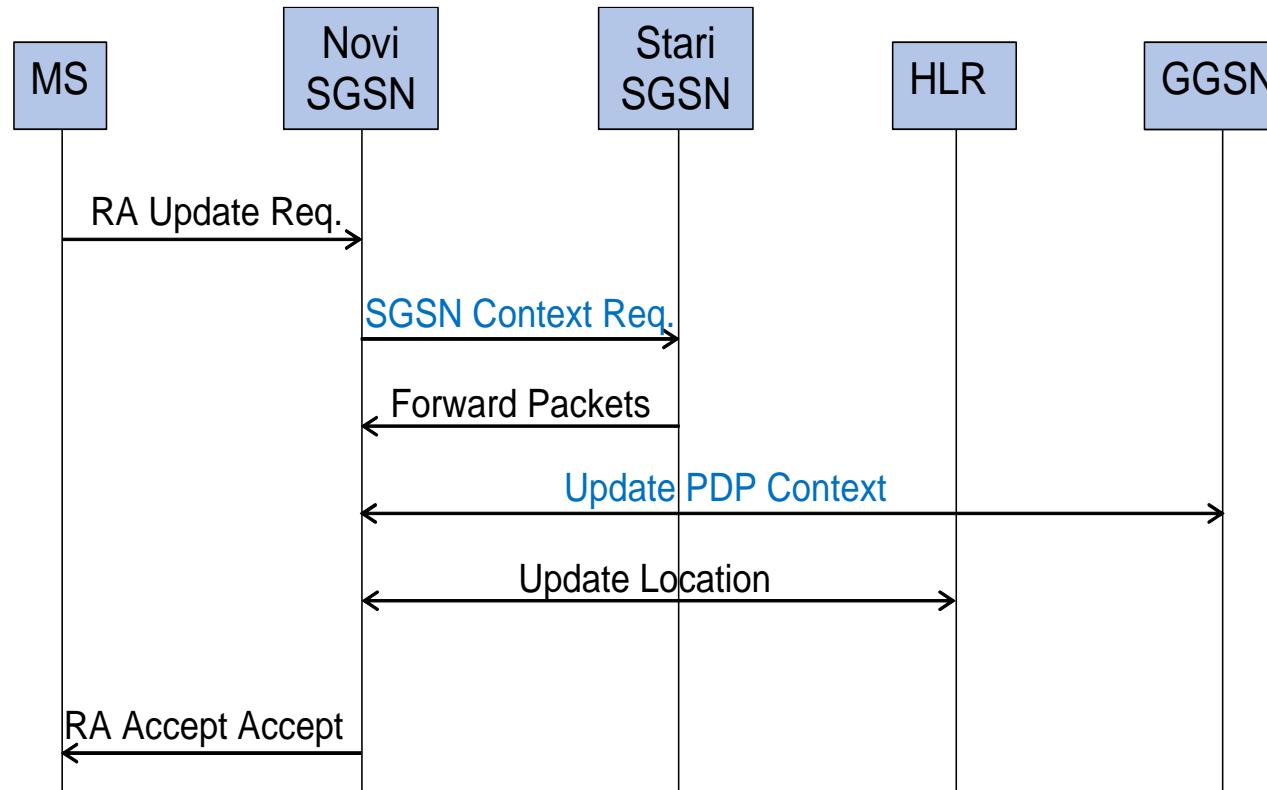
Rezultat:

- RA u kojem je MS je poznat
- pokrenuto upravljanje pokretljivošću

Uključivanje MS-a u području novog SGSN-a



Ažuriranje lokacije kod promjene SGSN-a



SGSN Context sadrži:

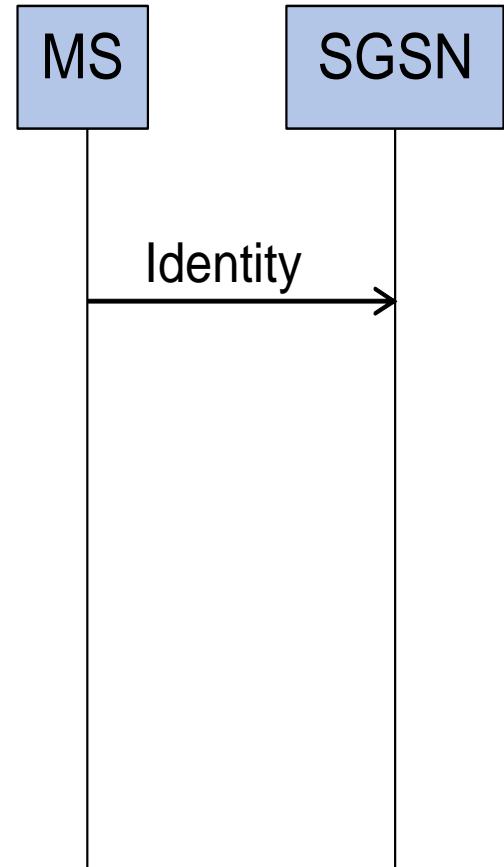
MM Context

PDP Context

PDP Packet Data Protocol

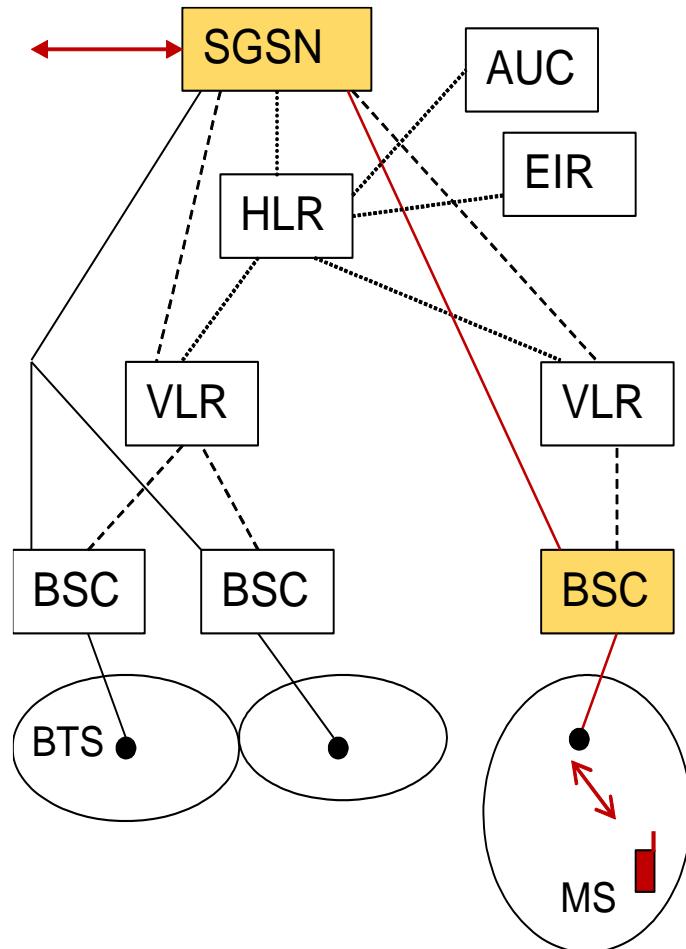
Zapis karakteristika veze

Promjena ćelije



- Promjena lokacije unutar RA

Komunikacija



MS odašilje pakete prema mreži

- MS zahtijeva kanal BTS – BSC
- MS dobiva kanal
- MS odašilje pakete prema SGSN

MS prima pakete iz mreže

- SGSN šalje zahtjev do BSC
- MS dobiva kanal
- SGSN šalje podatke prema MS

Zapis o paketskom protokolu

Packet Data Protocol Context

- zapis o karakteristikama veze pohranjen u MS, HLR, SSGN i GGSN
- određuje komunikaciju MS – GGSN
- koristi se za komunikaciju MS s vanjskom mrežom (Internet)
- aktivira se pri uključivanju MS ili komandom prije početka komunikacije

Podatak o fizikalnom kanalu

TBF (Temporary Block Flow)

- dodijeljuje PCU za prijenos paketa od/prema MS
- MS može imati TBF u jednom ili oba smjera

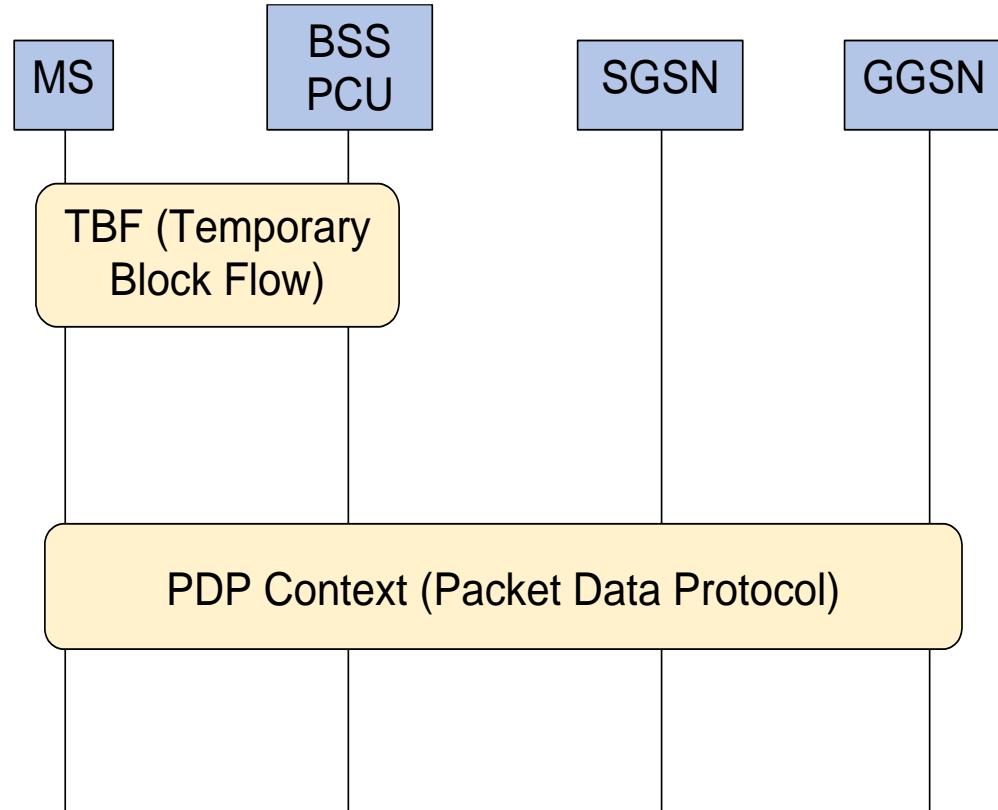
TFI (Temporary Flow Identity)

- označava pojedini TBF
- MS pri dodjeli TBF dobiva informaciju o PDCH koje koristi i TFI

Acknowledged/Unacknowledged Transfer

- retransmisijska/bez retransmisijska na radijskom sučelju

PDP kontekst i TBF



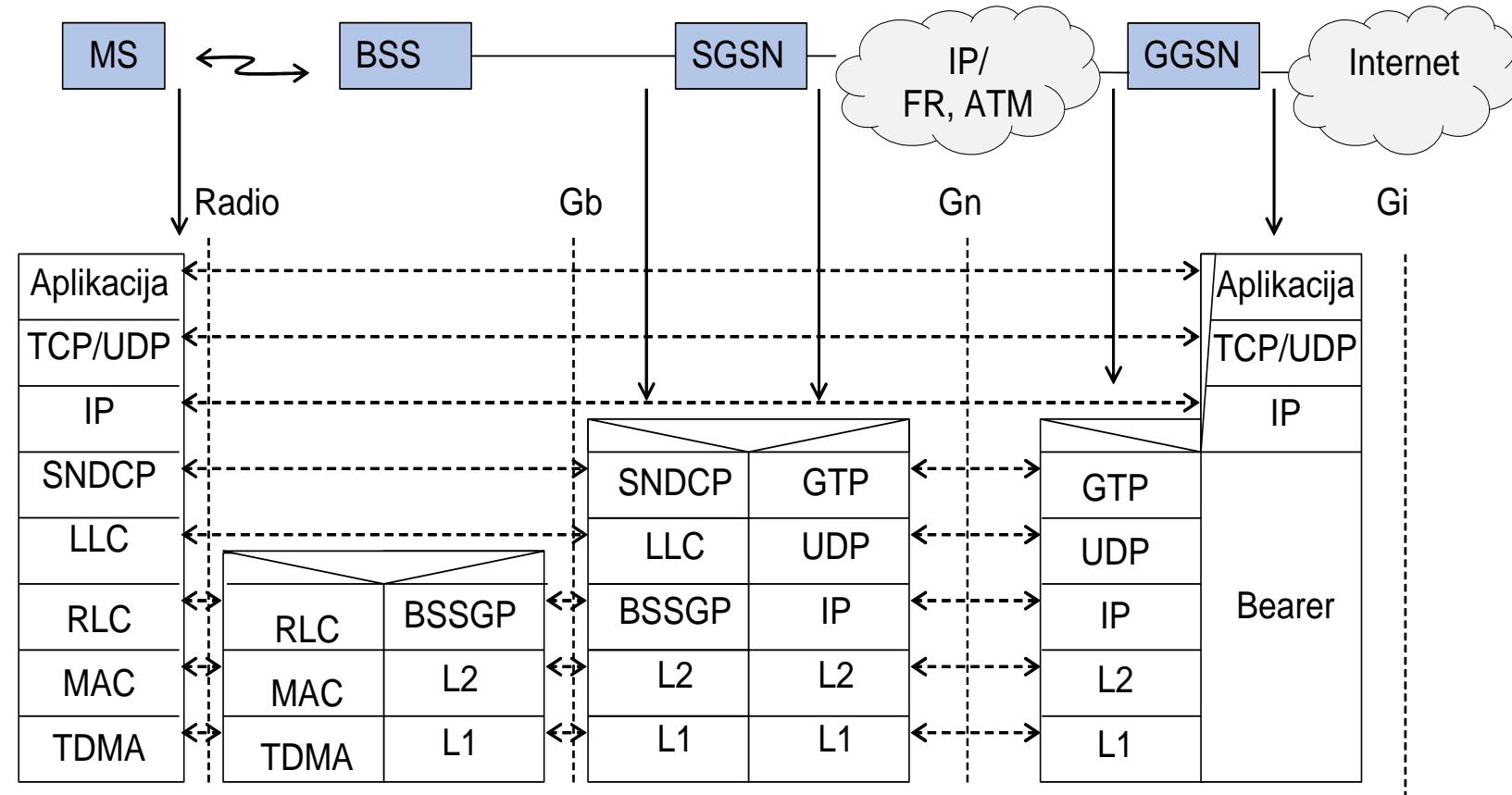
TBF

- opis komunikacije na radijskom sučelju (PDCH kanali za MS)

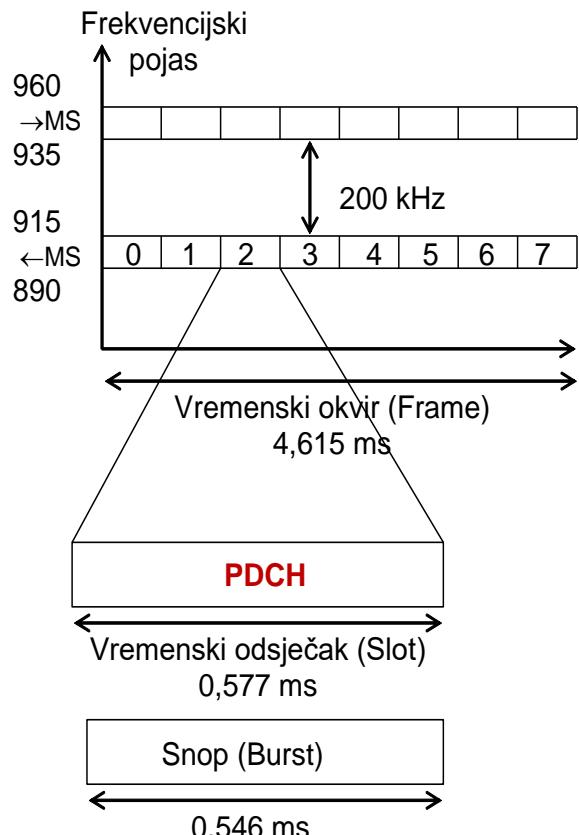
PDP Context

- zapis o karakteristikama veze: vrsta mreže, adresa pristupne točke, protokoli, QoS, ... (MS, BSS-PCU, SGSN, GGSN)

GPRS protokoli: korisnička/transmisijska ravnina



Fizikalni kanal (sloj 1)



Fizikalni kanali:
124 frekvencijskih x 8 vremenskih = 992

PDCH (Packet Data CHannel)

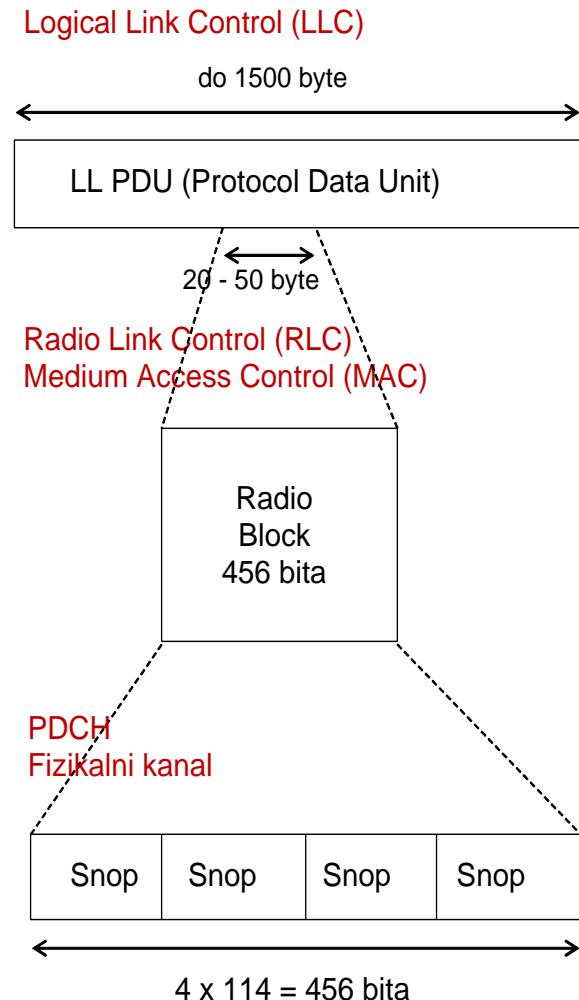
- jedan vremenski odsječak (kao GSM kanal)
- svaki PDCH mogu rabiti svi korisnici u ćeliji/više PDCH jedan korisnik
- broj PDCH u ćeliji: fiksani ili se mijenja dinamički (do 4, 8)

Logički kanali

Multiokvir (Multiframe)

$$52 \times \text{okvir} = 240 \text{ ms}$$

Kontrola i pristup mediju (sloj 2)



Logical Link Control (LLC)

- “najviši” GPRS protokol
- prijenos LL PDU između MS i SGSN

Radio Link Control (RLC)

- kontrola pristupa kanalu

Medium Access Control (MAC)

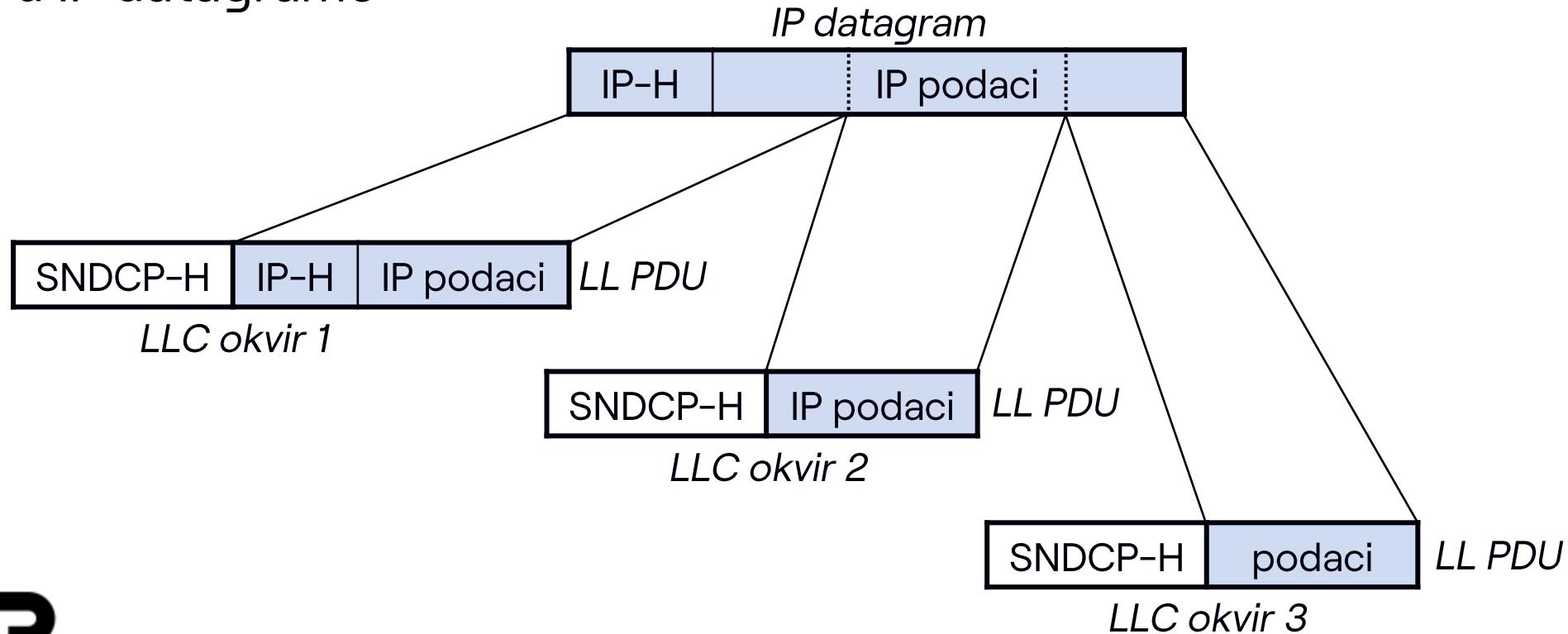
- raspoređivanje zahtjeva za kanal

Protokol SNDCP (sloj 3)

- **SNDCP – Sub-Network Dependent Convergence Protocol**
 - Između protokola IP i najvišeg GPRS protokola (LLC)
 - Prilagođava protokol IP radu u GPRS-u
 - Prenosi podatke između MS-a i SGSN-a
 - Multipleksira više konekcija mrežnog sloja (PDP konteksta) u jednu logičku vezu sloja LLC
 - Komprimira i dekomprimira korisničke podatke i zaglavlja višeg sloja
 - Fragmentira IP pakete koji se prenose u obliku LLC okvira i opet spajaju u IP pakete na drugoj strani

Prijenos podataka MS – SGSN

- IP datagrami se **komprimiraju** (IP zaglavje i podaci) na izvorišnoj strani (MS ili SGSN), **fragmentiraju** na LLC okvire (LL PDU ≤ 1500 okteta) i u obliku prikladnom za radijski prijenos opet dijele na MAC/RLC blokove veličine 20-50 okteta te šalju preko BSS do SGSN (i obratno) gdje se ponovo sastavljaju u IP datagrame



Protokol GTP

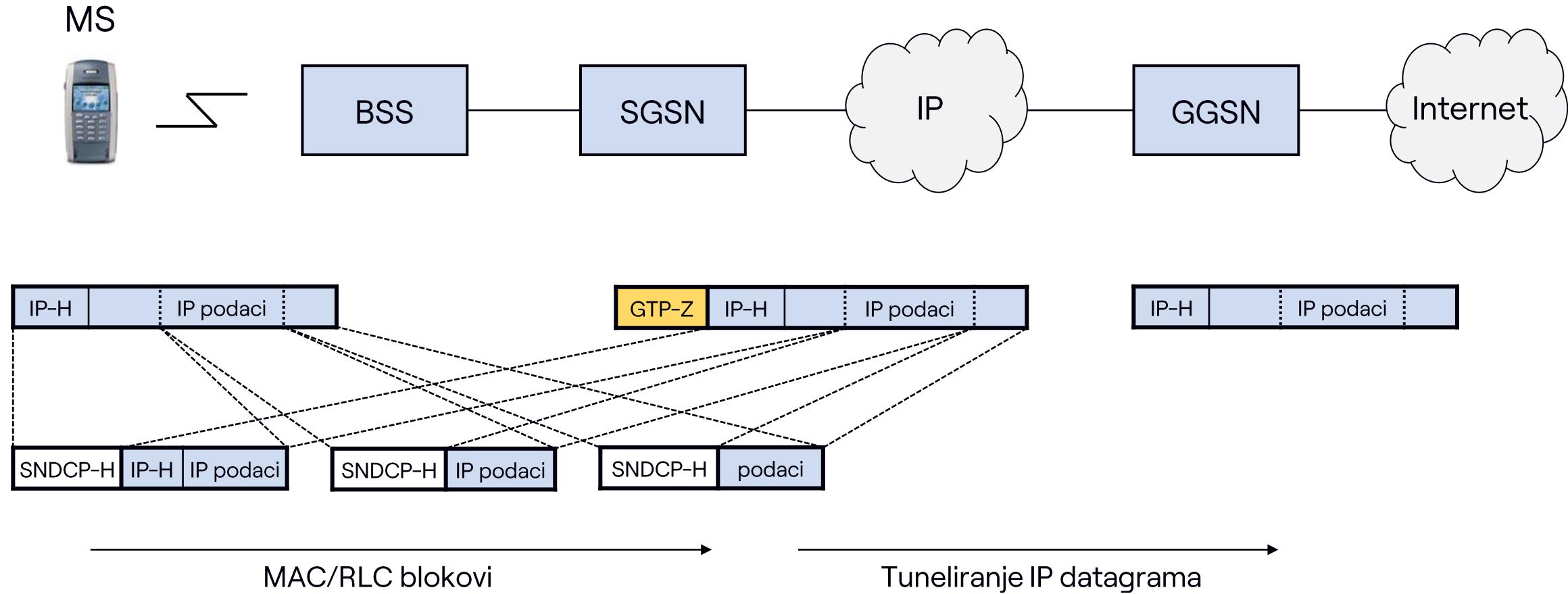
- **GTP – GPRS Tunneling Protocol**

- Prijenos podataka između SGSN-a i GGSN-a
- Ovija pakete mrežnog sloja
- Tunelira korisničke podatke i odgovarajuće signalizacijske informacije između mrežnih čvorova
- Kreira, modificira i briše tunel
- IP paketima dodaje GTP zaglavlje

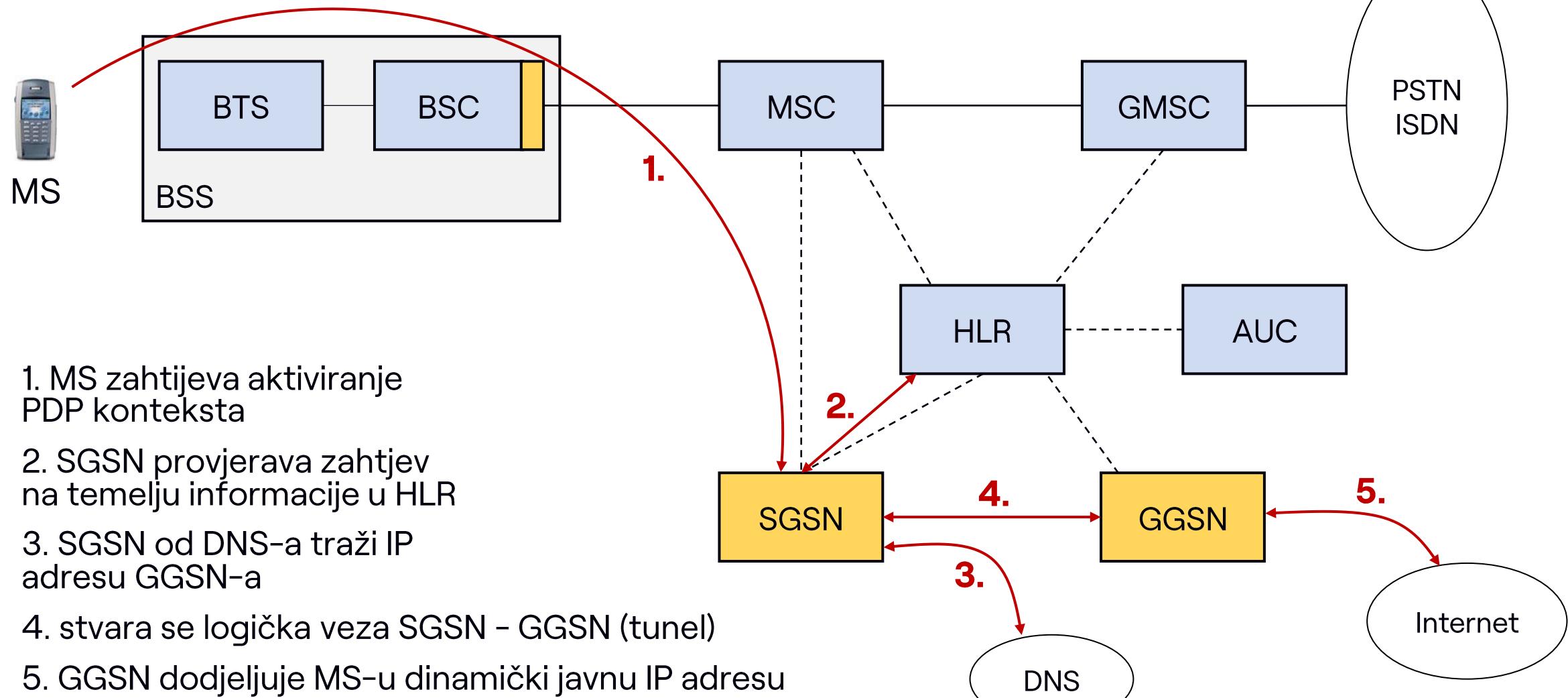
IP datagram



Podatkovna komunikacija korisnika s Internetom



Postupak pristupa Internetu



Sustav poboljšanih brzina prijenosa podataka

Enhanced Data rates for Global Evolution, EDGE

- Zahtjeva **veću promjenu radijskog dijela** pristupne mreže
 - Sustav baznih postaja E-RAN (EDGE Radio Access Network)
- Uvodi **promjenu modulacijskog postupka** u GSM mreži
 - Umjesto GMSK primjenjuje se 8PSK (*8 Phase Shift Keying*)
 - Umjesto 14,4 kbit/s dobiva se 48 kbit/s po jednom kanalu
 - Zauzimanje 8 kanala na istoj frekvenciji, $48 \times 8 = \mathbf{384 \text{ kbit/s}}$
- Nedostatak
 - Poboljšanu brzinu prijenosa podataka **nije moguće postići unutar cijelog područja pokrivanja ćelije**

Komunikacija porukama

- **Usluga kratkih poruka**
 - (*Short Messaging Service, SMS*)
- **Poboljšana usluga izmjene poruka**
 - (*Enhanced Messaging Service, EMS*)
- **Usluga višemedijskih poruka**
 - (*Multimedia Messaging Service, MMS*)

SMS usluga

- Uvodi se **posebni centar za uslugu kratkih poruka** (*Short Message Service Centre*, SMS-C)
 - Primanje i slanje SMS pruka od/prema pokretnoj postaji
 - Zadržava poruku dok ne dobije poruku o primitku ili dok ne istekne definirano vrijeme valjanosti poruke
- Duljina poruke je **160 znakova**, uz mogućnost ulančavanja
- EMS proširuje sadržaj poruke
 - Uz tekst, točkaste slike i kratke melodije

Standardizacija 3. generacije

- International Telecommunication Union
 - ITU (www.itu.org) - **IMT-2000**
- European Telecommunications Standard Institute ETSI
 - (www.etsi.org) - **UMTS**
- UMTS Forum (www.umts-forum.org)
 - neprofitna udruženja operatora, proizvođača i regulacijskih tijela
- 3GPP (3. Generation Partnership Project)
 - standardizacijska tijela i neprofitne udruženja
- OHG (Operators Harmonisation Group)

Opći pokretni telekomunikacijski sustav

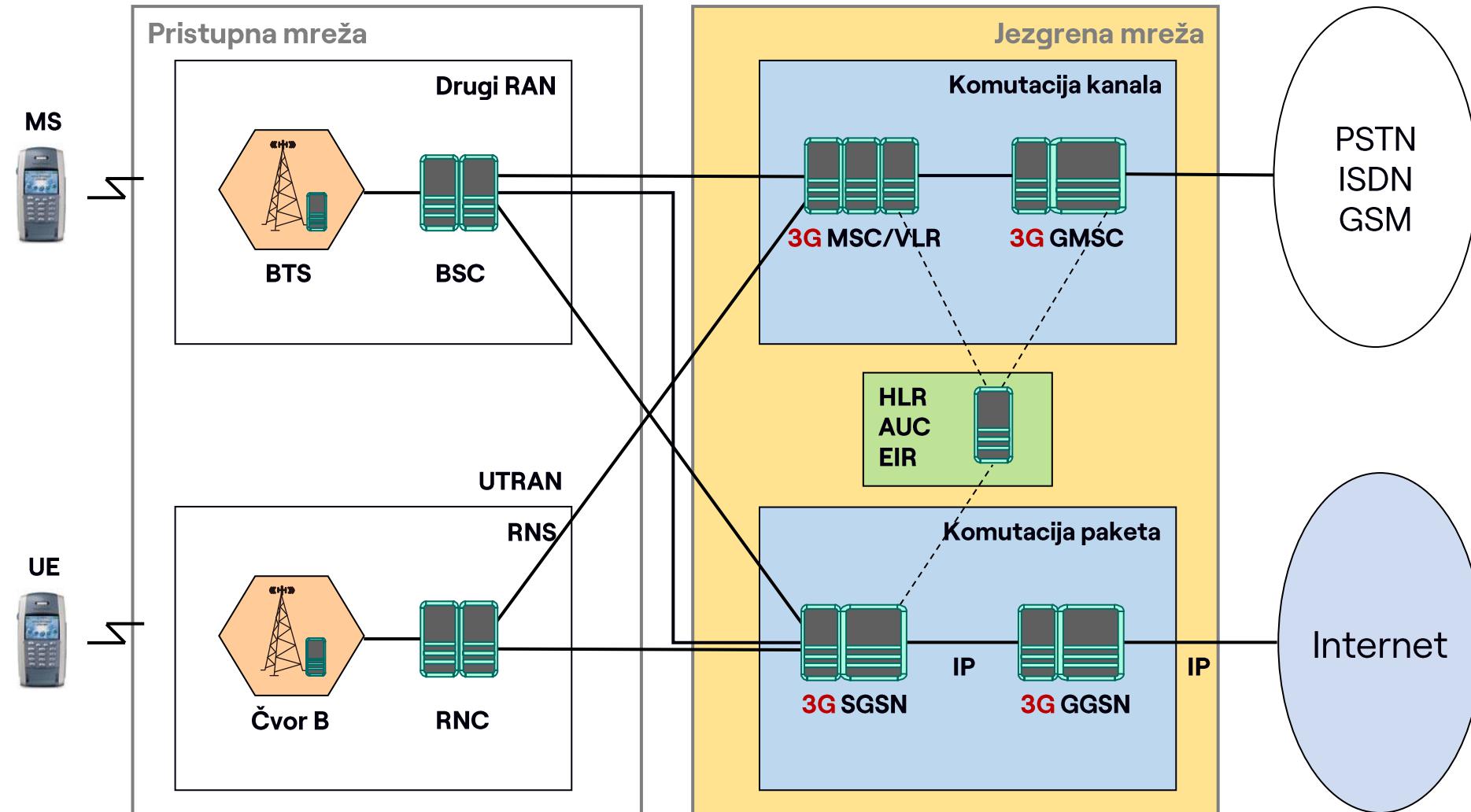
Universal Mobile Telecommunication System, UMTS

- Nova **radijska pristupna mreža u odnosu na pristupnu mrežu 2G**
- Određene promjene i u jezgrenoj mreži
 - Komutacija kanala – posluživanje 2G i 3G korisnika
 - Komutacija paketa – nove funkcionalnosti uslužnog i prilaznog čvora
- Uz pokretljivost terminala, riješena je **osobna pokretljivost te pokretljivost, prenosivost i transparentnost usluga**

UMTS zahtjevi

- Velika brzina prijenosa, osobna pokretljivost uz prijenos govora, podataka i multimedije
- do 144 kbit/s u svim uvjetima, do 384 kbit/s na otvorenom prostoru, do 2 Mbit/s u zatvorenom prostoru
- komutacija kanala i paketa
- simetrični i asimetrični prijenos
- kvaliteta govora usporediva s onom u fiksnoj mreži
- više istodobnih usluga
- integracija s fiksnom mrežom
- koegzistencija s 2. generacijom (GSM)
 - prebacivanje poziva između GSMA u UMTSa
- brzi pristup Internetu u pokretu

Arhitektura mreže UMTS (3GPP R99)



UMTS zemaljski radijski pristup

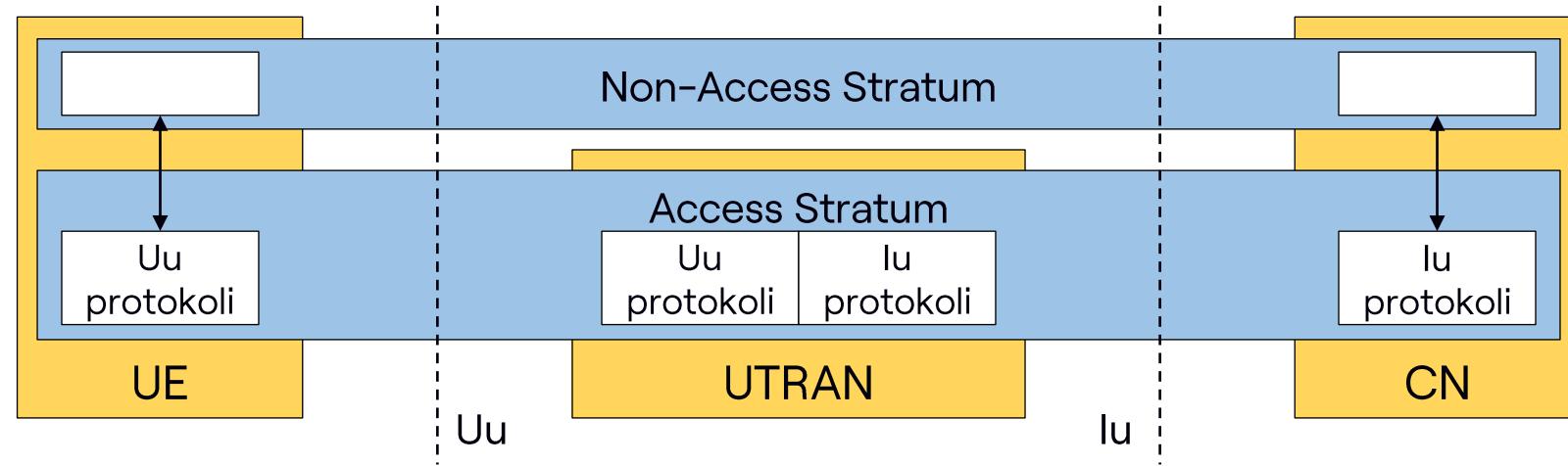
- **Zemaljski radijski pristup** (*UMTS Terrestrial Radio Access, UTRA*)
 - Širokopojasni višestruki pristup u kodnoj podjeli (*Wideband Code Division Multiple Access, WCDMA*)
 - Veći kapacitet i bolja pokrivenost u odnosu na pristupnu mrežu 2G
 - Mogućnost varijabilne brzine prijenosa
 - Prikladnost za paketski i kanalski prijenos
 - Višestruke istodobne usluge u jednom terminalu
 - Hijerarhijsko strukturiranje ćelija
 - Protokol IP uvodi se u radijsku pristupnu mrežu

UTRAN funkcije

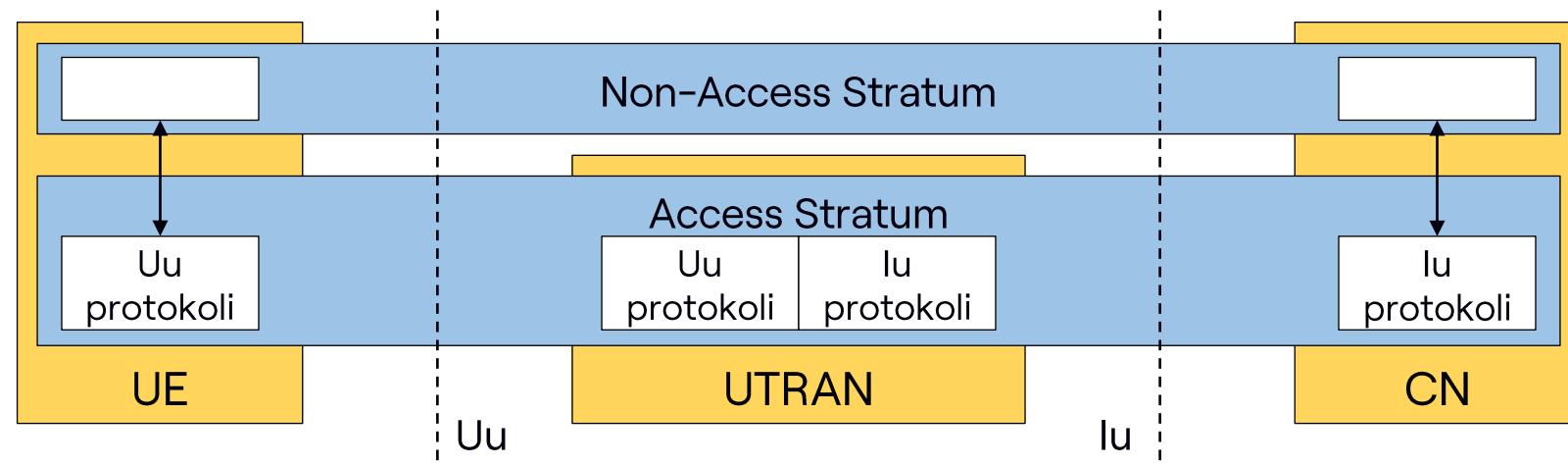
- Sustavna kontrola pristupa
- Sigurnost i privatnost
- Upravljanje i kontrola radijskih resursa
- Kontrola radijskog prijenosa i veze između korisničke opreme i mreže
- Prijenos korisničkih podataka između korisničke opreme i mreže

UTRAN arhitektura protokola

Korisnička ravnina (User Plane)



Kontrolna/signalizacijska ravnina (Control/Signalling Plane)

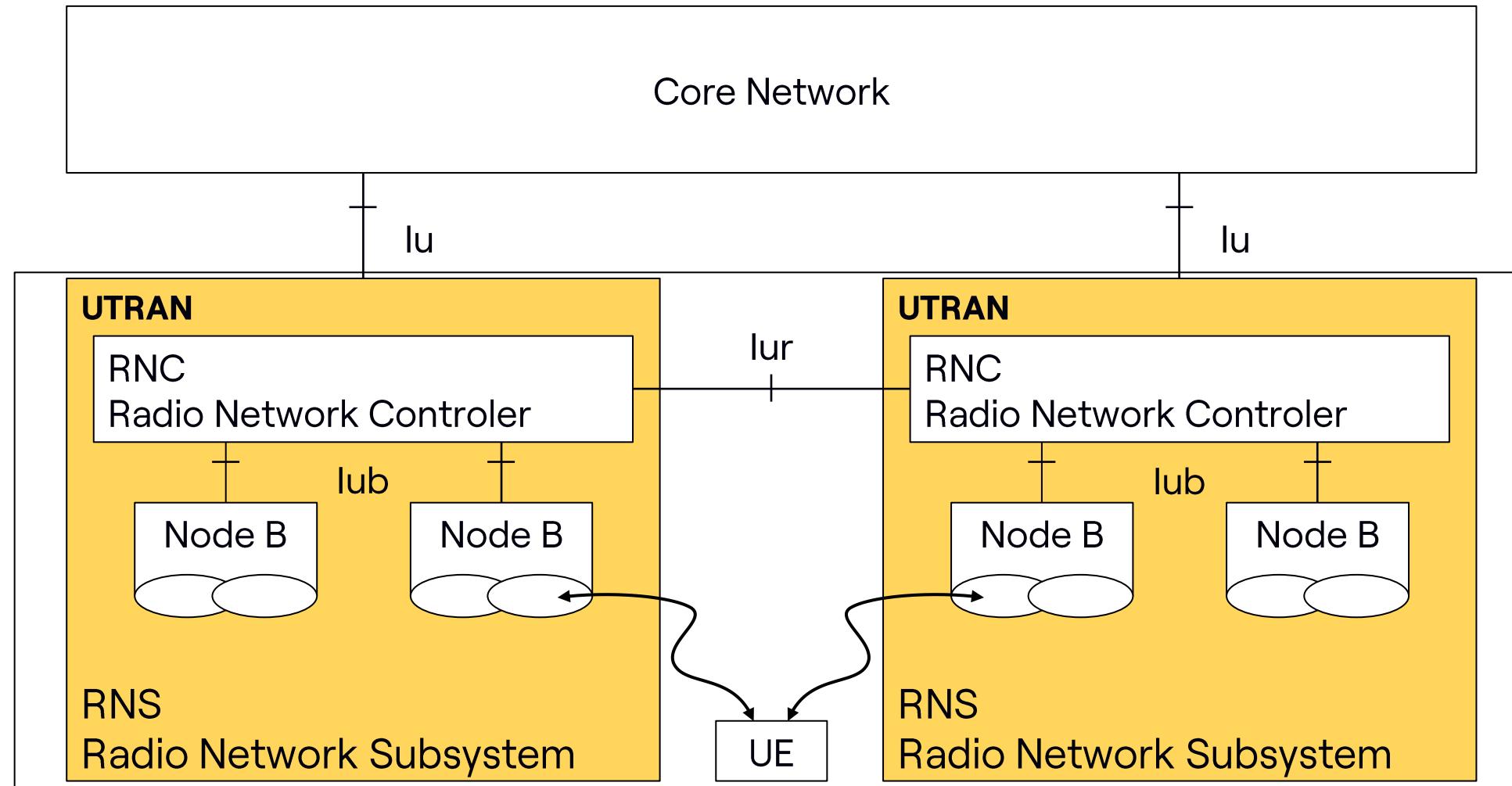


Radijski mrežni podsustav

Radio Network Subsystem, RNS

- **Osnovni element UMTS** zemaljske radijske **pristupne mreže** (*UMTS Terrestrial Radio Access Network, UTRAN*)
- Sadrži
 - Upravljač radijske mreže (*Radio Network Controller, RNC*)
 - Kontrolni RNC (CRNC – Controlling RNC)
 - Uslužni RNC (SRNC – Serving RNC)
 - Prihvativni RNC (DRNC – Drifting RNC)
 - Čvor B s radijskim primopredajnim dijelom (*Node B*)
 - Pokriva više ćelija (3-6)

UTRAN arhitektura pristupne mreže



Čvor B

- Pretvorba podatkovnog toka između sučelja lub i Uu
- Upravljanje radijskih resursa
- Modulacija
 - Podržava FDD, TDD i CDMA
- Fizikalni i transportni kanali
- Korekcija pogrešaka u radijskom prijenosu
- Povezivanje poziva s UE
- Prikupljanje prometnih podataka

UTRA – UMTS Terrestrial Radio Access

W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access)

- širokopojasni višestruki pristup s kodnom podjelom
- otvoreni prostor, široko područje, javna mreža
- 1920 -1980 MHz (up) , 2110 - 2170 MHz (down)
- FDD (Frequency Division Duplex)

TD-CDMA (Time Division Code Division Multiple Access)

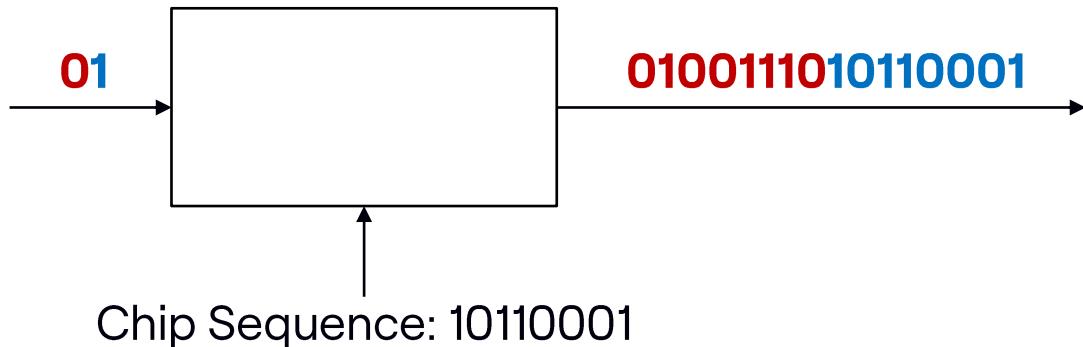
- višestruki pristup s kodnom podjelom i vremenskom podjelom
- zatvoreni prostor, uže područje, privatna mreža
- 1900 – 1920 i 2010 – 2025 MHz
- TDD (Time Division Duplex)

CDMA (Code Division Multiple Access)

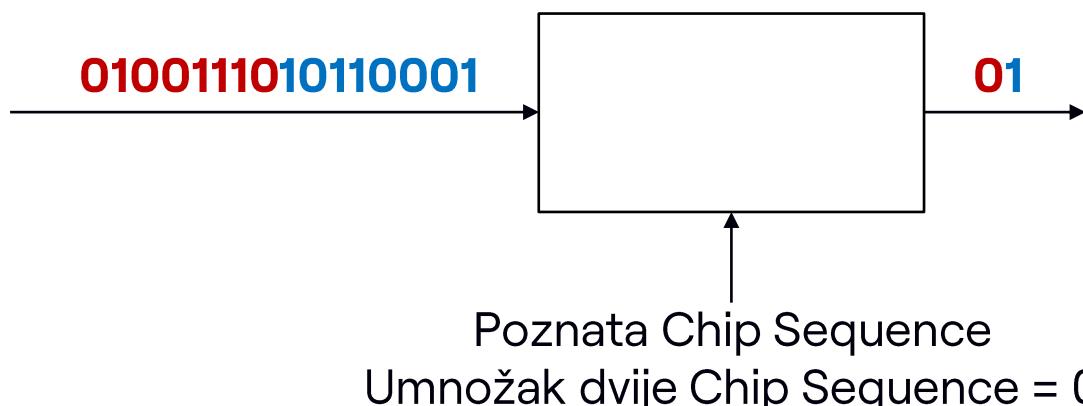
- Korisnici dijele isti frekvencijski spektar u isto vrijeme, a razlikuju se po dodijeljenim kodovima
- Različiti tipovi kodova
 - Orthogonal Variable Spreading Factor, OVSF
 - “Scrambling” kodovi
- Modulacijska tehnika
 - *Quadrature Phase Shift Keying*, QPSK
- “Soft” handover – “meko” prebacivanje poziva
 - Nema prekida veze prilikom mijenjanja bazne stanice
 - Korisnički terminal ima vezu s više baznih stanica istovremeno

CDMA (Code Division Multiple Access)

Predaja

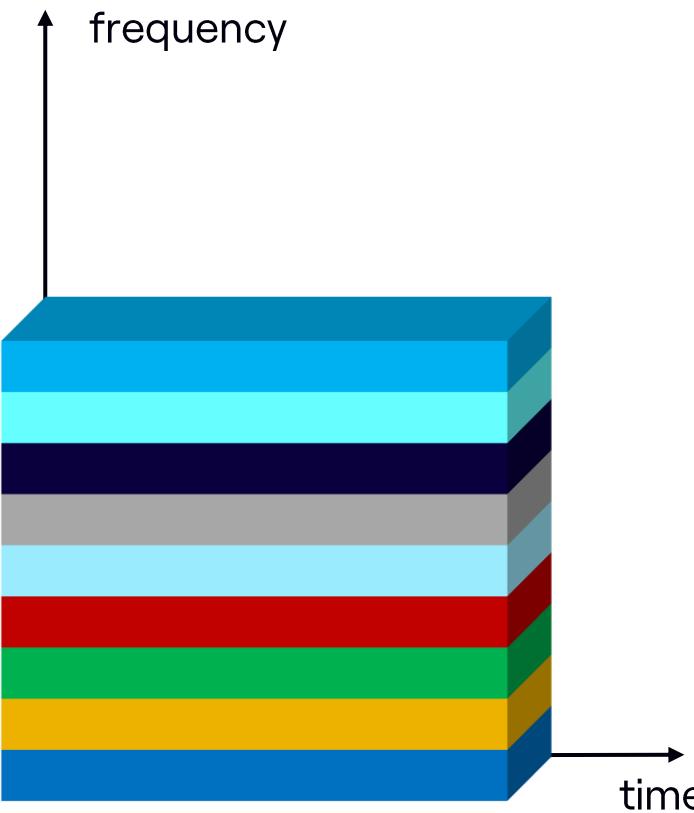


Prijam

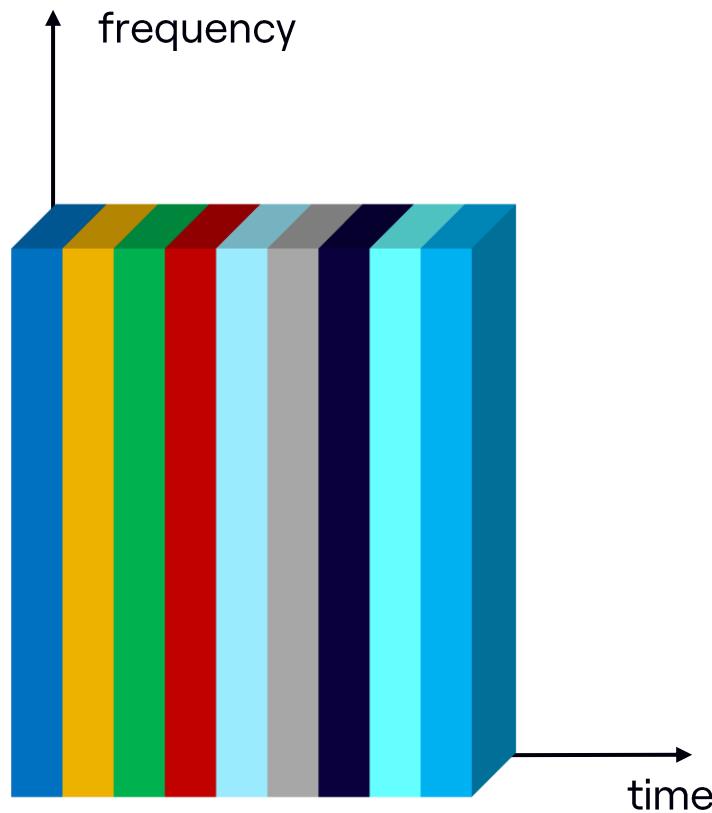


- svakoj MS dodjeljuje se jednoznačni kod (Chip Sequence)
- "1" u prijenosu zamjenjuje se s **Chip sequence**, "0" s **komplementarnom Chip sequence**
- prošireni frekvencijski spektar – raspršeni spektar (Spread Spectrum)

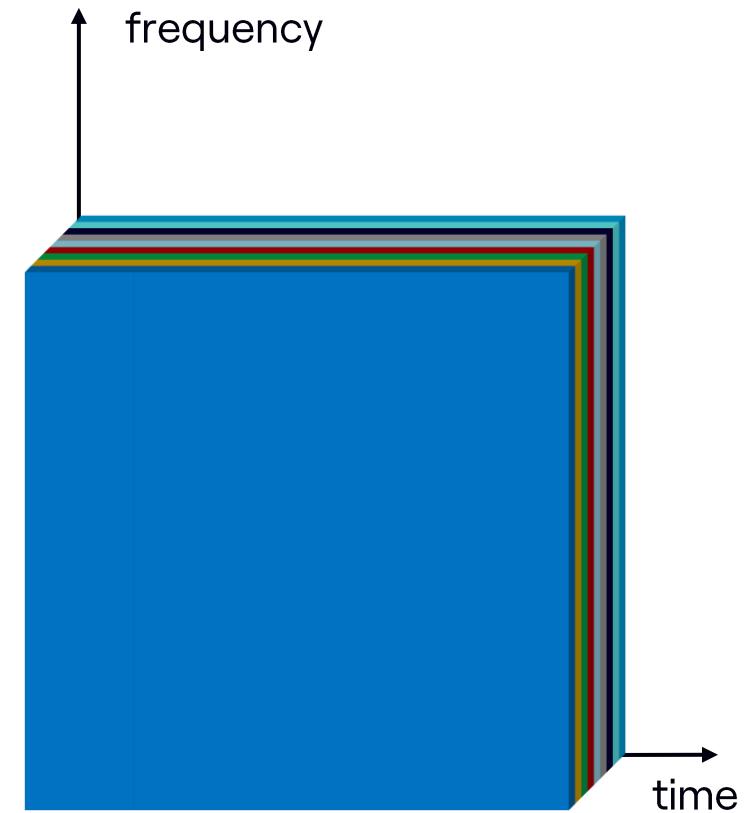
Usporedba višestrukih pristupa



FDMA



TDMA



CDMA

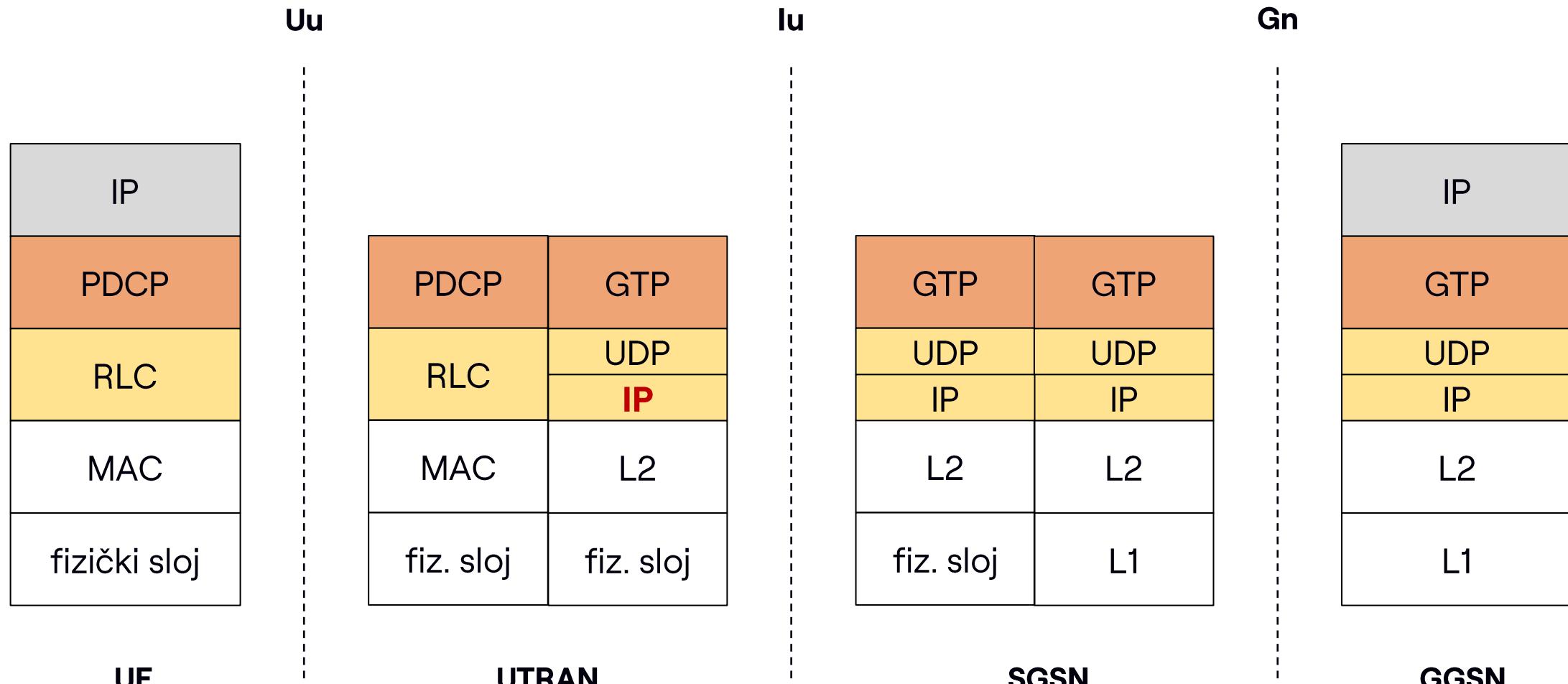
Razlozi WCDMA

- veći kapacitet i bolja pokrivenost od TDMA i drugih CDMA rješenja
- varijabilna i visoka brzina prijenosa
- paketski i kanalski prijenos
- višestruke istodobne usluge u jednom terminalu
- hijerarhijsko strukturiranje ćelija
- širina frekvencijskog pojasa 5 MHz
- prošireni frekvencijski spektar – raspršeni spektar (*spread spectrum*) –
 - manja osjetljivost na uskopojasne interferencije i prigušenje
 - nema fiksnog ograničenja kapaciteta (broja istovremenih korisnika)
- nedostatak
 - povećanje razine interferencije od drugih pretplatnika

Jezgrena mreža

- **Dio s komutacijom kanala**
 - Izведен iz rješenja za GSM
- **Dio s komutacijom paketa**
 - Izведен iz rješenja za GPRS
- Dio funkcija upravljanja pokretljivošću preuzima RNC
- Rješenja ovise o načinu uvođenja UMTS-a
 - Potpuno nova mreža
 - Uz postojeći GSM i sl.

Protokoli korisničke ravnine



Protokol PDCP

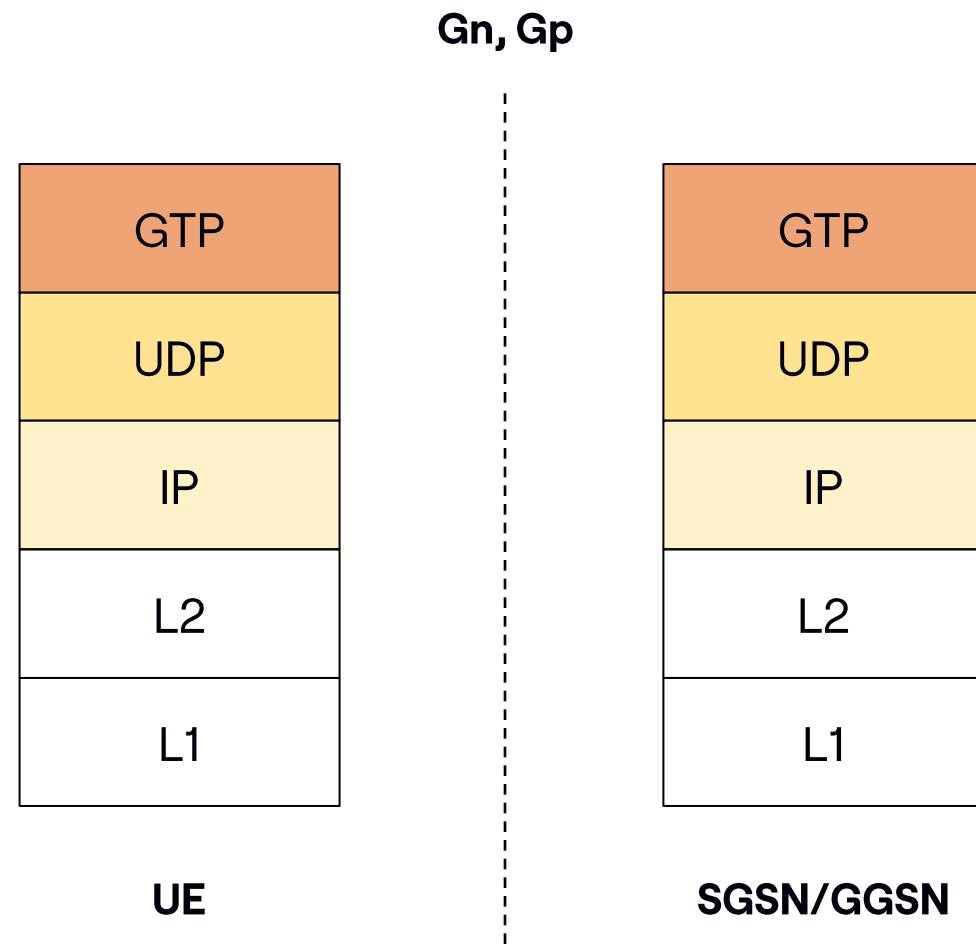
- **Packet Data Convergence Protocol – PDCP**

- Funkcionalnost slična protokolima SNDCP i LLC u GPRS-u
- Prijenos podataka (IP paketa) između korisničkog terminala i radijske pristupne mreže
- Sažimanje (kompresija) korisničkih podataka i zaglavlja višeg sloja
- Segmentiranje IP paketa u MAC/RLC blokove prikladne za radijski prijenos preko zračnog sučelja

Mrežni elementi

- GGSN
 - Povezan s drugim mrežama
- SGSN
 - Područje usmjeravanja
 - Obuhvaća nekoliko RNC-ova
 - Upravljanje pokretljivošću
 - Upravljanje sjednicom
 - QoS
 - tuneliranje

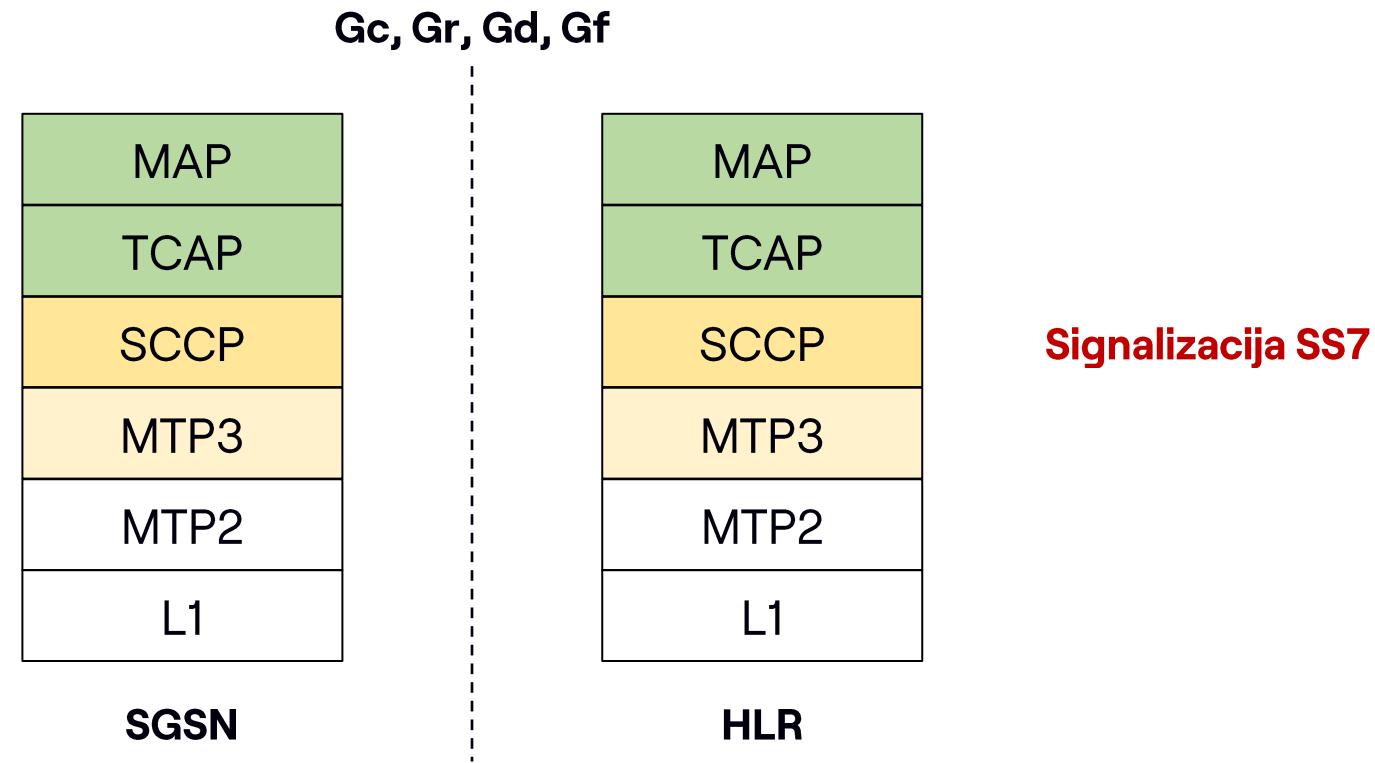
Protokoli paketske komunikacije



Gn i Gp sučelja

- Komunikacija SGSN i GGSN-a te između SGSN-ova unutar iste PLMN
 - GTP – tuneliranje podataka između entiteta jezgrene mreže
 - Upravljačke poruke
- Gp sučelje
 - Između SGSN različitih PLMN
 - Funkcija kao kod Gn uz dodatne sigurnosne funkcije

Protokoli paketskog dijela sučelja MAP



MAP – Mobile Application Part

TCAP – SS7 Transaction Capabilities Application Part

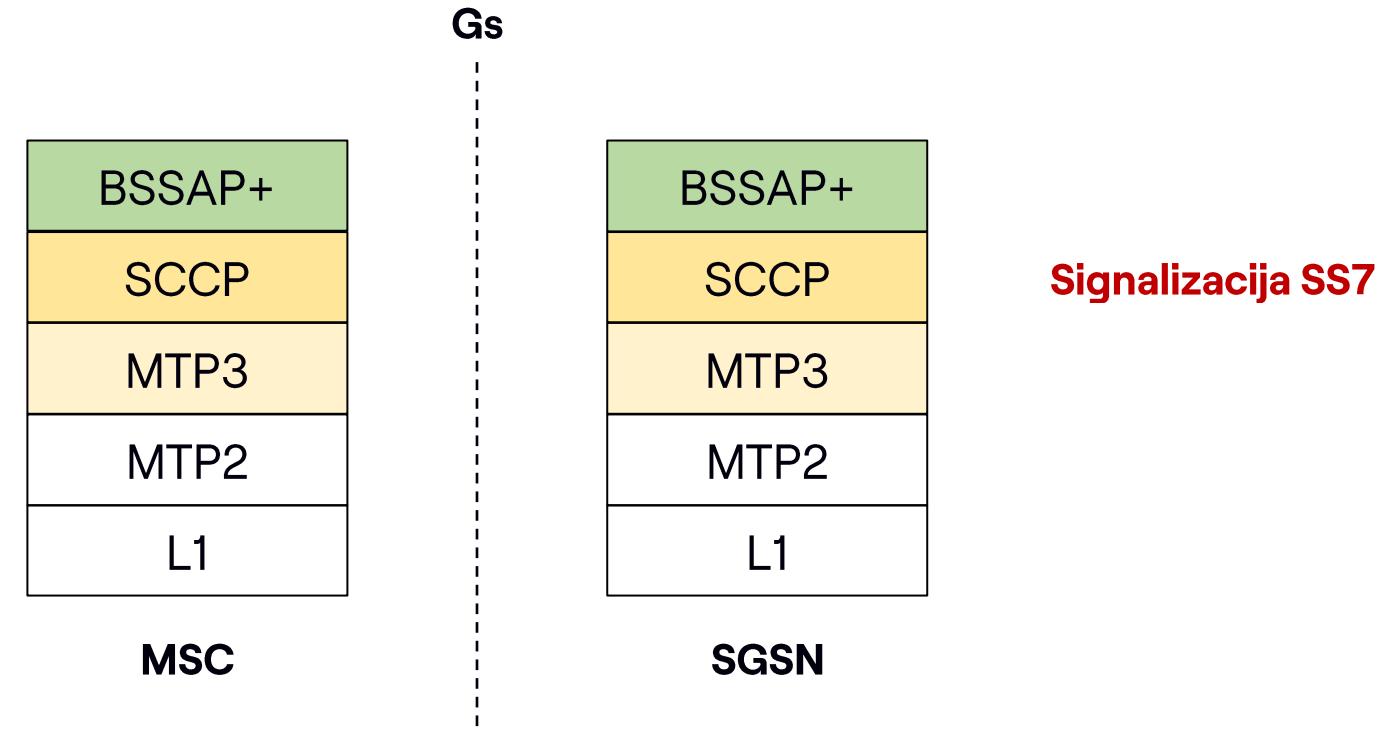
SCCP – Signaling Connection Control Part

MTP – Message Transfer Part

Sučelja MAP

- Gc sučelje: GGSN – HLR (tuneliranje preko SGSN-a)
 - Informacije o usmjeravanju za komutaciju paketa
- Gr sučelje: SGSN – HLR
 - Lokacija korisnika
- Gd sučelje: SGSN – SMS prilaz
- Gf sučelje: SGSN – EIR

Protokoli između kanalskog i paketskog dijela mreže



BSSAP – BSS Application Part

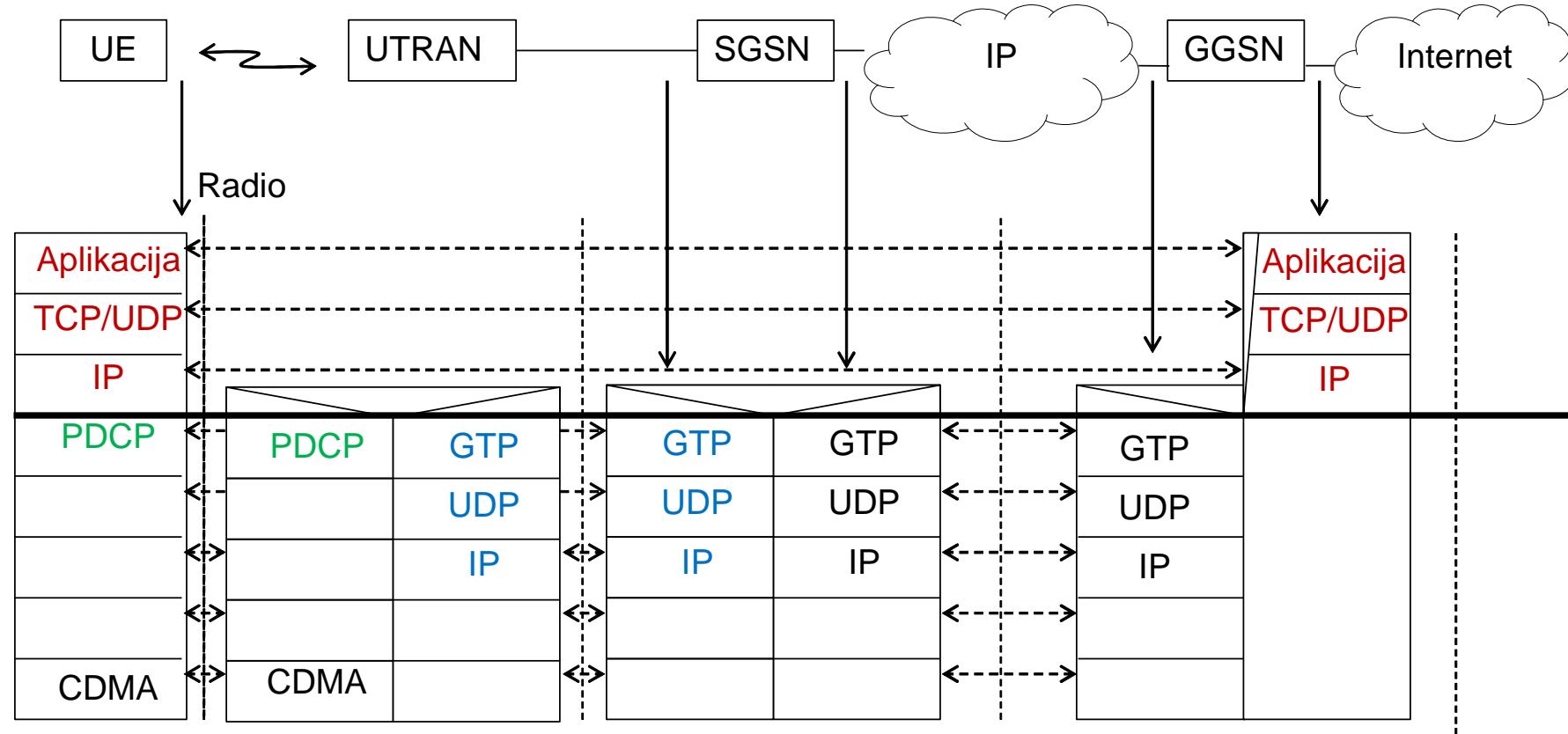
SCCP – Signaling Connection Control Part

MTP – Message Transfer Part

Gs sučelje

- MSC – SGSN sučelje
 - Proširenje BSSAP
 - Koordinacija kanalske i paketske komunikacije
 - Reduciranje upravljačke informacije o lokaciji korisnika
 - Reduciranje signalizacije s HLR-om

Pristup Internetu iz mreže UMTS



Opći pokretni telekomunikacijski sustav – UMTS

- Pokretni sustav s kraja na kraj
- Međunarodno prelaženje
- Integrirana sigurnost i naplata
- Višemedijske usluge
- Standardizacija
 - ITU, ETSI, UMTS Forum, 3GPP, OHG
 - Izdanja (release), odlike (feature)
 - R99, R4, R5 – IP u pristupnoj mreži, uvođenje IMS-a u R5, HSDPA
 - R6 – UMTS – WLAN, MBMS, HSUPA
 - R7 – UMTS – fiksni pristup
 - R8, R9, R10 – “sve IP”, LTE/SAE

Pregled izdanja 3GPP specifikacija UMTS-a

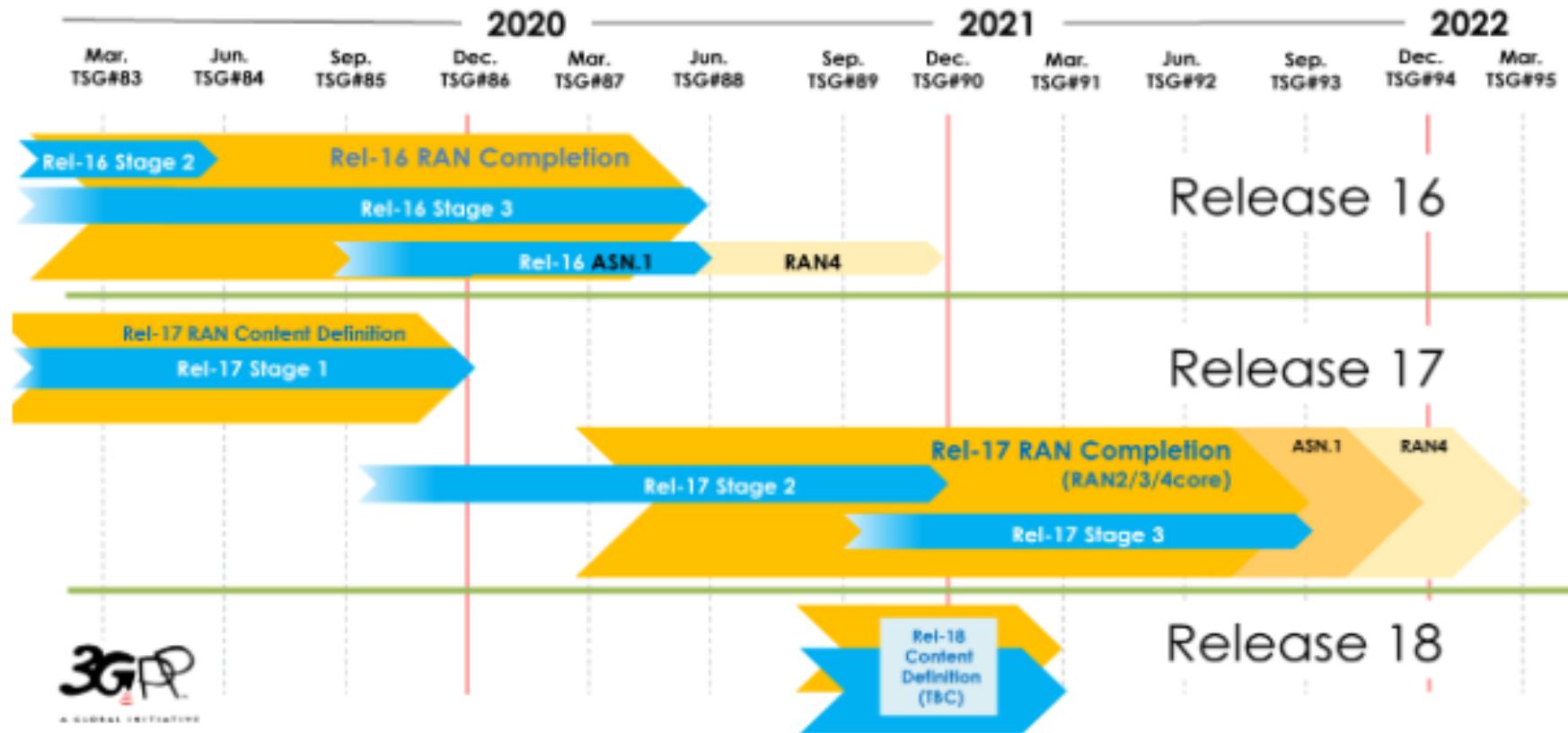
Izdanje UMTS	Najvažnije odlike
Release 99 (1999.)	Prvo izdanje UMTS standarda, temelji se na tehnologiji W-CDMA.
R4 (2001.)	Razdvaja kanalsku i paketsku domenu u jezgrenoj mreži.
R5 (2003.)	Prvo izdanje koje uključuje IMS , višemedijske usluge, IP u pristupnoj mreži UTRAN, SIP. Upravljanje kvalitetom usluge i napredne mogućnosti upravljanja uslugama i njihove naplate. Uvodi se HSDPA.
R6 (2004-2005.)	Integracija s WLAN-ovima. Poboljšanja u upravljanju kvalitetom usluge i podrška za usluge trenutnog poručivanja, prisutnosti, MMS. Uvodi se MBMS, HSUPA i napredniji načini naplate.
R7 (2006-2007.)	Dodaje se širokopojasni fiksni pristup kroz IMS . Glatko prebacivanje govornog poziva između kanalne i paketske domene uz osiguranu kvalitetu usluge. HSPA
R8 (2007-2008.)	Prelazak na sve-IP mrežu . Razrada dugoročne evolucije 3G mreže. Višemedijska konferencija u IMS-u, sustav javnog upozoravanja, HSPA+ (Evolved HSPA), Long Term Evolution (LTE).
R9 (2008-2009.)	Dugoročna evolucija radijske pristupne mreže (LTE), implementacija LTE . Jezgrena mreža SAE. Evolucija IMS-a. Unaprijeđenje pokretljivosti između WLAN/WiMAX mreža i UMTS/LTE pokretne mreže (I-WLAN), HSUPA, LTE/EPC.
R10 (2010. – 2011.)	Napredni LTE (LTE-A) , početak razvoja četvrte generacije pokretnih mreža (4G), OFDMA, prošireni MIMO, femtocelije, Voice over LTE (VoLTE)

Pregled izdanja 3GPP specifikacija UMTS-a

Izdanje UMTS	Najvažnije odlike
R11 – R14 (2011. – 2017.)	Napredni LTE (LTE-A), razvoj četvrte generacija pokretnih mreža (4G), OFDMA, prošireni MIMO, razvoj IMS-a, sigurnost, QoS, Machine-Type Communication, femtoćelije, Voice over LTE (VoLTE).
R15 (2017. – 2020.)	Unapređenje pokrivenosti, kapaciteta i brzine prijenosa HET-NET: Heterogeneous Network, 5G, LTE-M, IoT
R16 (2018. – 2020.)	5G, Massive MTC, Vehicle-to-Everithing Communication, IoT
R17 (2019.-2022.)	5G, Cellular IoT, 5G-RAN, NR, 5GC, IoT

Izvor: <http://www.3gpp.org/>

Pregled izdanja 3GPP specifikacija UMTS-a

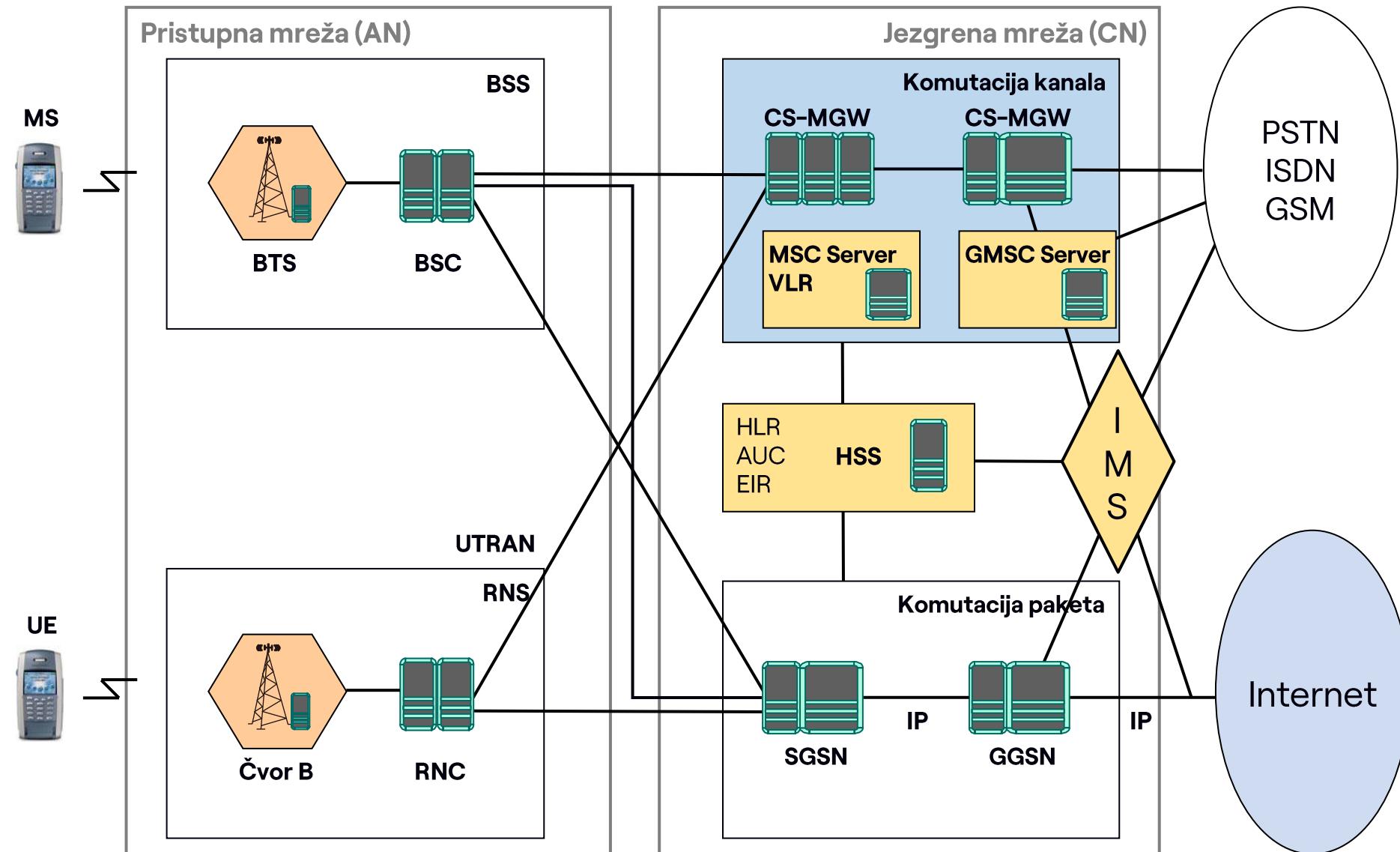


Source: 3GPP TSG SA#87e, 17-20 March 2020, e-meeting document SP-200222

© 3GPP 2020

Izvor: <http://www.3gpp.org/>

Arhitektura mreže (3GPP R8)



Poslužitelj pretplatničkih podataka (HSS)

- **Glavna baza podataka o korisnicima**
 - Identifikacija korisnika, numeracija, adresiranje
 - Kontrola pristupa mreži
 - Informacija o autentifikaciji i autorizaciji korisnika
 - Informacija o lokaciji korisnika
 - Repozitorij korisničkih profila (*user profile*)
 - Upravljanje pokretljivošću
 - Podrška za uspostavu poziva i sjednice
 - Podrška sigurnosti
 - Podrška pružanja usluge

Komunikacijski protokoli

10. Brzi paketski pristup (HSPA)
Signalizacijski protokoli u Internetu
Protokoli i usluge pokretne mreže 4G
Virtualni operator pokretne mreže

Creative Commons



- **slobodno smijete:**
 - **dijeliti** – umnožavati, distribuirati i javnosti priopćavati djelo
 - **remiksirati** – prerađivati djelo
- **pod sljedećim uvjetima:**
 - **imenovanje.** Morate priznati i označiti autorstvo djela na način kako je specificirao autor ili davatelj licence (ali ne način koji bi sugerirao da Vi ili Vaše korištenje njegova djela imate njegovu izravnu podršku).
 - **nekomercijalno.** Ovo djelo ne smijete koristiti u komercijalne svrhe.
 - **dijeli pod istim uvjetima.** Ako ovo djelo izmijenite, preoblikujete ili stvarate koristeći ga, preradu možete distribuirati samo pod licencem koja je ista ili slična ovoj.

U slučaju daljnog korištenja ili distribuiranja morate drugima jasno dati do znanja licencne uvjete ovog djela. Najbolji način da to učinite je linkom na ovu internetsku stranicu.

Od svakog od gornjih uvjeta moguće je odstupiti, ako dobijete dopuštenje nositelja autorskog prava.

Ništa u ovoj licenci ne narušava ili ograničava autorova moralna prava.

Tekst licencije preuzet je s <http://creativecommons.org/>.

Sadržaj predavanja

- Razvoj pristupne mreže UMTS
 - Tehnologije brzog paketskog pristupa
 - Internetski višemedijski sustav (IMS)
 - Protokol SIP
- Komunikacijski protokoli mreže 4G
 - Evoluirana paketska jezgrena mreža
- Mreža sljedeće generacije
- Virtualni operator pokretne mreže

Razvoj pristupne mreže UMTS

Tehnologije brzog paketskog pristupa

3,5G: Razvoj pristupne mreže

High Speed Packet Access, HSPA

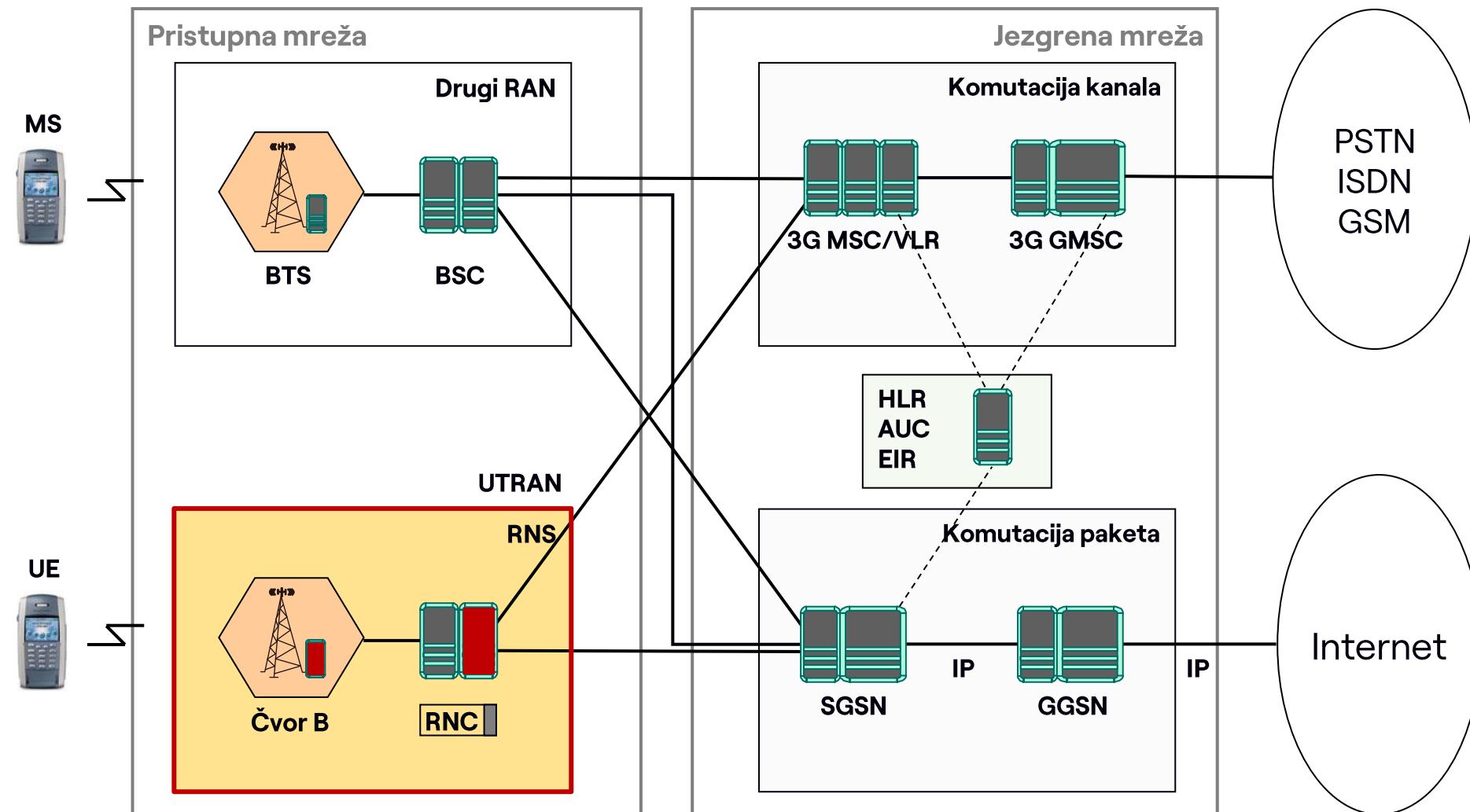
- Tehnologija brzog paketskog pristupa
 - Povećanje brzine prijenosa u dolaznom i odlaznom smjeru
- Unaprijeđuje UMTS radijsku pristupnu mrežu
- Prelazak s izdanja R5 na R6
- **Brzi paketski pristup u dolaznom smjeru, HSDPA**
 - Maksimalna brzina od 14,4 Mbit/s, u praksi do 7,2 Mbit/s
- **Brzi paketski pristup u odlaznom smjeru, HSUPA (High Speed Uplink Packet Access)**

Brzi paketski pristup u dolaznom smjeru

High Speed Downlink Packet Access, HSDPA

- **Nadogradnja WCDMA tehnologije**
- **Ne zahtjeva uvođenje novih dodatnih čvorova** u mrežu
- Samo hardverska i softverska **nadogradnja** radijskog mrežnog podsustava RNS
 - Nadogradnja radijskog mrežnog upravljača RNC i čvora B
 - Osigurava se **veći broj fizičkih kanala** u pristupu

Nadogradnja UMTS mreže za podršku HSDPA



Nadogradnja UMTS mreže za podršku HSDPA (2)

- Uvodi se **adaptivna modulacija i kodiranje** (AMC - *Adaptive Modulation and Coding*)
 - Koristi se povratna informacija od korisničkog terminala kako bi se utvrdila **najbolja modulacijska tehnika i kodirajuća shema za zadane uvjete u kanalu** te time maksimizirao tok podataka prema korisničkoj opremi
 - Terminal **komunicira s više čvorova B** i definira listu baznih stanica koje je moguće koristiti za komunikaciju (FCSS - *Fair Scheduling and Fast Cell Site Selection*)
 - Odabire ćeliju koja trenutno pokazuje **najbolje prijenosne karakteristike** za slanje podataka
 - Uz QPSK modulaciju koristi se i **16QAM modulacija** koja omogućava veće brzine prijenosa podataka u slučaju boljih radijskih uvjeta

Nadogradnja UMTS mreže za podršku HSDPA (3)

- Bazna stanica **dinamički** mijenja kapacitete dodijeljene korisnicima na temelju trenutnih uvjeta u mreži za određeno područje
- Korisnicima koji se nalaze u području s **boljim uvjetima** doznačuje se **veći kapacitet** prijenosne mreže i veće prijenosne brzine čime se postiže efikasnije zauzeće kanala
 - Dijeljenje kanala omogućava dinamičku dodjelu kapaciteta, **ovisno o broju korisnika** koji se nalaze na istom području;
 - Brza adaptacija linka omogućava korištenje **učinkovitije modulacije i kodiranja** kanala čime se osigurava veća brzina prijenosa;
 - Dinamičko raspoređivanje kanala omogućava dinamičku dodjelu većeg kapaciteta korisnicima s većim zahtjevima;
 - Brza retransmisija osigurava ponovno slanje samo onih podataka pri čijem je prijenosu došlo do pogreške
- Čvor B preuzima određene funkcionalnosti od čvora RNC

Nadogradnja UMTS mreže za podršku HSDPA (4)

- Uvode se **novi kanali**
 - Zauzeće kanala ovisi o duljini intervala koji se definira za svakog korisnika posebno (TTI – *Transit Time Interval*)
 - Varijabilna duljina okvira prema vrsti prometa
 - Kraća duljina okvira
 - Dva terminala – isti kanal s različitim TTI
- Uvođenje u urbanim područjima i zatvorenim prostorima

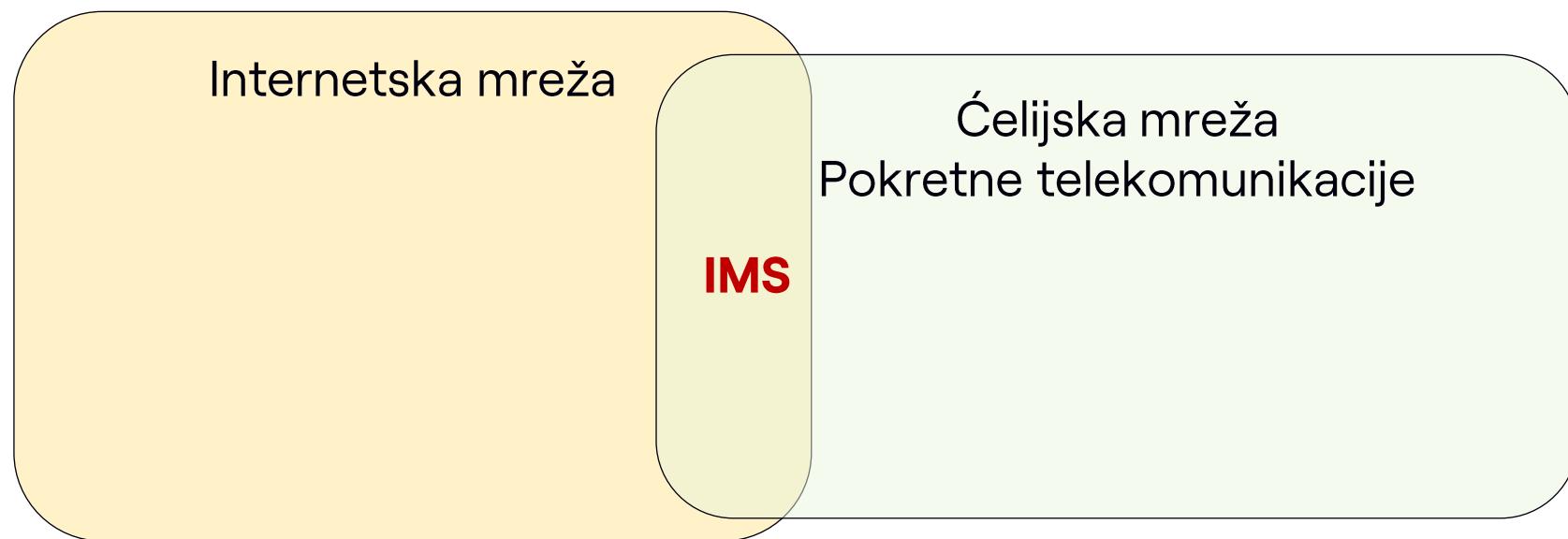
Evolucija brzog paketskog pristupa

High Speed Packet Access Evolution, HSPA+

- Nadogradnja tehnologije brzog paketskog pristupa HSPA
 - Pokretni širokopojasni pristup Internetu
 - Poboljšanje radijskih performansi tehnologije HSPA
 - Optimizacijski postupci za dodatno smanjenje kašnjenja u prijenosu podataka te povećanja kapaciteta
 - Potpuno iskorištenje mogućnosti višestrukog pristupa WCDMA (5 MHz)
 - Dopušta paketski prijenos govora i podataka
 - **Brzina prijenosa podataka do 42 Mbit/s, za sada 21 Mbit/s (DL), te 11,5 Mbit/s, za sada 5 Mbit/s (UL)**
 - Prvi korak prema pristupnoj tehnologiji LTE te novoj jezgrenoj mreži SAE (System Architecture Evolution)
 - SAE podrazumijeva samo paketsku domenu (sve-IP) te podržava pokretljivost između različitih pristupnih mreža

IMS

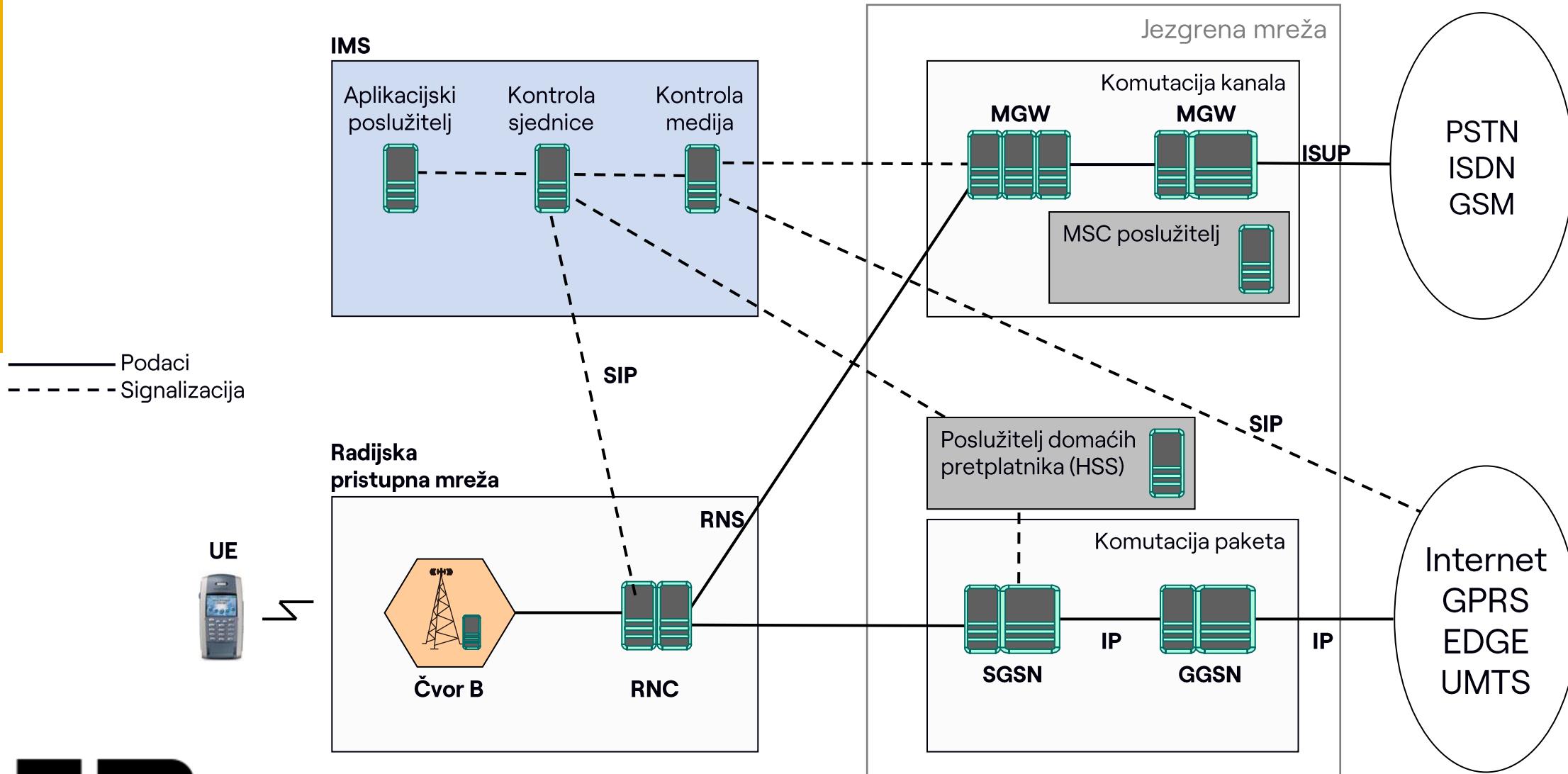
- **IP višemedijski sustav, *IP Multimedia Subsystem, IMS***
- Integracija Interneta i pokretnih mreža



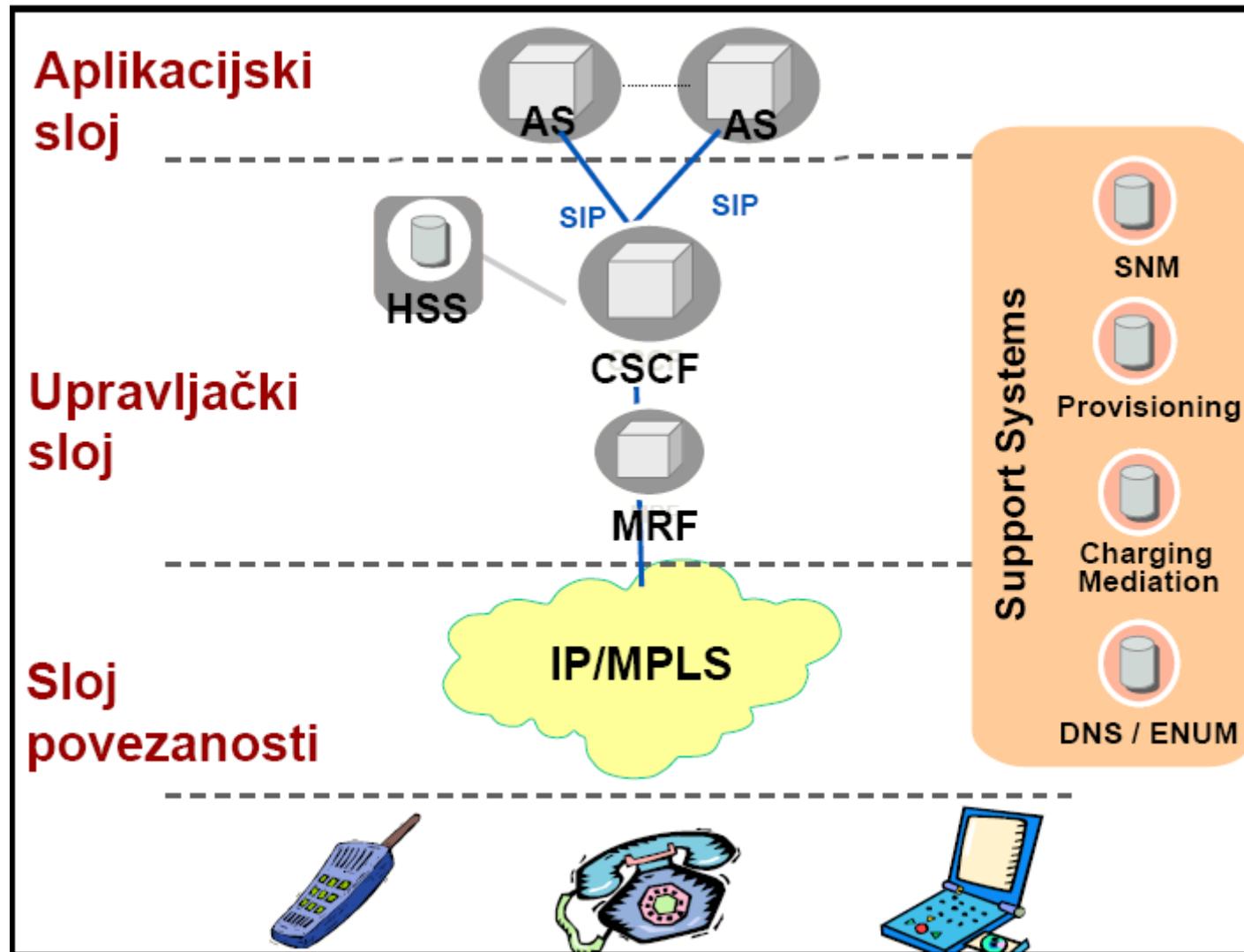
Internetski višemedijski sustav

- Omogućuje preusmjeravanje prometa
 - Komutacija kanala – Internet
 - Komutacija paketa – PSTN, ISDN
 - Integracija pokretnih telekomunikacija s Internetom
 - Pružanje usluga u stvarnom vremenu
 - Višemedijske sjednice između više korisnika
- SIP (*Session Initiation Protocol*)
 - Upravlja višemedijskim pozivima

Arhitektura IMS-a u mreži UMTS



Arhitektura IMS-a (1)



Arhitektura IMS-a (2)

- Aplikacijski sloj
 - Odvaja sadržaj i usluge od povezivanja i pristupa
- Upravljački sloj
 - Zajednička IP temeljna struktura
- Sloj povezanosti
 - Veze prema različitim pristupnim mrežama

Sloj povezanosti

- UE se može povezati na IMS putem različitih pristupnih mreža
 - Temelji se na IP protokolu
 - Pokretni RAN
 - WiMAX/WiFi
 - Fixed-Line BAN
 - Podrška za povezivanje preko pristupnika
 - PSTN
 - SIP, H.323
 - VoIP sustavi koji nisu kompatibilni s IMS

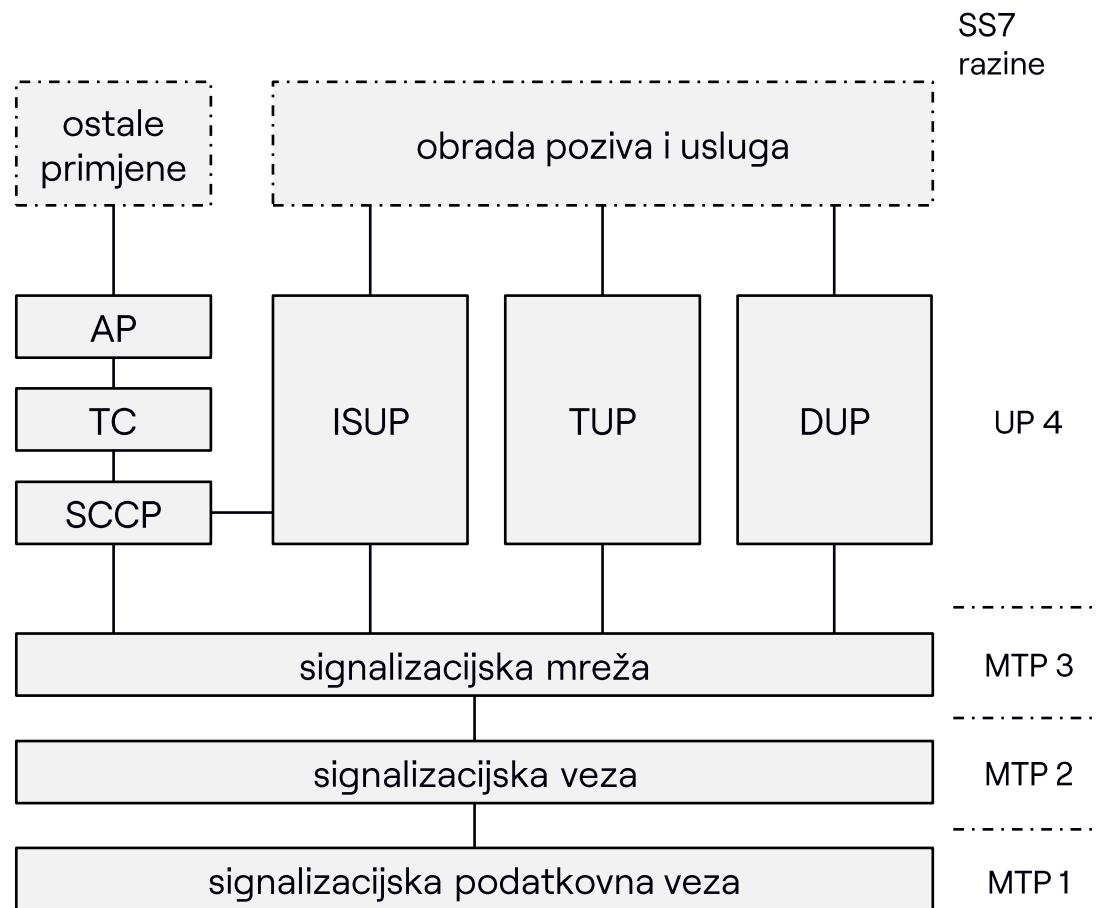
Signalizacija u mreži

- Da bi se uspostavila, održavala i prekinula veza za potrebe **korisničkog informacijskog toka**, potreban je dodatni, **upravljački informacijski tok** kojim se izmjenjuju informacije o adresama korisnika (pozivni broj), stanju korisnika (slobodan/zauzet, dostupan/nedostupan), dijelovima mreže koji sudjeluju u vezi i sl.
- Upravljačku ili signalizacijsku informaciju većim dijelom stvaraju i rabe sustavi u mreži, a pravila izmjene upravljačke informacije opisana su **signalizacijskim protokolima**.

Signalizacija u mreži s komutacijom kanala

- Sustav signalizacije zajedničkim kanalom SS7
 - Javna fiksna nepokretna mreža (PSTN)
 - Javna pokretna mreža (GSM)
- Prvenstveno kod prijenosa govora
 - telefonski pozivi,
 - telekonferencija...

Sustav signalizacije zajedničkim kanalom



Dio za prijenos poruka

(Message Transfer Part, MTP)

Korisnički dio

(User Part, UP)

Aplikacijski dio

(Application Part, AP)

Transakcijske mogućnosti

(Transaction Capabilities, TC)

Kontrolni dio za signalizacijske veze

(Signaling Connection Control Part, SCCP)

ITU: *Signalling System No.7, SS7*

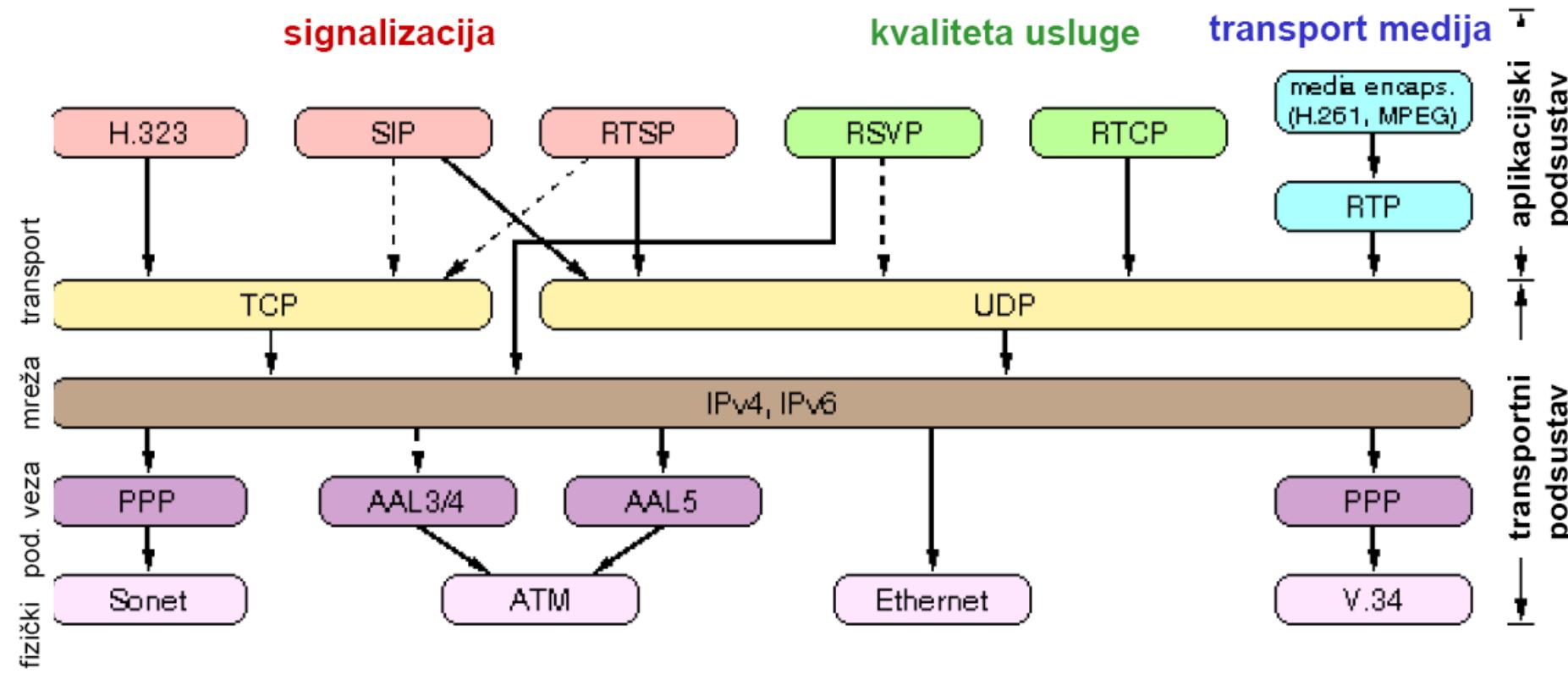
Signalizacija u mreži s komutacijom paketa

- Internetska mreža IP
- **Kako ostvariti “kvalitetan” telefonski poziv Internetom?**
 - internetsku telefoniju VoIP (Voice over IP, IP telefonija),
 - višemedijsku konferenciju...?
- **Primjenom signalacijskog protokola u Internetu (na aplikacijskom sloju)**
ili/i
- **Korištenjem/prijenosom postojećeg signalacijskog protokola Internetom (SIG over IP)**

Signalizacijski protokoli u Internetu

- **Signalizacijski protokoli u Internetu**
 - **SIP (Session Initiation Protocol)**
 - H.323
 - MGCP (Media Gateway Control Protocol)
 - TRIP ...
- **Prijenos signalizacijskog protokola Internetom**
 - **SIGTRAN**
 - Prijenos signalizacije SS7 mrežom IP (SS7 over IP)
 - BICC (Bearer Independent Control Call)
 - Prijenos signalizacije SS7 ISUP paketskom mrežom

Protokol SIP u protokolnom složaju



Oznake:

RTP – Real-time Transport Protocol
RTCP – RTP Control Protocol
RTSP – Real Time Streaming Protocol
RSVP – Resource Reservation Protocol

SDP – Session Description Protocol
TCP – Transmission Control Protocol
UDP – User Datagram Protocol
IP – Internet Protocol

PPP – Point-to-Point Protocol
ATM – Asynchronous Transfer Mode
AAL – ATM Adaptation Layer

Izvor: <http://www.cs.columbia.edu/~hgs/internet/>

Glavne značajke protokola SIP

- Protokol za uspostavu sjednice, SIP
- RFC 3261: Session Initiation Protocol
- Protokol aplikacijskog sloja koji služi za pokretanje, promjenu i raskid sjednice s jednim ili više sudionika
 - Pronalazi korisnika u mreži radi uključivanja u sjednicu
 - Razmjenjuje podatke/parametre o sjednici (pregovara o sjednici)
 - Upravlja sudionicima u sjednici – upućuje poziv korisniku za sudjelovanje u sjednici, raskida sjednicu s korisnikom
 - Mijenja parametre sjednice u toku sjednice

Uloga protokola SIP

- Osnovna ideja: omogućiti pozivanje korisnika u sjednicu putem jedinstvene adrese (**neovisno o trenutnom položaju**)

[sip:]<user>@(<host>|<domain>)

npr: kp-gj@zavod.tel.fer.hr

- Omogućava **osobnu pokretljivost** korisnika
- Primjeri sjednica
 - Pozivi u internetskoj telefoniji
 - Distribucija višemedijskog sadržaja
 - Višemedijska konferencija

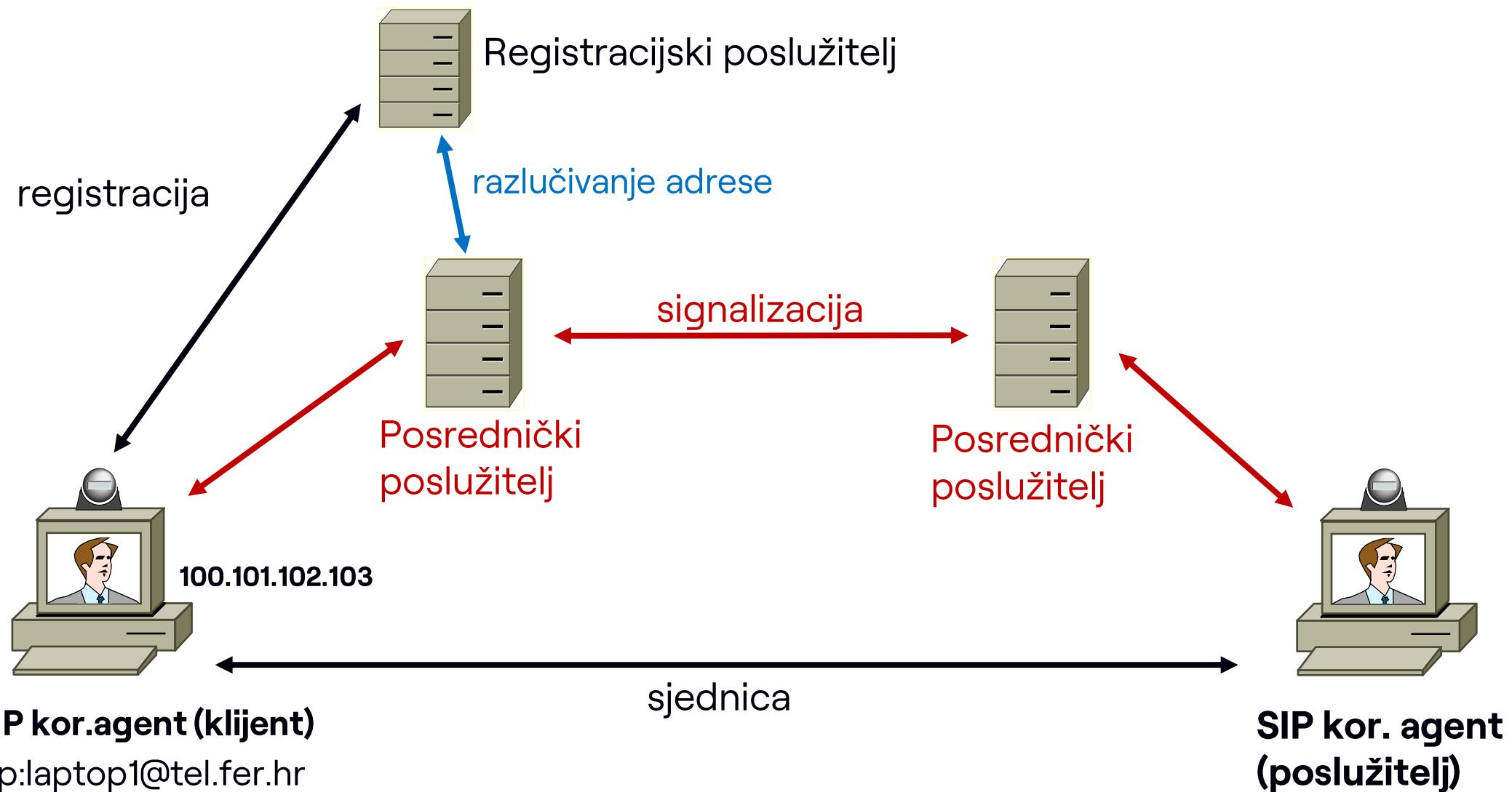
SIP arhitektura (1)

- SIP koristi posredničke poslužitelje (*proxy*) za preusmjeravanje poziva prema trenutnom položaju pozvane osobe
- Entiteti:
 - **Korisnički agent** (*user agent – UA*)
 - UA klijent, UA poslužitelj
 - **Posrednički poslužitelj**
 - SIP usmjeritelj
 - Prima SIP poruke od korisničkog agenta ili drugog posredničkog poslužitelja
 - Usmjerava ih i prosljeđuje odredištu

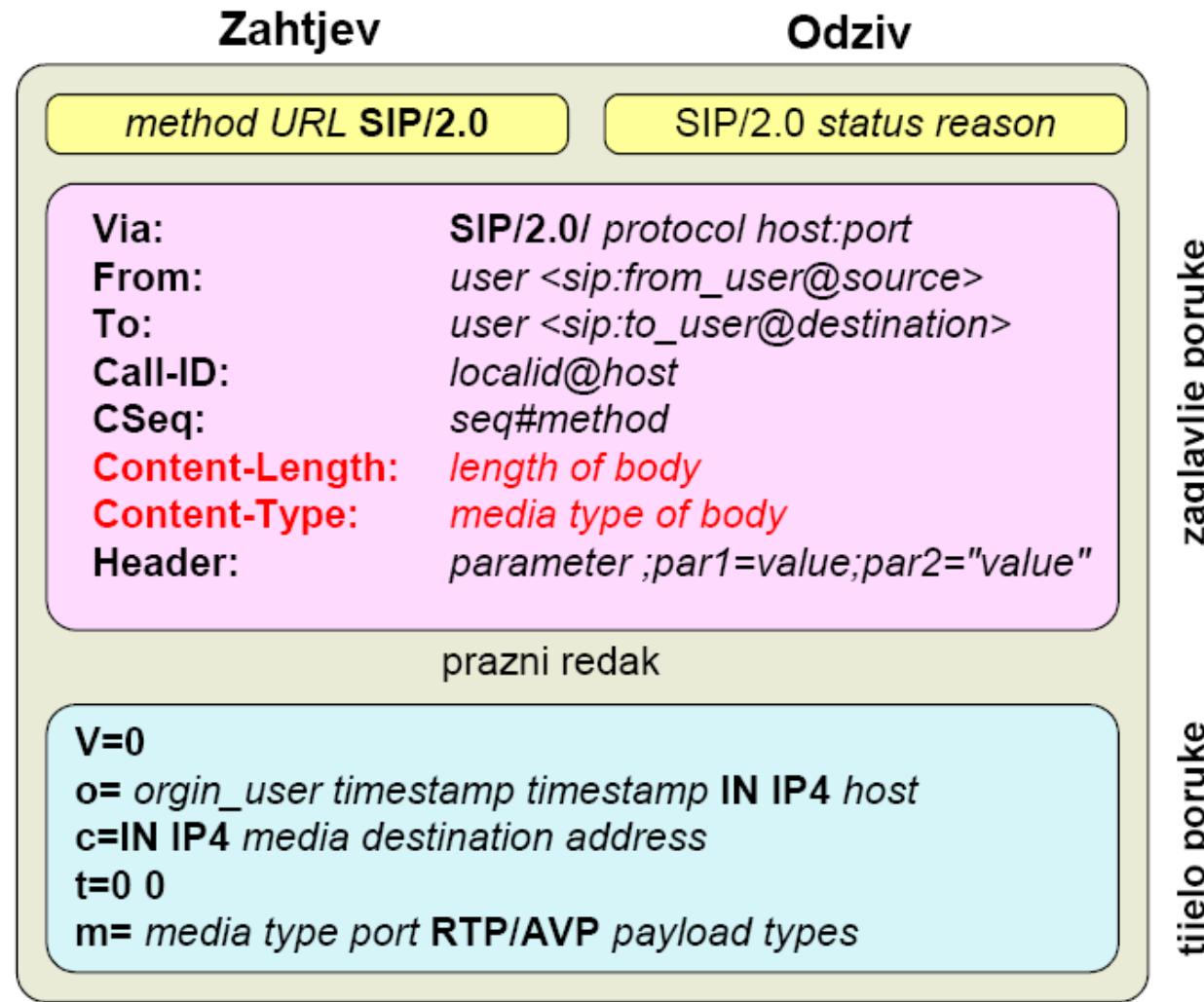
SIP arhitektura (2)

- **Poslužitelj za preusmjeravanje** (*redirect server*)
 - Prihvata zahtjeve za uspostavom sjednice
 - Ne prosljeđuje zahtjeve nego samo vraća adresu odgovarajućeg poslužitelja
- **Registracijski poslužitelj** (*registrar*)
 - Registrira korisnike unutar domene
 - Prihvata zahtjeve za registracijom
 - Održava podatke o korisnicima i njihovim trenutnim lokacijama unutar domene
- Lokacijski poslužitelj

SIP arhitektura (3)



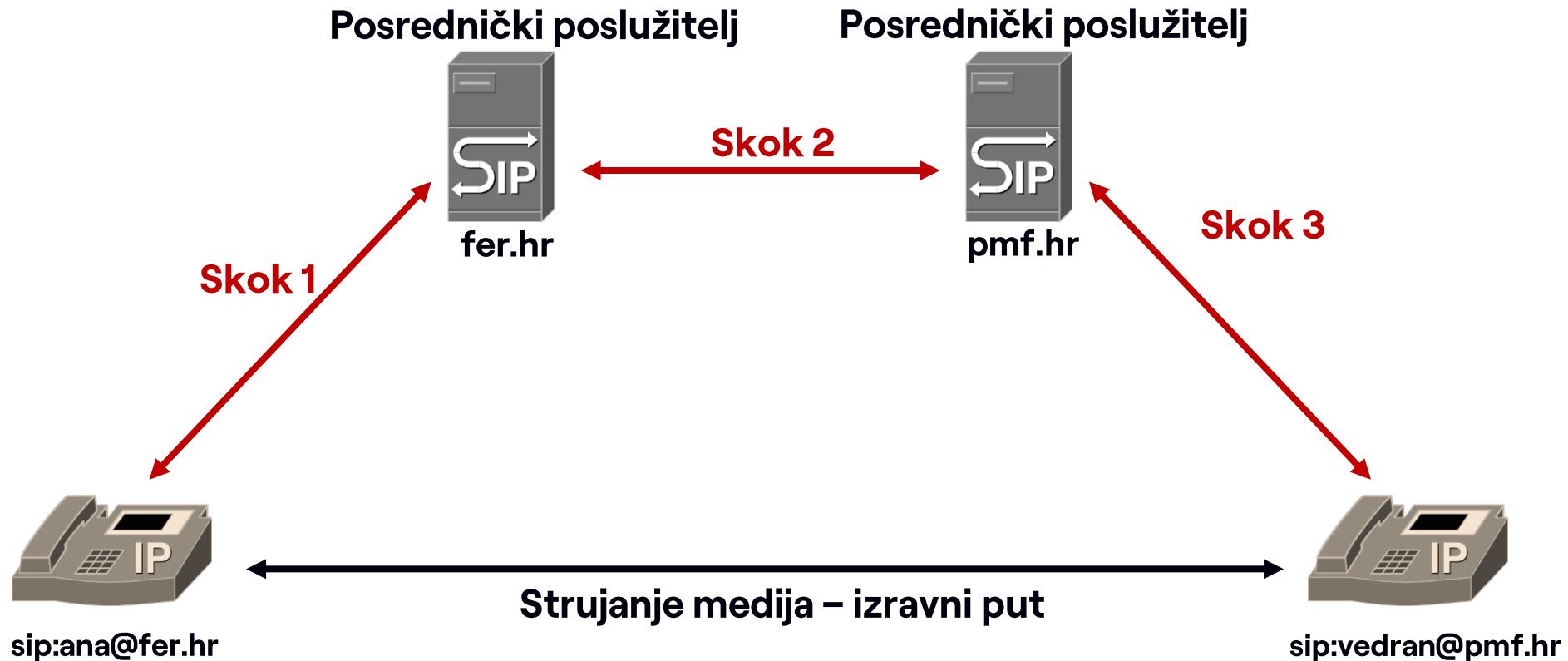
Format poruke



Uspostava sjednice

- Izravno
- Preko posredničkog(ih) poslužitelja

↔ upravljanje sjednicom (TCP/UDP)
↔ medij/podaci (RTP preko UDP)



Prijenos signalizacije mrežom IP

Protokoli:

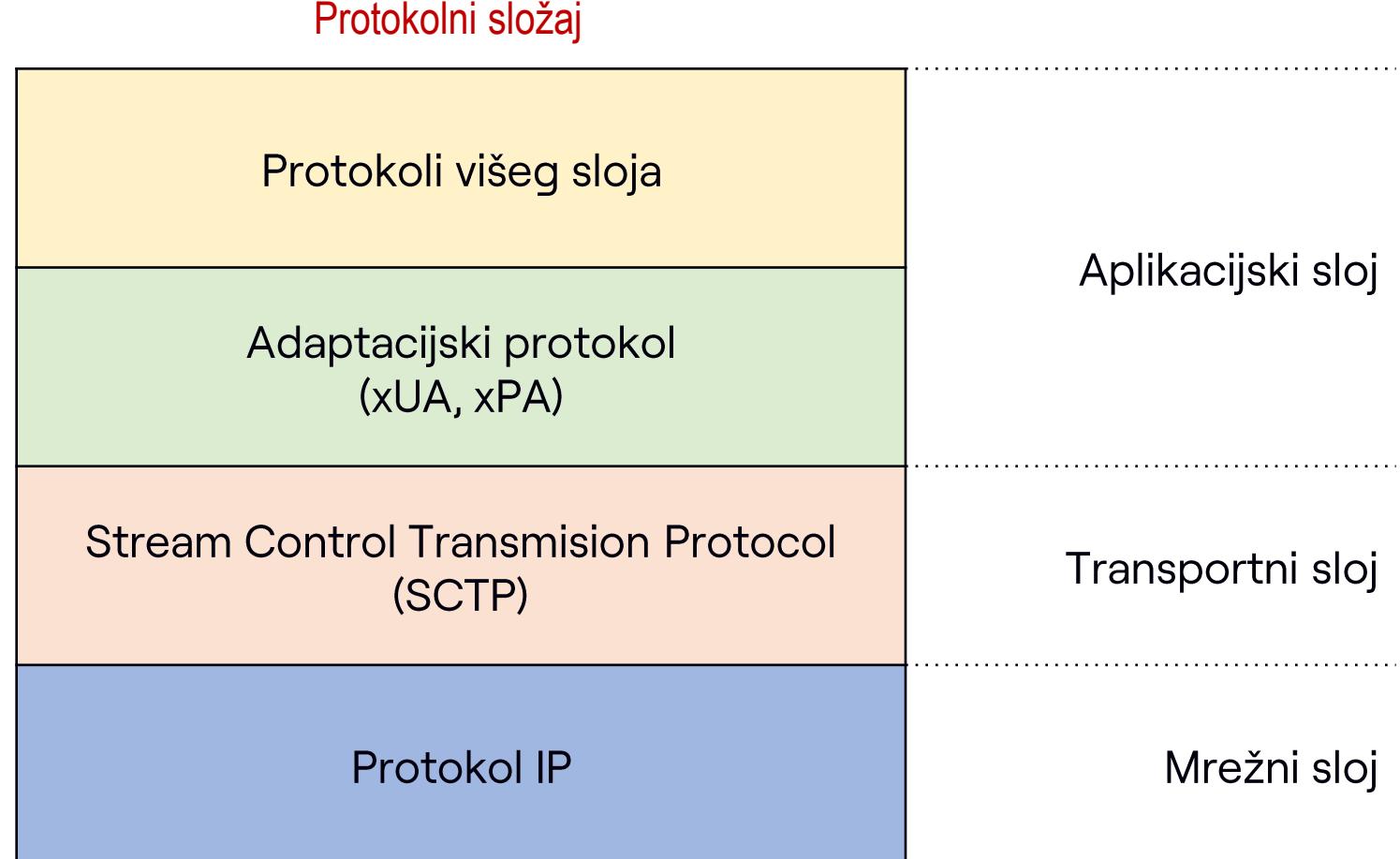
- SIGTRAN
 - SCTP (Stream Control Transmission Protocol)
 - MGCP (Media Gateway Control Protocol)
 - BICC (Bearer Independent Control Protocol)
 - IAX (Inter-Asterisk eXchange Protocol)
 - TRIP (Telephone Routing over IP)

SIGTRAN

Signaling Transport , SIGTRAN

- Skup protokola koji omogućavaju prijenos signalizacije SS7 preko mreže IP
- IETF, RFC 2719, arhitektura
- Tri komponente
 - Protokol za adaptaciju
 - Podržava specifične SS7 protokole
 - M2UA, M2PA, M3PA, SUA, IUA
 - Stream Control Transmission Protocol (SCTP)
 - Podržava skup pouzdanih prijenosnih funkcija za prijenos signalizacije
 - Internetski protokol IP

SIGTRAN protokolni složaj



Protokol SCTP

Stream Control Transmission Protocol, SCTP

- Internetski protokol transportnog sloja, sličan protokolu TCP
 - RFC 4960, STD-1
- spojno-orientirani pouzdani protokol
 - pruža spojnu uslugu transporta struje okteta povrh nespojnog IP-a
 - uspostavlja logičku vezu između procesa na krajnjim računalima
 - osigurava pouzdan transport s kraja na kraj pomoću mehanizama potvrde i retransmisije, uz očuvani redoslijed struje okteta i upravljanje transportnom vezom, kontrola zagušenja
- **Poboljšanja u odnosu na TCP**
 - Podržava veliki broj sjednica (engl. *high fun-out*)
 - Brzo otkrivanje pogrešaka uz kontrolu zagušenja

Konverzija protokola SS7/IP

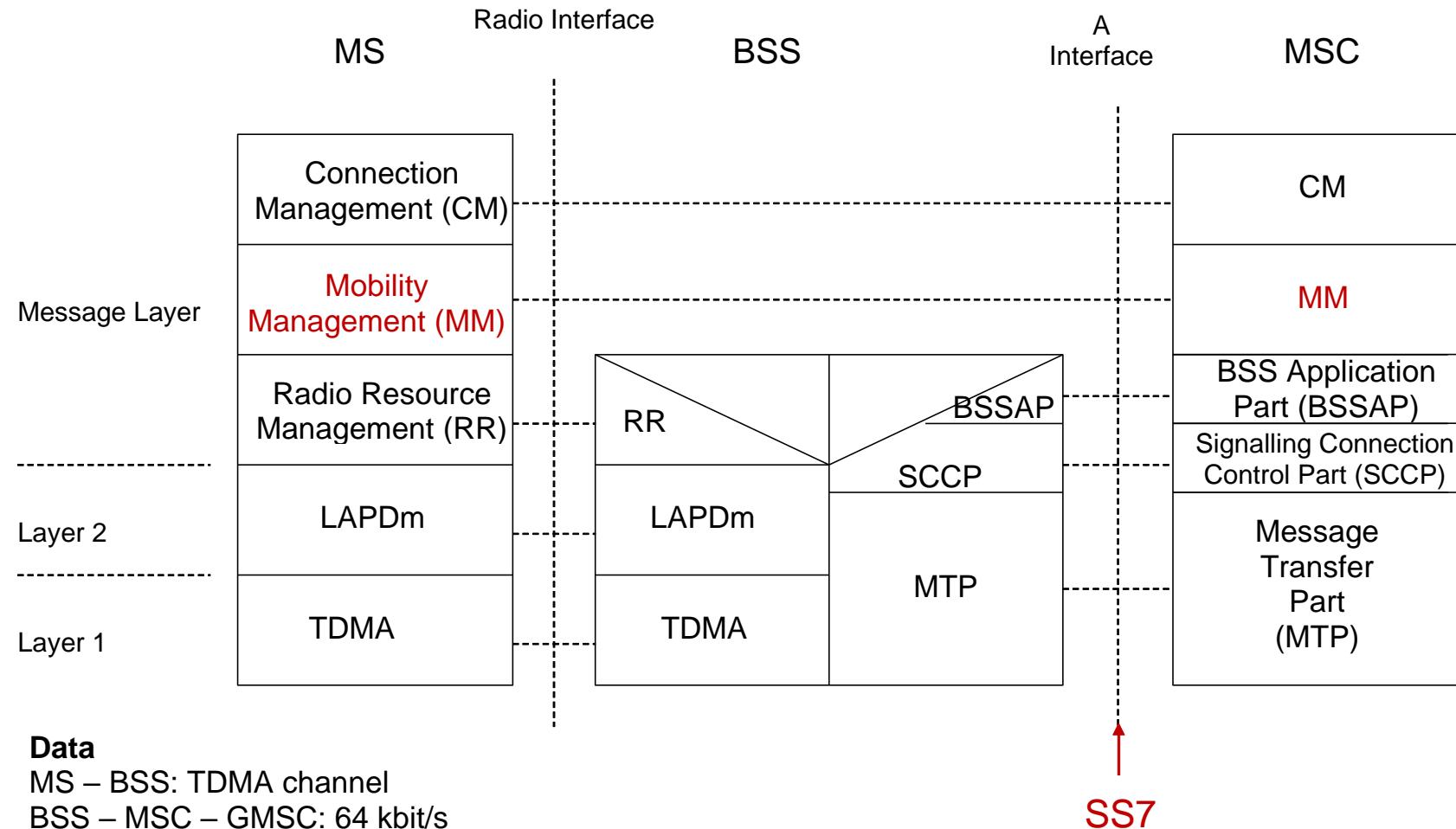
Signaling Gateway, SGW

- Omogućuje prijenos signalizacije SS7 kroz mrežu IP odnosno vrši konverziju protokola na transportnom sloju za prijenos signalizacije (u oba smjera) između SS7 i mreže IP

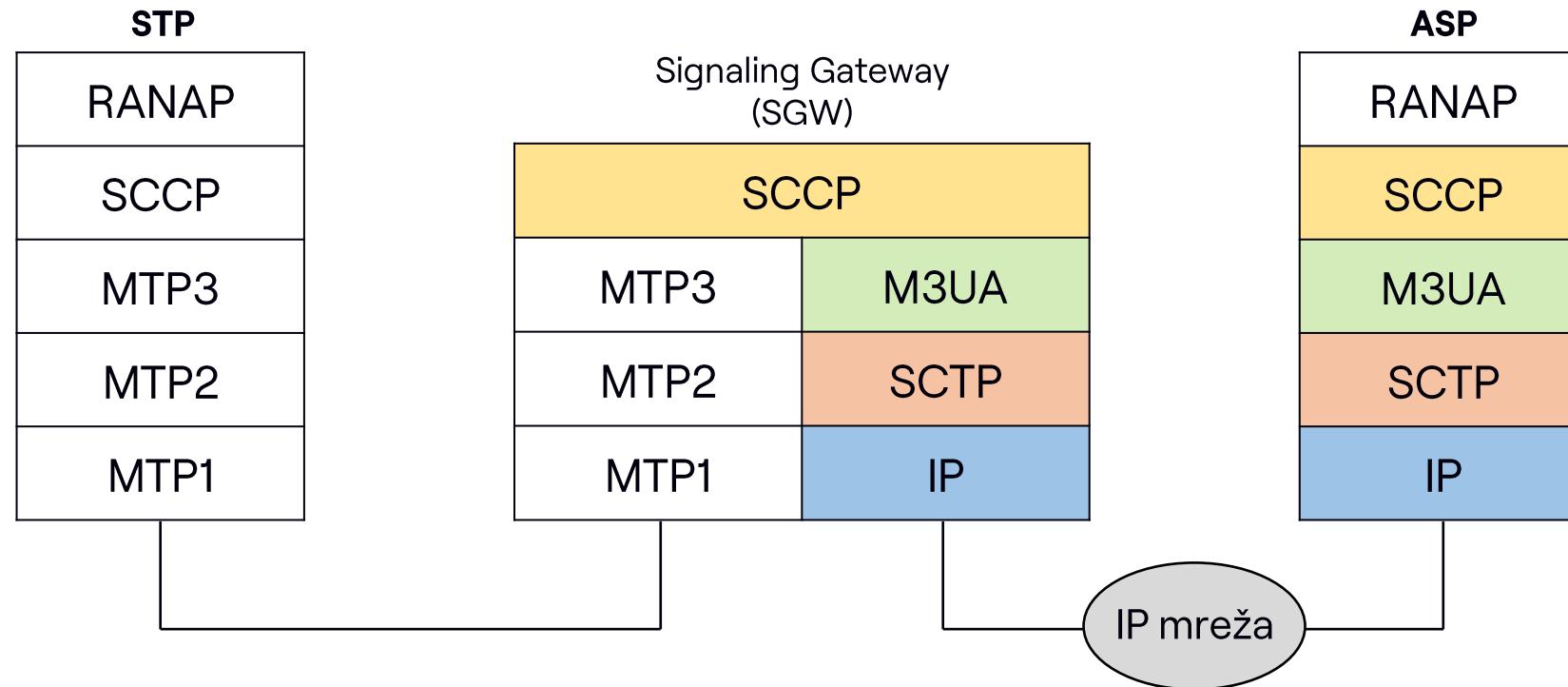


SGW - Signaling Gateway

Primjer: prijenos protokola GSM mrežom IP



Primjer: prijenos GSM protokola mrežom IP



STP – SS7 Signaling Transfer Point (npr. MSC)

ASP – Application Server Process – MGC, IP SCP ili IP HLR

Protokol MGCP

Media Gateway Control Protocol, MGCP

- Tri naziva i standarda:
 - Media Gateway Control Protocol, MGCP – RFC 3435
 - MEGACO – Media Gateway Control Protocol (IETF) – RFC 3235
 - H.248 (ITU-T)
- Signalizacijski protokol za upravljanje čvorovima za prijenos podataka (Media Gateway, MGW) u paketskim mrežama (IP) i mrežama s komutacijom kanala (PSTN)
- Upravljanje PSTN pozivima preko mreže IP (PSTN over IP)
- Koristi protokol RTP/RTCP te protokol UDP na transportnom sloju

Protokoli BICC i IAX

Bearer Independent Control Protocol, BICC

- Proširenje signalizacije SS7 ISUP za uspostavu poziva u paketskim mrežama

Inter-Asterisk eXchange Protocol, IAX

- Signalizacijski protokol za uspostavljanje, održavanje i raskidanje višemedijskih sjednica te strujanje medija putem internetske mreže (RFC 4546)
 - Prvenstveno služi za upravljanje i prijenosom podataka kod telefonskih poziva mrežom IP (VoIP)
 - Koristi protokol UDP na transportnom sloju, vrata 4569, ne koristi protokol RTP za prijenos podataka

Četvrta generacija pokretnih mreža

Long Term Evolution (LTE)
Evoluirana paketska jezgrena mreža

Četvrta generacija pokretnih mreža (4G)

Long Term Evolution, LTE

- 3GPP Release 8 (2008. g.)
- Velike brzine prijenosa: od 100 do 300 Mbit/s
- Potpuna IP arhitektura
- Smanjenje vremena čekanja (kašnjenja)
- Bolja iskoristivost i učinkovitost frekvencijskog spektra
- Smanjenje potrošnje u terminalima
- Pojednostavljena arhitektura
- FDD i TDD, WCDMA
- OFDMA

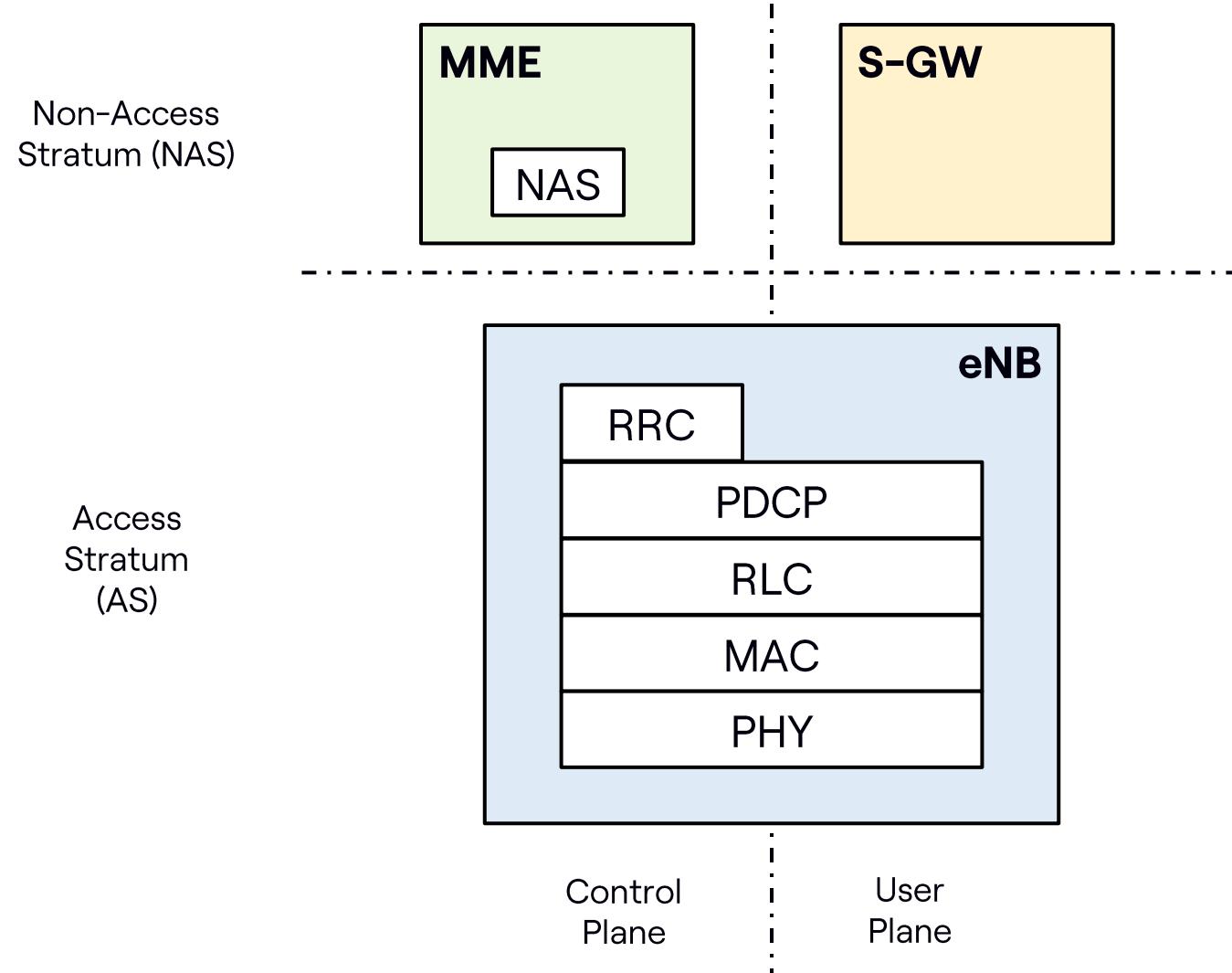
E-UTRAN

- Uključuje samo čvorove eNodeB (eNB)
 - Upravljanje čelijama
 - Upravljanje pokretljivošću, prekapčanje
 - Šifiranje
 - Upravljanje dijeljenim kanalom (protokol MAC)
 - segmentiranje i spajanje (protokol RLC)
 - Retransmisija (protokol HARQ)
 - Raspoređivanje korisnika za kanal (uz podršku QoS)
 - OFDM modulacija, kodiranje
 - Upravljanje radijskim resursima (protokol RRM)
 - Nadzor radijske mreže

Zračno sučelje

- OFDM (engl. *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) – višestruki pristup ortogonalnim multipleksiranjem u frekvencijskoj podjeli za silaznu vezu
- SC-FDMA (engl. *Single Carrier Frequency Division Multiple Access*) – višestruki pristup u frekvencijskoj podjeli na jednom nosiocu za uzlaznu vezu
- MIMO (engl. *Multiple Input Multiple Output*) - velike brzine prijenosa pomoću višeantenskih rješenja koje podržavaju višestruki ulaz – višestruki izlaz
- Prikladnost za neusmjereni ili grupno razašiljanje
- Modulacije: QPSK, 16QAM i 64QAM

Protokoli korisničke i upravljačke ravnine



Ne-pristupni stratum

Non-Access Stratum (NAS)

- Upravljanje sjednicom/vezom između terminala UE i jezgrene mreže
- Registracija
- Autentifikacija
- Upravljanje lokacijskom informacijom
- Aktivacija/deaktivacija radijskog nosioca

Upravljanje radijskim resursima

Radio Resource Control (RRC)

- Uspostava, održavanje i raskidanje radijske veze
- Sigurnost
- Pokretljivost
- Upravljanje kvalitetom usluge (QoS)
- Izvještavanje o mjeranjima na radijskom sučelju (UE)
- Prijenos podataka između UE i NAS
- Informacije o razašiljanje

Protokol PDCP

Packet Data Convergence Protocol (PDCP)

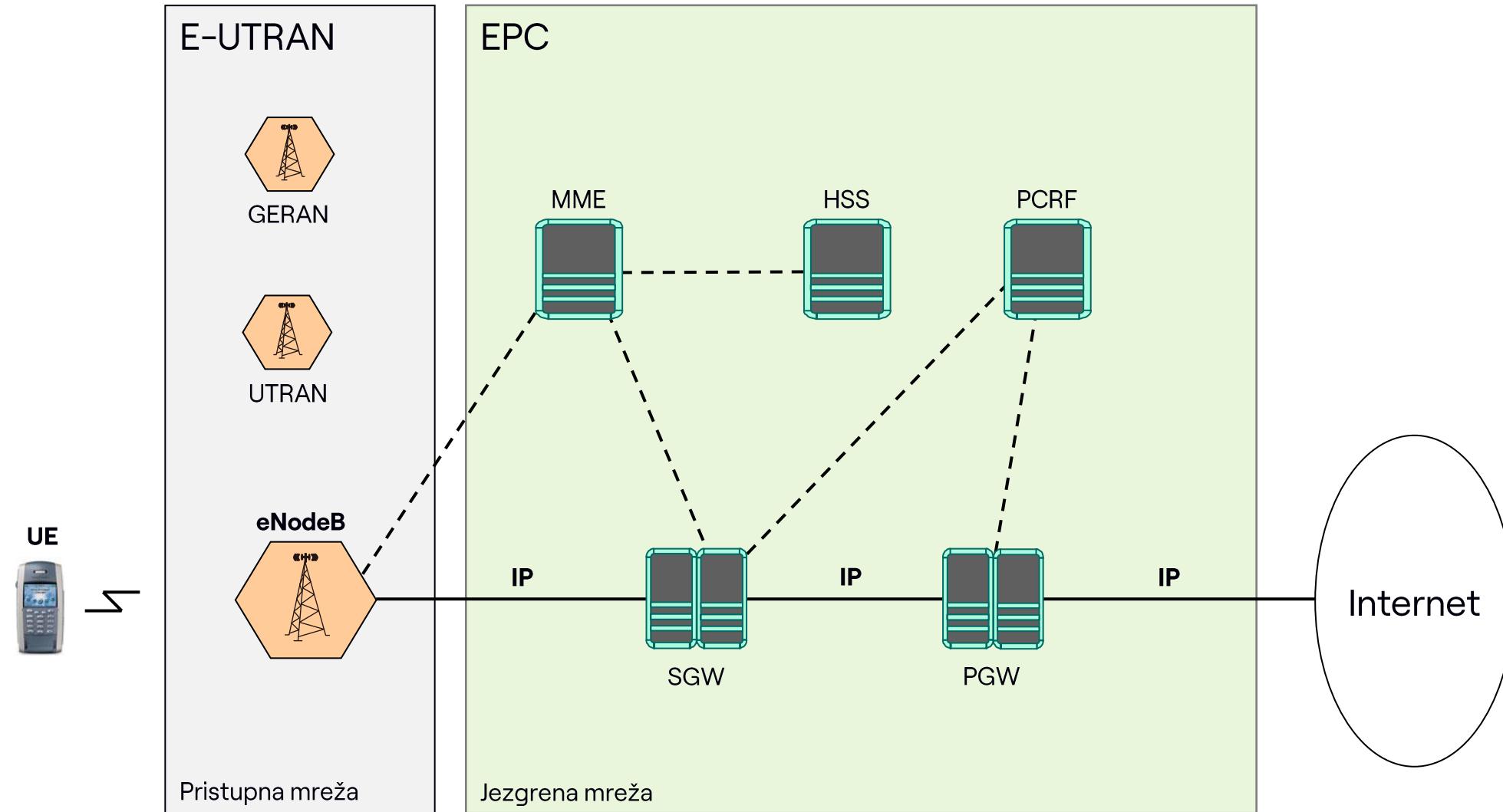
- Kompresija
- Šifriranje
- Kontrola toka PDCP-paketa
 - Retransmisija
 - Potvrda
 - Detekcija duplih PDCP-paketa

Kontrola radijske veze

Radio Link Control (RLC)

- Ispravljanje pogrešaka metodom ARQ
- Dijeljenje podataka na veličinu radijskih transportnih blokova i spajanje segmenata u slučaju potrebe za retransmisijom
- Upravljanje pristupom, MAC (Medium Access) Control
 - Multipleksiranje/demultipleksiranje RLC blokova
 - Ispavljanje pogrešaka metodom HARQ (Hybrid ARQ)

Arhitektura EPS



Jezgrena mreža EPC-SAE

Evolved Packet Core, EPC System Architecture Evolution, SAE

- Podržava pristupnu mrežu E-UTRAN uz smanjenje broja mrežnih elemenata
- Pojednostavljenje funkcionalnosti
- Smanjenje kašnjenja
- Mogućnost povezivanja i prekapčanja (engl. *handover*) s fiksnim i ostalim bežičnim pristupnim tehnologijama.
- LTE i SAE zajedno čine evoluirani paketski sustav (engl. *Evolved Packet System, EPS*) koji predstavlja četvrtu generaciju pokretnih mreža (4G) i u potpunosti se temelji na protokolu IP.

Upravljački čvor

Entitet upravljanja pokretljivošću (engl. *Mobility Management Entity*, MME)

- Temeljni čvor jezgrene mreže
- Brine o signalacijskim porukama koje se izmjenjuju između UE i čvorova jezgrene mreže
- Nadležan je za velik broj čvorova eNodeB pristupnog dijela mreže
- Osnovne funkcionalnosti: sigurnost, autentifikacija, prekapčanje poziva, dodjela mrežnih resursa, upravljanje pristupom, sjednicom i vezom te upravljanje lokacijom terminala u mirovanju.

Čvorovi prilaza

- **Uslužni prilazni čvor** (engl. *Serving Gateway*, S-GW) i
- **Paketski mrežni prilazni čvor** (engl. *Packet-Data Network Gateway*, PDN GW ili skraćeno P-GW).
- **Paketski mrežni prilazni čvor P-GW**
 - usmjerava podatke od jezgrenog dijela mreže prema ostalim paketskim mrežama,
 - predstavlja krajnju točku pokretne mreže te ostvaruje vezu s ostalim mrežama,
 - odgovoran za dodjelu IP-adrese korisničkim uređajima, naplatu te za pružanje usluga s određenom kvalitetom (QoS).

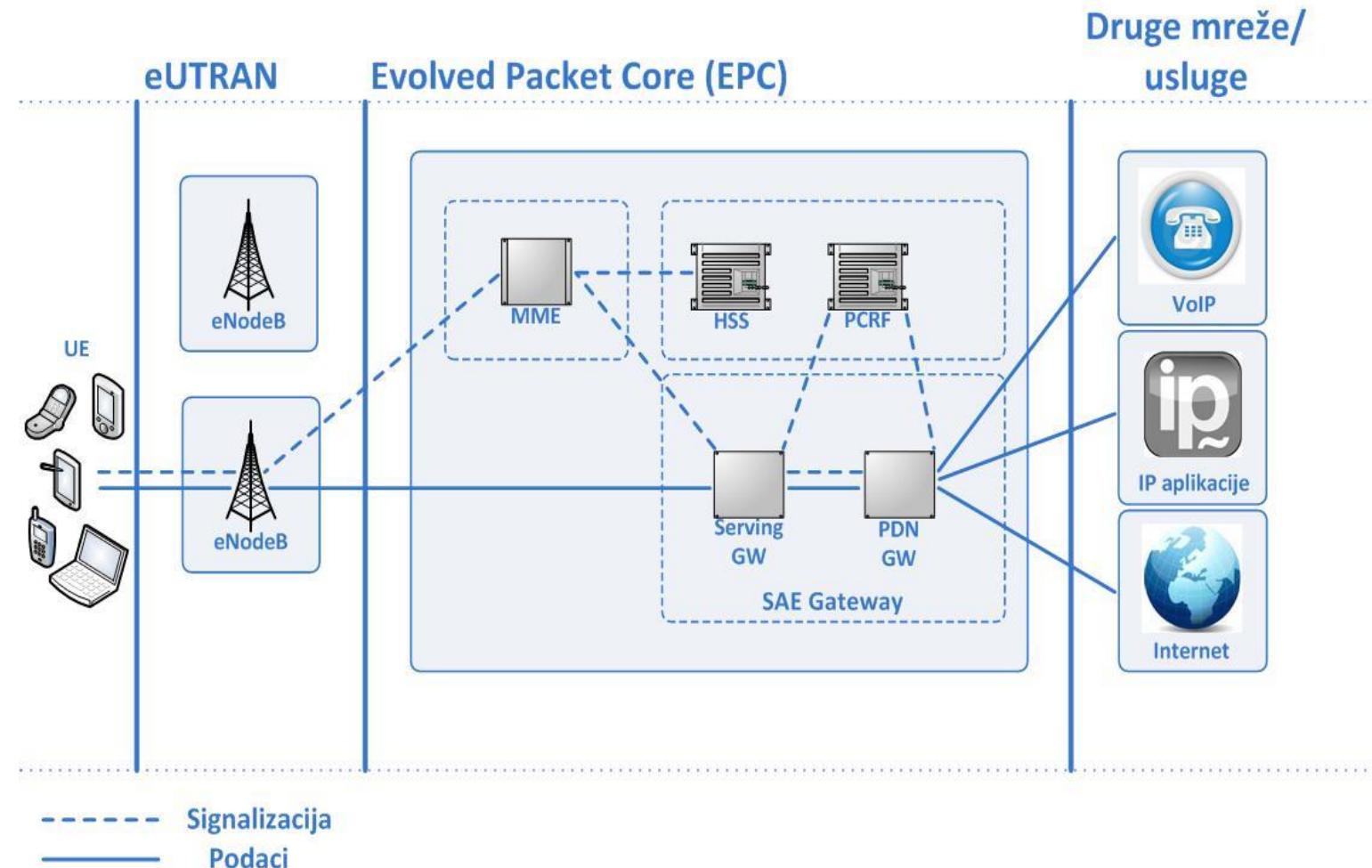
Uslužni prilaz

- **Uslužni prilazni čvor S-GW**
 - tunelira podatke prema P-GW
 - prati kretanje korisničkog terminala između čvorova eNodeB pristupne mreže
 - sadrži ostale funkcije za upravljanje pokretljivošću
 - brine o uspostavi veze s korisnicima drugih mreža kao što su GPRS i UMTS

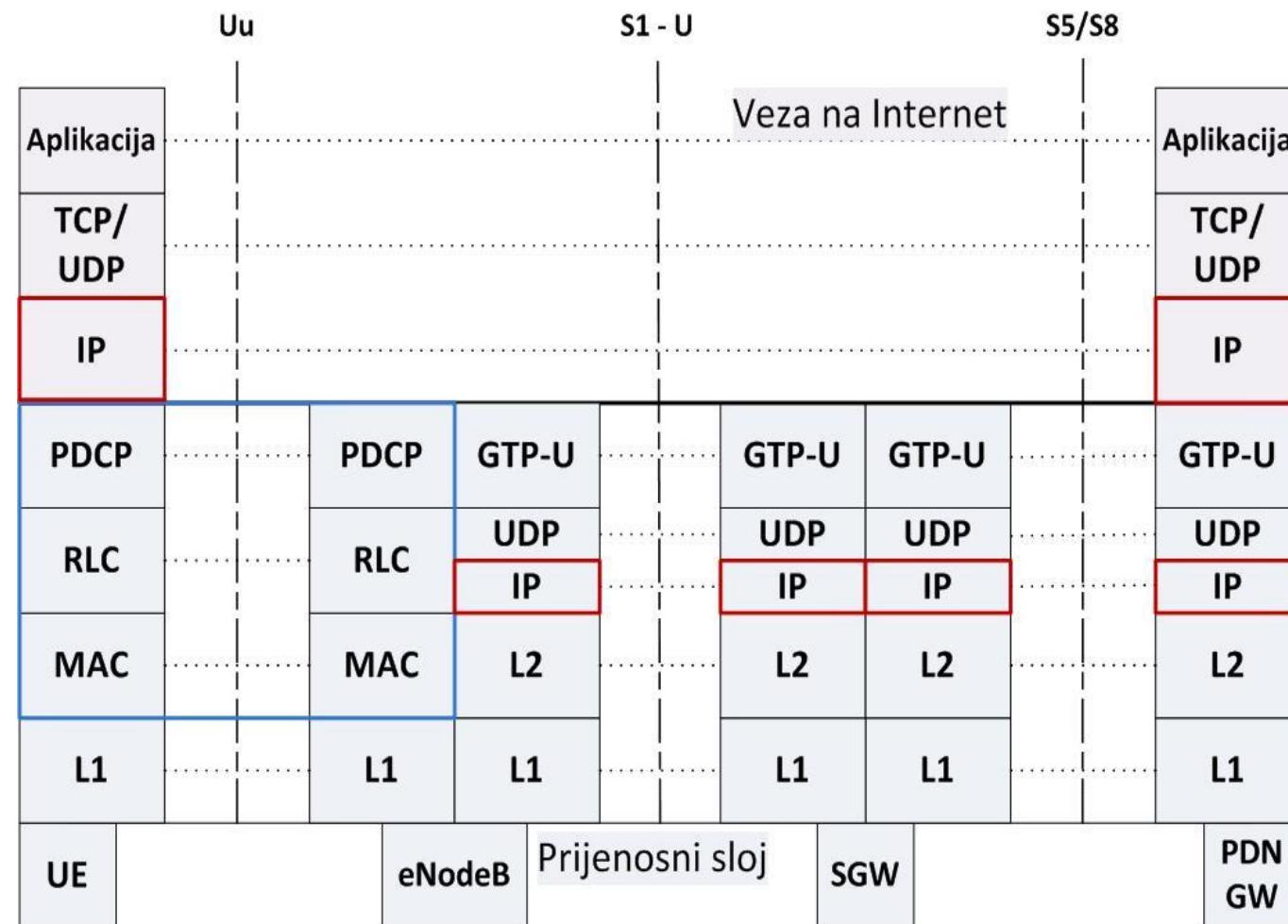
Ostali čvorovi jezgrene mreže

- **Poslužitelj domaćih pretplatnika** (HSS)
 - predstavlja bazu podataka koja sadrži podatke o pretplatnicima, njihovim profilima, uslugama, ograničenjima i ostalim parametrima bitnim za pružanje usluga
- **Čvor za upravljanje resursima i terećenjem** (engl. *Policy Control and Charging Rules Function*, PCRF)
 - terećenje, autorizacija, pružanje usluge s obzirom na pretplatnički profil, provođenje pravila operatora i sl.

Napredni LTE (LTE-A)



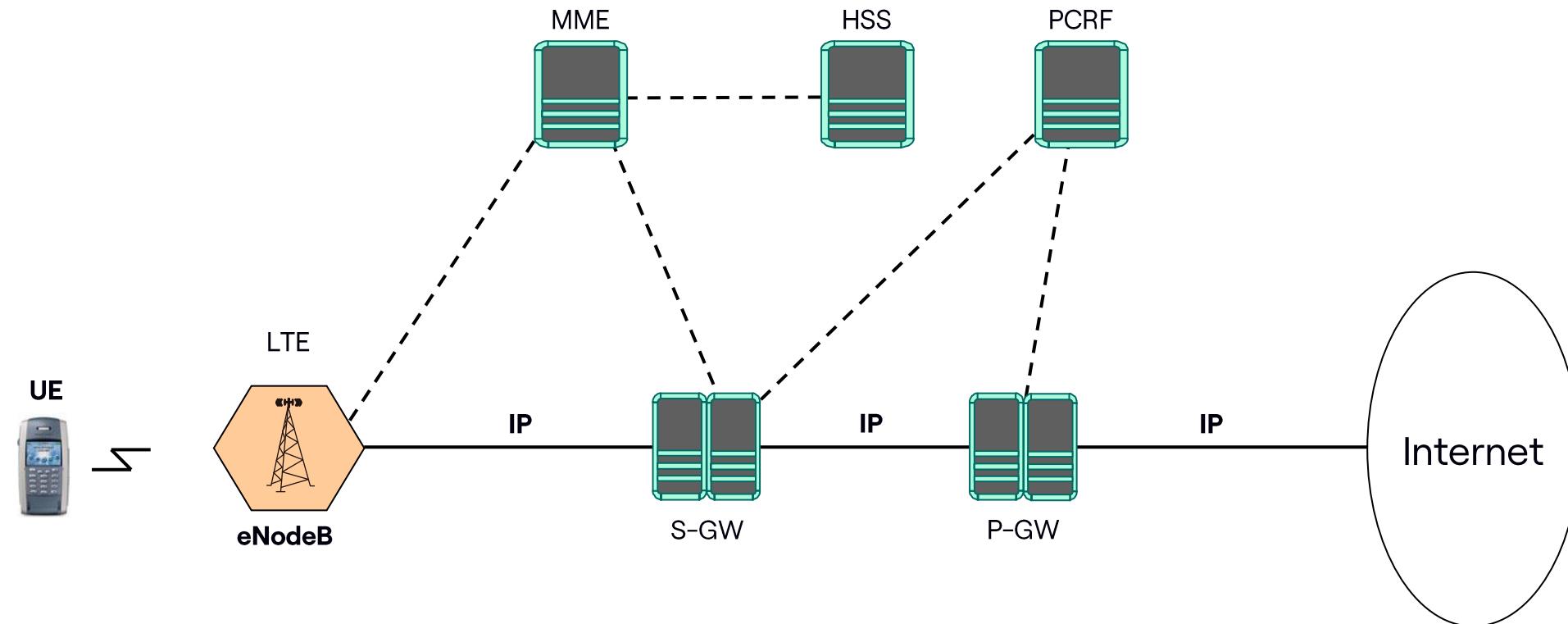
Korisnički protokolni složaj



Pristup Internetu putem LTE/SAE

- U osnovi isto kao i kod mreže UMTS
- Prilikom uključivanja UE u mrežu, čvor MME kreira UE-kontekst u kojem su zapisane karakteristike veze i mogućnosti korisničkog terminala dobivene na temelju korisničkog profila preuzetog iz HSS-a
- Kreiranjem konteksta, korisničkom terminalu je dodijeljena IP-adresa
- Uspostavom veze na relaciji UE i P-GW, omogućen je pristup Internetu za ostvarivanje pokretnih internetskih usluga

Pristup Internetu putem LTE/SAE (2)



Prijenos govora mrežom 4G

Voice over LTE (VoLTE)

- Prijenos govora putem pokretne mreže temeljenoj na IP protokolu - VoIP (Voice over IP)
- Arhitektura se temelji na **višemedijskom sustavu IP** (IMS – IP Multimedia Subsystem)
- **Problem:** veliki broj signalizacijskih poruka kod prijenosa govora

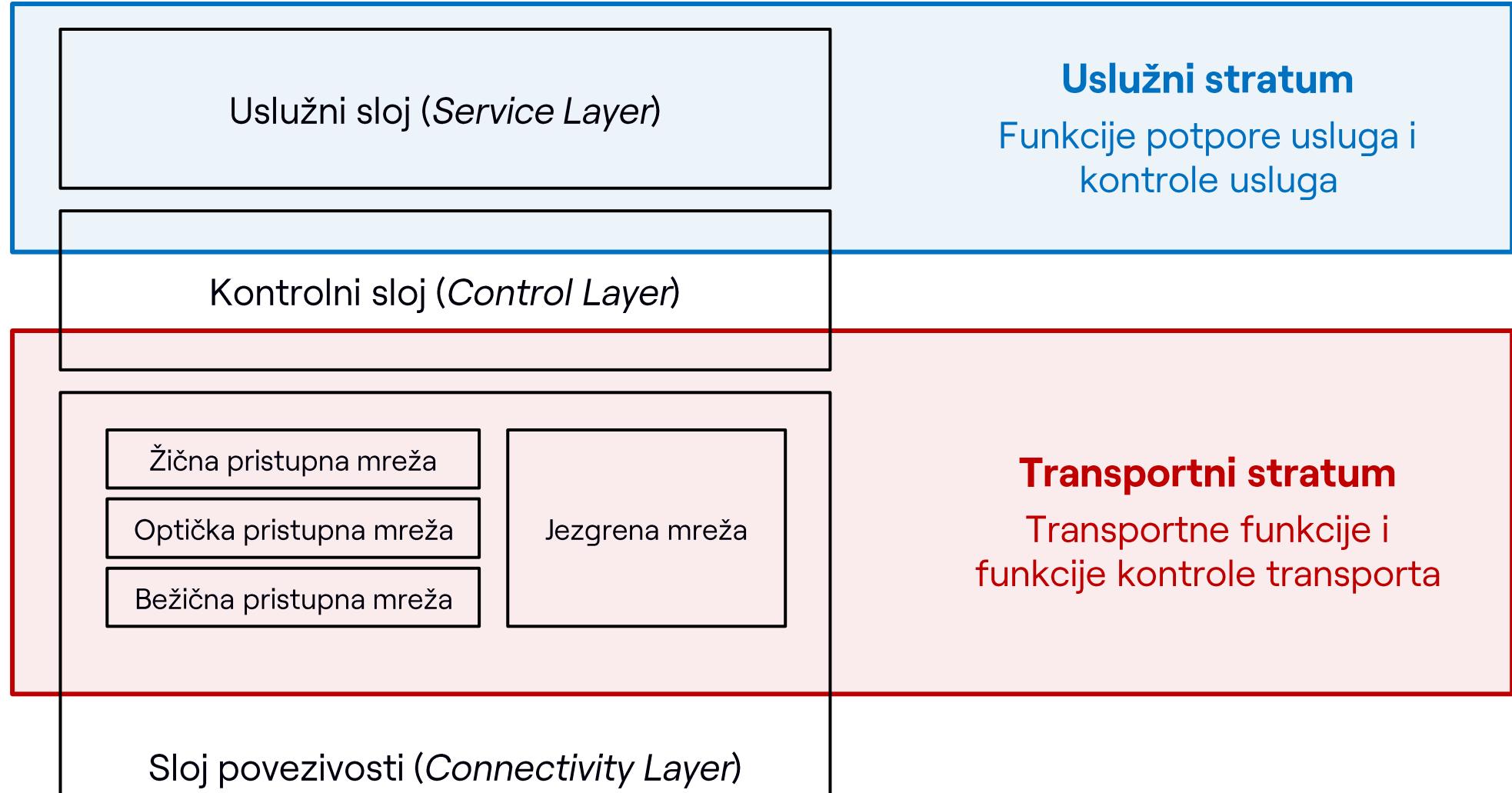
Mreža sljedeće generacije (NGN)

Mreža sljedeće generacije

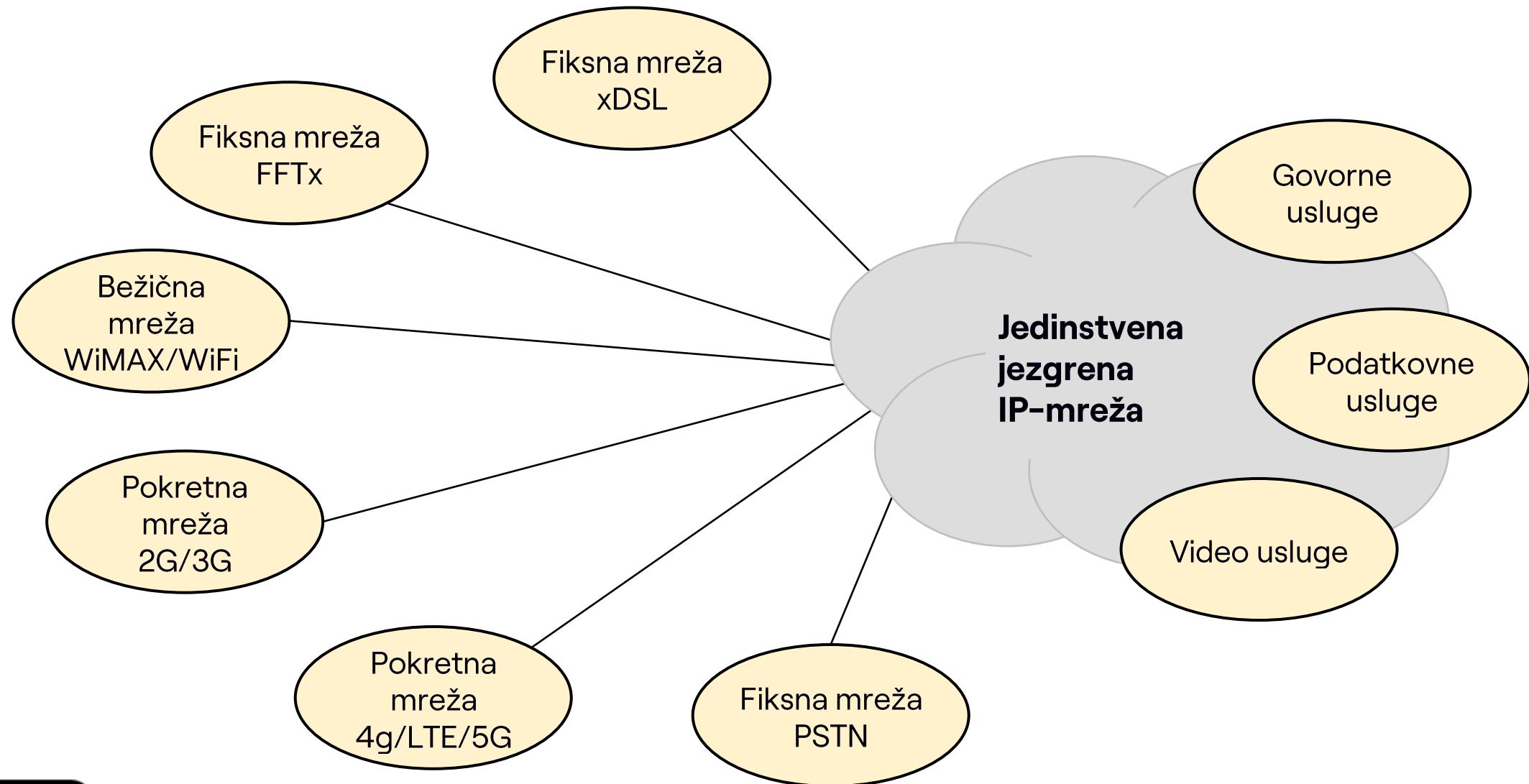
Next Generation Network, NGN

- Paketski zasnovana mreža koja omogućuje uporabu višestrukih širokopojasnih tehnologija s potporom za kvalitetom usluge u kojoj su uslužne funkcije neovisne o transportnim tehnologijama. → IP-mreža
- Omogućuje nesputani korisnički pristup mrežama i konkurentskeim davateljima usluga. → žična, bežična i optička pristupna mreža
- Podržava neograničenu pokretljivost koja omogućuje konzistentno i sveprisutno pružanje usluga. → stacionarno, nomadsko i pokretno komuniciranje

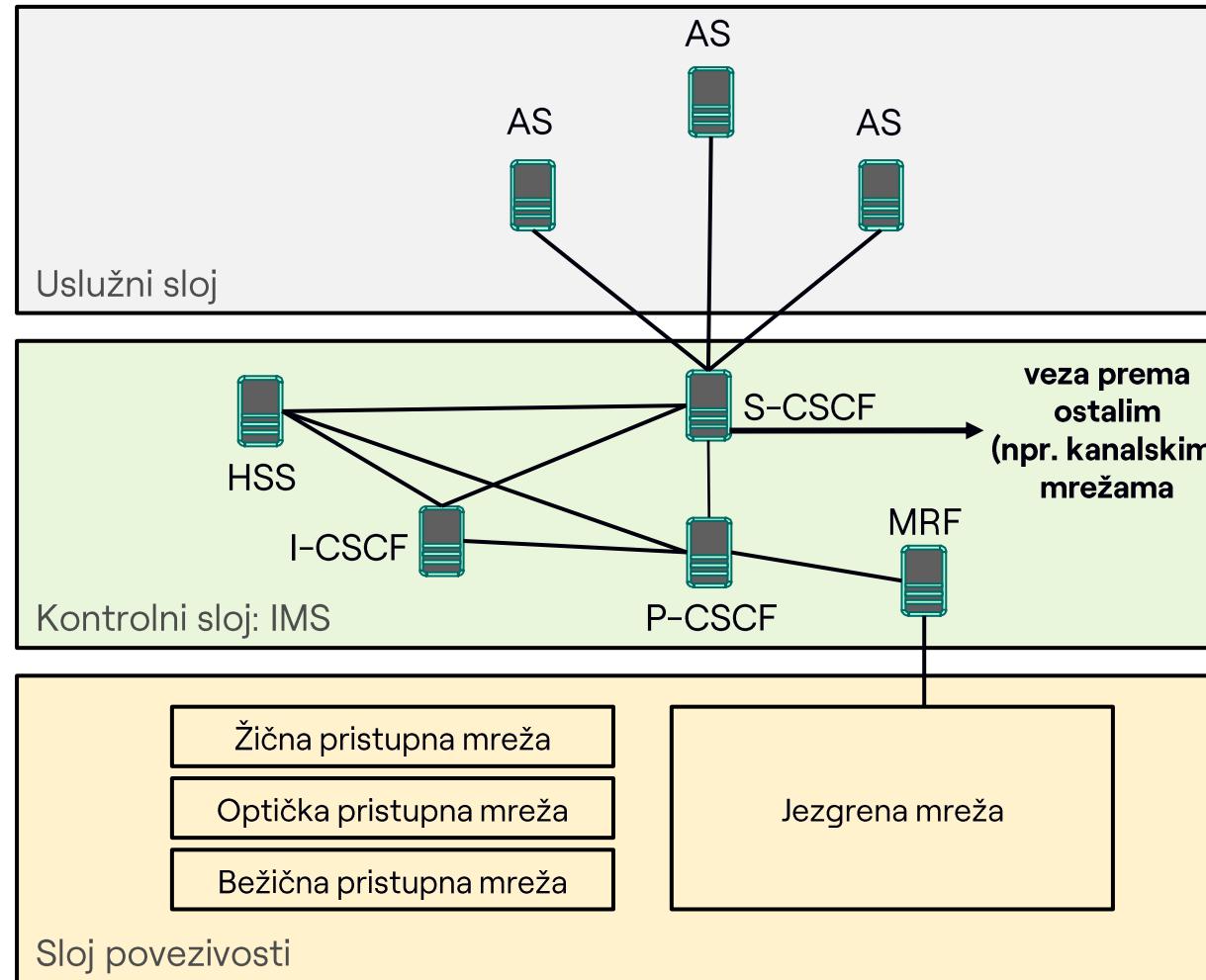
Arhitektura mreže NGN



Pristupni i jezgreni dio mreže NGN



Transformacija u NGN: uvođenje IMS-a

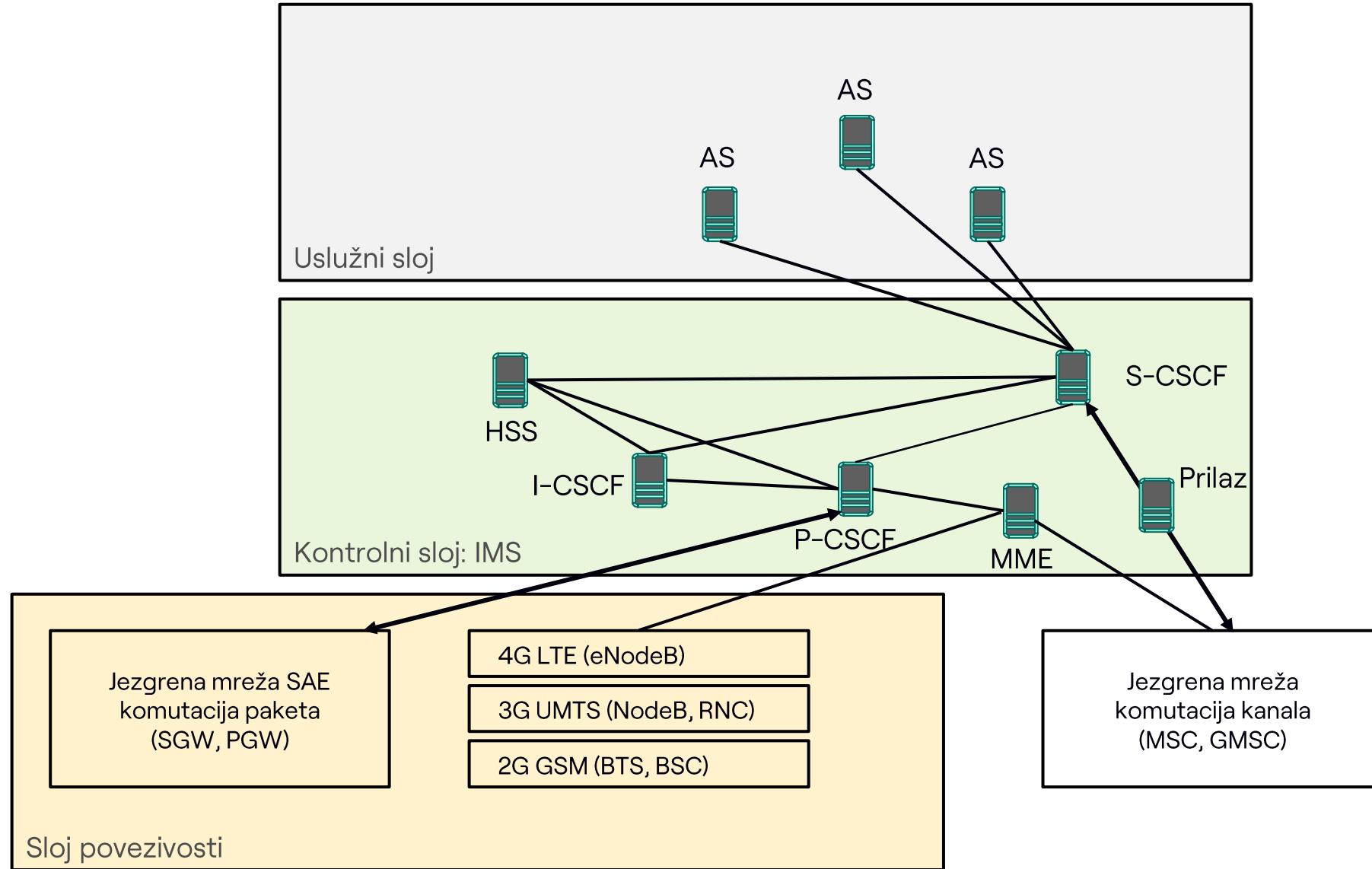


Otvorene platforme:
aplikacijski (SIP) poslužitelji

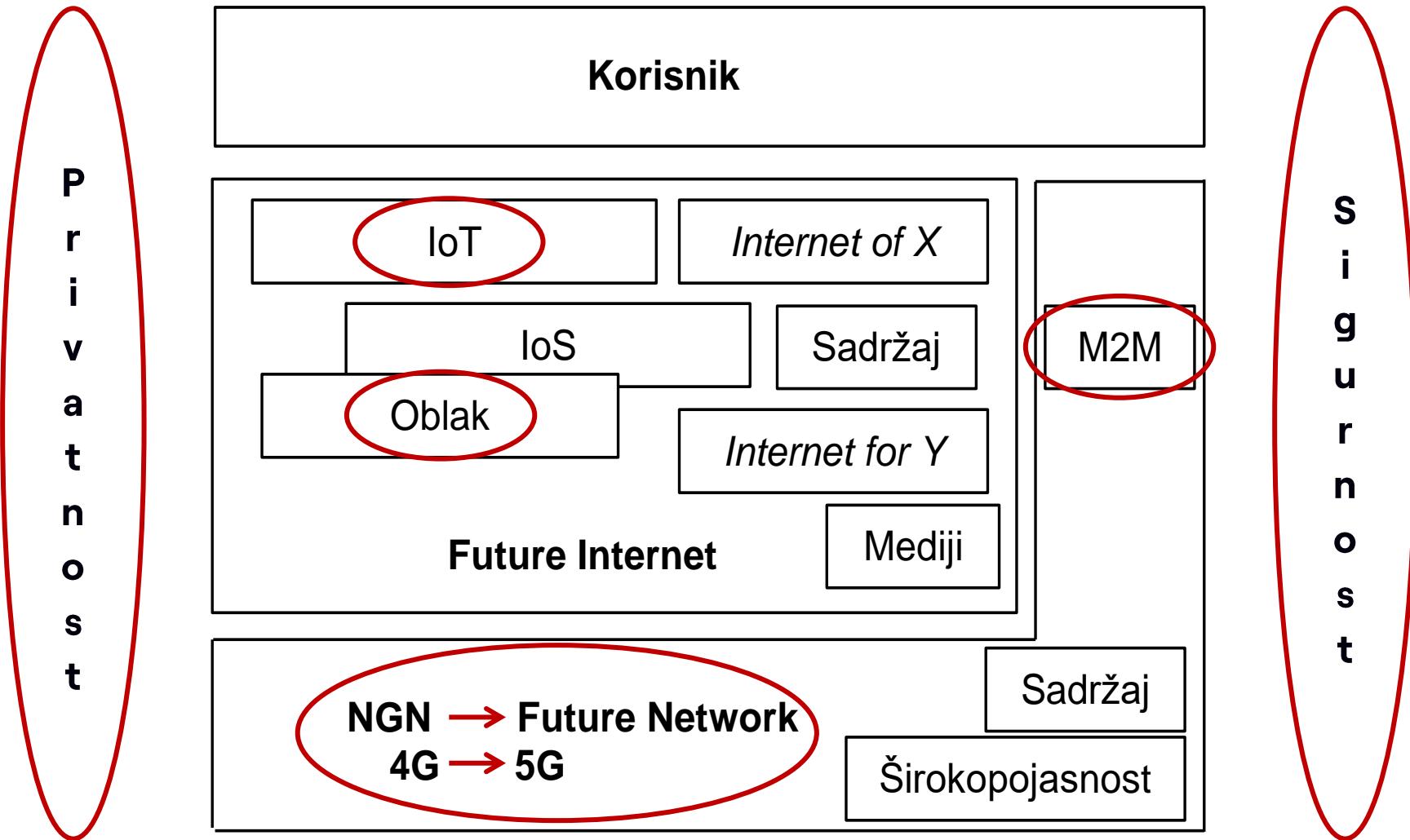
Upravljanje sjednicom:
protokol SIP

Jedinstvena mrežna
tehnologija: protokol IP

4G LTE/SAE - NGN



Razvoj mreže



Virtualni operator pokretne mreže

Virtualni operator pokretne mreže

Mobile Virtual Network Operator, MVNO

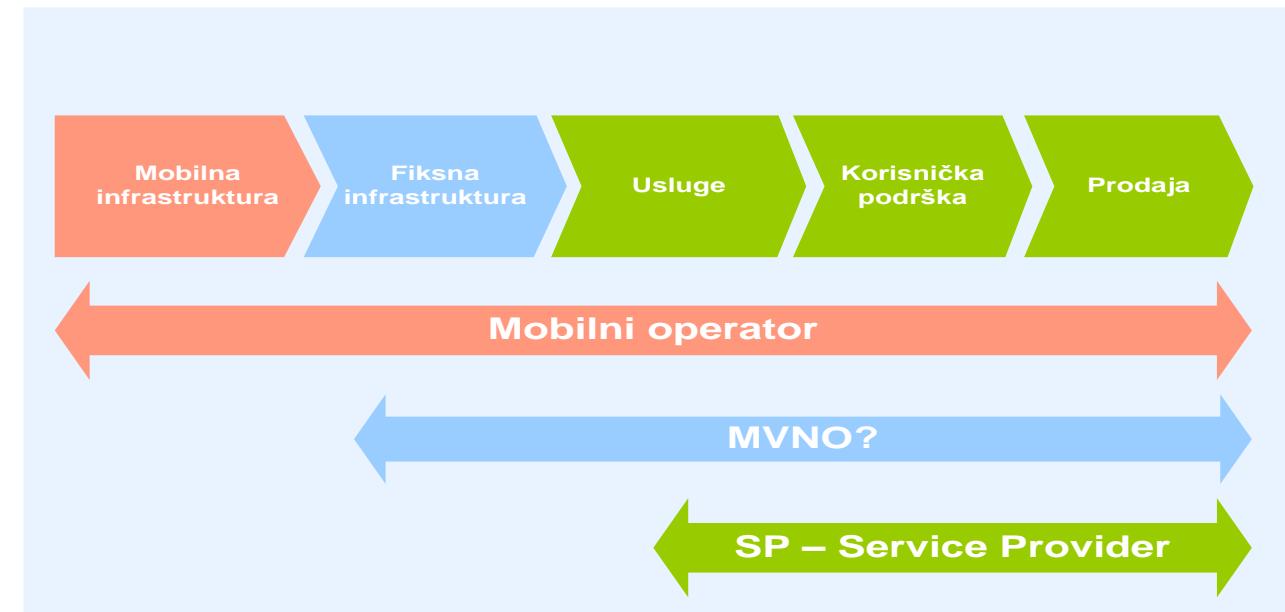
- Nudi pokretne usluge korisnicima
 - Ne posjeduje koncesiju frekvencijskog spektra
 - Ne posjeduje vlastitu infrastrukturu
 - Mrežnim operatorima koji posjeduju koncesiju plaća korištenje njihove pokretne mreže

Prednosti i nedostaci

- **Prednosti**
 - Minimalno ulaganje
 - Nema vlastitu infrastrukturu
 - Konkurentnost
- **Nedostaci**
 - Vezanost za mrežnog operatora

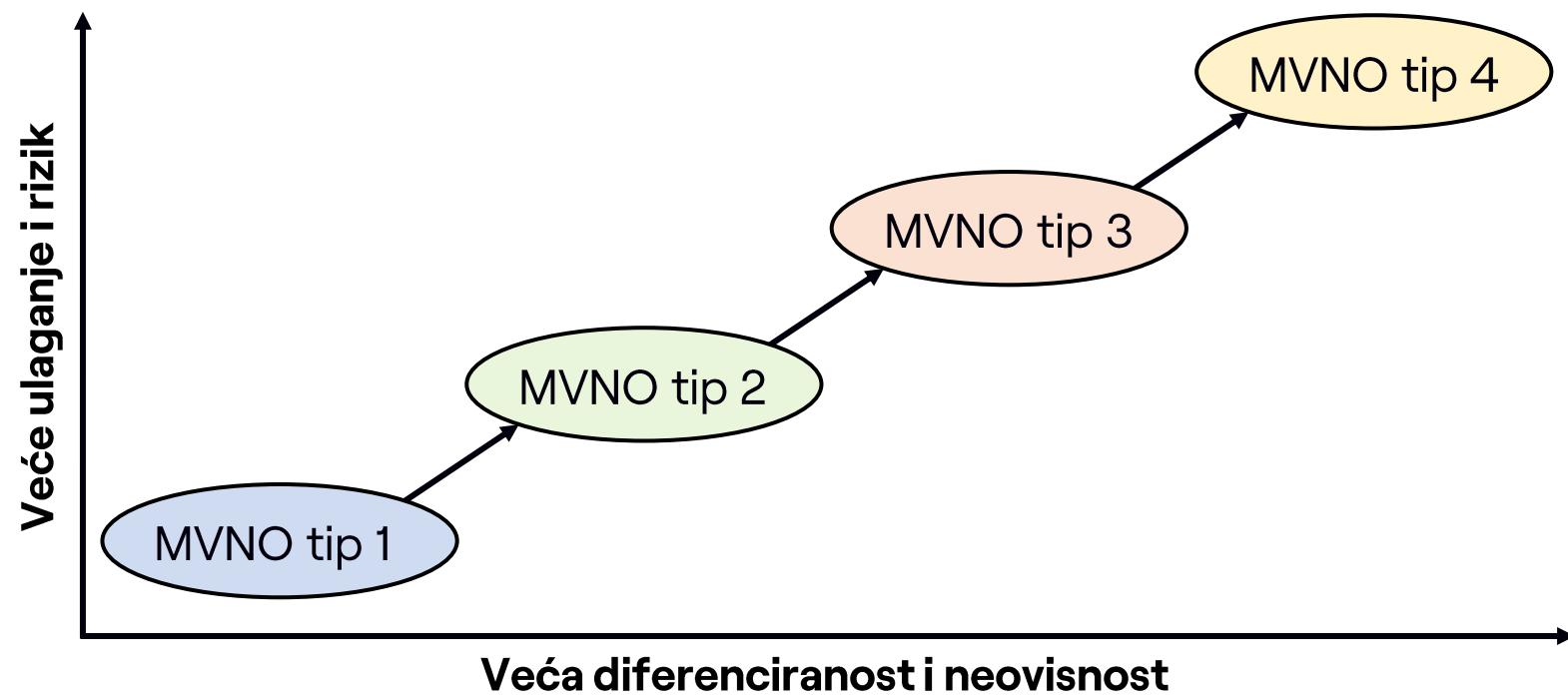
Odnos pokretnog operatora, MVNO-a, davatelja usluge

- Davatelj usluge (engl. *service provider*)
 - nudi određene usluge,
 - nema mrežnu infrastrukturu,
 - posjeduje potrebnu opremu (poslužitelje).



Ovisnost MVNO-a o pokretnom operatoru

- Kategorije MVNO-a
 - četiri tipa MVNO operatora (razine 1 – 4, prema rastućoj neovisnosti)
 - Veći trošak ulaganja – manja ovisnost



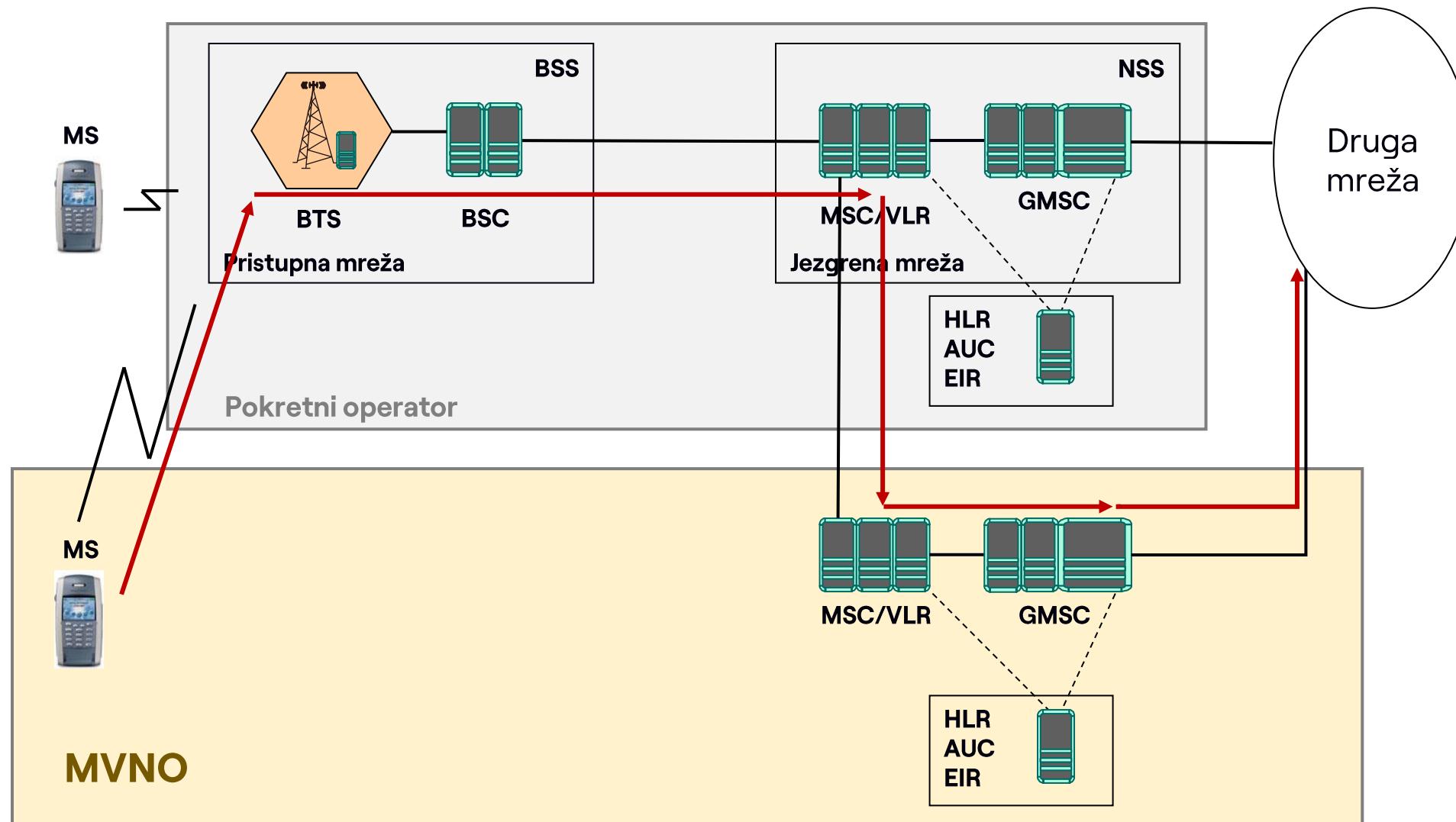
Tipovi MVNO (1)

- **MVNO tip 1**
 - U potpunosti preuzima mrežnu infrastrukturu od svog operatora
 - Pruža osnovne usluge
 - Nizak trošak ulaganja, mali rizik poslovanja
- **MVNO tip 2**
 - Posjeduje određene čvorove pokretne mreže (HLR, HSS)
 - Vlastite SIM kartice za korisnike
 - Nudi neke dodatne usluge

Tipovi MVNO (2)

- **MVNO tip 3**
 - Posjeduje djelomično vlastitu infrastrukturu (HLR, MSC, SGSN, SGW)
 - Nudi niz dodatnih naprednih usluga
 - Vlastita podrška za intelligentnu mrežu
 - Vlastite usluge
- **MVNO tip 4**
 - Posjeduje vlastitu infrastrukturu (HLR/HSS, MSC, GMSC, SGSN, GGSN, SGW, PGW)
 - Podržava vlastito usmjeravanje prometa (vlastiti GMSC/GGSN/PGW)

Prometni tokovi – pokr. operator i MVNO-a tip 4



Primjeri MVNO-a

- **Automobilska tvrtka**
 - Pokretni terminali u automobilima
 - Kupnjom automobila pridobiva korisnike
 - Nudi određene usluge zanimljive u automobilu tijekom vožnje
 - Povoljnija cijena
- **Aviokompanija**
 - U svojim prostorima povoljnije nudi svoje usluge

Virtualni omogućitelj pokretne mreže

Mobile Virtual Network Enabler, MVNE

- Nema izravan kontakt s korisnicima
- **Nudi tehničku infrastrukturu** (HLR, SMS-C, MMS-C, SGSN, GGSN, SGW, PGW)
- Usluge naplate (PCRF)
- Administracija
- Podrška za bazne postaje
- Niz pokretnih usluga

Komunikacijski protokoli

11. 5G-mreža: protokoli i usluge

Komunikacija strojeva / Internet stvari
(M2M / IoT)

Creative Commons



- **slobodno smijete:**
 - **dijeliti** – umnožavati, distribuirati i javnosti priopćavati djelo
 - **remiksirati** – prerađivati djelo
- **pod sljedećim uvjetima:**
 - **imenovanje.** Morate priznati i označiti autorstvo djela na način kako je specificirao autor ili davatelj licence (ali ne način koji bi sugerirao da Vi ili Vaše korištenje njegova djela imate njegovu izravnu podršku).
 - **nekomercijalno.** Ovo djelo ne smijete koristiti u komercijalne svrhe.
 - **dijeli pod istim uvjetima.** Ako ovo djelo izmijenite, preoblikujete ili stvarate koristeći ga, preradu možete distribuirati samo pod licencem koja je ista ili slična ovoj.

U slučaju daljnog korištenja ili distribuiranja morate drugima jasno dati do znanja licencne uvjete ovog djela. Najbolji način da to učinite je linkom na ovu internetsku stranicu.

Od svakog od gornjih uvjeta moguće je odstupiti, ako dobijete dopuštenje nositelja autorskog prava.

Ništa u ovoj licenci ne narušava ili ograničava autorova moralna prava.

Tekst licencije preuzet je s <http://creativecommons.org/>.

Sadržaj predavanja

- Zahtjevi za 5G mrežu
- Arhitektura 5G-mreže
- Komunikacijski protokoli u 5G-mreži
- Komunikacija strojeva/uređaja (M2M)
- Internet stvari (Internet of Things – IoT)
- Komunikacijski protokoli u sustavima M2M/IoT

5G

- Pokretne mreže sljedeće generacije i tehnologije koje se uvode nakon 4G LTE/SAE
- Smanjeno kašnjenje
- Dinamička prilagodba zahtjevima usluga i informacijskog prometa
 - virtualizacija mrežnih funkcija (*Network Function Virtualization*): odvajanje logičke mrežne funkcije i hardvera
 - programski definirana mreža (*Software Defined Network*): odvajanje podatkovne i kontrolne ravnine u jezgrenoj mreži, programsko upravljanje mrežom
 - Mrežni odsječci (*network slicing*): logička podjela mreže s kraja na kraj
- Zahtjevi usluga zasnovanih na sadržaju, velikoj količini podataka i računarstvu u oblaku



Usluge u 5G

- Višemedijske aplikacije (HD video)
- Virtualna stvarnost
- *Taktilni* internet
- IoT-usluge s velikim brojem spojenih uređaja
- Milijun po km²
- Autonomna vožnja

Usluge 5G



Izvor: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/towards-5g>

Što uvodi 5G

- Nova radijska sučelja
- Novi frekvencijski pojasevi
- Povećanje kapaciteta
- Heterogena infrastruktura
 - Različite pristupne tehnologije
- Računarstvo na rubu

5G standardizacija

- 3GPP
- ITU
- Interoperabilnost mreža i uređaja
- Povećana sigurnost sustava
- 3 tipa usluga
 - Veće brzine prijenosa (engl. *enhanced mobile broadband*, eMBB)
 - Veliki broj povezanih uređaja (engl. *massive Internet of Things*, mIoT)
 - Kritične usluge s malim kašnjenjem (engl. *ultra-reliable low latency communications*, URLLC)

Arhitektura 5G mreže

Mreža 5G

- Pristupna mreža – 5G-RAN ili NG-RAN ili NR (New Radio)
- Jezgrena mreža – 5GC (5G Core)
- Arhitekura temeljena na uslugama (Service-Based Architecture, SBA)
- Korisnička ravnina
 - UPF (User Plane Function)
 - usmjerenje datagrama
 - QoS
- Upravljačka ravnina
 - upravljanje sjednicom (Session Management Function, SMF)
 - upravljanje pokretljivošću (Access and Management Mobility Function, AMF)

Funkcije korisničke ravnine

- Interakcija s ostalim mrežama
- Prosljeđuje korisničke podatke koji se prosljeđuju unutar PDU (packet data unit) sjednica

Upravljačka ravnina (1)

- Upravljanje pristupom i pokretljivošću (Access and Management Mobility Function, AMF)
 - Registracija uređaja
 - Upravljanje konekcijom uređaja
 - Sigurnosne funkcije
 - Dobiva ključ za autentifikaciju UE od AUSF
 - Lista mogućnosti uređaja
 - Upravljanje opterećenjem
 - Prosljeđuje poruke od UE za SMF
- Upravljanje sjednicom (Session Management Function, SMF)
 - Upravljanje sjednicom i *roamingom*
 - Upravljanje IP adresama, DHCP poslužitelj

Upravljačka ravnina (2)

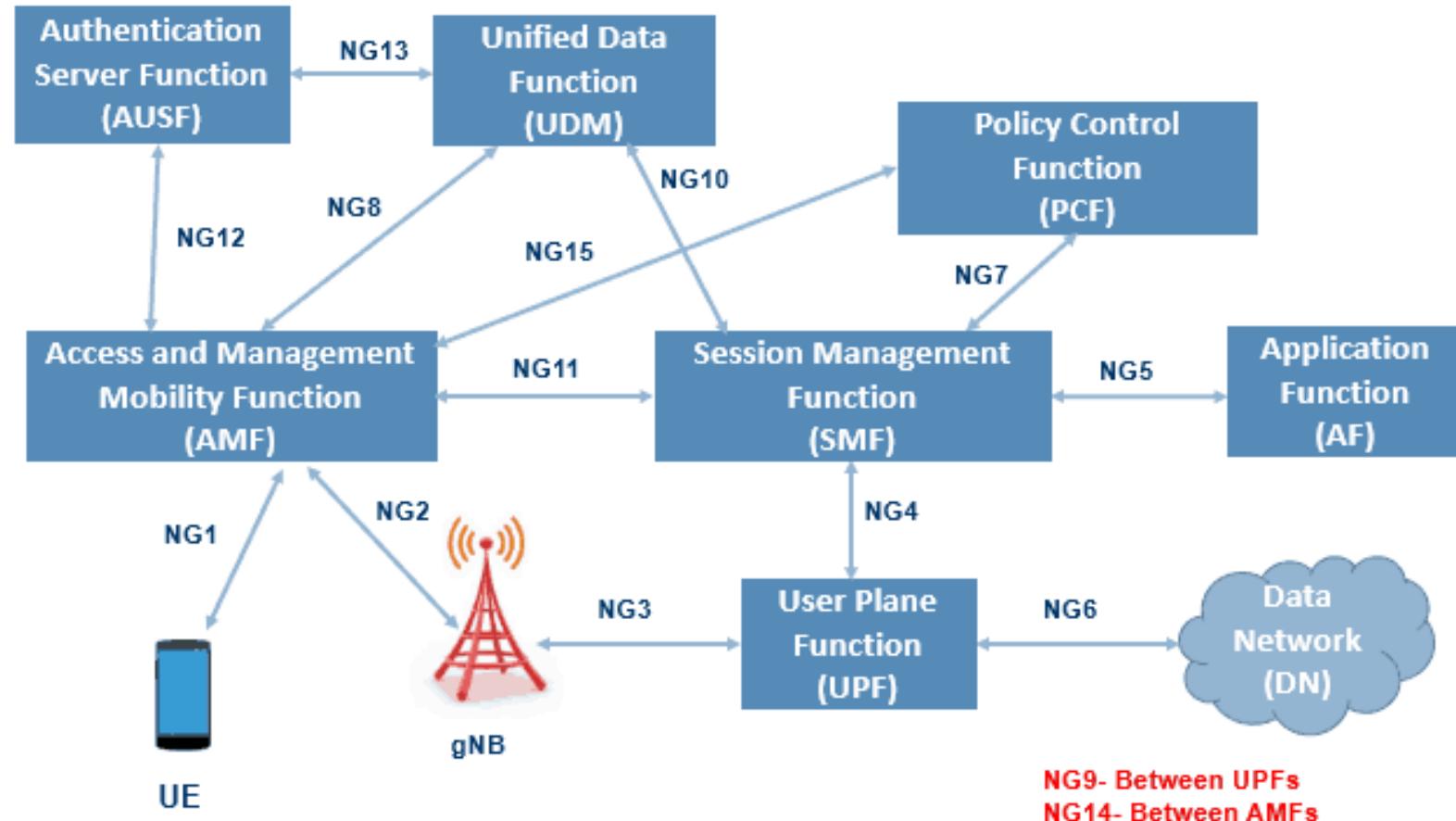
- Upravljanje autentifikacijom (Authentication server function, AUSF)
 - Podaci za autentifikaciju korisnika
 - Upravljanje ključevima za enkripciju
- Objedinjeno upravljanje podacima (Unified Data Management, UDM)
 - Podaci o korisnicima
 - Podaci o korisničkim preplatama
- Pravila za upravljanje mrežom (Policy Control Function, PCF)
 - Politike za upravljanje mrežom, npr. koliki QoS će biti dodijeljen nekoj usluzi na nekom čvoru

Upravljačka ravnina (3)

- Aplikacijska funkcija
 - Interakcija s čvorovima u jezgrenoj mreži za potreba aplikacija
 - Odabir čvora na kojem se izvršavaju aplikacije
 - Za korištenje računarstva na rubu (edge computing)
 - Krajni uređaj, bazna postaja, poslužiteljski sustav

Arhitektura 5G

- 3GPP Release 15 (2018.g.)



Značajne funkcionalnosti 5G-mreže

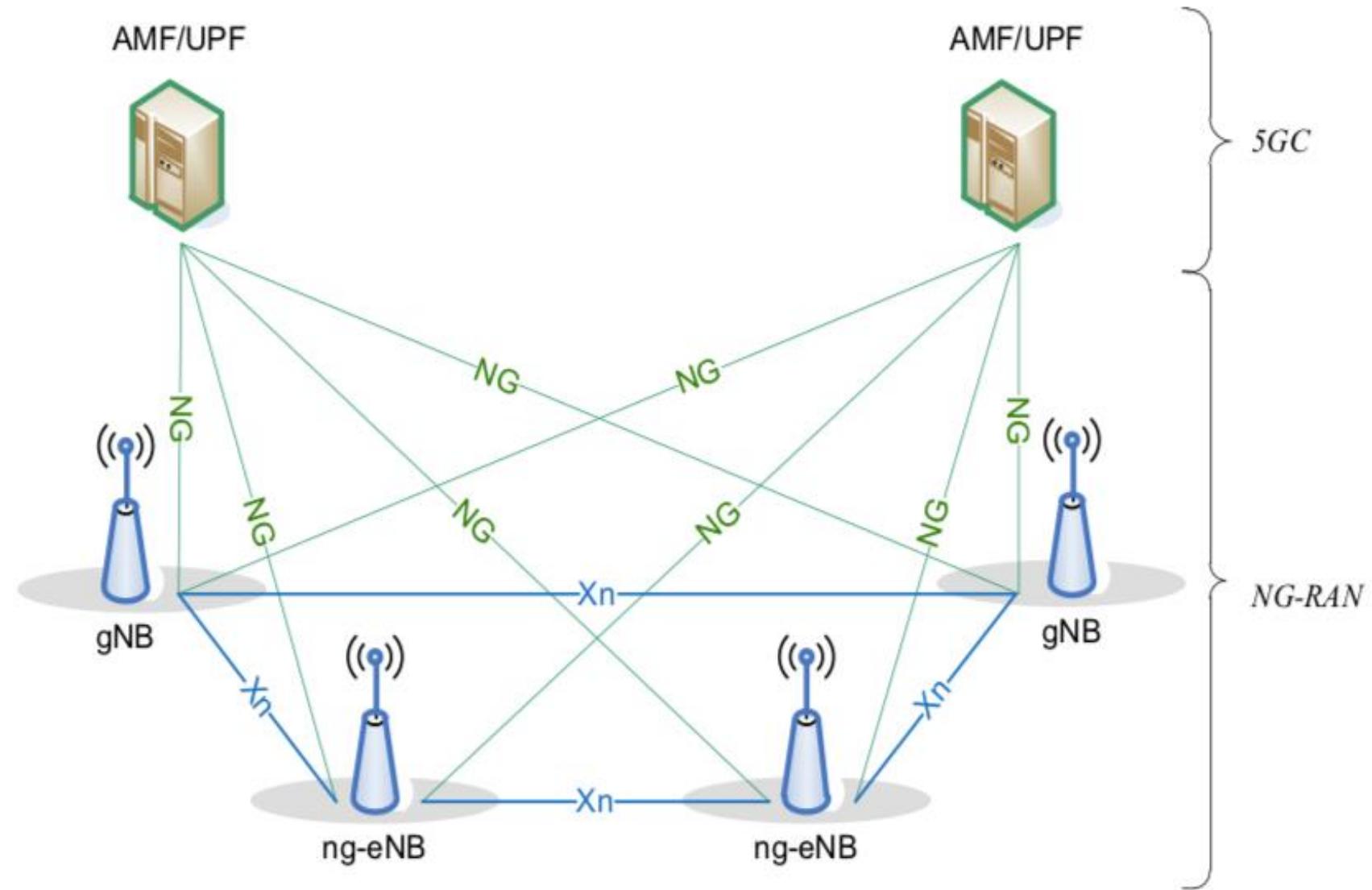
- Virtualizacija mrežnih funkcija
- Programski upravljano umrežavanje
- Mrežni odsječci

Pristupna 5G mreža

Frekvenčijski pojasevi

- 2G, 3G, 4G
 - 800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz, 2600 MHz
- 5G – novi pojasevi
 - 3.3-4.2 GHz
 - 4.4-4.99 GHz
 - 24.25-29.5 GHz
- Modulacija: OFDM (engl. *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*)

3GPP NG-RAN

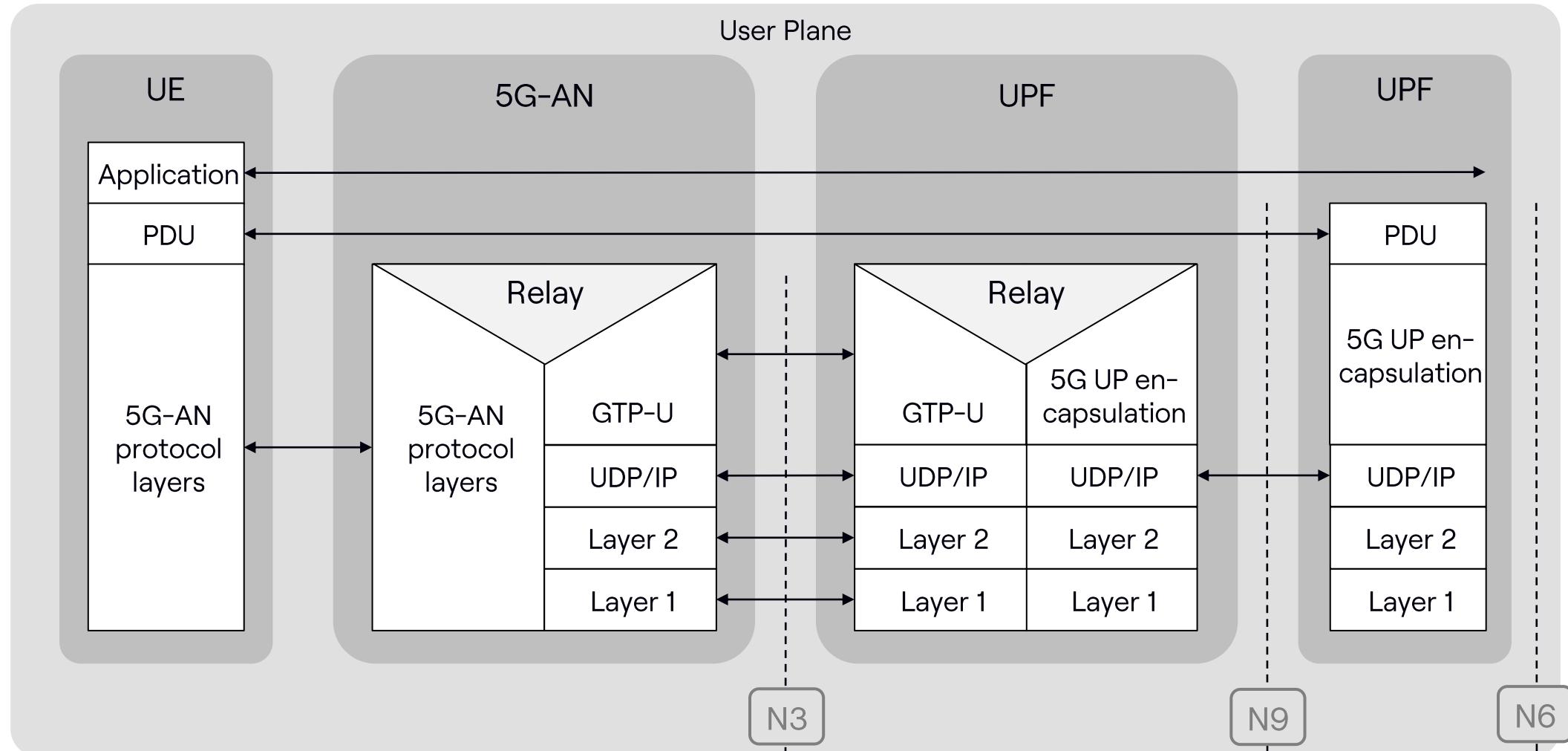


Funkcionalnosti čvorova gNB i ng-eNB

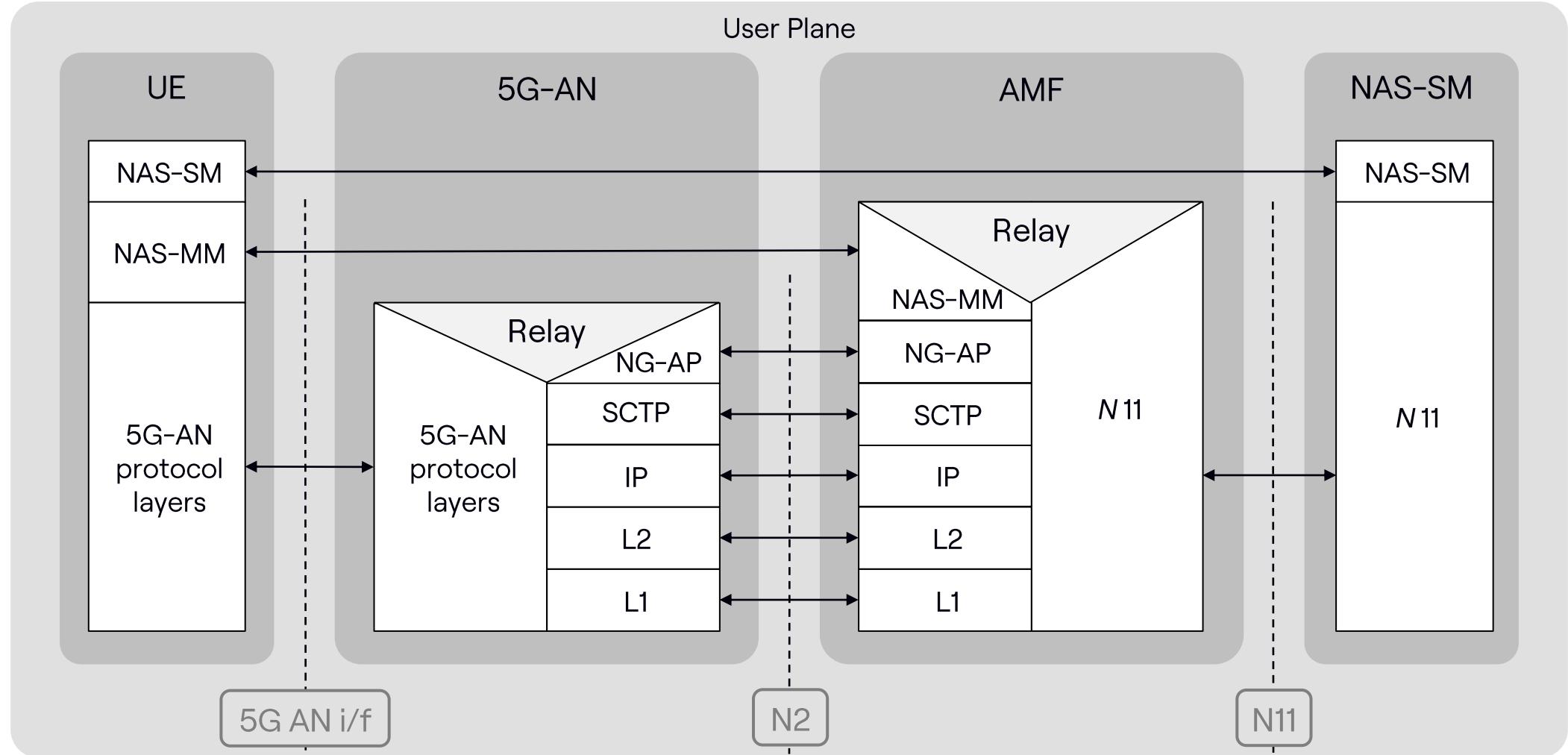
- Upravljanje radijskim sučeljem (Radio Resource Management, RRM)
- Upravljanje pristupom i pokretljivošću (Access and Management Mobility Function, AMF)
- Upravljanje sjednicom (Session Management Function, SMF)
- Upravljanje konekcijom s krajnjim uređajima
- Upravljanje rasporedom spajanja uređaja
- Korištenje mrežnih odsječaka

Komunikacijski protokoli u 5G mreži

Korisnička ravnina



Kontrolna ravnina



Kontrolna ravnina

- Protokol NAS (engl. *non-access stratum*)
 - Upravljački protokol
 - Upravljanje sjednicama (*Session management*, SM)
 - Upravljanje pokretljivošću (*Mobility management*, MM)
 - Registracija i upravljanje konekcijom
 - Prenosi poruke između UE i jezgrene mreže
 - Čvorovi AMF, SMF
- Protokol NG-AP (engl. *Next Generation – Application Protocol*)
 - Dedicirani protokol za komunikaciju između 5G pristupne mreže i čvora AMF
 - Pruža transportnu uslugu za poruke protokola NAS

Protokol SCTP

- *Stream Control Transmission Protocol*
- Protokol transportnog sloja
- Spojna usluga
- Nastao radi prijenosa signalizacije u mreži PSTN (javna komutirana telefonska mreža)
- Rješava nedostatke protokola TCP
 - Kašnjenje zbog isporuke ispravnog redoslijeda paketa
 - Slanje paketa u oktetima – protokoli višeg sloja moraju pratiti koji okteti čine poruku
 - Nije moguće adresiranje mrežnih entiteta s više mrežnih pristupnih točki (engl. *multi-homed hosts*)
 - Osjetljivost na DoS napade korištenjem zastavice SYN

Komunikacija strojeva (Machine-to-Machine communication, M2M)

M2M

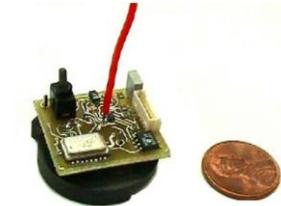
Machine-to-Machine, M2M

Machine Type Communication, MTC

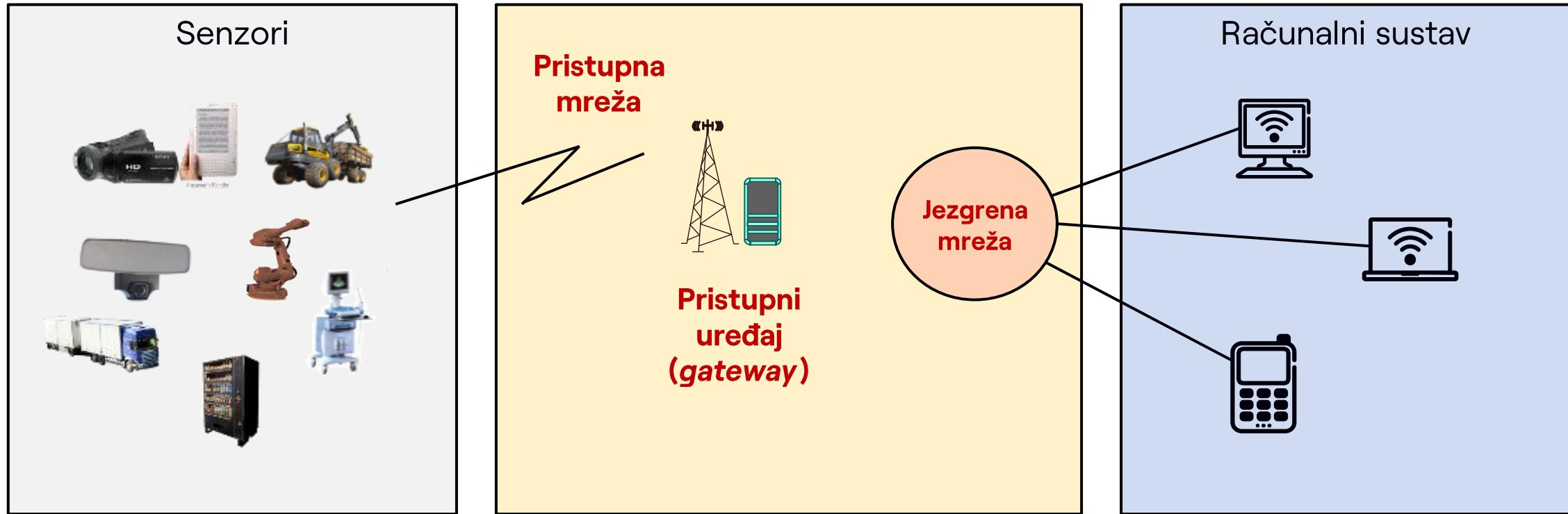
- Sustavi temeljeni na komunikaciji uređaja
 - bez, ili samo s ograničenom intervencijom čovjeka
 - jednostavni i/ili pametni (engl. *smart*) uređaji
 - komunikacija se ostvaruje različitim mrežnim tehnologijama

Machine-to-Machine

- **Machine-to-Machine**
 - senzori (mjerjenje protoka vode, temperature,...), pametna osjetila
 - aktuatori, ugrađeni procesori,...
- Machine-**to**-Machine
 - mreža koja omogućava komunikaciju krajnjih uređaja
 - pristupna mreža (bežična, radijska, žična)
 - jezgrena mreža
 - **pristupni uređaj** (engl. gateway)
- Machine-to-**Machine**
 - **računalni sustav** koji upravlja drugim uređajima
 - računala i pokretni uređaji koji prikazuju informacije



M2M



Uredaji
M

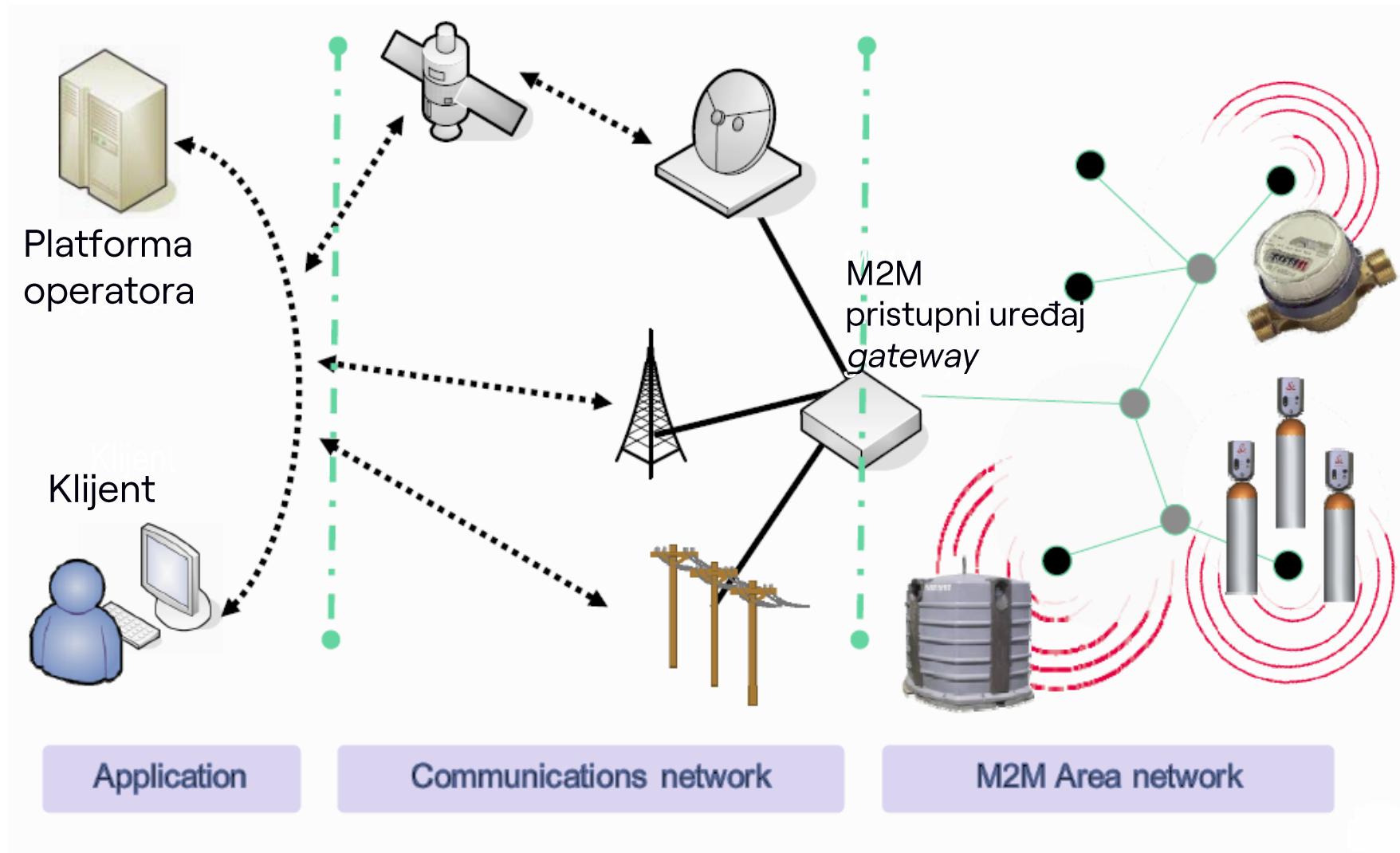
Mreža
2

Uredaji
M

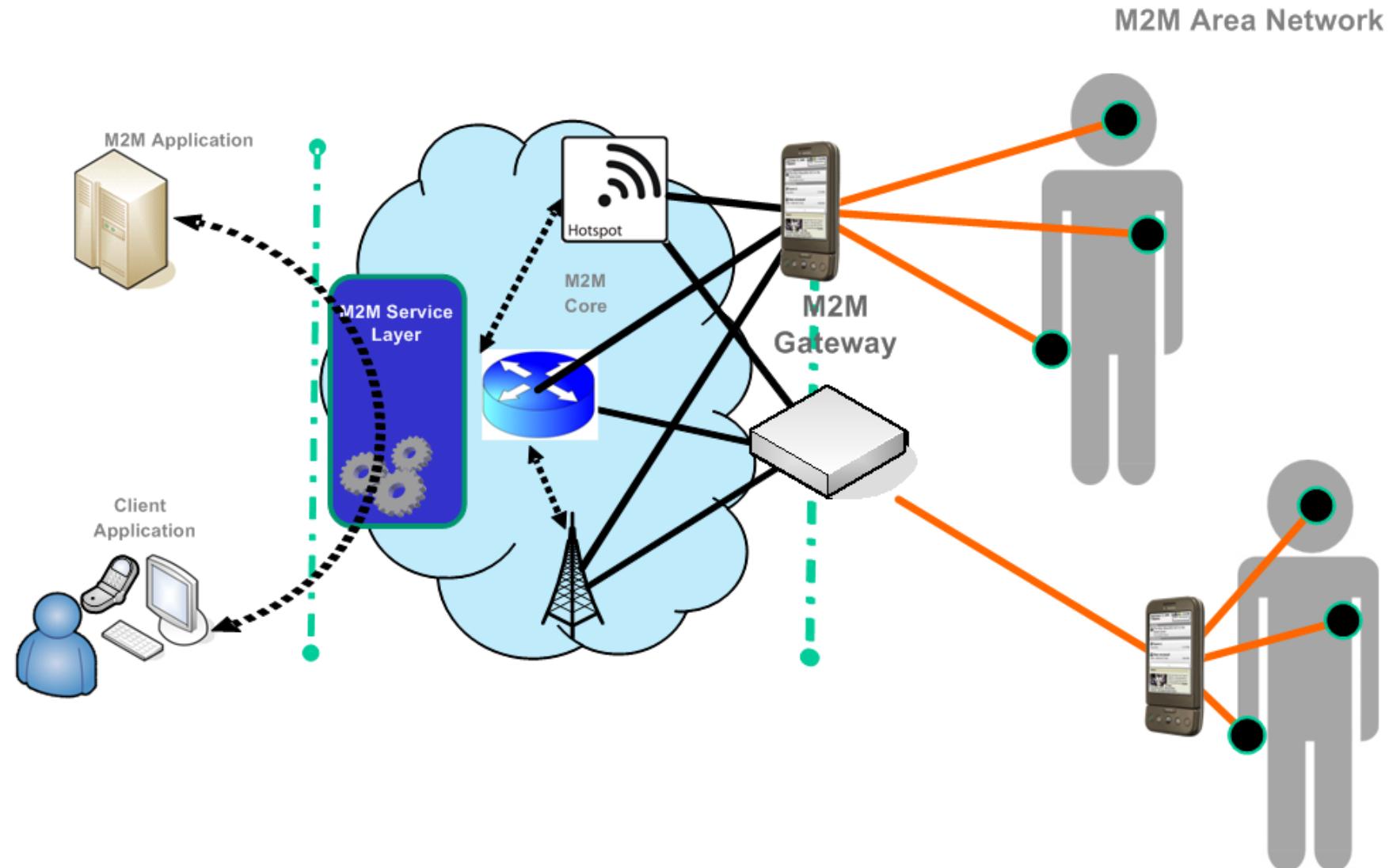
Standardizacija

- 3rd Generation Partnership Project (3GPP)
 - definira specifikaciju za pokretnu mrežu 5G
 - 3GPP koristi naziv "Machine Type Communication" (MTC)
- The European Telecommunications Standards Institute (ETSI)
 - zadužen za standarde fiksne, mobilne, radio, i konvergirane internetske tehnologije
 - ETSI Technical Committee – razvija standarde za M2M-komunikaciju
 - povezani su s ostalim standardizacijskim tijelima (BBF, 3GPP, OMA, ZigBee, ...)

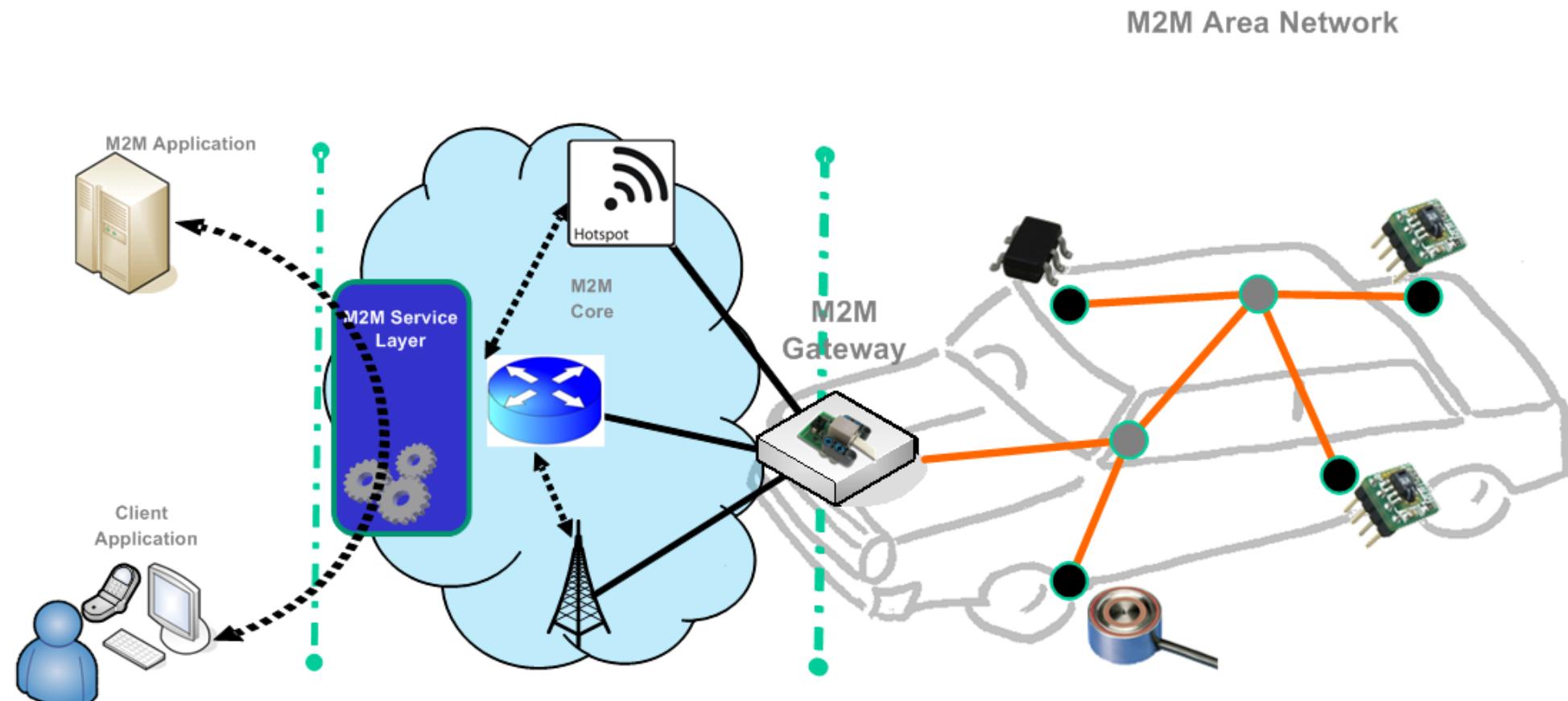
Arhitektura prema ETSI



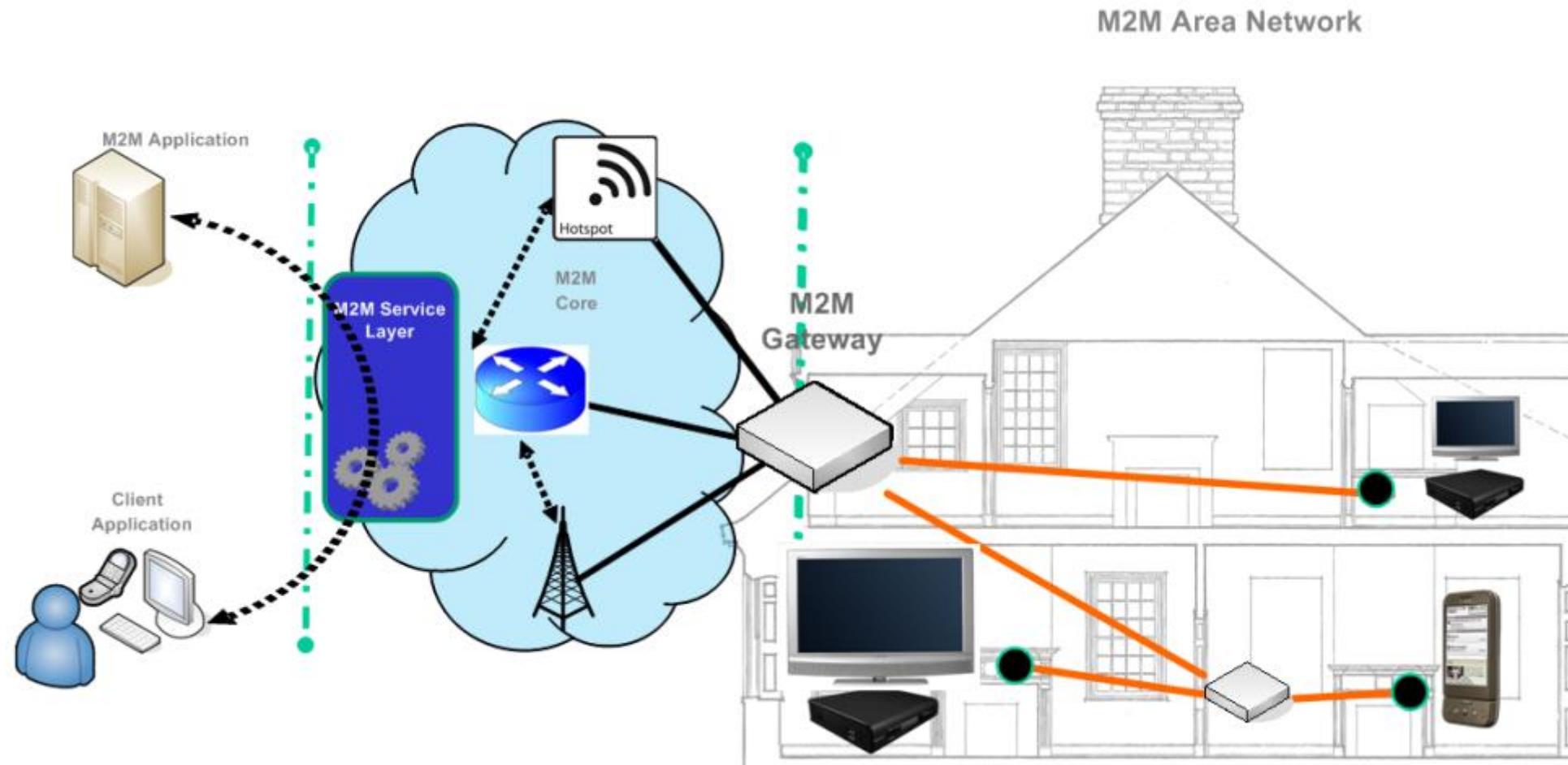
Primjena u e-zdravstvu



Primjena u automobilskoj industriji



Primjena u kućanstvu



Internet stvari (*Internet of Things, IoT*)

Internet stvari

Definicija*:

- „Samokonfigurirajuć i adaptivan sustav koji se sastoji od mreže senzora i pametnih objekata sa svrhom povezivanja *svih* stvari na Internet, uključujući svakodnevne i industrijske objekte, kako bi ih se učinilo inteligentnima, programabilnima i sposobnijima za interakciju s ljudima.“

*Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE), New Technology Connections: Future Directions, Future Directions Innitiative, 2015

IoT ekosustav

- (Pametni) uređaji – „stvari”: senzori i aktuatori
- Mrežna infrastruktura temeljena na protokolu IP:
 - Nepokretne mreže (xDSL, optika)
 - Pokretne mreže (2G, 3G, 4G, 5G) – NB-IoT, LTE-M
 - Bežične mreže – WLAN, LoRa, LoRaWAN
 - Osobne mreže – Bluetooth, 6LowPAN
- (Horizontalne) platforme za ostvarivanje usluga
- Povezane tehnologije
 - Računarstvo u oblaku
 - Velika količina podataka
- **Standardizacija i interoperabilnost imaju ključnu ulogu!**

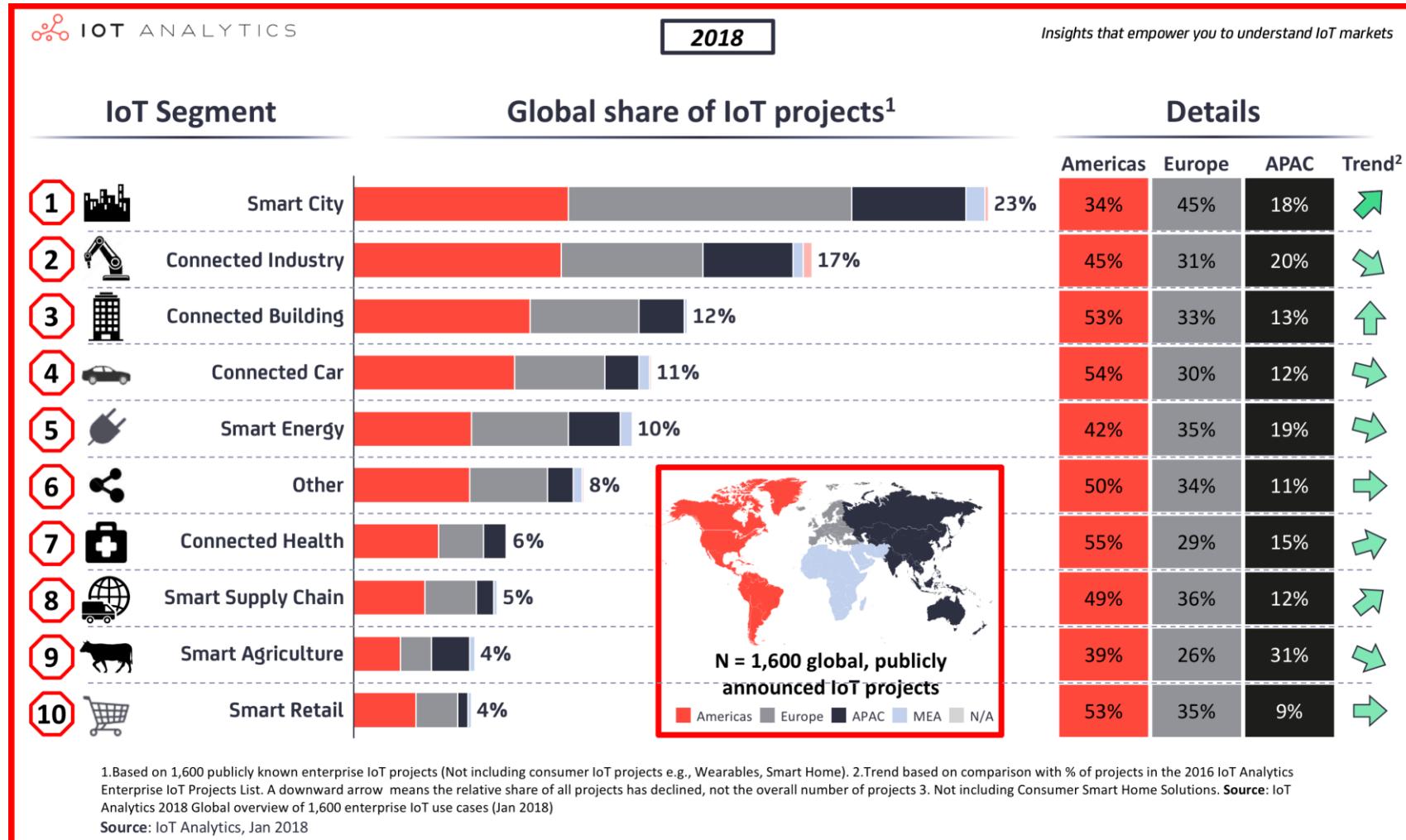
Područja primjene IoT (1)

- Veoma različita područja u kojima se ostvaruju usluge, s različitim zahtjevima:
 - za industriju (energija, transport, proizvodnja, hrana i drugo),
 - izravno povezane s ljudima (medicina, zdravstvena zaštita, samostalno življenje i drugo).
- Od posebne su važnosti za IoT-usluge njihov kontinuitet i raspoloživost.
- Dodatno, za kritične sustave i infrastrukturu kao što je energija, treba postići zahtijevanu pouzdanost:
 - specifična rješenja istražuju se u okviru Interneta energije (engl. *Internet of Energy*, IoE).

Područja primjene IoT (2)

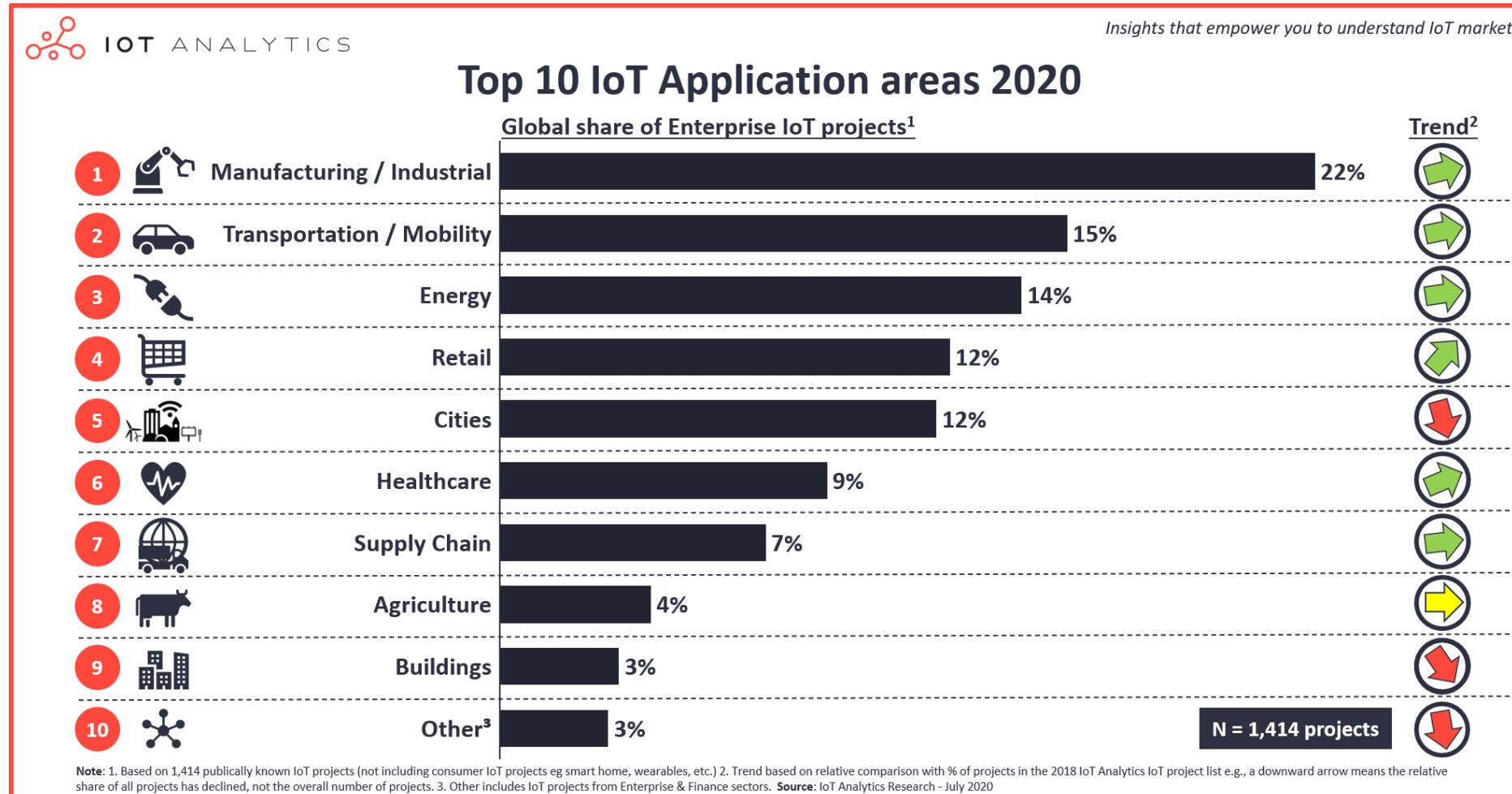
- Pametni grad (engl. *Smart City*)
- Pametno kućanstvo (engl. *Smart Home*)
- Pametna energija (engl. *Smart Energy*)
- Pametni transport (engl. *Smart Transport*)
- Pametna proizvodnja (engl. *Smart Manufacturing*)
- Pametno zdravstvo (engl. *Smart Health*)
- Pametna vlada (engl. *Smart Government*)
- Pametno iskustvo kupca (engl. *Smart Customer Experience*)
- Pametne financije (engl. *Smart Finance*)
- ...

Predviđanje IoT-tržišta 2020



Izvor: The Top 10 IoT Segments in 2018 – based on 1,600 real IoT projects, <https://iot-analytics.com/top-10-iot-segments-2018-real-iot-projects/>, 2018.

IoT-tržište 2020



Izvor: Top 10 IoT Applications in 2020 – based on 620 IoT platforms, <https://iot-analytics.com/top-10-iot-applications-in-2020/>, 2020.

Zahtjevi usluga

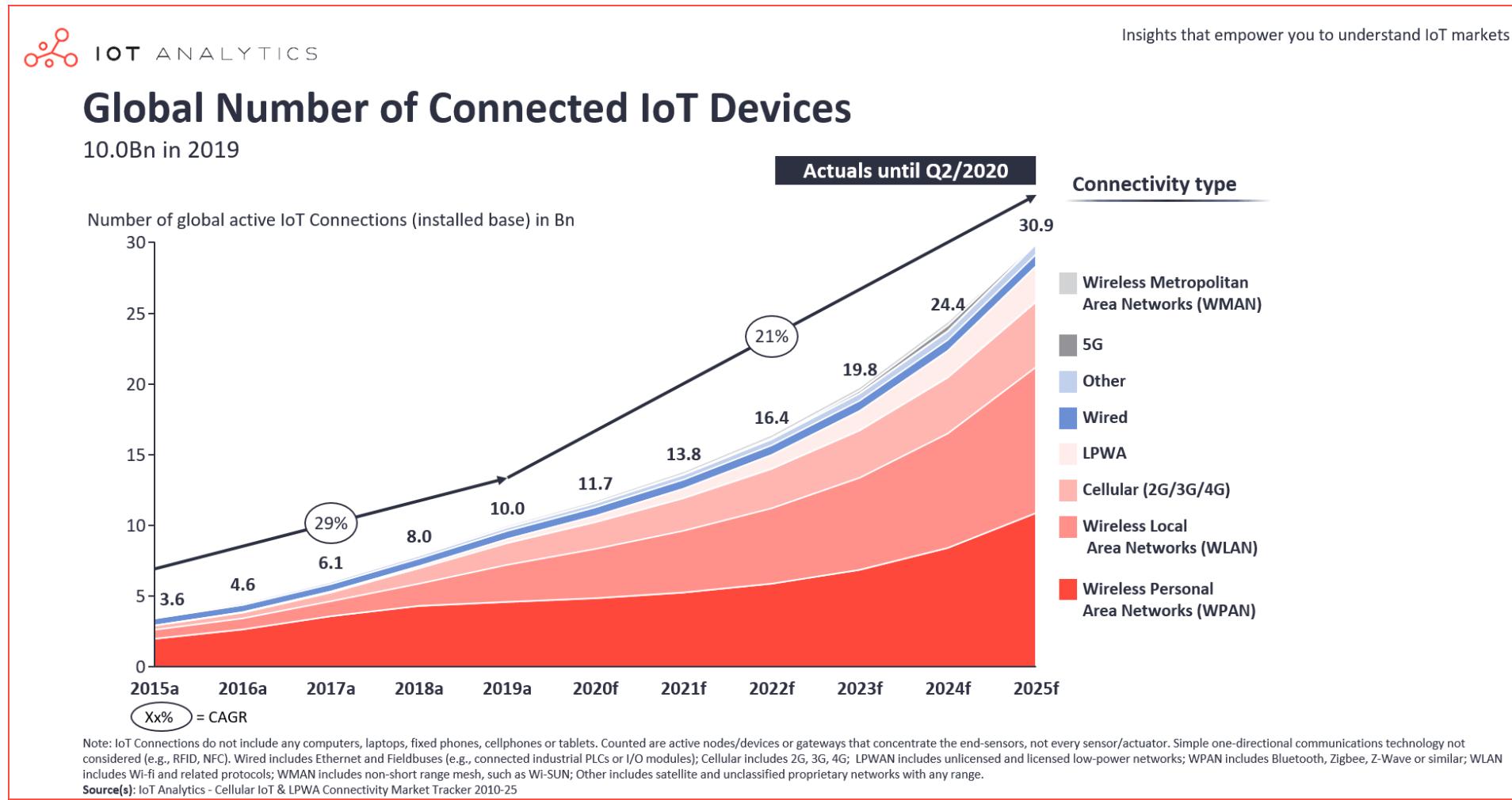
Prostorna pokrivenost!
Mnogo uređaja!

Potrošnja energije!

NB-IoT, LTE-M, 5G



Predviđanje rasta broja IoT-uređaja



Izvor: IoT Analytics
Research, 2020.

Komunikacijski protokoli u sustavima M2M / IoT

Komunikacijski protokoli u sustavima M2M/IoT

- pristupne mreže (engl. *access networks*)
 - skupljanje i prijenos senzorskih podataka, upravljanje aktuatorima
 - Lokalne i osobne mreže (WLAN, WPAN): Zigbee (XBee), X10, Bluetooth LE, itd.
 - Mrežne tehnologije širokog područja (LPWAN): NB-IoT, LTE-M, LoRaWAN, Sigfox
- aplikacije (engl. *end-user applications*)
 - prikaz senzorskih podataka na web aplikaciji ili aplikaciji za pokretne uređaje
 - HTTP, CoAP, MQTT, XMPP, itd.
- upravljanje uređajima (engl. *device management*)
 - konfiguracija uređaja, prijava grešaka u radu
 - OMA-DM, TR-069, LWM2M, itd.

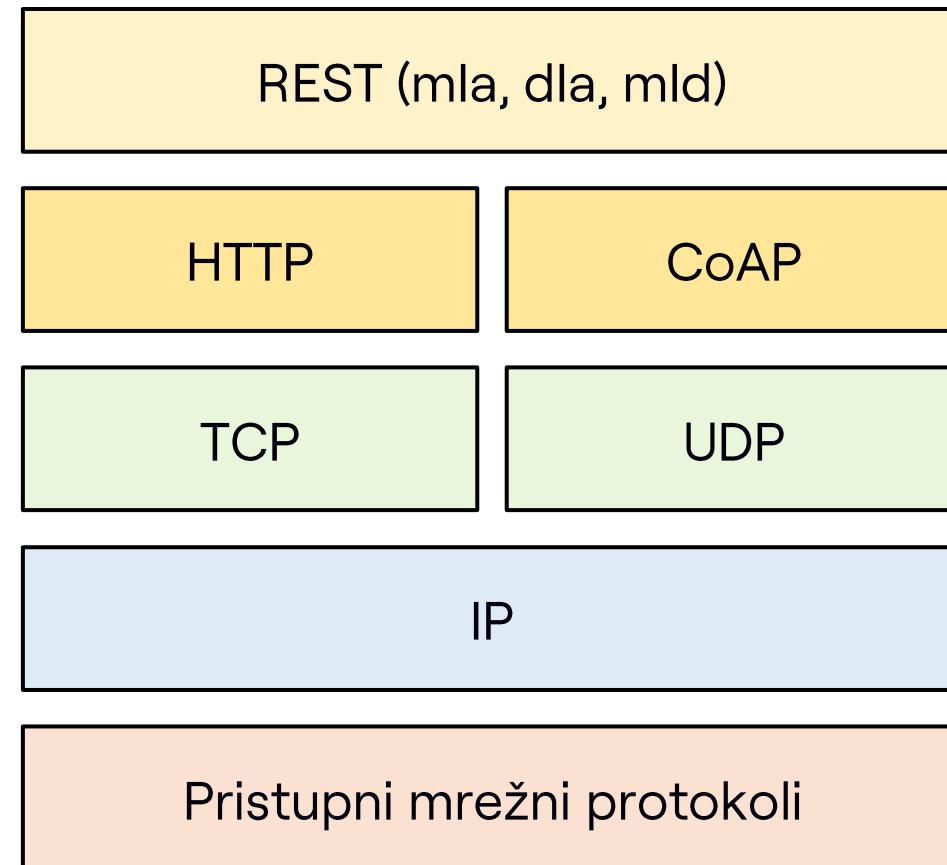
Paradigma REST

- *REpresentational State Transfer*
- autor: Roy Fielding (2000.)
 - vrsta softverske paradigme za raspodijeljene komunikacijske sustave
 - sastoji se od minimalno dva entiteta: klijenta koji šalje zahtjev i poslužitelja koji nakon obrade zahtjeva vraća odgovor klijentu
 - zahtjevi i odgovori zasnovani su na prijenosu reprezentacije resursa
 - resurs može biti bilo kakav tip podatka koji mora imati jedinstvenu adresu

Paradigma REST – Obilježja

- zasniva se na sljedećim obilježjima:
 - model klijent-poslužitelj (engl. *client-server*)
 - ne pamti stanje (engl. *stateless*)
 - priručna memorija (engl. *cacheable*)
 - slojeviti sustav (engl. *layered system*)
 - trenutna izgradnja koda (engl. *code on demand*)
 - uniformno sučelje (engl. *uniform interface*)
- CRUD:
 - create, read, update and delete

Paradigma REST – Protokolni složaj



Protokol HTTP

HyperText Transfer Protocol

- aplikacijski protokol
 - HTTP verzija 1.1 (RFC 2616, 6/1999)
 - HTTP verzija 2 (HTTP/2) (RFC 7540, 5/2015)
 - HTTP verzija 3 u izradi (zasnovan na draftu „Hypertext Transfer Protocol (HTTP) over QUIC“)
- definira format i način razmjene poruka
- tekstualan zapis, sličan formatu e-mail poruke i MIME-standarda
- vrste poruka:
 - zahtjev (engl. *request*)
 - odgovor (engl. *response*)

Protokol HTTP – Poruke

```
GET /index.html HTTP/1.1  
Host: www.example.com
```

HTTP/1.1 200 OK

Date: Mon, 23 May 2005 22:38:34 GMT
Server: Apache/1.3.3.7 (Unix) (Red-Hat/Linux)
Last-Modified: Wed, 08 Jan 2003 23:11:55 GMT
ETag: „3f80f-1b6-3e1cb03b”
Content-Type: text/html; charset=UTF-8
Content-Length: 138
Accept-Ranges: bytes
Connection: close

<html>
<head><title>An Example Page</title></head>
<body>Hello World, this is a very simple HTML
document.</body>
</html>

HTTP zahtjev

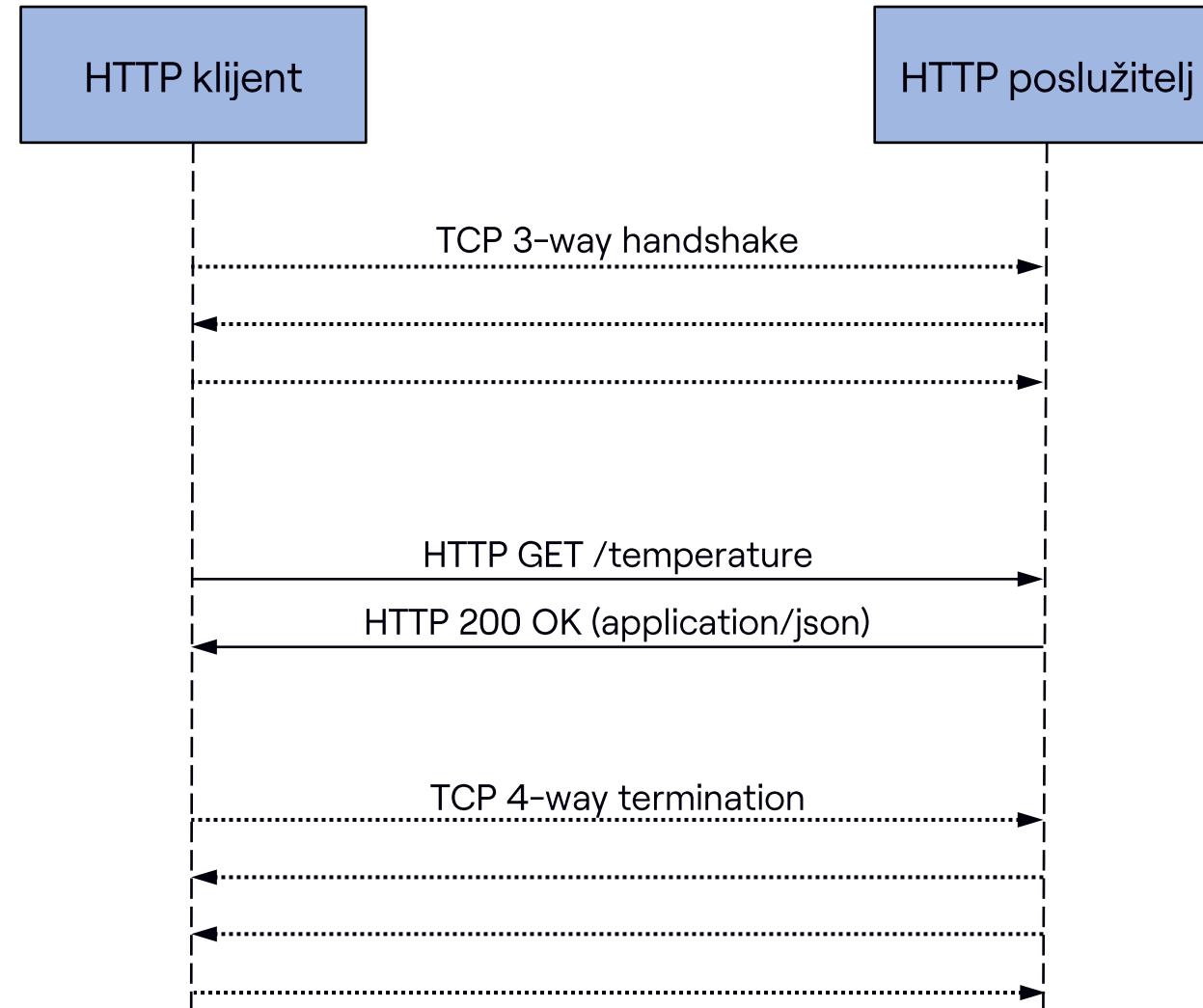
HTTP odgovor

Protokol HTTP – URI

- Universal Resource Identifier (URI)
 - jedinstveni identifikator resursa (RFC 3986, 1/2005)
- Universal Resource Name (URN):
 - identificira resurs po imenu u određenom prostoru imena
- Universal Resource Locator (URL):
 - sadrži shemu, ime ili IP-adresu poslužitelja, broj porta, putanju te po potrebi još upit

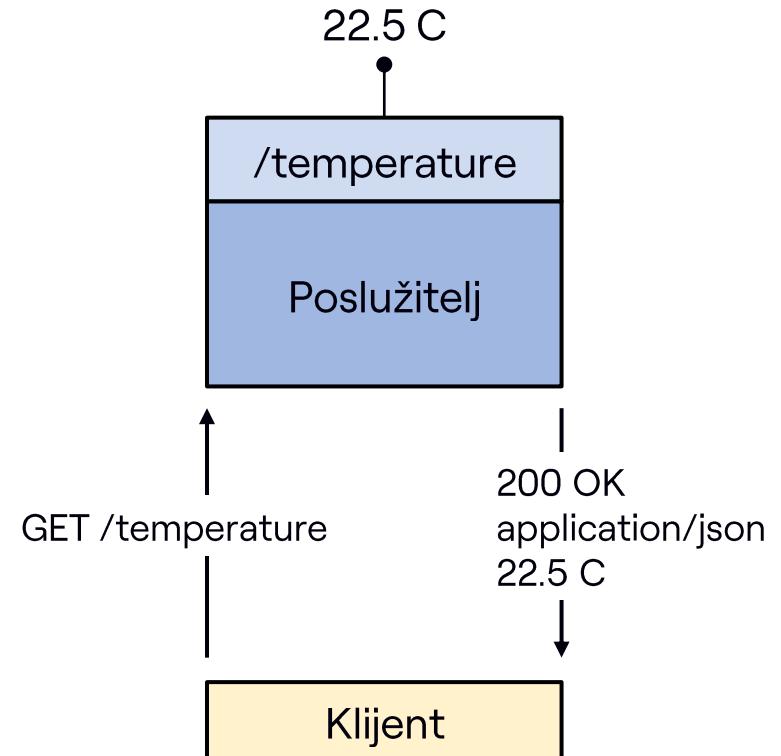


Protokol HTTP – Tijek komunikacije



Protokol HTTP – REST

- podrška za CRUD: POST/GET/PUT/DELETE
- tipovi podataka (RFC 6838, 1/2013)
- Primjer:



Protokol CoAP

Constrained Application Protocol

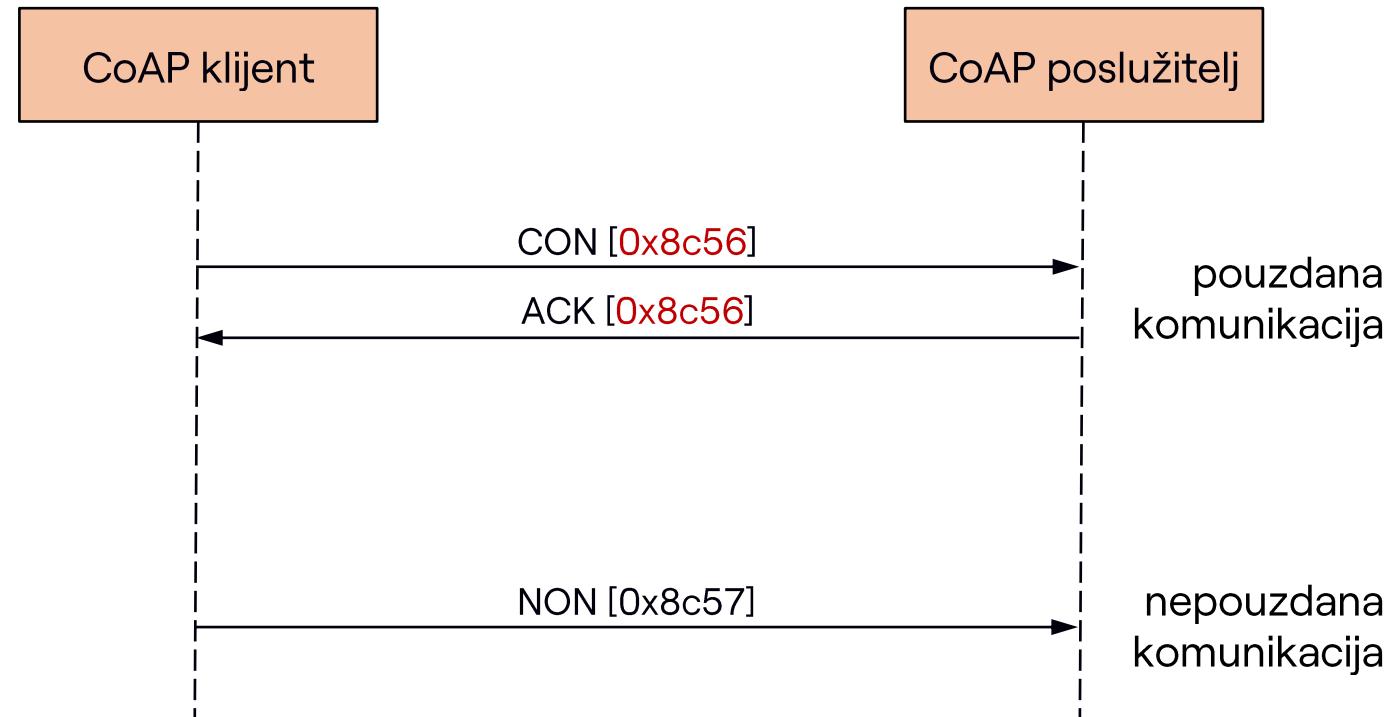
- aplikacijski protokol
 - definiran u RFC 7252 (6/2014)
- vrlo učinkovit RESTful protokol
- idealan za uređaje s manjom potrošnjom energije
- specijaliziran za M2M/IoT aplikacije
- podrška za višeodredišno razašiljanje
- jednostavna translacija u/iz protokola HTTP

Protokol CoAP – Obilježja

- **Obilježja:**
 - ugrađena podrška za web-prijenos (*coap://*)
 - jednostavno zaglavlje (4 byte) s puno opcionalnih polja
 - asinkrona razmjena poruka
 - koristi protokol UDP na transportnom sloju (podrška za *unicast* i *multicast* komunikaciju)
 - podrška za URI i CRUD (koristi slični skup metoda kao i HTTP, te slične statusne kôdove) → jednostavna translacija iz/u HTTP
 - sigurnost: protokol DTLS (*Datagram Transport Layer Security*)
 - dodatne opcije u prijenosu: *Observe* (*pub / sub*) i *Block* (fragmentacija)

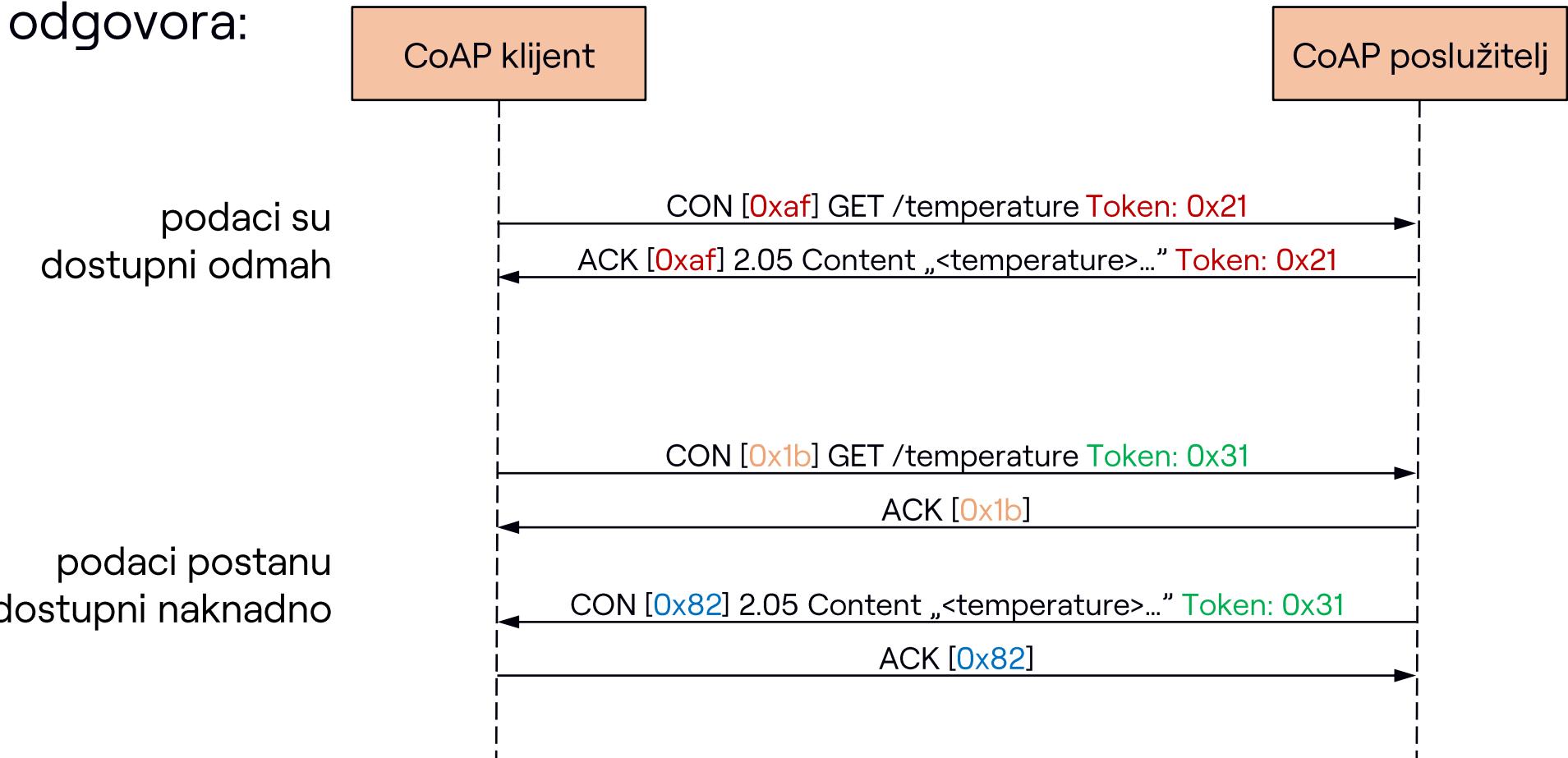
Protokol CoAP – Poruke

- četiri tipa poruka: CON (*Confirmable*), NON (*Non-confirmable*), ACK (*Acknowledgement*), RST (*Reset*)
- dvije vrste slanja podataka: pouzdan ili nepouzdan način



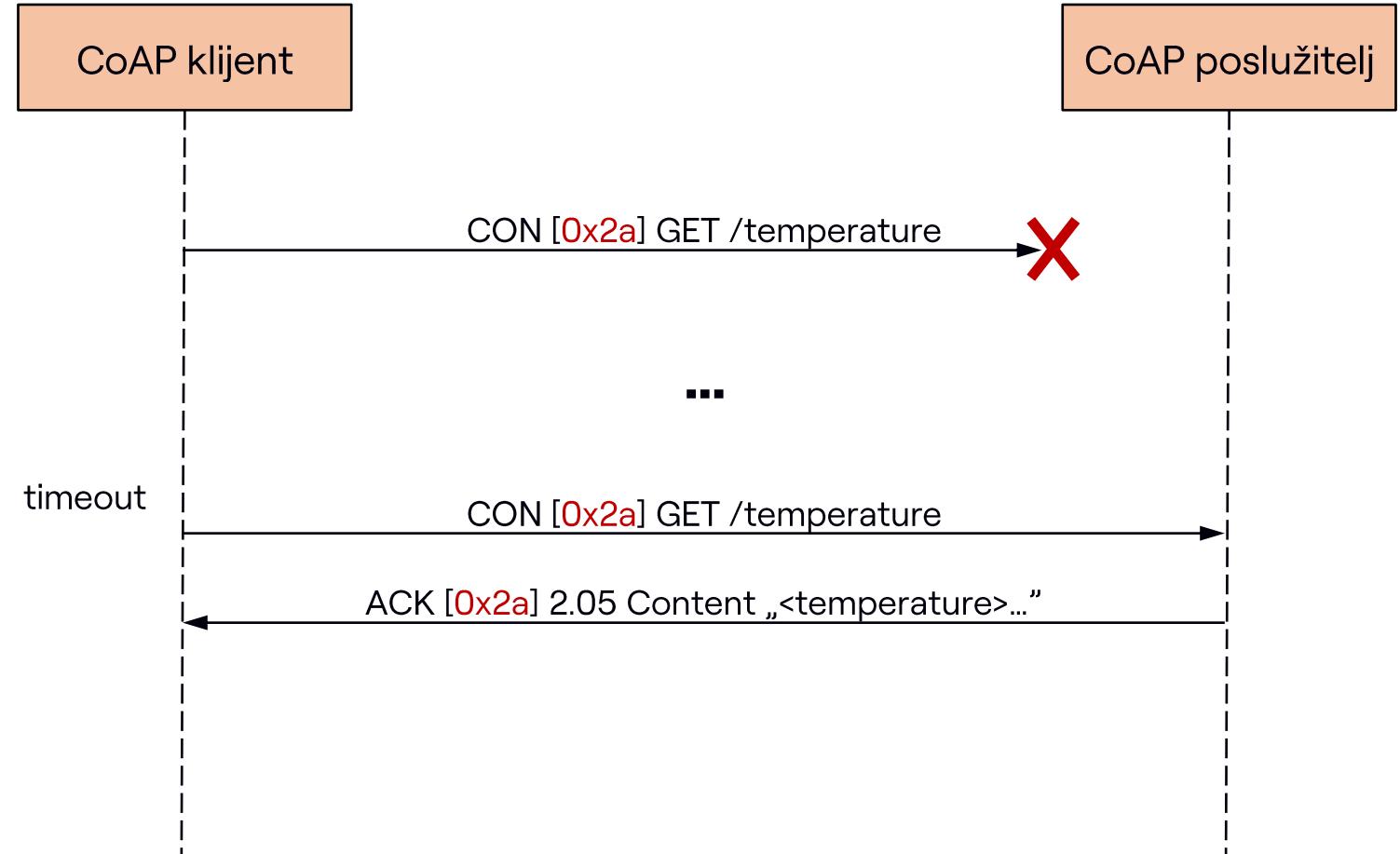
Protokol CoAP – Tijek komunikacije

- dvije vrste odgovora:



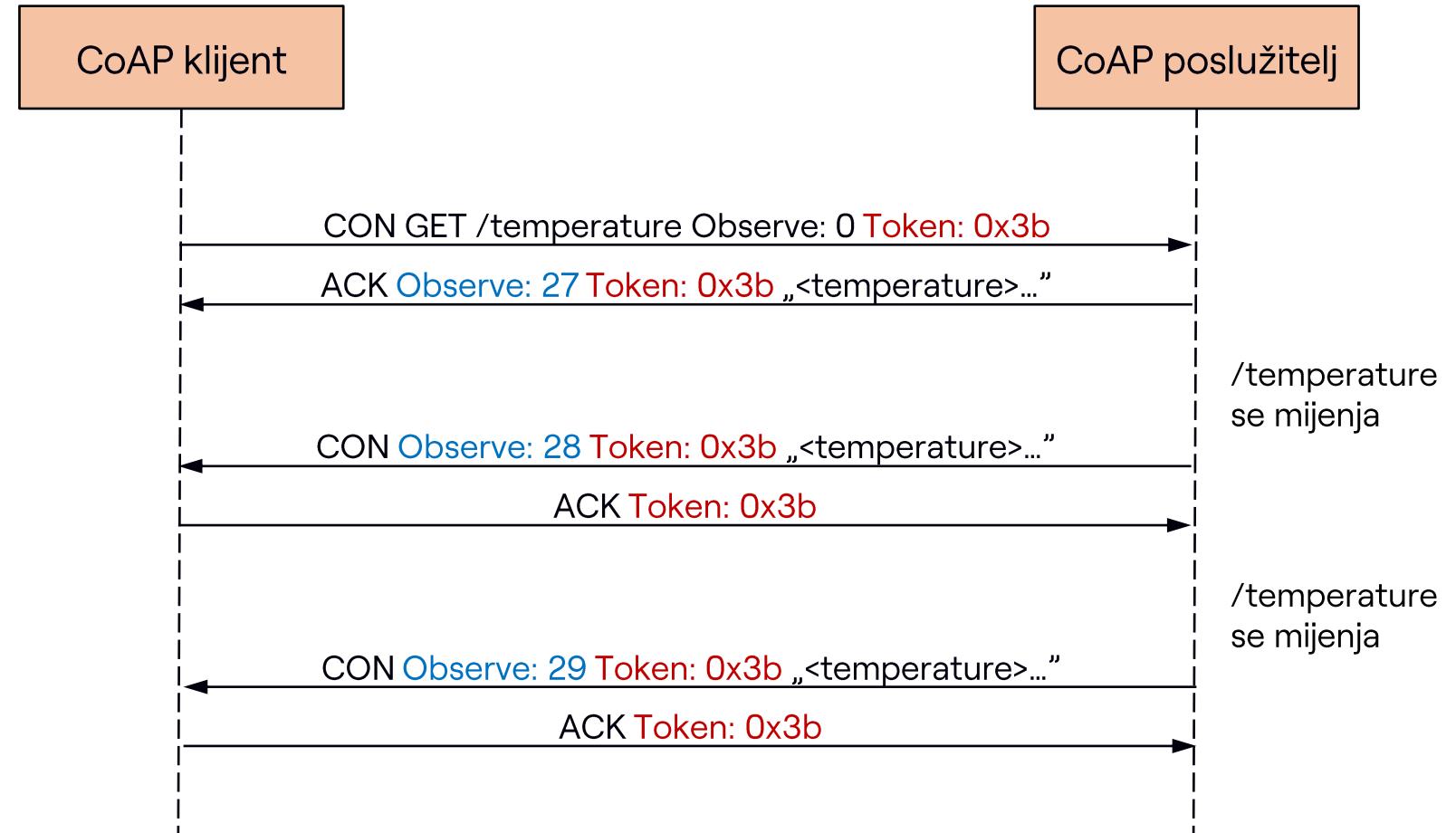
Protokol CoAP – Greška u prijenosu

- greška u prijenosu:



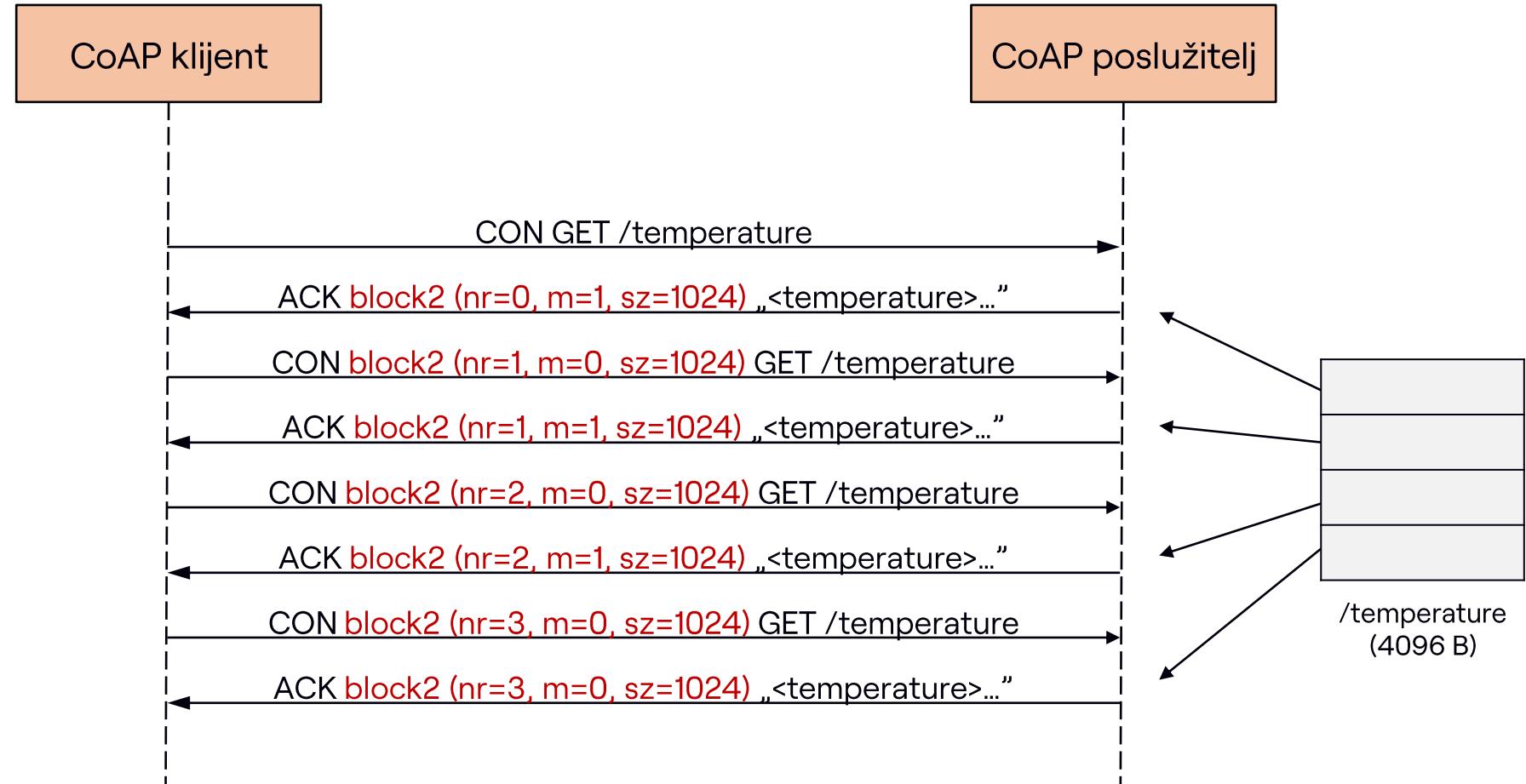
Protokol CoAP – Observe

- polje *Observe*:



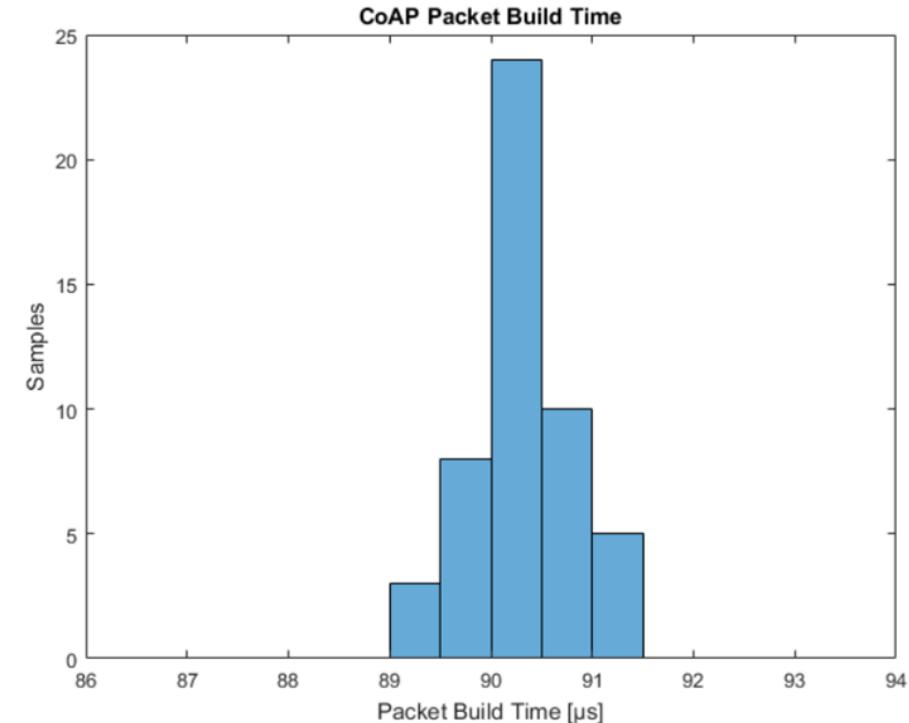
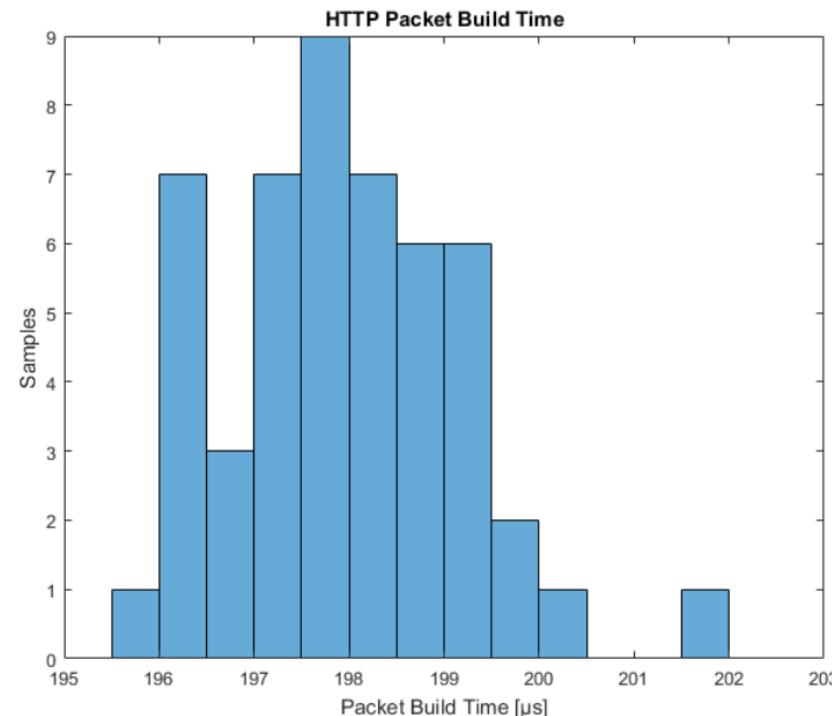
Protokol CoAP – Block

- polje *Block*:



Usporedba: HTTP–CoAP

- Vrijeme stvaranja paketa



Izvor: D. Wildmark, J. Tengvall, *Designing Applications for use of NB-IoT*, Bachelor thesis, Malmö University, 2017

Literatura

- Jyrki T.J. Penttinen, 5G Explained, Wiley, 2019
- Sassan Ahmadi, 5G NR, Academic Press, 2019
- IETF RFC 4960 – Stream Control Transmission Protocol, 2007,
URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc4960>

Literatura

- 3GPP Technical Report 22.868, v8.0.0, 3GPP, 2007.
- G. Lawton: Machine-to-Machine Technology Gears Up for Growth, IEEE Computer, vol. 37(9), pp. 12–15, 2004.
- oneM2M - Standards for M2M and the Internet of Things, <http://www.onem2m.org/about-onem2m/why-onem2m>
- oneM2M Technical Specification TS-0001-V1.6.1, oneM2M, 2015.
- oneM2M Technical Specification TS-0002-V1.0.1, oneM2M, 2015.
- oneM2M Technical Report TR-0009-V0.7.0, oneM2M, 2014.
- Roy T. Fielding: Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures, doctoral thesis, University of California, Irvine, 2000.
- M. Belshe, R. Peon i M. Thomson: Hypertext Transfer Protocol Version 2 (HTTP/2), RFC 7540, 2015.
- T. Berners-Lee, R. Fielding i L. Masinter: Uniform Resource Identifier (URI): Generic Syntax, RFC 3986, 2005.
- ARM IoT Tutorial – CoAP: The Web of Things Protocol, Zach Shelby, 2014.

Literatura

- Z. Shelby, K. Hartke i C. Bormann: The Constrained Application Protocol (CoAP), RFC 7252, 2014.
- A. Castellani, S. Loreto, A. Rahman, T. Fossati i E. Dijk: Guidelines for HTTP-CoAP Mapping Implementations, draft-ietf-core-http-mapping-07, 2015.
- MQTT Version 5.0, OASIS Standard, <http://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v5.0/cs02/mqtt-v5.0-cs02.pdf>, 2018.
- P. Saint-Andre: Extensible Messaging and Presence Protocol (XMPP): Core, RFC 6120, 2011.
- Jabber.org, <http://www.jabber.org/>
- Tatio Levä: Feasibility analysis of new Internet protocols, doctoral thesis, Aalto University, 2014.
- Komunikacijske mreže – 10. Internetske usluge: World Wide Web, Elektronička pošta, FER, 2018./2019.
- D. Wildmark, J. Tengvall, *Designing Applications for use of NB-IoT*, Bachelor thesis, Malmö University, 2017
- Raspodijeljeni sustavi – 3. Procesi i komunikacija: komunikacija porukama, model objavi pretplati, dijeljeni podatkovni prostor, FER, 2018./2019.

Literatura

- A. Larmo, A. Ratilainen, J. Saarinen, Impact of CoAP and MQTT on NB-IoT system performance, Sensors 19 (1), 2018
- OMA Device Management Protocol (2016), http://www.openmobilealliance.org/release/DM/V1_3-20160524-A/OMA-TS-DM_Protocol-V1_3-20160524-A.pdf
- Lightweight Machine to Machine Technical Specification: Core, http://openmobilealliance.org/RELEASE/LightweightM2M/V1_1-20180612-C/OMA-TS-LightweightM2M_Core-V1_1-20180612-C.pdf
- K. Mekki, E. Bajic, F. Chaxel, F. Meyer, ICT Express, A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment, ICT Express 5 (1), 2019, pp. 1-7
- Izvor: NB-IoT networks – Traffic engineering and advanced wireless network planning, https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/AsiaPacific/SiteAssets/Pages/ITU-ASP-CoE-Training-on-/Session5_NB_IoT%20networks.pdf
- Mobile IoT guide: How NB-IoT and LTE-M are helping IoT take off, <https://iot.telekom.com/resource/blob/data/177214/02ccc79436c73ed5a6632ffc04a438d6/mobile-iot-guide-2019.pdf>