

Ignac Lovrek
Modeli telekomunikacijskih procesa - teorija i primjena Petrijevih mreža
Školska knjiga, Zagreb, 1997.

2. MODELIRANJE KOMUNIKACIJE KONAČNIM AUTOMATOM

Konačni automat je osnovni model koji se primjenjuje u analizi i sintezi telekomunikacijskih procesa, i to za opis i istraživanje komunikacije i koordinacije procesa.

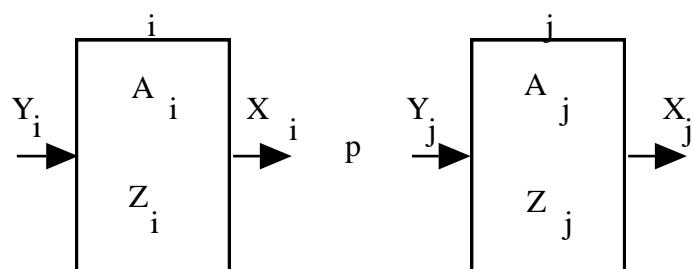
2.1. OPIS PROCESA KONAČNIM AUTOMATOM

Svaki se proces P_i modelira automatom A_i . Skup stanja S_i izvodi se iz skupa uvjeta C_i , a skup prijelaza T_i iz skupa događaja E_i razlikujući prijelaze uz predaju (x_{ji}) i prijam (y_{ki}), te unutrašnje prijelaze (z_{li}). Stanje procesa P_i u nekom trenutku označava se sa $s_{ji} \in S_i$. Ponašanje automata opisano je funkcijom sljedećeg stanja:

$$S_i(t+1) = \delta_i(S_i(t), T_i(t)).$$

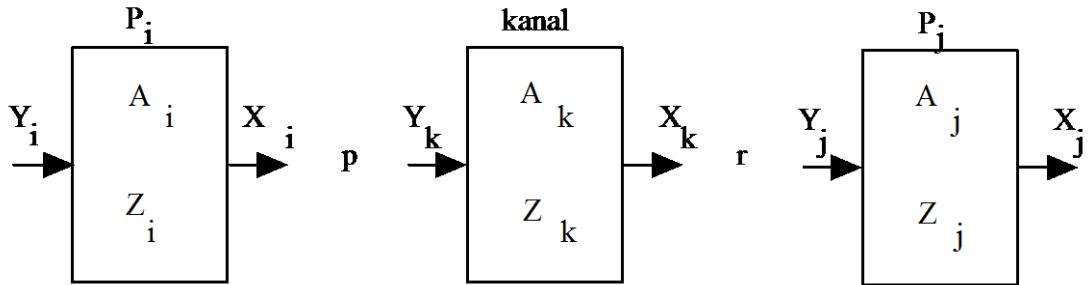
Komunikacijski kanal se u model može uvesti na dva načina. Prema prvom načinu kanal se ne modelira posebnim automatom, već se uključi posredno, preko prijelaza vezanih uz prijam i predaju informacijskih jedinica (sl.2.1). Kanalu K (i, j) pridružena su stanja K_s (i, j), a komunikaciji jednom informacijskom jedinicom odgovara uređeni slijed događaja:

$$x_{pi}, K_s(i, j) = p, y_{pj}.$$



Slika 2.1. Komunikacija između dva automata

Takav opis ne dopušta nikakvu obradu informacijske jedinice između predaje i prijama, pa tako ni djelovanje smetnji. Prema drugom načinu, kanal se može modelirati automatom A_k kao i sami procesi (sl.2.2).



Slika 2.2. Komunikacijski kanal modeliran automatom

U tom se primjeru komunikacija između P_i i P_j opisuje automatima A_i , A_k i A_j preko kanala $K(i, k)$ i $K(k, j)$ uz slijed događaja:

$$x_{pi}, K_s(i, k) = p, y_{pk}, x_{rk}, K_s(k, j) = r, y_{rj}.$$

pri čemu $p = r$ opisuje komunikaciju bez pogreške, a $p \neq r$ s pogreškom.

Stanje sustava S_t komunicirajućih procesa opisano je združenim skupom stanja svih automata i svih kanala u trenutku promatranja t :

s_1	$K_S(1, 2)$...	$K_S(1, N)$
...
$K_S(i, 1)$	$K_S(i, 2)$...	s_i
...
$K_S(N, 1)$	$K_S(N, 2)$...	s_N

Skup stanja sustava dobiva se uzastopnom izvedbom prijelaza uz zadano početno stanje.

Međudjelovanje procesa opisuju promjene stanja, odnosno struktura stanja, te sljedovi prijelaza, odnosno sljedovi informacijskih jedinica na kanalima. Stupanj usklađenosti skupa procesa može se definirati kao mogućnost zaključivanja o stanju svih procesa na osnovi poznavanja stanja samo jednog ili nekoliko procesa, a za komunikaciju važno je poznavati sljedove informacijskih jedinica.

Karakteristike sustava komunicirajućih procesa mogu se odrediti istraživanjem strukture stanja iz koje se izvode sljedovi prijelaza ili obrnutim postupkom.

2.2. ISTRAŽIVANJE KOMUNIKACIJE OBRADOM SLJEDOVA PRIJELAZA

2.2.1. Određivanje sljedova prijelaza

Pri određivanju sljedova prijelaza primjenjuje se opis automata grafom G sa značenjem dijagrama stanja. Dijagram stanja mora biti strogo povezan, a također mora postojati barem jedan usmjereni put koji prolazi početnim stanjem.

Slijed prijelaza opisan je kao svaki put u grafu G koji počinje i završava u početnom stanju, a ne prolazi početnim stanjem (pravi ciklus). Nužan uvjet za analiziranje je konačan broj konačnih sljedova događaja. Sljedovi su konačni ako ne postoje ciklusi u grafu koji ne prolaze početnim stanjem. Tada je i broj sljedova konačan. Svi putovi u grafu koji predočuju sljedove prijelaza dobivaju se algoritmom generiranja matrica prijelaza automata višeg reda.

Neka je:

M	matrica prijelaza za graf G
m_{ij}	element matrice prijelaza M koji sadrži skup svih prijelaza između stanja s_i i s_j
M_i	i -ti redak matrice prijelaza
$P_{ij}^{(k)}$	skup svih putova između stanja s_i i s_j dužine k
$\Pi_{ij} = P_{ij}^{(1)}$	skup svih putova između stanja s_i i s_j dužine 1
$P_{11}^{(k)}$	slijed događaja dužine k .

Slijed događaja dužine k određuje se ovako:

$$P_{11}^{(k)} = \Pi_{1x1} \Pi_{x1x2} \dots \Pi_{xk-1} 1,$$

a x_1, x_2, \dots, x_{k-1} međusobno različiti i različiti od 1.

Pri određivanju sljedova prijelaza primjenjuje se operacija množenja matrica prijelaza. Za automate s n stanja $C = A \cdot B$ daje:

$$c_{ij} = \sum a_{iu} b_{uj}.$$

Slijed prijelaza dužine k može se izvesti određivanjem elemenata matrice prijelaza k -tog reda na poziciji (1, 1):

$$m_{11}(k) = P_{11}(k).$$

Postupak je sljedeći:

1. odredite M ,
2. odredite M' zamjenom elemenata na glavnoj dijagonali od M nulama,
3. $k = 1$,

4. $M'_1(k) \cdot M'$,
5. zamijenite sve neprave cikluse nulom; rezultat je $M'_1(k+1)$,
6. $k = k+1$,
7. za $k < n$ vratite se na 4; za $k = n$ postupak je završen,
8. $P_{11}^{(k)} = m'_1{}_{11}^{(k)}$, $k = 1, 2, \dots, n$ su sljedovi događaja.

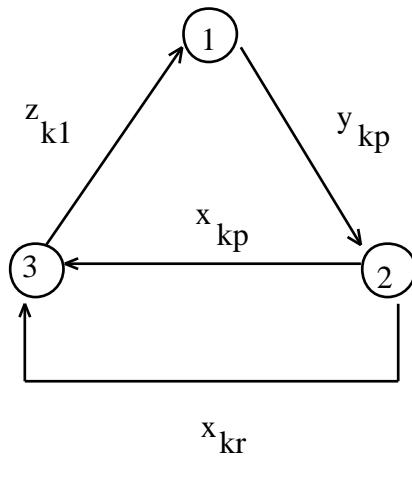
Primjer 2.1.

Automat-model kanala između procesa P_1 i P_2 čiji je dijagram stanja predočen slikom 2.3 ima tri stanja i četiri prijelaza:

- y_{kp} prijam poruke od P_1 ,
- x_{kp} predaja ispravne poruke P_2 ,
- x_{kr} predaja pogrešne poruke P_2 ,
- z_{k1} unutrašnji prijelaz.

Matrica prijelaza M je ovakva:

$$\begin{vmatrix} 0 & y_{kp} & 0 \\ 0 & 0 & x_{kp}, x_{kr} \\ z_{k1} & 0 & 0 \end{vmatrix}$$



Slika 2.3. Dijagram stanja za model kanala

Sljedovi prijelaza očiti su iz grafičkog prikaza:

- y_{kp}, x_{kp}, z_{k1} i
- y_{kp}, x_{kr}, z_{k1} ,

a mogu se odrediti i opisanim algoritmom. Za taj je primjer $M' = M$, a postupak se izvodi u tri koraka:

$$M'_1(1) = [0 \quad y_{kp} \quad 0]$$

$$k = 1$$

$$M_1^{(2)} = [\begin{matrix} 0 & 0 & (y_{kp}, x_{kp}), (y_{kp}, x_{kr}) \end{matrix}]$$

$$k = 2$$

$$M_1^{(3)} = [\begin{matrix} (y_{kp}, x_{kp}, z_{k1}), (y_{kp}, x_{kr}, z_{k1}) & 0 & 0 \end{matrix}]$$

Sljedovi prijelaza na poziciji $m_{11}^{(3)}$ jednaki su onima očitanima iz dijagrama stanja.

Istim algoritmom može se odrediti broj različitih sljedova dužine k iz matrice strukture automata D . Element d_{ij} matrice D određuje broj različitih prijelaza između stanja s_i i s_j , a $d_{11}^{(k)}$ opisuje broj različitih sljedova dužine k .

Komunikaciju u sustavu komunicirajućih procesa opisuju sve moguće N -torke sljedova, po jedan slijed iz svakog procesa. Zato je za sustave s više procesa istraživanje komunikacije vrlo složeno. U tom primjeru metoda je praktično primjenjiva samo na cikličke procese s jednim slijedom prijelaza za koje je moguće dobiti jedan slijed i na razini sustava.

Određivanje i ispitivanje svake N -torke općenito upućuje na izuzetno veliku prostornu i vremensku složenost algoritma. Kad se promatra komunikacija između samo dva procesa, složenost se bitno smanjuje.

Međutim, i dalje ostaju ograničenja svih pristupa koji se osnivaju na istraživanju komunikacije obradom sljedova prijelaza, a to su:

- jednostavna primjenjivost samo za sustave s dva procesa
- nemogućnost obrade procesa u kojima ciklusi ne prolaze početnim stanjem (rješenje se postiže ograničavanjem broja prolaza)
- nužan povratak u početno stanje s istom periodičnosti za oba procesa nakon konačnog broja interakcija među njima
- komunikacijski kanal s pogreškama ne može se uvesti neposredno.

2.2.2. Metoda duologa

Karakterističan postupak utemeljen na obradi sljedova prijelaza je metoda duologa, koja će biti predočena jednostavnim primjerom. Duologom se naziva zajednički slijed prijelaza za dva komunicirajuća automata.

Primjer 2.2.

Neka dva procesa P_A i P_B opisana automatima A i B komuniciraju tako da P_A šalje poruku p prema P_B koji je prima i vraća potvrdu r (sl.2.4).

Automat A opisan je stanjima:

a_0 pripravan za predaju poruke

- a_1 čeka potvrdu
- a_2 primio potvrdu

i prijelazima:

- x_p predaja poruke
- y_r prijam potvrde
- z_a unutrašnji prijelaz.

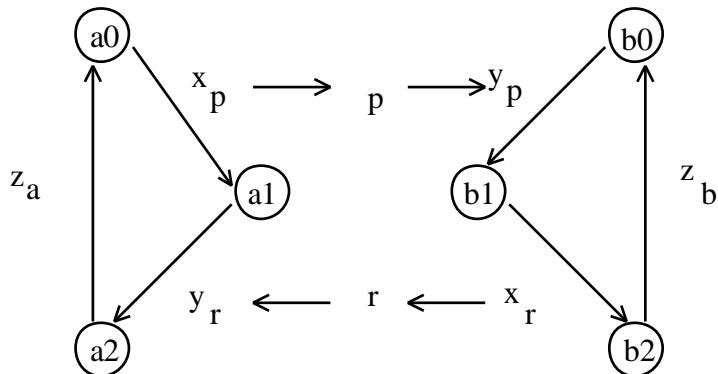
Automat B ima stanja:

- b_0 pripravan za prijam poruke
- b_1 primio poruku
- b_2 predao potvrdu

i prijelaze:

- y_p prijam poruke
- x_r predaja potvrde
- z_b unutrašnji prijelaz.

To je primjer najjednostavnije komunikacije kojom se usklađuje međudjelovanje procesa porukom i potvrdom. Očito je da je kanal prikriven i o njemu se može zaključivati posredno, tj. promatrajući prijelaze kojima se ostvaruje predaja i prijam informacijskih jedinica.



Slika 2.4. Model komunikacije dva automata

Sljedovi prijelaza mogu se promatrati za svaki automat zasebno, a i za sustav komunicirajućih automata u cjelini. Slijed prijelaza u metodi duologa naziva se unilog. U ovom primjeru svakom automatu odgovara po jedan unilog:

- A: (x_p, y_r, z_a)
- B: (y_p, x_r, z_b) .

Duolog opisuje zajedničko ponašanje obaju automata, na primjer:

$$A \times B_1: (x_p, y_p, x_r, y_r, z_a, z_b).$$

Međutim potpuni opis ponašanja može se dobiti samo ako se izvedu svi duolozi:

$$A \times B_2: (x_p, y_p, x_r, y_r, z_b, z_a)$$

$$A \times B_3: (x_p, y_p, x_r, z_b, y_r, z_a),$$

a to pokazuje jedno od praktičnih ograničenja metode, jer i pri jednostavnim procesima broj duologa može biti velik. U čemu je razlika izvedenih duologa kada svi pokazuju jednak rezultat - uspješno završenu komunikaciju? Prvi duolog opisuje situaciju u kojoj je proces P_A "brži" od procesa P_B , a u svim ostalima "brži" je P_B . Izmjena informacijskih jedinica osigurava koordinirani rad, jer neovisno o "brzini" procesi počinju i završavaju u početnim stanjima (a_0, b_0) i jednaka im je periodičnost prolaza početnim stanjem. Dakle, uvijek je potrebno provjeriti sve duologe da bi se ustanovila ispravnost komunikacije.

2.3. ISTRAŽIVANJE KOMUNIKACIJE OBRADOM STRUKTURE STANJA

2.3.1. Globalno stanje

Komunikaciju se može istražiti polazeći i od strukture stanja pojedinih procesa iz koje se izvodi skup globalnih stanja sustava, odnosno automat koji opisuje cijeli sustav. Takvo istraživanje komunikacije primjenljivo je i na sustave s više od dva procesa. Također su dopušteni ciklusi koji ne prolaze početnim stanjem, te različita periodičnost procesa. To posljednje nije osobito važno za komunikacijske protokole za koje je karakteristična baš jednaka periodičnost.

Istraživanje se provodi određivanjem skupa globalnih stanja $R(S)$ u koja prelazi sustav iz početnog stanja S_0 . Pritom svako novo stanje nastaje promjenom stanja samo jednog procesa.

Ograničenja takvog pristupa, primjerice broj globalnih stanja i broj poruka istovremeno prisutnih na kanalu isključivo su praktične naravi.

Algoritam je sljedeći:

1. početno stanje sustava je S_0 .
2. odredite skup svih stanja $R(S)$ za koja prijelazi nisu analizirani. Ako je $R(S)$ prazan skup postupak je završen.
3. za svako stanje $S_t \in R(S)$ odredite skup sljedećih stanja $R'(S)$.
4. svako stanje za koje je $R'(S)$ prazan skup označuje stanje blokiranja sustava. Funkcija $\delta_i(S_i(t), T_i(t))$ nije definirana ni za jedan i . Ne postoji unutrašnji

prijelaz ili prijelaz uz predaju informacijske jedinice koji se može izvesti. Skupovi stanja svih kanala $K_s(i, j)$ su prazni skupovi.

5. svako stanje S_t u kojem se ne može izvesti prijelaz uz prijam poruke izaziva pogrešku prijama i valja ga izbaciti iz $R'(S)$.
6. svako stanje S_t u kojem prijelaz izaziva predaju poruke uz prekoračenje kapaciteta kanala valja izbaciti iz $R'(S)$ ako se kontrola komunikacije provodi potvrdom jer znači pogrešku. Prijelaz izvedite ako se provodi vremenska kontrola komunikacije.
7. dodajte preostale članove skupa $R'(S)$ skupu $R(S)$ ako već nisu uključeni u $R(S)$.
8. ponovite 2.

Struktura podataka koja se obrađuje, izvodi i pamti odgovara dijagramu stanja (grafu izvedbe, stablu izvedbe) skupa procesa čiji se element - grana između dva čvora opisuje obama stanjima, oznakom prijelaza i oznakom procesa u kojem se prijelaz odvio.

Koncepcija globalnog stanja skupa komunicirajućih procesa nije dovoljna za opisivanje njihova međusobnog odnosa. Zbog toga je dijagram stanja nužno interpretirati i s gledišta svakog procesa - izdvajanjem i provjerom pojedinačnih sljedova stanja i prijelaza.

Najpoznatije metode koje se zasnivaju na obradi strukture stanja su metoda promjene stanja i metoda pridruženih stanja.

2.3.2. Promjena stanja

Postupak promjene, odnosno perturbacije stanja temelji se na konceptu globalnog stanja, tj. zajedničkog stanja sustava komunicirajućih procesa koje se dobiva iz stanja pojedinih procesa. Zajedničko stanje sadrži stanja svih pojedinih procesa u nekom trenutku promatranja.

Primjer 2.3.

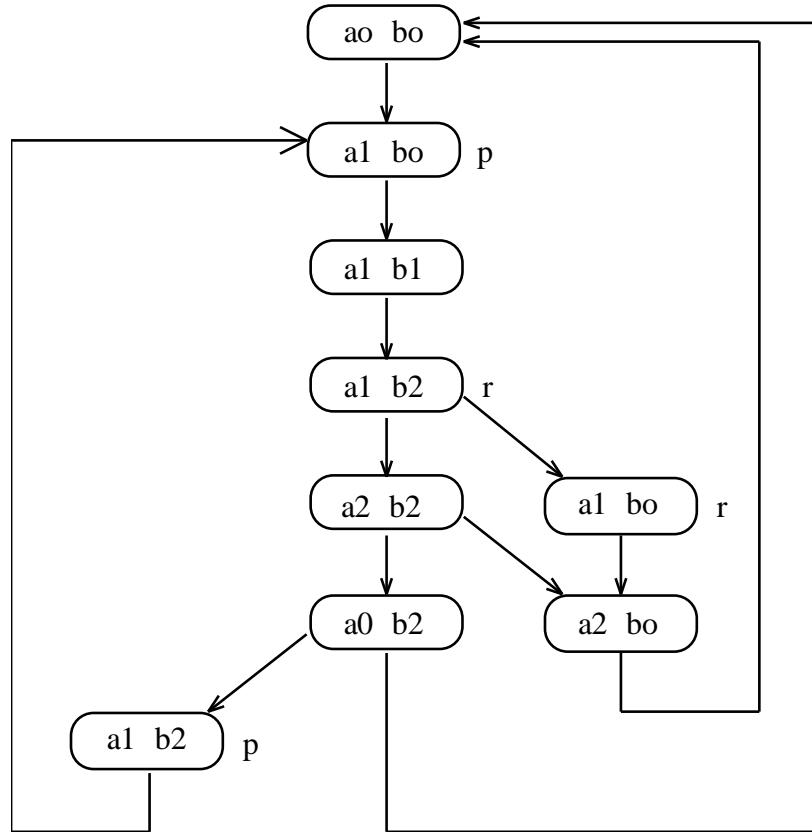
Za procese koji komuniciraju prema modelu sa slike 2.4 odredite globalni dijagram stanja, uz početno zajedničko stanje (a_0, b_0) .

Ako se primjeni algoritam objašnjen u poglavlju 2.3.1, dolazi se do globalnog dijagrama stanja predočenog slikom 2.5. Uz oznake zajedničkih stanja procesa naveden je i sadržaj (stanje) kanala.

U početnom stanju (a_0, b_0) mogao se izvesti samo prijelaz x_p u automatu A i prijeći u novo stanje $(a_1, b_0)p$ s porukom p na kanalu.

U stanju $(a_1, b_2)r$ mogu nastati dva prijelaza, y_r (prijam potvrde u A) i z_b (unutrašnji prijelaz u B). Ta su dva prijelaza paralelni i mogu se izvesti

istodobno, svaki u drugom automatu. Paralelni prijelazi uzrokuju razgranjivanje u grafu zajedničkih stanja.



Slika 2.5. Graf stanja sustava komunicirajućih automata

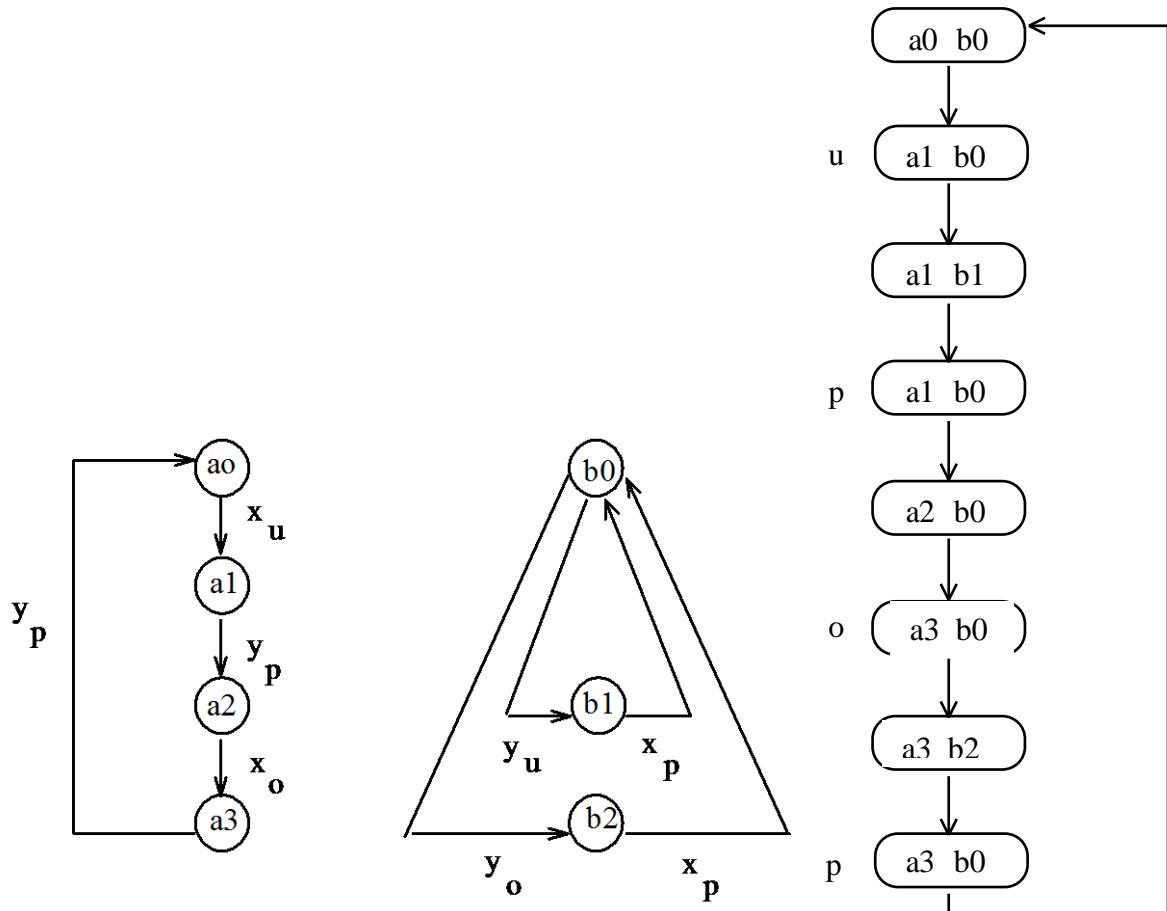
Stanje (a_2, b_0) zajedničko je sljedeće stanje za (a_2, b_2) uz prijelaz z_b i $(a_1, b_0)r$ uz prijelaz y_r . To je ilustracija prikladnosti metode, jer svako novo ostvarivanje komunikacije ne mora izazvati generiranje novog stanja, kao što izaziva nove sljedove prijelaza u metodi duologa.

Automati se obvezno sinkroniziraju u stanju $(a_1, b_0)p$, u kojemu čekaju na prijam potvrde, odnosno poruke. Logika komuniciranja onemogućuje "preveliku" neusklađenost automata.

Različita periodičnost procesa nije prepreka primjeni te metode. Također, metoda promjene stanja može se praktično primijeniti i na više od dva procesa. Zajedničko stanje je složenje, sadrži toliko pojedinačnih stanja koliko ima procesa, ali sva ostala obilježja metode se ne mijenjaju.

Primjer 2.4.

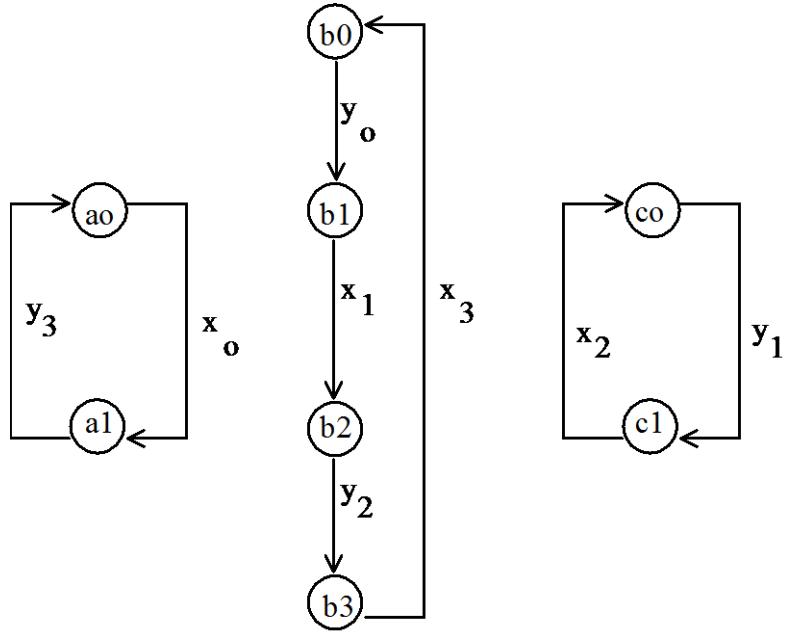
Automat A odašilje automatu B naloge za upisivanje (u) u memoriju i očitavanje (o), a automat B potvrđuje (p) provedbu svake operacije. Automat A prolazi početnim stanjem samo jednom, a B izvede pritom dva prolaza (sl.2.6).



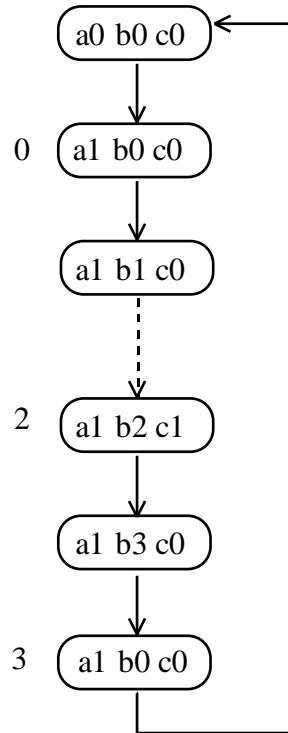
Slika 2.6. Procesi različite periodičnosti

Primjer 2.5.

Razmatra se komunikacija između tri procesa - A, B i C. Proses B posreduje između procesa A i C primajući nalog (0) od A i prosljeđujući ga (1) prema C. Na isti način prenosi i odziv (2) od C prema (3) procesu A. To je ujedno primjer za automatom C modeliran komunikacijski kanal između procesa A i B (sl.2.7 i 2.8).



Slika 2.7. Sustav s tri procesa



Slika 2.8. Graf stanja za sustav s tri procesa

Kao treće, istraživanje sljedova prijelaza otežavaju petlje koje ne prolaze početnim stanjem. I za njih se može dokazati prikladnost primjene metode promjene stanja.

Stoga je povoljnije dalji razvoj postupaka zasnovati na obradi strukture stanja i uvesti, osobito zbog mogućnosti analize sustava u prisutnosti kvarova i smetnji, izravni model komunikacijskog kanala.

2.3.3. Pridružena stanja

Pridruženim stanjima smatraju se stanja iz različitih procesa za koja vrijedi sljedeće:

- svakom stanju a_i iz procesa P_A pridruženo je stanje b_j iz procesa P_B ako su a_i i b_j sadržani u istom,, zajedničkom stanju sustava komunicirajućih procesa
- sva stanja procesa P_B koja su pridružena stanju a_i iz procesa P_A tvore skup stanja pridruženih stanju a_i .

Poznavanje pridruženih stanja pokazuje relativnu usklađenost odvijanja procesa. Proces P_A koji je u stanju a_i "zna" da je proces P_B u jednom od stanja b_j pridruženih stanju a_i ili obratno. Pridružena stanja izvedena iz dijagrama stanja za primjer sa slike 2.5 su:

$$\begin{aligned} a_0 &\leftrightarrow (b_0, b_2) \\ a_1 &\leftrightarrow (b_0, b_1, b_2) \\ a_2 &\leftrightarrow (b_0, b_2) \\ b_0 &\leftrightarrow (a_0, a_1, a_2) \\ b_1 &\leftrightarrow (a_1) \\ b_2 &\leftrightarrow (a_0, a_1, a_2) \end{aligned}$$

U tom primjeru pridružena stanja ne govore "dovoljno" o stanju drugog procesa. Za tri stanja skup pridruženih stanja sadrži sva stanja drugog procesa, a potpuno se prepoznaje samo stanje predajnog procesa "čekanje potvrde" iz stanja "primljena poruka".

Pridružena stanja mogu se izvesti i bez generiranja skupa stanja.

Ignac Lovrek
Modeli telekomunikacijskih procesa - teorija i primjena Petrijevih mreža
Školska knjiga, Zagreb, 1997.

3. PETRIJEVA MREŽA

Pojam Petrijeve mreže odnosi se na mrežu mjesta i prijelaza u kojoj mjesta imaju značenje uvjeta, a prijelazi događaja u smislu definicije sustava uvjeta i događaja. Za razliku od modela automata izravno se upotrebljava pojam uvjeta, a pojam stanja definira se kao skup istodobno ispunjenih uvjeta što omogućuje detaljniji opis pojedinog procesa i dopušta njihovo međusobno povezivanje.

3.1. STRUKTURA I IZVEDBA PETRIJEVE MREŽE

U literaturi se Petrijeva mreža definira na više načina. Opis Petrijeve mreže koji se oslanja na opću teoriju mreža polazi od šestorke:

$$PN = (S, T; F, K, W, M_0),$$

koja se naziva Petrijevom mrežom (mrežom mjesta i prijelaza) ako i samo ako ima sljedeća svojstva:

- $N = (S, T; F)$ je usmjereni mreži pri čemu S označava skup mjesta, T skup prijelaza, a F relaciju toka.
- $K : S \rightarrow N \cup \{\omega\}$ pridružuje svakome mjestu kapacitet, možda beskonačan, izražen u broju oznaka (ω – skup nenegativnih cijelih brojeva).
- $W : F \rightarrow N$ pridružuje svakoj grani multiplicitet.
- $M_0 : S \rightarrow N \cup \{\omega\}$ određuje početno označavanje, odnosno distribuciju oznaka u mjestima mreže koja uzima u obzir kapacitet svakog mesta.

Pravilo izvedbe prijelaza je sljedeće:

Neka je $t \in T$ prijelaz s m ulaznih mjesta, $\bullet t = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ i n izlaznih mjesta $t\bullet = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$. Izvedba prijelaza t smanjuje broj oznaka svakog ulaznog mesta a_i za $W(a_i, t)$ i povećava broj oznaka svakog izlaznog mesta b_j za $W(t, b_j)$. Prijelaz se može izvesti uz označavanje M ako i samo ako sva ulazna mjesta sadrže dovoljno oznaka:

$$M(a_i) \geq W(a_i, t),$$

a sva izlazna mjesta imaju dovoljan kapacitet:

$$M(b_j) \geq K(b_j) - W(t, b_j).$$

Uvjeti koji moraju biti ostvareni za izvedbu prijelaza nazivaju se koncesijom. Ulazna mjesta opisuju preduvjete, a izlazna mjesta postuvjete.

Alternativni opis osniva se na uspostavljanju međusobnog odnosa mjesta i prijelaza funkcijama ulaza i izlaza. U tom primjeru strukturu Petrijeve mreže opisuju skup mjesta P , skup prijelaza T , funkcija ulaza I i funkcija izlaza O . Dinamiku mreže određuje njezina izvedba aktiviranjem prijelaza. Definicija utemeljena na općoj teoriji mreža može se nazvati strogim pravilom izvedbe prijelaza. Ako se ne ograničava kapacitet mjesta, prijelaz se može izvesti ako ulazna mjesta sadrže dovoljno oznaka, a to eliminira funkciju K iz razmatranja. U teorijskom smislu to odgovara oslabljenom pravilu prijelaza. Petrijeva mreža s oslabljenim pravilom prijelaza češće se primjenjuje. Praktične posljedice prihvatanja takvog pristupa su u tome što se kapacitet mjesta utvrđuje analizom svojstava mreže u procesu njezine izvedbe, a nije pretpostavka za analiziranje.

Uz spomenute razlike može se istaknuti još jedna koja ima formalni karakter. Riječ je o odvajanju strukture od izvedbe Petrijeve mreže. Struktura i pridruženi joj grafički prikaz osnova su za statički model sustava koji opisuje međuovisnost uvjeta i događaja. Izvedba inicirana početnom ispunjenosti uvjeta (označavanjem mjesta) opisuje njegovu dinamiku, odnosno ponašanje.

Struktura Petrijeve mreže

Struktura Petrijeve mreže opisana je četvorkom:

$$C = (P, T, I, O)$$

sa značenjem:

$$\begin{aligned} P &= \{p_1, p_2, \dots, p_n\} && \text{konačni skup mjesta, } n > 0, p_i \in P \\ T &= \{t_1, t_2, \dots, t_m\} && \text{konačni skup prijelaza, } m > 0, t_j \in T \\ P \cap T &= \emptyset, \\ P \cup T &\neq \emptyset, \\ I : T &\rightarrow P^\infty && \text{funkcija ulaza} \\ O : T &\rightarrow P^\infty && \text{funkcija izlaza.} \end{aligned}$$

Funkcija ulaza i funkcija izlaza opisuju preslikavanje iz prijelaza u skupinu ulaza, odnosno izlaza (skupina je generalizirani pojam skupa koji može sadržavati više istovrsnih elemenata). Mjesto p_i je ulazno mjesto za prijelaz t_j ako je $p_i \in I(t_j)$, a izlazno mjesto ako je $p_i \in O(t_j)$. Svako mjesto može biti višestruko ulazno, odnosno izlazno mjesto za neki prijelaz. Broj pojavljivanja mesta p_i kao ulaznog, odnosno izlaznog označava se s $\#(p_i, I(t_j))$ i $\#(p_i, O(t_j))$.

Funkcija ulaza i funkcija izlaza mogu se definirati i kao preslikavanje mesta u prijelaze:

$$I : P \rightarrow T^\infty$$

$$O : P \rightarrow T^\infty,$$

pri čemu vrijedi:

$$\#(t_j, I(p_i)) = \#(p_i, O(t_j))$$

$$\#(t_j, O(p_i)) = \#(p_i, I(t_j))$$

Struktura Petrijeve mreže predočuje se bipartitnim usmjerenim multigrafom. Bipartitnost odgovara disjunktnim skupovima mesta (oznaka \circlearrowleft) i prijelaza (oznaka \mid). Grana u grafu usmjerena je od elementa jednog skupa prema elementu drugog skupa. Dopušteno je povezivanje dvaju elemenata s više grana.

Primjer 3.1.

Predočite grafički strukturu Petrijeve mreže ako je zadano:

$$P = \{p_1, p_2, p_3, p_4\}$$

$$T = \{t_1, t_2, t_3\}$$

$$I(t_1) = (p_1) \quad \#(p_1, I(t_1)) = 2$$

$$I(t_2) = (p_2, p_3) \quad \#(p_2, I(t_2)) = 1 \quad \#(p_3, I(t_2)) = 1$$

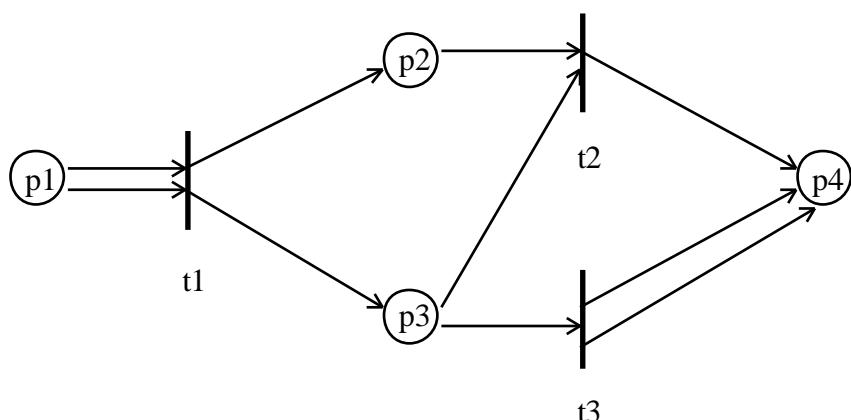
$$I(t_3) = (p_3) \quad \#(p_3, I(t_3)) = 1$$

$$O(t_1) = (p_2, p_3) \quad \#(p_2, O(t_1)) = 1 \quad \#(p_3, O(t_1)) = 1$$

$$O(t_2) = (p_4) \quad \#(p_4, O(t_2)) = 1$$

$$O(t_3) = (p_4) \quad \#(p_4, O(t_3)) = 2.$$

Rješenje je predočeno slikom 3.1.



Slika 3.1. Struktura Petrijeve mreže

Graf Petrijeve mreže $G = (V, A)$ ekvivalentan je strukturi $C = (P, T, I, O)$ ako je zadovoljeno:

$$V = \{v_1, v_2, \dots, v_s\} \quad \text{skup čvorova}$$

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_r\} \quad \text{skup grana}$$

$$V = P \cup T, \quad P \cap T \neq \emptyset$$

$$a_i = (v_j, v_k), \quad v_j \in P \text{ i } v_k \in T \text{ ili } v_j \in T \text{ i } v_k \in P.$$

Dualna mreža Petrijeve mreže $C = (P, T, I, O)$ je mreža $\bar{C} = (T, P, I, O)$, a izvodi se zamjenom mjesta i prijelaza.

Inverzna Petrijeva mreža je mreža $-C = (P, T, O, I)$, a izvodi se zamjenom ulaza i izlaza.

Označavanje Petrijeve mreže

Označenu Petrijevu mrežu $M = (P, T, I, O, \mu)$ čini struktura Petrijeve mreže C s vektorom oznaka μ .

Označavanje Petrijeve mreže provodi se pridruživanjem oznaka (\bullet) mjestima mreže, sa značenjem ispunjenosti uvjeta. Broj i raspored oznaka u mjestima može se izmijeniti tijekom izvedbe Petrijeve mreže.

Označavanje μ Petrijeve mreže $C = (P, T, I, O)$ je funkcija $\mu : P \rightarrow N$ (N - skup nenegativnih cijelih brojeva) koja se u vektorskem obliku predočuje ovako:

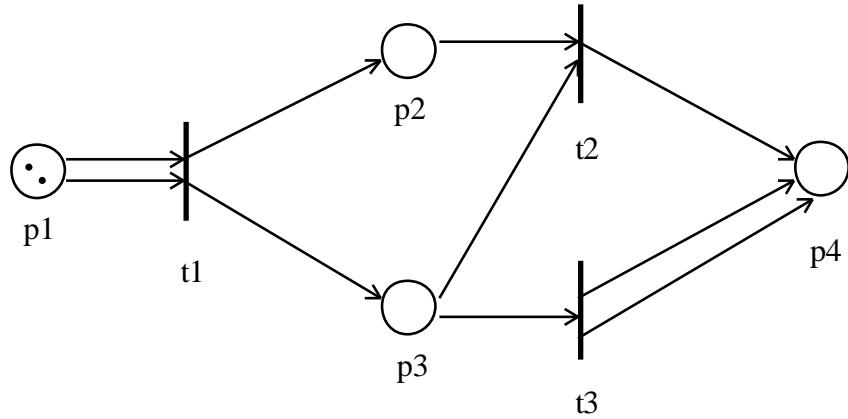
$$\mu = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_i, \dots, \mu_n),$$

a μ_i odgovara broju oznaka u mjestu p_i , odnosno $\mu(p_i) = \mu_i$.

Broj oznaka koji se može pridružiti mjestu nije ograničen. Skup svih oznaka za Petrijevu mrežu s n mjesta jest skup svih n -vektora, odnosno N^n . Praktična interpretacija vektora oznaka odgovara pojmu stanja koje se definira kao skup istodobno ispunjenih uvjeta. Za primjer 3.1 mreža označena sa:

$$\mu = (\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4) = (2, 0, 0, 0)$$

predočena je slikom 3.2.



Slika 3.2. Označena Petrijeva mreža

Izvedba Petrijeve mreže

Izvedba Petrijeve mreže određena je brojem i distribucijom oznaka. Mreža se izvodi realizacijom prijelaza, pri čemu ulazna mesta gube oznake, a izlazna ih dobivaju.

Prijelaz $t_j \in T$ u mreži $M = (P, T, I, O, \mu)$ može se izvesti ako je za svaki $p_i \in P$:

$$\mu(p_i) \geq \#(p_i, I(t_j)),$$

odnosno ako svako ulazno mjesto ima najmanje toliko oznaka s koliko je grana povezano s prijelazom. Provedba prijelaza generira novo stanje μ' tako da za svaki $p_i \in P$ vrijedi:

$$\mu'(p_i) = \mu(p_i) - \#(p_i, I(t_j)) + \#(p_i, O(t_j)).$$

U primjeru 3.1 uz μ kao početno stanje može se izvesti samo prijelaz t_1 , jer je ispunjeno:

$$\mu(p_1) = 2 \geq \#(p_1, I(t_1)) = 2$$

$$\mu(p_2) = 0 \geq \#(p_2, I(t_1)) = 0$$

$$\mu(p_3) = 0 \geq \#(p_3, I(t_1)) = 0$$

$$\mu(p_4) = 0 \geq \#(p_4, I(t_1)) = 0.$$

Izvedbom prijelaza dolazi se u novo stanje:

$$\mu' = (0, 1, 1, 0)$$

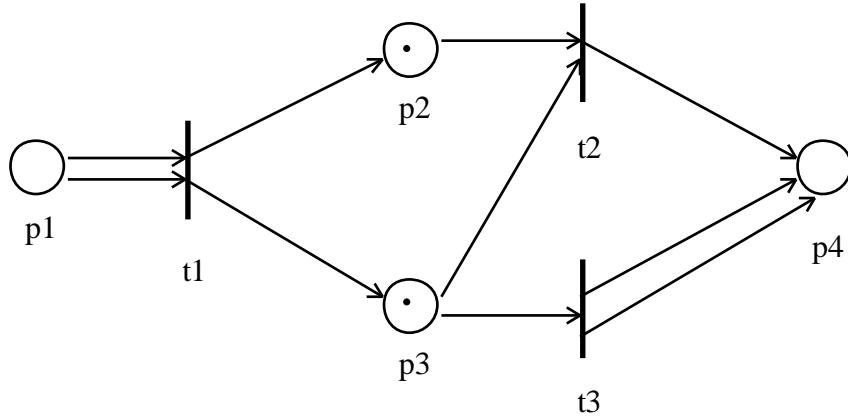
$$\mu'(p_1) = \mu(p_1) - \#(p_1, I(t_1)) + \#(p_1, O(t_1)) = 2 - 2 + 0 = 0$$

$$\mu'(p_2) = \mu(p_2) - \#(p_2, I(t_1)) + \#(p_2, O(t_1)) = 0 - 0 + 1 = 1$$

$$\mu'(p_3) = \mu(p_3) - \#(p_3, I(t_1)) + \#(p_3, O(t_1)) = 0 - 0 + 1 = 1$$

$$\mu'(p_4) = \mu(p_4) - \#(p_4, I(t_1)) + \#(p_4, O(t_1)) = 0 - 0 + 0 = 0.$$

Sva ulazna mesta prijelaza koji se izvodi gube oznake, a sva ih izlazna dobivaju. Stanje mreže nakon izvedbe prijelaza t_1 predloženo je slikom 3.3.



Slika 3.3. Stanje Petrijeve mreže nakon izvedbe prijelaza t_1

Odnos mesta i prijelaza u procesu izvedbe može biti ovakav:

$\mu'(p_i) = \mu(p_i)$	mjesto p_i i prijelaz t_j nisu povezani,
$\mu'(p_i) = \mu(p_i) - \#(p_i, I(t_j))$	mjesto p_i je ulazno mjesto za t_j ,
prijelaz	
$\mu'(p_i) = \mu(p_i) + \#(p_i, O(t_j))$	mjesto p_i je izlazno mjesto za prijelaz t_j ,
$\mu'(p_i) = \mu(p_i) - \#(p_i, I(t_j)) + \#(p_i, O(t_j))$	mjesto p_i je ulazno i izlazno za prijelaz t_j .

Prostor stanja označava skup svih stanja, a promjenu stanja opisuje funkcija sljedećeg stanja i to:

$$\delta : N^n \times T \rightarrow N^n,$$

koja je za mrežu $M = (P, T, I, O, \mu)$ i prijelaz $t_j \in T$ definirana ako i samo ako se prijelaz t_j može izvesti u stanju μ . Ako je $\delta(\mu, t_j)$ definirano tada je $\delta(\mu, t_j) = \mu'$.

Graf stanja i stablo dostupnosti

Graf stanja dobiva se izvedbom Petrijeve mreže uz zadano početno stanje. U prvom koraku određuju se prijelazi koji se mogu izvesti u početnom stanju. Svakome takvom prijelazu odgovara grana prema čvoru koji opisuje novo stanje u koje mreža prelazi provedbom prijelaza. Svaki sljedeći korak izvodi se

na isti način, slično metodi promjene stanja. Mreža može prijeći u sljedeće stanje koje već postoji. Tada se granom povezuju dva postojeća čvora u grafu stanja.

Graf stanja ekvivalentan je njezinom stablu dostupnosti. Početno stanje označava korijen stabla dostupnosti. Stablasta struktura postiže se tako da se za svaki prijelaz uvode nova grana i novi čvor, bez povezivanja postojećih stanja.

Dvije vrsta stanja isključuju dalje korake. To su završno stanje (u kojemu se nijedan prijelaz ne može izvesti) i umnoženo stanje (koje se već otprije pojavilo kao sljedeće stanje). Umnoženo stanje pomaže konačnom prikazu stabla dostupnosti.

Ostaje problem ograničavanja pojavljivanja jednog prijelaza unutar slijeda prijelaza koji se izvode. To se odražava pojavom stanja u kojima su označena ista mjesta, ali su neka od njih označena različitim brojem oznaka.

Neka je takvo prvo stanje μ , a nekom sekvencijom prijelaza došlo se u drugo stanje μ' u kojemu se ponovno izvodi ista sekvencija stanja i prelazi u μ'' . Tada vrijedi:

$$\begin{aligned}\mu' &= \mu + (\mu' - \mu) \\ \mu'' &= \mu' + (\mu' - \mu) = \mu + 2(\mu' - \mu),\end{aligned}$$

odnosno općenito:

$$\mu^n = \mu + n(\mu' - \mu),$$

što pokazuje da će se po volji velik broj oznaka u nekome mjestu dobiti odgovarajućim ponavljanjem slijeda prijelaza. Takav se broj oznaka može smatrati i beskonačnim, pa se može označiti simbolom ω za koji, uz zadanu konstantu a , vrijedi:

$$\begin{aligned}\omega + a &= \omega \\ \omega - a &= \omega \\ a &< \omega \\ \omega &\leq \omega.\end{aligned}$$

Tako se postiže konačnost grafa stanja.

Graf stanja je temelj za određivanje dinamičkih svojstava modeliranog sustava.

3.2. OBILJEŽJA PETRIJEVE MREŽE

Dostupnost

Odnos među stanjima opisan je dostupnošću. Za mrežu s početnim stanjem μ^0 izvedbom se generira slijed stanja ($\mu^0, \mu^1, \mu^2, \dots$) i slijed izvedenih prijelaza ($t_j^0, t_j^1, t_j^2, \dots$) pri čemu vrijedi odnos:

$$\delta(\mu, t_j^k) = \mu^{k+1}, \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

Za mrežu $M = (P, T, I, O, \mu)$ stanje μ' je neposredno dostupno iz μ ako postoji prijelaz $t_j \in T$ takav da je $\delta(\mu, t_j) = \mu'$. Ako je μ' stanje neposredno dostupno iz μ , a μ'' iz μ' , tada je μ'' dostupno iz μ .

Skup dostupnih stanja $R(M) = R(C, \mu)$ je najmanji takav skup definiran ovako:

$$\mu \in R(M),$$

$$\text{ako je } \mu' \in R(M) \text{ i } \mu'' = \delta(\mu', t_j) \text{ za neki } t_j \in T, \text{ tada je } \mu'' \in R(M).$$

Proširena funkcija sljedećeg stanja definirana je za stanje μ i slijed prijelaza σ ovako:

$$\delta(\mu, t_j^\sigma) = \delta(\delta(\mu, t_j), \sigma)$$

$$\delta(\mu, \lambda) = \mu,$$

pri čemu λ označuje prazan prijelaz.

Kao problem dostupnosti formulira se pitanje da li za Petrijevu mrežu C s početnim stanjem μ i neko stanje μ' vrijedi $\mu' \in R(C, \mu)$.

Dostupnost se može definirati i za podskup mesta, i za odabrani skup stanja.

Dostupnost je važna za izučavanje dinamičkih svojstava mreže i za njezinu analizu, a to je jedan od najsloženijih problema. Složenost analize povećava i moguća interpretacija dostupnosti u procesu optimiziranja mreža.

Mreža koja ima jednostavniju strukturu od početno zadane može se zasnivati na kriteriju ekvivalencije mreža u smislu dostupnosti.

Primjer 3.2.

Za Petrijevu mrežu zadalu u primjeru 3.1. i početno stanje $\mu^0 = (2, 0, 0, 0)$ odredite skup dostupnih stanja, generirane sljedove stanja i prijelaza, te dostupna stanja.

$R(M)$ sadrži:

$$\mu^0 = (2, 0, 0, 0)$$

$$\mu^1 = (0, 1, 1, 0)$$

$$\mu^2 = (0, 0, 0, 1)$$

$$\mu^3 = (0, 1, 0, 2).$$

Generirani su sljedovi stanja i prijelaza:

$$(\mu^0, \mu^1, \mu^2) \quad (t_1, t_2)$$

$$(\mu^0, \mu^1, \mu^3) \quad (t_1, t_3).$$

Neposredno su dostupna stanja:

$$\mu^0 \text{ i } \mu^1$$

$$\mu^1 \text{ i } \mu^2$$

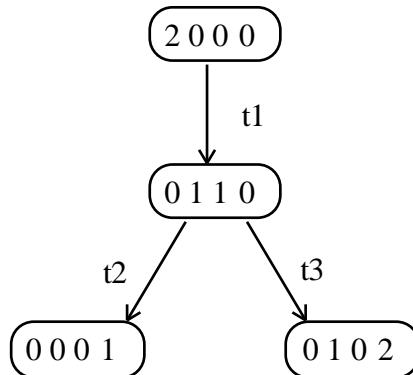
$$\mu^1 \text{ i } \mu^3,$$

a dostupna su stanja:

$$\mu^0 \text{ i } \mu^2$$

$$\mu^0 \text{ i } \mu^3.$$

Provedbom prijelaza generira se skup stanja predočen grafom na slici 3.4.



Slika 3.4. Graf stanja Petrijeve mreže

Ograničenost

Ograničenost se odnosi na pojam maksimalnog broja oznaka u mjestu mreže.

Mjesto $p_i \in P$ mreže $M = (P, T, I, O, \mu)$ je k -ograničeno ako za svaki $\mu' \in R(M)$ vrijedi $\mu'(p_i) \leq k$. Petrijeva mreža je k -ograničena ako su sva mesta u mreži najmanje k -ograničena. Ograničenost se može razmatrati kao funkcija mesta kojima se može pridijeliti različit stupanj ograničenosti.

U primjeru 3.2. mreža je 2-ograničena.

Sigurnost

Svojstvo sigurnosti Petrijeve mreže određuje da broj oznaka u svakome mjestu ne smije biti veći od jedan, odnosno da svaki uvjet može biti samo ispunjen ili neispunjen.

Mjesto $p_i \in P$ mreže $M = (P, T, I, O, \mu)$ je sigurno ako za svaki $\mu' \in R(M)$ vrijedi $\mu'(p_i) \leq 1$. Petrijeva mreža je sigurna ako su sva mjesta u njoj sigurna.

Mreža iz primjera 3.2. nije sigurna, jer su već početnim stanjem postavljene dvije oznake u mjesto p_1 , a izvedba prijelaza t_3 također upisuje dvije oznake u p_4 . Mjesto p_4 ne može biti sigurno ni uz drukčije početno stanje, jer je dvostruko izlazno mjesto za prijelaz t_3 .

Mjesta koja nemaju višestruke grane prema istom prijelazu mogu se pretvoriti u sigurna modifikacijom mreže, i to:

$$\begin{aligned} &\text{ako } p_i \in I(t_j) \text{ i } p_i \notin O(t_j), \text{ dodati } p_i \text{ u } O(t_j) \\ &\text{ako } p_i \in O(t_j) \text{ i } p_i \notin I(t_j), \text{ dodati } p_i \text{ u } I(t_j), \end{aligned}$$

pri čemu su p_i i p_i' komplementarna mjesta. Svaki prijelaz koji eliminira oznaku iz p_i ubacuje oznaku u p_i' i obratno. Početno stanje također mora osigurati komplementarnost oznaka u p_i i p_i' .

Sigurnost i ograničenost određuju kapacitet modeliranih elemenata sustava. U sigurnoj ili ograničenoj mreži nema prekoračenja kapaciteta.

Primjer 3.3.

Modificirajte mrežu iz primjera 3.1. tako da postane sigurna.

Uvodi se novi prijelaz t_4 između mjesta p_4 i p_1 .

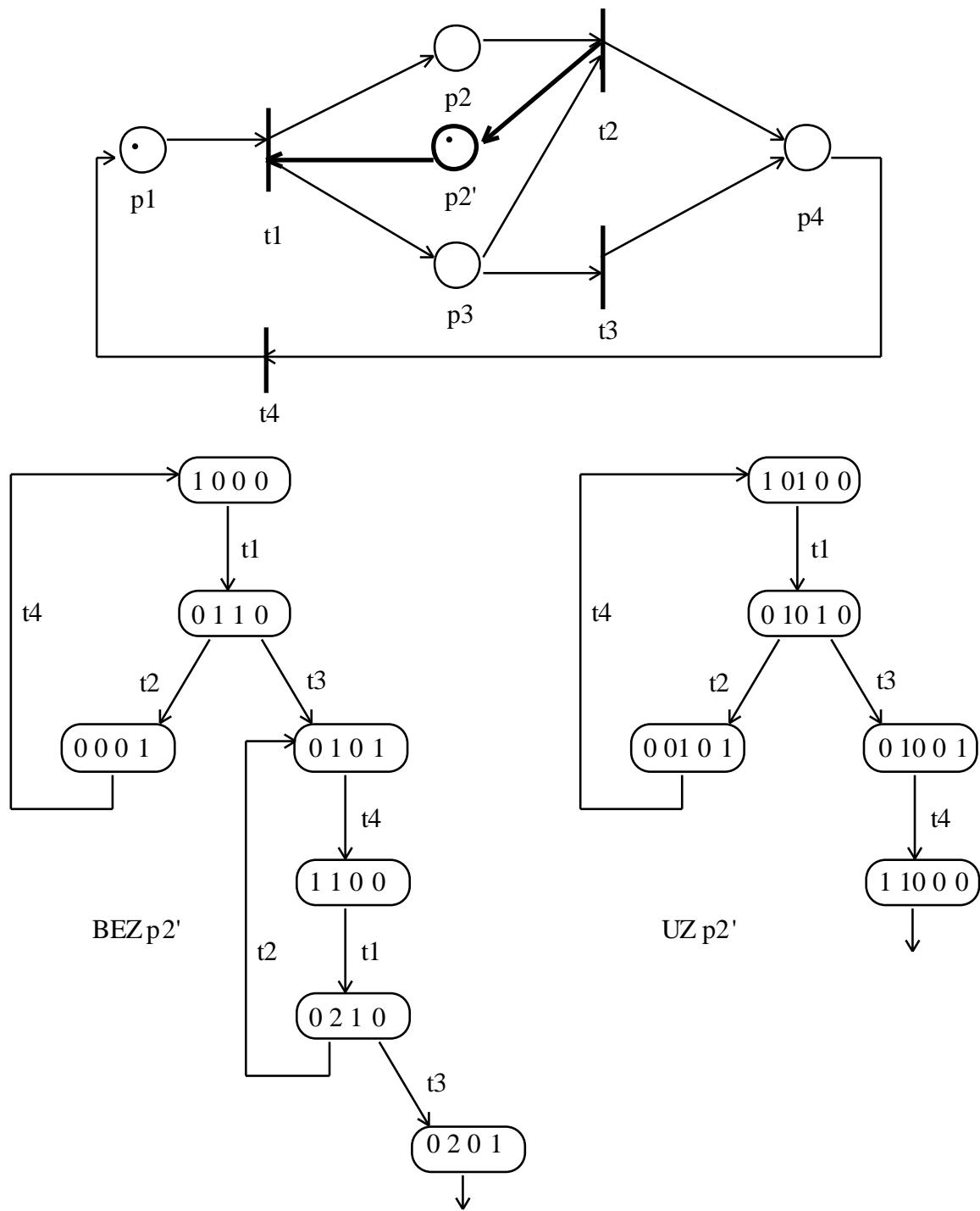
Ukida se višestruka povezanost mjesta i prijelaza što je prvi preduvjet za sigurnost mreže (sl.3.5).

Nadalje, početno stanje mora biti sigurno, što je drugi preduvjet za sigurnost mreže:

$$\mu^0 = (1, 0, 0, 0, 0).$$

To nije dovoljno da bi mreža bila sigurna, jer se zbog ovisnosti mjesta i prijelaza "gomilaju" oznake u mjestu p_2 . Štoviše, mreža postaje neograničena, jer se svakim prolazom kroz t_1 generira stanje sa sve većim brojem oznaka. Mjesto p_2 zapravo broji izvedbe prijelaza t_1 i sa svakim aktiviranjem prijelaza broj oznaka raste za 1.

Mjesto p_2 nije sigurno pa se sigurnost mreže pokušava ostvariti uvođenjem komplementarnog mjesto p_2' . Graf stanja pokazuje da mreža koja bez p_2' nije bila sigurna, uz p_2' to postaje.



Slika 3.5. Sigurnost Petrijeve mreže

Aktivnost

Svojstvo aktivnosti (životnosti) odnosi se na mogućnost izvedbe prijelaza. Aktivna mreža isključuje mogućnost blokiranja ili potpunog zastoja u modeliranom sustavu koji se manifestira postojanjem prijelaza koji se nikad ne izvodi ili stanja u kojemu se ne može izvesti nijedan prijelaz.

Za razliku od drugih svojstava koja su precizno i jednoznačno definirana, pojam aktivnosti ima više interpretacija:

- prijelaz t_j Petrijeve mreže C je potencijalno aktivan u stanju μ ako postoji stanje $\mu' \in R(C, \mu)$ i ako se t_j može izvesti u μ'
- prijelaz t_j je aktivan u stanju μ ako je potencijalno aktivan u svim stanjima iz $R(C, \mu)$
- prijelaz t_j je aktivan ako se iz jednog stanja, izvedbom drugih prijelaza, može prijeći u stanje u kojemu se izvodi t_j .

Detaljnija kategorizacija obuhvaća pet razina aktivnosti prijelaza, i to:

- 0 - t_j neaktivan (ne može se izvesti ni u jednom slijedu prijelaza),
- 1 - t_j potencijalno aktivan (može se izvesti barem u jednom stanju),
- 2 - t_j se u slijedu prijelaza izvodi najmanje n puta,
- 3 - t_j se u beskonačnom slijedu prijelaza izvodi bezbroj puta i
- 4 - t_j aktivan (za svako stanje postoji slijed prijelaza u kojem će se prijelaz izvesti)

Petrijeva je mreža i -aktivna ako su svi prijelazi aktivi na razini i . Mreža (prijelaz) je neaktivna ako je razine 0, a aktivna ako je razine 4.

U primjeru 3.3. bez mjesta p_2' prijelazi su aktivi na razini:

- 4 t_1, t_2, t_3, t_4 (za svako stanje postoji slijed prijelaza u kojem se prijelaz može izvesti).

Mreža je aktivna (4-aktivna), ali nije ograničena. Uz mjesto p_2' :

- 1 t_3 (postoji stanje u kojem se prijelaz može izvesti),
- 3 t_1, t_2, t_4 (postoji slijed prijelaza u kojem se prijelaz može izvesti bezbroj puta).

Mreža je 1- aktivna i sigurna, pri čemu se u stanju $(1, 1, 0, 0, 0)$ ne može izvesti nijedan prijelaz (stanje blokiranja - zastoja).

Aktivnost je najvažnije svojstvo za modeliranje telekomunikacijskih procesa, a teorijski i praktično osobitu važnost imaju aktivne sigurne mreže.

Reverzibilnost

Petrijeva 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. Mreža iz primjera 3.1. nije reverzibilna, ni mreža iz primjera 3.3. uz mjesto p_2' , a mreža bez p_2' je reverzibilna.

Oslabljeni definiciji reverzibilnosti dopušta povrat u neko stanje $\mu^* \neq \mu$.

U telekomunikacijskim procesima često se nakon završetka nekih operacija zahtijeva povrat u početno stanje. Za to su najprikladnije reverzibilne aktivne sigurne mreže.

Prekrivanje

Prekrivanje se odnosi na stanja za koja vrijedi $\mu'' \geq \mu'$, a iskazuje se pitanjem da li za mrežu C s početnim stanjem μ i stanje μ' postoji stanje $\mu'' \in R(C, \mu)$ takvo da je $\mu'' \geq \mu'$.

Prekrivanje zahtijeva najmanje 1-aktivnu mrežu, odnosno potencijalno izvedive prijelaze.

Prekrivanje se može definirati i za podskup mjesta, a i za odabrani skup stanja. Po složenosti prekrivanje je problem sličan dostupnosti.

Konzervacija oznaka

Svojstvo konzervacije odnosi se na zadržavanje jednakoga, početnog, broja oznaka u svim stanjima mreže.

Petrijeva mreža $C = (P, T, I, O)$ s početnim stanjem μ je strogo konzervacijska ako za svaki $\mu' \in R(M)$ vrijedi:

$$\sum \mu'(p_i) = \sum \mu(p_i)$$

Takva postavka izrazito utječe na strukturu mreže, jer je očito da broj ulaza i izlaza za svaki prijelaz mora biti jednak. Mreža koja nije strogo konzervacijska može se pretvoriti u takvu mrežu izjednačavanjem broja ulaznih i izlaznih grana za svaki prijelaz (dodavanje paralelnih grana).

Konzervacijsko svojstvo može se definirati i u oslabljenom obliku pridjeljivanjem težinskih vrijednosti mjestima. Petrijeva mreža je konzervacijska s obzirom na težinski faktor w :

$$w = (w_1, w_2, \dots, w_i, \dots, w_n), w_i \geq 0,$$

ako za svaki $\mu' \in R(C, \mu)$ vrijedi:

$$\sum w_i \mu'(p_i) = \sum w_i \mu(p_i).$$

Konfliktnost i simultanost prijelaza

Dva osnovna odnosa prijelaza u nekom stanju mreže opisana su konfliktnom i simultanom izvedbom.

Prijelazi t_i i t_j su konfliktni ako i samo ako postoji stanje μ u kojem se oba prijelaza mogu izvesti:

$$\mu(p_k) \geq \#(p_k, I(t_i)), \text{ za svaki } p_k \in P$$

$$\mu(p_k) \geq \#(p_k, I(t_j)), \text{ za svaki } p_k \in P,$$

ali izvedba jednoga isključuje izvedbu drugoga:

$$\mu(p_k) < \#(p_k, I(t_i)) + \#(p_k, I(t_j)), \text{ za neki } p_k \in P.$$

Prijelazi t_i i t_j su simultani ako postoji stanje μ u kojem se oni mogu izvesti, a izvedba jednoga ne utječe na izvedbu drugoga:

$$\mu(p_k) \geq \#(p_k, I(t_i)) + \#(p_k, I(t_j)), \text{ za svaki } p_k \in P.$$

U primjerima 3.1. i 3.3. prijelazi t_2 i t_3 su konfliktni.

Perzistentnost

Pojam konflikta prijelaza na razini mreže izražava se svojstvom perzistentnosti. Petrijeva mreža se naziva perzistentnom ako prijelaz koji se može izvesti gubi uvjete samo vlastitom izvedbom. Perzistentnost ima značenje odsutnosti konflikta u procesu izvedbe mreže. Primjeri 3.1. i 3.3. ne opisuju perzistentne mreže.

Sinkronična distanca

Sinkronična distanca označava stupanj usklađenosti dvaju prijelaza t_i i t_j u M :

$$d_{ij} = \max_{\sigma} (\#\sigma(t_i) - \#\sigma(t_j))$$

i odgovara razlici broja izvedbi prijelaza u slijedu σ .

3.3. IZVEDENI MODELI

Osnovni model Petrijeve mreže doživio je niz proširenja i ograničenja kojima se utječe na snagu modeliranja ili snagu odlučivanja o strukturnim i dinamičkim aspektima modeliranog sustava. Proširenja kao i ograničenja izvornog Petrijevog modela upućuju na izvedene modele. Dvije su osnovne skupine izvedenih modela - modeli s mogućnošću ispitivanja neispunjenoj uvjetu i modeli s klasificiranim mjestima.

Modeli s mogućnošću ispitivanja neispunjenoj uvjeta

Opću mrežu, sustav uvjeta i događaja i Petrijevu mrežu kao mrežu mjesta i prijelaza karakterizira koncesija utemeljena na ispunjenosti uvjeta, odnosno označenosti mjesta. Za takav pristup bitno je ispitivanje ispunjenosti uvjeta. Proširenje Petrijeve mreže u smislu ispitivanja neispunjenoj uvjeta, odnosno neoznačenog mjesta redefinira pojam koncesije. Može se pokazati da proširenje mreže koje uključuje ispitivanje neispunjenoj uvjeta uspostavlja ekvivalentiju mreže i Turingova automata. To pruža veće mogućnosti modeliranja, ali se ujedno pojavljuju veći problemi pri utvrđivanju analitičkih svojstava čime slabi snaga odlučivanja. Uvođenje ispitivanja neispunjeneh uvjeta rješava se na nekoliko načina, a najzanimljiviji su ovi:

- Petrijeva mreža s inhibicijskim granama
- Petrijeva mreža s isključivi ILI prijelazima
- Petrijeva mreža s usmjerenim prijelazima
- Petrijeva mreža s prioritetima i
- vremenska Petrijeva mreža.

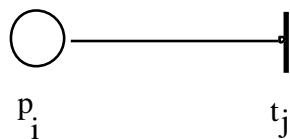
Zajednička ideja proširenja sadržana je u konceptu inhibicijske grane, a ostali pristupi upućuju na mrežne modele kojima se može pridružiti ekvivalentna mreža s inhibicijskim granama.

Modeli s klasificiranim mjestima

Praktična primjena Petrijeve mreže zahtjeva neka rješenja koja modifcijiraju izvorni pojam uvjeta i pridruženog mu mjesta, kao i pojam oznake. Tako se ostvaruju mreže s mjestima svrstanim u podskupove zajedničkih obilježja, odnosno mreže s klasificiranim mjestima. Karakteristični primjeri tako izvedenih modela su mreže s mjestima Booleova tipa i obojene mreže.

3.3.1. Petrijeva mreža s inhibicijskom granom

Inhibicijska grana između mesta p_i i prijelaza t_j ima značenje negacije tako da se prijelaz t_j izvodi ako su sva "normalna" mjesta označena, a inhibicijsko mjesto nije označeno. Svaki prijelaz t_j može imati proizvoljan broj inhibicijskih mesta. Inhibicijska grana označava se kružićem (o) umjesto strelicom na simbolu prijelaza (sl.3.6).



Slika 3.6. Inhibicijska grana

U Petrijevoj mreži s inhibičkim granama modificirana su samo pravila za izvedbu prijelaza. Isto vrijedi i za ostale izvedene modele koji omogućuju ispitivanje neispunjenoj uvjet.

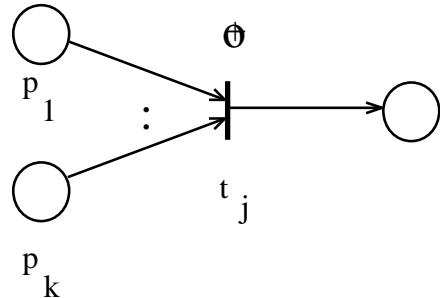
Praktična primjena inhibičke grane u modelima telekomunikacijskih procesa može uvelike pojednostaviti strukturu modela, jer se često pojavljuju situacije u kojima se uz ispunjen uvjet provodi jedan, a uz neispunjenoj uvjet drugi skup akcija (npr. slobodan korisnik - zauzet korisnik).

3.3.2. Petrijeva mreža s isključivim ILI prijelazom

Pod isključivoj ILI prijelazom razumijeva se prijelaz koji se izvodi ako je samo jedno od ulaznih mesta označeno ili neparan broj ulaznih mesta (sl.3.7).

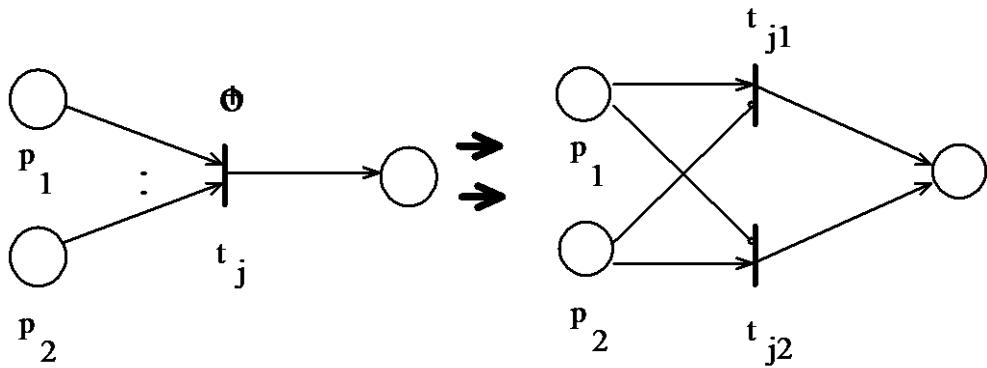
Izključivi ILI prijelaz s k ulaznih mesta kojim se modelira slučaj "1 od k " može se opisati s k prijelaza od kojih je svaki povezan s mjestima ovako:

- svako ulazno mjesto povezano je s jednim od prijelaza "normalnom" granom, a s ostalima inhibičkom granom
- izlazno mjesto za sve prijelaze je zajedničko i odgovara izvornom izlaznom mjestu izključivog ILI prijelaza.



Slika 3.7. Izključivi ILI prijelaz

Primjer za pretvorbu ILI prijelaza sa dva ulazna mesta predložen je slikom 3.8. Taj primjer pokazuje da uporaba složenijih prijelaza pojednostavljuje strukturu mreže.



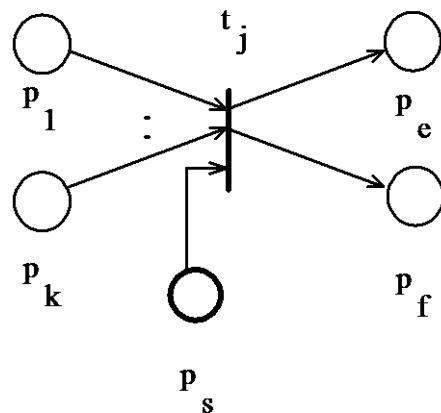
Slika 3.8. Pretvorba ILJ prijelaza

Tipična je primjena takvog prijelaza u situacijama u kojima se modelira radnja za izvedbu koje je dovoljna ispunjenost samo jednog od preduvjeta.

3.3.3. Petrijeva mreža s usmjeravajućim prijelazom

Pod usmjeravajućim prijelazom razumijevo se prijelaz s najmanje dva ulazna mesta i samo sa dva izlazna mesta, p_e i p_f . Jedno od ulaznih mesta p_s opisuje funkciju usmjeravanja i nije uvjet za realizaciju prijelaza (sl.3.9). Ako su sva "normalna" mesta označena, prijelaz se izvodi ovako:

- oznaku dobiva p_e ako je p_s prazan, a
- oznaku dobiva p_f ako je p_s označen.

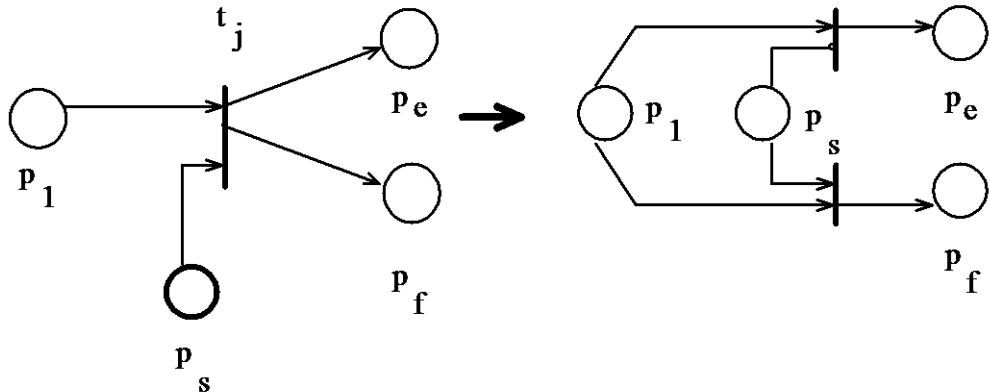


Slika 3.9. Usmjeravajući prijelaz

Usmjeravajući prijelaz može se opisati dvama prijelazima (sl.3.10) ovako:

- prijelazi su povezani s "normalnim" ulaznim mjestima na isti način kao usmjeravajući prijelaz

- usmjeravajuće mjesto povezano je "normalnom" granom s prijelazom čije je izlazno mjesto p_f
- usmjeravajuće mjesto povezano je inhibicijskom granom s prijelazom čije je izlazno mjesto p_e .



Slika 3.10. Pretvorba usmjeravajućeg prijelaza

3.3.4. Petrijeva mreža s prioritetima

Petrijeva mreža s prioritetima sadrži prijelaze t_i i t_j koji se mogu izvesti u nekom stanju, a prioritetom je određeno koji će se prijelaz izvesti prvi. Dokaz da mreža s prioritetom također ispituje neispunjenošću uvjeta je sljedeći:

- neka mreža sadrži dva prijelaza t_1 i t_2 , dva ulazna mesta p_t i p_i i dva izlazna mesta p_e i p_f
- mjesto p_t je zajedničko ulazno mjesto za t_1 i t_2
- mjesto p_i je ulazno i izlazno mjesto za t_1
- mjesto p_e je izlazno mjesto za t_2
- mjesto p_f je izlazno mjesto za t_1
- ako prijelaz t_1 ima prioritet u odnosu prema prijelazu t_2 izvedba će mreže, uz ispunjen početni uvjet p_i , generirati novo stanje koje ovisi o ispunjenosti uvjeta p_t (p_t ispunjen - p_f ispunjen, p_t neispunjen - p_e ispunjen).

Time je postignut je isti učinak kao s usmjeravajućim prijelazom za koji je prethodno pokazana ekvivalencija primjenom inhibicijskih grana.

3.3.5. Vremenska Petrijeva mreža

Vremenska Petrijeva mreža izvodi se iz izvorne Petrijeve mreže tako da se svakom prijelazu pridruže dva vremenska intervala, i to:

τ_d - minimalno vrijeme koje mora isteći nakon što su ispunjeni uvjeti za realizaciju prijelaza da bi se prijelaz mogao izvesti,

τ_g - maksimalno vrijeme u kojemu su uvjeti za realizaciju prijelaza ispunjeni, a nakon kojega se prijelaz mora izvesti.

Ako je $\tau_d = 0$ i $\tau_g \rightarrow \infty$, pojам vremena se gubi i dobiva se izvorna Petrijeva mreža. Različita vremena izvedbe dvaju prijelaza koji se mogu izvesti u nekom stanju istovjetna su različitim prioritetima tako da se neće posebno dokazivati mogućnost ispitivanja neispunjene uvjeta. Moguća su i drugačija zadavanja vremenskih uvjeta, u kojima se razmatra samo minimalno, maksimalno ili zadano vrijeme koje mora isteći do ostvarenja prijelaza:

$$\tau_g \rightarrow \infty, \tau_d = \tau$$

$$\tau_d = 0, \tau_g = \tau$$

$$\tau_d = \tau_g = \tau.$$

3.3.6. Petrijeva mreža miješanog tipa

Petrijeva mreža miješanog tipa opisana je šestorkom $M = (P_B, P_I, T, I, O, \mu)$, pri čemu je:

P_B - skup mesta Booleova tipa

P_I - skup mesta cjelobrojnog tipa,

a T, I, O i μ imaju izvorno značenje. Za funkcije ulaza i izlaza vrijede ograničenja:

$$\#(p_i, I(t_j)) \leq 1$$

$$\#(p_i, O(t_j)) \leq 1.$$

Mjesto $p_i \in P_B$ znači uvjet koji je ispunjen u nekom stanju ako je $\mu(p_i) = 1$.

Ako je $P_B = 0$ mreža se naziva cjelobrojnom, a ako je $P_I = 0$ mreža je Booleova. Pri izvedbi prijelaza za mesta Booleova tipa primjenjuje se operacija zbrajanja prema modulu 2 za promjenu oznaka u izlaznom mjestu.

Proširena Petrijeva mreža izvodi se iz Petrijeve mreže miješanog tipa ako se svakom Booleovu mjestu pridruži logička razina, a svakom prijelazu impuls koji se generira izvedbom prijelaza.

3.3.7. Obojena Petrijeva mreža

Proširenjem izvornog modela kojim se klasificiraju oznake dobije se obojena Petrijeva mreža. Ako mesta Petrijeve mreže opisuju atributi različitih svojstava

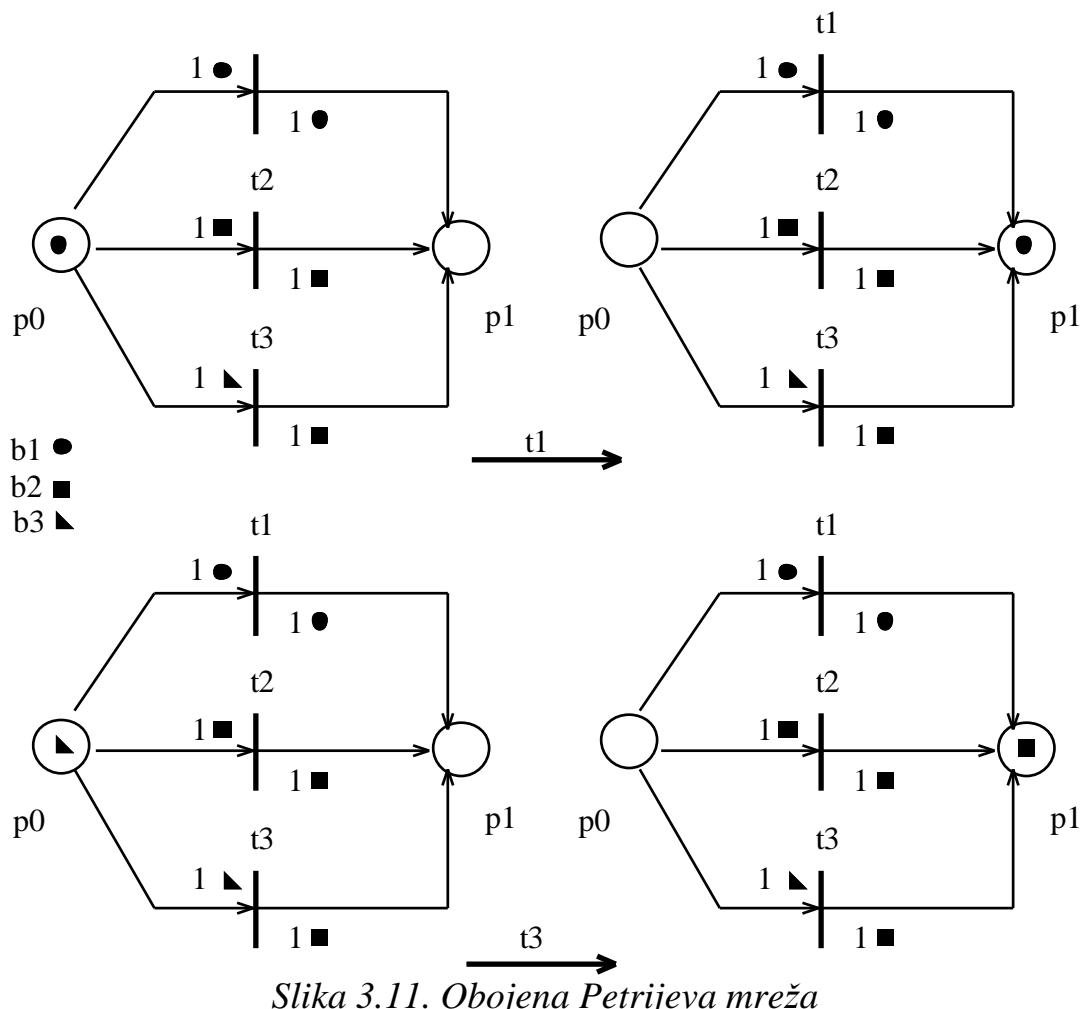
kojima se pridjeljuju oznake, te se oznake moraju razlikovati. Razlikovanju oznaka odgovara pojam bojenja.

Za Petrijevu mrežu $C = (P, T, I, O)$, kojoj je pridružen skup boja B , označavanje μ_i opisuje za svako mjesto p_i skupinu oznaka s bojom $b_j \in B$.

Pravilo izvedbe prijelaza t_j proširuje se funkcijom f_j koja q_j ulaznih oznaka preslikava u r_j izlaznih oznaka. Funkcija f_j opisuje prijelaz tako da određuje broj i boju oznaka u ulaznim mjestima kao preduvjet za izvedbu prijelaza. Izvedba prijelaza eliminira te oznake iz ulaznih mesta, a dodaje obojene oznake u izlazna mesta.

Primjer 3.4.

Obojenom Petrijevom mrežom opisan je postupak odlučivanja o tijeku uspostavljanja komunikacije. Odabrani korisnik može biti slobodan, zauzet ili blokirani. Ako je slobodan, ispunjeni su uvjeti za pozivanje, a u druga dva primjera se poziv odbacuje.



Svakom stanju korisnika pridružit će se boja, npr. b_1 - slobodan, b_2 - zauzet, b_3 - blokiran. Prijelazima se modeliraju akcije tako da se, ako je ispunjen uvjet o poznavanju stanja korisnika (p_0), izvodi prijelaz t_i ako je riječ o boji b_i . Uvjet koji opisuje stanje poziva neka dobiva dvije oznake, b_1 , ako se poziv nastavlja, a b_2 ako se prekida.

Slikom 3.11 predviđena je izvedba prijelaza za dva početna stanja. Uz ulazne i izlazne grane prijelaza naznačeno je koliko oznaka i koje boje apsorbira, odnosno generira prijelaz (prošireno pravilo izvedbe prijelaza).

3.3.8. Stohastička Petrijeva mreža

Stohastička Petrijeva mreža proširenje je njezina osnovnog modela stohastičkim parametrima. Svakom prijelazu t_j dodjeljuje se parametar pripadne raspodjele λ_j sa značenjem intenziteta prijelaza (iz jednoga u drugo stanje Petrijeve mreže). Fizikalno značenje odgovara pojmu brzine izvedbe prijelaza, što se smatra dodatnim uvjetom za izvedbu prijelaza: prijelaz se izvodi nakon slučajnog vremenskog intervala koji ima eksponencijalnu raspodjelu. Ako se u istom stanju mreže može izvesti više prijelaza, izvodi se onaj s najmanjim kašnjenjem.

U Petrijevoj mreži s eksponencijalnom raspodjelom vremena izvedbe prijelaza, koja ima konačno stablo dostupnosti i 4-aktivna je, stablo dostupnosti izomorfno je Markovljevu lancu. Stohastički model je stacionaran i ergodičan. Neka je kašnjenje d_j za prijelaz t_j nenegativna slučajna veličina. Za eksponencijalnu funkciju raspodjele

$$F(x) = 1 - e^{-\lambda_j x},$$

odnosno funkciju gustoće vjerojatnosti

$$f(x) = \lambda_j e^{-\lambda_j x}$$

prosječno kašnjenje iznosi:

$$d_j = 1/\lambda_j.$$

Pri analizi se, uz zadane intenzitete prijelaza, mogu odrediti vjerojatnosti pojedinog stanja mreže, očekivani broj oznaka u nekome mjestu, srednji broj izvedba prijelaza u jedinici vremena, prosječno vrijeme koje protekne između ponovnog dolaska u neko stanje i slični parametri prikladni za procjenu ponašanja modeliranog sustava.

3.3.9. Neizrazita Petrijeva mreža

Pojam neizrazite Petrijeve mreže odnosi se na model kojim se mogu predviđiti neprecizne vrijednosti i odnosi, za razliku od logičkih formalizama koji se temelje na "čvrstim" vrijednostima istinitosti - neistinit/istinit (0/1) i odnosima

koji iz njih proizlaze. Neizrazit (*fuzzy*) pristup dopušta prikaz vrijednosti istinitosti u granicama 0 - 1, a ne samo graničnih vrijednosti.

Neizrazitost se u Petrijevu mrežu uvodi:

- dodjeljivanjem vrijednosti istinitosti oznake u mjestu p_i u granicama 0 - 1
- dodjeljivanjem faktora neodređenosti izvedbe prijelaza t_j u granicama 0 - 1 i
- određivanjem vrijednosti praga (najniža vrijednost istinitosti) uz koju se prijelaz može izvesti.

Ako se neizraziti model primjenjuje za prikaz znanja potrebno je također odrediti skup propozicija koji sadrže neizrazite varijable, te pridružiti propozicije mjestima.

Neizrazita Petrijeva mreža izvedena iz izvorne Petrijeve mreže je ovakva:

$$C = (P, T, D, I, O, f, \alpha, \beta),$$

pri čemu je:

$P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$	konačni skup mjesta, $n > 0$, $p_i \in P$
$T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$	konačni skup prijelaza, $m > 0$, $t_j \in T$
$D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$	konačni skup propozicija, $n > 0$, $d_j \in D$
$P \cap T \cap D = \emptyset$	
$P \cup T \neq \emptyset$	
$I : T \rightarrow P^\infty$	funkcija ulaza
$O : T \rightarrow P^\infty$	funkcija izlaza
$f : T \rightarrow (0, 1)$	funkcija pridruživanja faktora neodređenosti prijelazu
$\alpha : T \rightarrow (0, 1)$	funkcija pridruživanja vrijednosti istinitosti mjestu
$\beta : P \rightarrow D$	funkcija pridruživanja mjesta i propozicija.

Označavanje se provodi tako da u mjestu p_i smije biti samo jedna oznaka (sigurna mreža) koja ima vrijednost istinitosti:

$$\alpha(p_i),$$

a propozicija d_i pridružena mjestu p_i :

$$\beta(p_i) = d_i$$

tada ima vrijednost istinitosti $\alpha(p_i)$.

Osnovno logičko pravilo, odnosno implikacija, predočeno je mrežom s jednim prijelazom koji ima po jedno ulazno i izlazno mjesto:

$$\text{IF } d_1 \text{ THEN } d_2 (f_1) \quad \text{ili} \quad d_1 \rightarrow d_2 (f_1)$$

$$P = \{p_1, p_2\}$$

$$T = \{t_1\}$$

$$D = \{d_1, d_2\}$$

$$P \cap T \cap D = \emptyset$$

$$P \cup T \neq \emptyset$$

$$I(t_1) = \{p_1\} \quad O(t_1) = \{p_2\}$$

$$f(t_1) = f_1$$

$$\alpha(p_1) = y_1$$

$$\alpha(p_2) = 0$$

$$\beta(p_1) = d_1$$

$$\beta(p_2) = d_2.$$

Prijelaz se može izvesti ako za svako ulazno mjesto vrijedi:

$$p_j \in I(t_i), \quad \alpha(p_j) \geq \lambda,$$

pri čemu je λ prag za izvedbu prijelaza u mreži.

Izvedbom prijelaza t_i gube se oznake iz ulaznih mesta, $p_j \in I(t_i)$, a upisuju oznake u izlazna mesta, $p_k \in O(t_i)$, tako da je vrijednost istinitosti za izlazna mesta:

$$\alpha(p_k) = \text{MIN}_j [\alpha(p_j) \cdot f(t_i)].$$

Primjer 3.5.

Odredite $\alpha(p_3)$ i oblik pravila za mrežu:

$$C = (P, T, D, I, O, f, \alpha, \beta)$$

$$P = \{p_1, p_2, p_3\}$$

$$T = \{t_1\}$$

$$D = \{d_1, d_2, d_3\}$$

$$I(t_1) = \{p_1, p_2\} \quad O(t_1) = \{p_3\}$$

$$f(t_1) = 0.9$$

$$\lambda = 0.5$$

$$\alpha(p_1) = 0.8$$

$$\alpha(p_2) = 0.9$$

$$\beta(p_1) = d_1$$

$$\beta(p_2) = d_2$$

$$\beta(p_3) = d_3.$$

Prijelaz t_1 ima dva ulazna mesta i jedno izlazno mjesto. Kako su vrijednosti istinitosti ulaznih mesta veće od vrijednosti praga, prijelaz se može izvesti ovako:

$$\alpha(p_3) = \text{MIN} [\alpha(p_1); \alpha(p_2)] \cdot f(t_1) = \text{MIN} [0,8; 0,9] \cdot 0,9 = 0,72$$

Predočeno je pravilo:

$$\text{IF } d_1 \text{ OR } d_2 \text{ THEN } d_3 (0,9).$$

3.4. STRUKTURNΑ OGRANIČENJA

Strukturnim se ograničenjima Petrijeve mreže uspostavljaju jednostavniji odnosi mesta i prijelaza, a i samih prijelaza, što je osobito važno u konfliktnim situacijama.

Ordinarna Petrijeva mreža

Mreža $C = (P, T, I, O)$ naziva se ordinarnom ako vrijedi:

$$\begin{aligned} \#(p_i, I(t_j)) &\leq 1 \text{ i} \\ \#(p_i, O(t_j)) &\leq 1. \end{aligned}$$

Ordinarna mreža i mreža miješanog tipa su strukturno ekvivalentne. U njima je isključeno višestruko povezivanje mesta i prijelaza.

Petrijeva mreža bez vlastitih petlji

Mreža $C = (P, T, I, O)$ naziva se Petrijevom mrežom bez vlastitih petlji ako vrijedi:

$$I(t_j) \cap O(t_j) = 0,$$

ili drugačije:

$$\#(p_i, I(t_j)) \cdot \#(p_i, O(t_j)) = 0.$$

U takvoj mreži mjesto ne može biti i ulazno i izlazno za isti prijelaz.

Ako neka Petrijeva mreža zadovoljava ograničenja za ordinarnu mrežu i mrežu bez vlastitih petlji, naziva se *restriktivnom*.

Automat stanja

Automat stanja je Petrijeva mreža za koju svaki prijelaz t_j ima samo jedno ulazno i izlazno mjesto:

$$\begin{aligned} |I(t_j)| &= 1 \text{ i} \\ |O(t_j)| &= 1. \end{aligned}$$

Označeni graf

Označeni graf je Petrijeva mreža za koju svako mjesto p_i ima samo jedan ulazni i izlazni prijelaz:

$$|I(p_i)| = 1 \text{ i}$$

$$|O(p_i)| = 1.$$

Mreža slobodnog izbora

Petrijeva mreža je mreža slobodnog izbora ako je svako mjesto p_i za svaki prijelaz t_j ili jedino ulazno mjesto ili je prijelaz t_j jedini izlazni prijelaz za to mjesto:

$$I(t_j) = p_i \text{ ili}$$

$$O(p_i) = t_j.$$

Jednostavna mreža

Petrijeva mreža je jednostavna ako je svakom prijelazu najviše jedno ulazno mjesto zajedničko s nekim drugim prijelazom.

**Sveučilište u Zagrebu
Fakultet elektrotehnike i računarstva
Ak.g. 2014./15.
Komunikacijski protokoli**

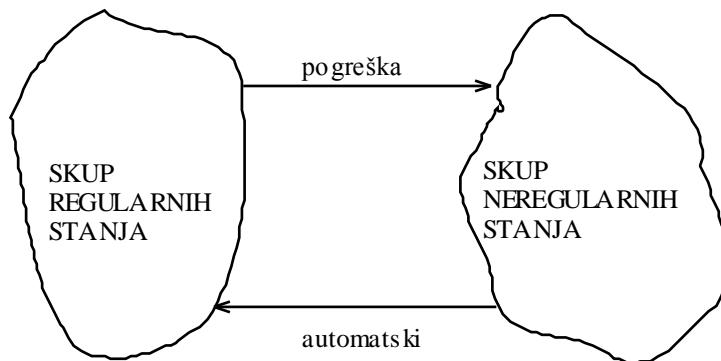
**Ignac Lovrek
Modeli telekomunikacijskih procesa - teorija i primjena Petrijevih mreža
Školska knjiga, Zagreb, 1997.**

4. ANALIZA I SINTEZA KOMUNIKACIJSKIH PROTOKOLA

4.1. METODE RAZVOJA KOMUNIKACIJSKIH PROTOKOLA

Komunikacijski postupak kojim se ostvaruje izmjena podataka, uklanjanje posljedica kvarova i smetnji te koordinacija u sustavu komunicirajućih procesa naziva se komunikacijski protokol. Djelovanje smetnji te pojava pogrešaka i kvarova su realnost tako da je osnovna pretpostavka pri razvoju protokola "sačuvati upravljanje", a time i integritet podataka i operativnost sustava.

Promatraljući stanja komunicirajućih procesa, takav se zahtjev može formulirati kao povratak u regularno stanje u konačnom vremenu (s konačnim brojem operacija) iz neregularnog stanja u koje je sustav prešao pod djelovanjem pogreške (sl.4.1).



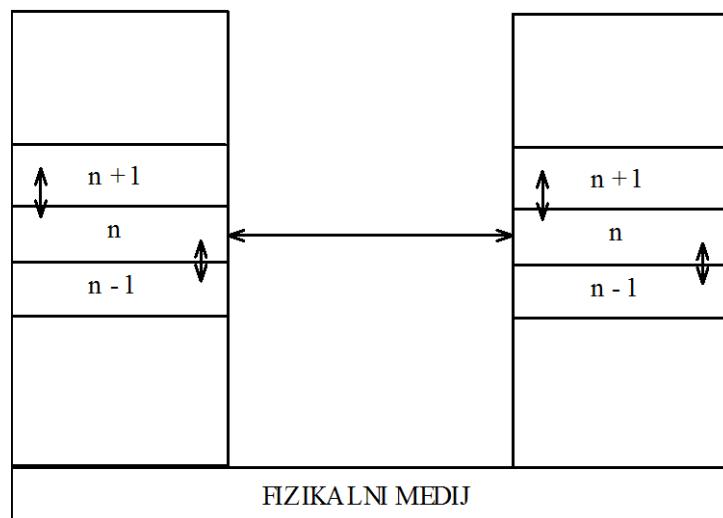
Slika 4.1. Uklanjanje pogreške u sustavu komunicirajućih procesa

Uobičajeno predočavanje komunikacije između udaljenih procesa osniva se na primjeni slojevitih modela. U slojevitom se modelu ukupne operacije podijele na više slojeva za svaki komunicirajući entitet, odnosno stranu u komunikaciji. Svaki sloj sadrži skup funkcija kojima, na osnovi postavljenog zahtjeva, poslužuje viši sloj, a sam postavlja zahtjeve nižem sloju. Između dva susjedna sloja na istoj strani se provodi vertikalna komunikacija. Horizontalna komunikacija unutar istog sloja na različitim stranama je virtualna komunikacija, osim u najnižem sloju (sl.4.2).

Općenito, posrijedi je sedam slojeva, i to:

1. fizikalni sloj,
2. sloj podatkovne veze,
3. mrežni sloj,
4. transportni sloj,
5. sloj sesije,
6. sloj prikaza,
7. sloj primjene,

od kojih je fizikalni sloj najniži, a sloj primjene najviši.



Slika 4.2. Slojeviti model komunikacije

U telekomunikacijskoj mreži komunicirati mogu korisnici međusobno, zatim korisnik i funkcionalni entitet mreže, korisnik i funkcionalni entitet u mreži ili izvan nje, funkcionalni entiteti u mreži te funkcionalni entitet mreže i funkcionalni entitet smješten izvan nje. Model povezivanja i izmjene korisničke i upravljačke informacije u digitalnoj mreži integriranih usluga naziva se referentnim modelom protokola.

Svrha komunikacije jest ostvarivanje telekomunikacijskih usluga - prijenosnih usluga, teleusluga i dodatnih usluga. Zato referentni model protokola koji se zasniva na slojevitom prikazu ima posebna obilježja koja omogućuju predočavanje različitih usluga u komunikaciji glasom, slikom, podacima i s više oblika korisničke informacije te njima pridružene upravljačke informacije.

Razlikovanjem informacijskih tokova uvode se dvije ravnine:

- upravljačka ili C-ravnina (*control*) i
- korisnička ili U-ravnina (*user*).

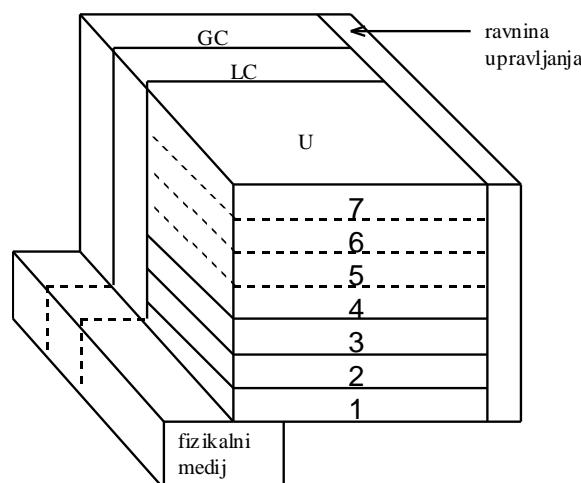
Osnovna zadaća korisničke ravnine jest prijenos informacija između korisnika, a za upravljačku ravninu to je upravljanje vezom, upravljanje uporabom veze i pridjeljivanje dodatnih usluga. Takav prikaz protokola dopušta rad s upravljačkim tokom izdvojenim iz korisničkog toka (*out-of-band-signalling*) ili pomiješanim s korisničkim tokom (*in-band signalling*).

Kad je riječ o upravljačkoj informaciji, važno je razlikovati njezino lokalno i globalno značenje. Izvorišni funkcionalni entitet se pri ostvarivanju telekomunikacijske usluge povezuje s bliskim (pridruženim) entitetima i udaljenim entitetima koji su spojeni s bliskim entitetima. Upravljačka informacija koja se odnosi na izvorišni i bliski entitet ima lokalno značenje, a ako je riječ o udaljenom entitetu globalno značenje. Usluga ima globalno, a upravljanje resursima lokalno značenje u upravljačkoj ravnini. Dodatna usluga može imati globalno ili lokalno značenje. Globalna informacija može se prenositi transparentno, obrađivati ne zadirući u sadržaj ili mijenjajući sadržaj.

Pojmovi ravnine i njezina značenja proširuju pojam sloja i temeljna su obilježja protokolnog bloka kojim se opisuju različiti dijelovi mreže. Generički protokolni blok (sl 4.3) sadrži:

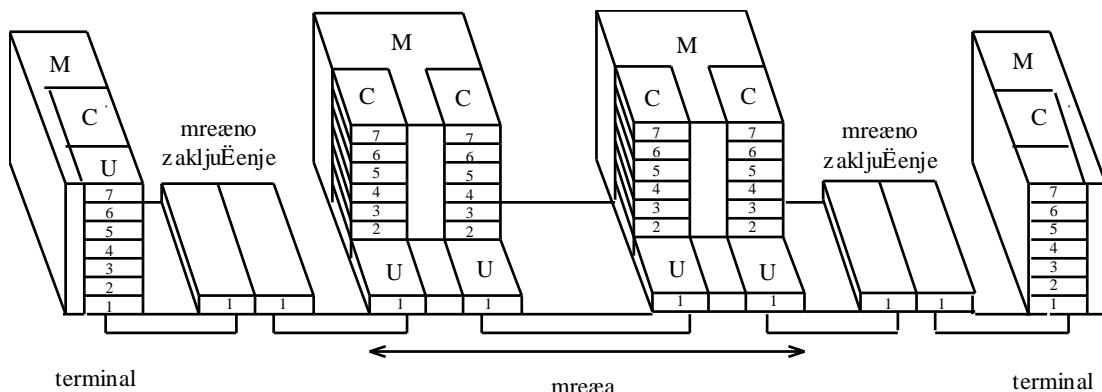
- lokalnu upravljačku ravninu LC
- globalnu upravljačku ravninu GC
- korisničku ravninu U,

svaku podijeljenu u slojeve. Neki slojevi mogu biti prazni, neupotrijebljeni, odnosno bez zadaće u pojedinoj primjeni. Isto se tako u pojedinoj primjeni može pojaviti samo jedna ili dvije ravnine, a ne sve tri. Suradnja ravnina u jednom protokolnom bloku ostvaruje se funkcijom upravljanja ravnina. Protokolni blokovi međusobno se povezuju fizikalnim medijem.



Slika 4.3. Protokolni blok

Primjer komunikacije između dva terminala priključena na čvorove mreže predložen je slikom 4.4. Odabran je prikaz komunikacije u digitalnoj mreži integriranih usluga - izmjena korisničke informacije komutacijom kanala po B kanalu između dva terminala. Uvedene su tri vrste protokolnih blokova koji opisuju terminal, mrežno zaključenje i čvor u mreži koji se razlikuju prema ravninama i slojevima. Terminalni protokolni blok sadrži sve tri ravnine i svih sedam slojeva čime je omogućena teleusluga komunikacije B kanalom. Protokolni blok mrežnog zaključenja reducirana je na prvi sloj što odgovara funkcijama za prijenos informacije. Mrežni protokolni blok ima također korisničku ravninu samo u prvom sloju (transparentnost s obzirom na korisničku informaciju!), a ostale ravnine u punom sastavu, do sloja primjene.

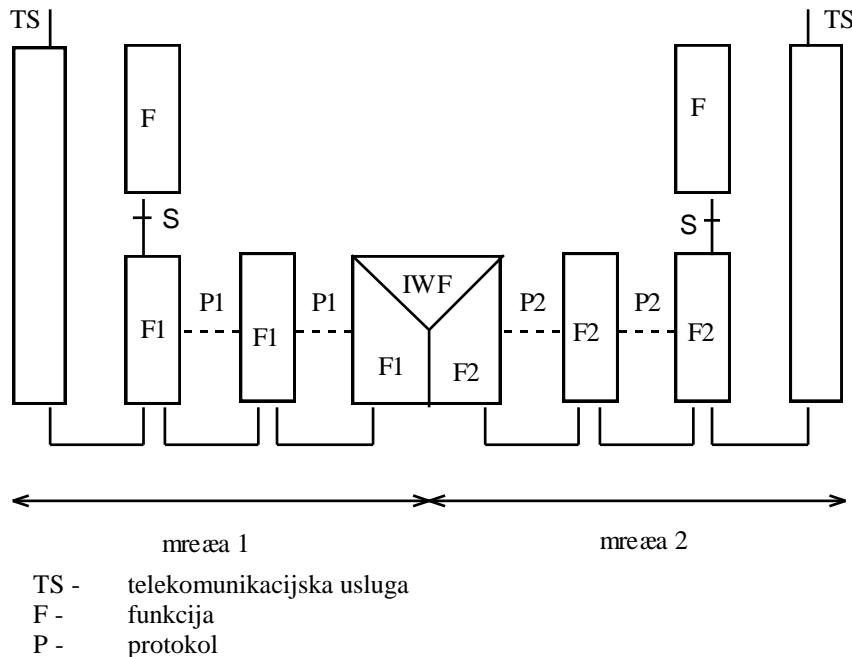


Slika 4.4. Informacijski tok između dva terminala

Međudjelovanje raznovrsnih protokolnih blokova (različitih protokola, različitih mreža) ostvaruje se funkcijama međudjelovanja (IWF - *interworking*). Načelo međudjelovanja dviju mreža pri ostvarivanju telekomunikacijske usluge predloženo je slikom 4.5. Moguće su ove situacije:

- usluga S koja se izvodi jednaka je zahtijevanoj usluzi TS, jer je obje mreže mogu ostvariti; prilagodna funkcija F nije potrebna
- usluga S koja se izvodi različita je od zahtijevane usluge TS, jer su se obje mreže tako dogovorile; prilagodna funkcija F nije potrebna
- uslugu S ostvaruje svaka mreža drugim sredstvima, tako da je potrebna prilagodna funkcija F.

Usluga S ostvaruje se funkcijama F1 i F2 te protokolima P1 i P2, a IWF izvodi preslikavanje F1 - F2.



Slika 4.5. Međudjelovanje dviju mreža

Komunikacijski protokoli su redovito složeni i sadrže velik skup pravila za izmjenu informacijskih jedinica u sustavu koji je distribuiran. Koncept protokolnog bloka i slojevita struktura pomažu da se ukupni problem raščlaniti tako da se složenost učini prihvatljivom.

Složenost postupaka razvoja protokola može se smanjiti i preciznim definiranjem razvojnih faza i s njima povezanog izbora formalnog modela. Pri razvoju protokola provodi se:

- specifikacija (definiranje i formalizacija opisa protokola)
- verifikacija (provjera specificiranog protokola)
- implementacija (izvedba protokola na temelju provjerene specifikacije), te
- ispitivanje podudarnosti (provjera izведенog u odnosu prema specificiranom protokolu).

Ključni problem je kako formalno specificirati protokol i time omogućiti njegovu provjeru i izvedbu. Pri tome treba imati na umu dvije osnovne funkcije protokola - upravljanje komunikacijom i prijenos informacijskih jedinica. Pri specifikaciji te se funkcije manifestiraju kao definicija upravljačkih i procedurnih aspekata komunikacije koje je teško obuhvatiti istim formalnim modelom. Tipične upravljačke funkcije su uspostavljanje i prekidanje komunikacije, akcije pri pojavi pogrešaka i kvarova i tome slično. Procedurnim se funkcijama rješavaju označavanje i odbrojavanje informacijskih jedinica, broj informacijskih jedinica koje odašilje predajna strana iako nije primila potvrdu od prijamne strane, ponavljanje pri neispravnom prijenosu i sl.

Sa stajališta specifikacije, formalizacija protokola razlikuje se prema osnovnom modelu. Najviše postupaka upotrebljava:

- konačni automat i izvedene modele
- Petrijevu mrežu i izvedene modele
- grafičke modele
- visoke programske jezike
- formalne jezike i gramatike, ili
- kombinirane modele.

Uzme li se u obzir i provjera (verifikacija) protokola, veliku važnost imaju dvije skupine modela - oni koji se oslanjaju na koncept sustava uvjeta i događaja i oni koji su jezično orijentirani. Pritom su automat i Petrijeva mreža povoljniji za upravljačke, a visoki programski jezik za procedurne aspekte. U 2. poglavlju ove knjige razrađena su osnovna načela modeliranja komunikacijskih protokola konačnim automatom

Provjerom protokola potrebno je ustanoviti:

- nepotpunost definicije
- neregularno upravljanje komunikacijom:
 - nepredviđena interakcija komunicirajućih procesa,
 - dijelovi procesa koji se nikad ne izvode,
 - pogrešna inicijalizacija i sinkronizacija procesa,
 - blokiranje komunikacije.
- neregularni prijenos informacijskih jedinica:
 - gubitak informacijske jedinice,
 - višestruki prijam informacijske jedinice,
 - pogrešan prijam,
 - promjena redoslijeda informacijskih jedinica.
- neregularno upravljanje resursima:
 - prekoračenje kapaciteta kanala,
 - nemogućnost prijama,
 - pogrešna dodjela.
- reakciju na kvarove i druge izvanredne situacije.

U nastavku će biti predviđeno modeliranje komunikacijskih protokola koje sadrži specifikaciju i verifikaciju utemeljenu na Petrijevoj mreži kao formalnom modelu. Specifikacija ima obilježja sinteze komunikacijskog protokola, a verifikacija njegove analize.

4.2. MODELIRANJE KOMUNIKACIJSKIH PROTOKOLA PETRIJEVOM MREŽOM

4.2.1. Model osnovnoga komunikacijskog protokola

Svaki se proces modelira Petrijevom mrežom, a međusobno se povezuju zajedničkim mjestima tako da se kanal također opisuje Petrijevom mrežom. Zajedničko mjesto označava postuvjet za prijelaz koji odašilje informacijsku jedinicu, a preduvjet za prijelaz kojim se ista informacijska jedinica prima.

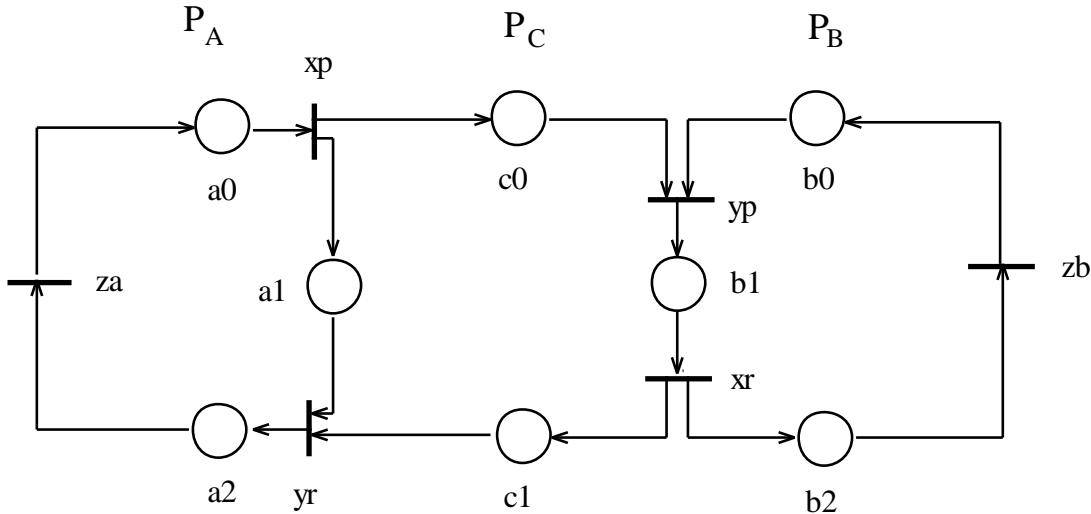
U modelu osnovnoga komunikacijskog protokola dva procesa izmjenjuju poruke i potvrde. Svakom se procesu P_A , P_B , kao i kanalu C pridjeljuje odgovarajuća Petrijeva mreža P_A , P_B i P_C (sl.4.6) s mjestima koja opisuju uvjete:

- a_0 pripravnost za predaju poruke
- a_1 čekanje potvrde
- a_2 primljena potvrda
- b_0 pripravnost za prijam poruke
- b_1 primljena poruka
- b_2 predana potvrda
- c_0 poruka na kanalu
- c_1 potvrda na kanalu

i prijelazima koji opisuju događaje:

- x_p predaja poruke
- y_r prijam potvrde
- z_a unutrašnji prijelaz
- y_p prijam poruke
- x_r predaja potvrde
- z_b unutrašnji prijelaz.

Odabrani je model ekvivalentan onom upotrijebljenom za objašnjenje automatskog modela u primjeru 2.2.



Slika 4.6. Izvorna Petrijeva mreža za model protokola

Očito je da je sustav komunicirajućih procesa opisan jednom mrežom koja je nastala povezivanjem pojedinačnih Petrijevih mreža. Komunikacijski kanal je uveden izravno i povezuje komunicirajuće procese. Pritom su utvrđeni uvjeti koji opisuju kanal. Ovaj model je složeniji od automat-modela, ali su njegovi elementi jednostavniji od onih upotrijebljenih u automatu. Stanja nisu prepostavka za analizu, već će se do njih doći analizom.

Struktura Petrijeve mreže opisuje ovisnost uvjeta i događaja i njihov međusobni utjecaj. To se može nazvati statičkim modelom komunikacijskog protokola. Dinamička komponenta uvodi se izvedbom Petrijeve mreže uz zadane početne uvjete. U tom primjeru to je označavanje:

$$\mu_0 = (\mu_{a0}, \mu_{a1}, \mu_{a2}, \mu_{b0}, \mu_{b1}, \mu_{b2}, \mu_{c0}, \mu_{c1}) = (1, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0)$$

odnosno ispunjeni uvjeti a_0 i b_0 .

U tom stanju može se izvesti samo prijelaz x_p . Ulazno mjesto gubi jednu oznaku (a_0), a izlazna mjesta dobivaju po jednu oznaku (a_1, c_0), te se uspostavlja novo stanje

$$\mu_1 = (0, 1, 0, 1, 0, 0, 1, 0)$$

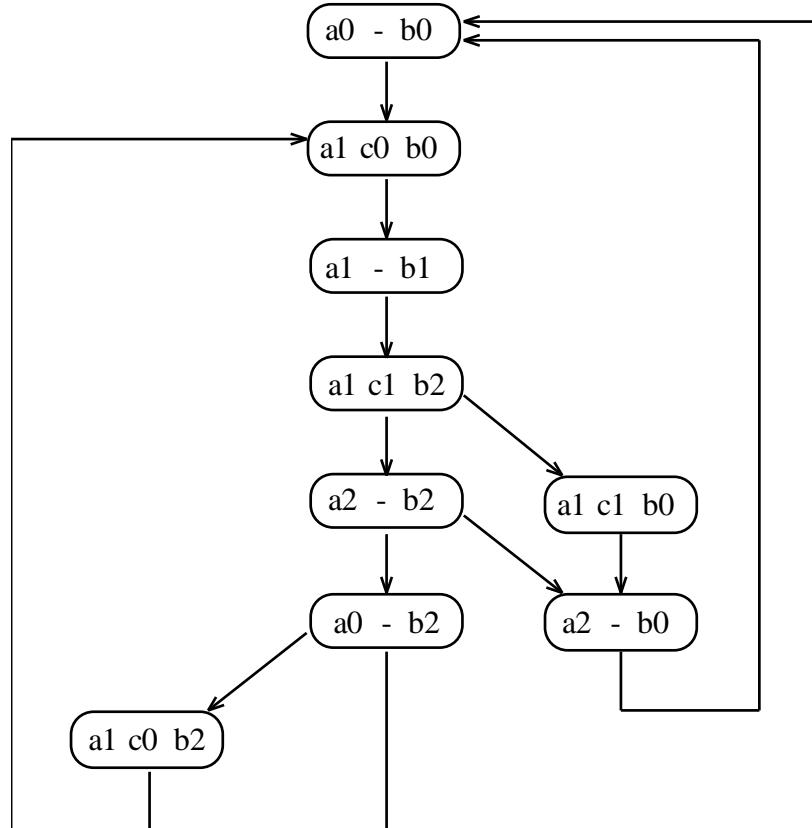
u kojemu su označena mjesta (a_1, c_0, b_0).

Potpuni graf stanja koji je predložen slikom 4.7 ekvivalentan je grafu stanja za isti komunikacijski protokol modeliran automatom i analiziran postupkom perturbacije stanja. Razlika u složenosti stanja koje sada ima tri komponente, uz pojedinačna stanja automata i stanje kanala, posljedica je izravno uvedenog modela kanala.

Ova je mreža sigurna, aktivna i perzistentna, a nije konzervacijska.

U struktturnom smislu mreža je restriksionska, jer nema višestrukog povezivanja mesta i prijelaza, ni vlastitih petlji. Svako mjesto ima samo jedan ulazni i samo jedan izlazni prijelaz što odgovara pojmu označenoga grafa.

Prijelazi y_r i z_b , x_p i z_b te z_a i z_b su paralelni, a konfliktnih prijelaza nema.



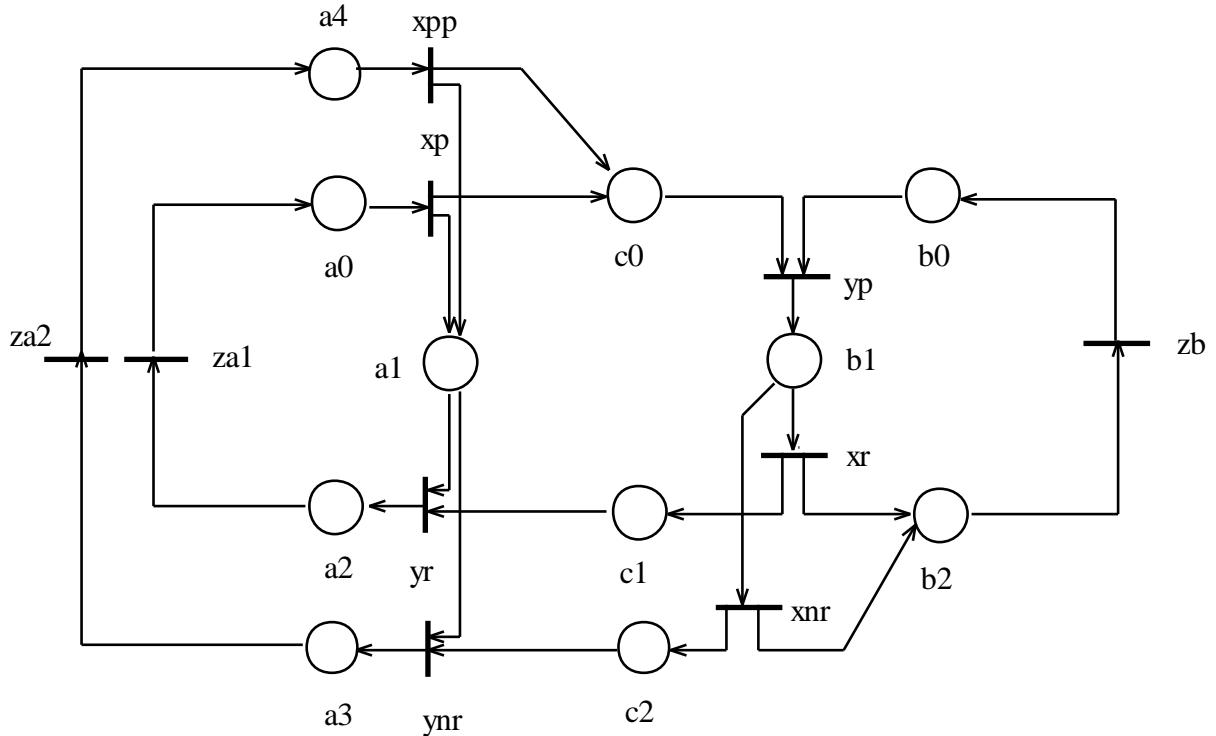
Slika 4.7. Graf stanja izvorne Petrijeve mreže za model protokola

Opisani komunikacijski protokol ne sadrži reakciju na negativnu potvrdu pri neuspješnoj komunikaciji. Uvođenjem pozitivne (r) i negativne potvrde (nr) dobiva se mreža prema slici 4.8. Nova mesta i prijelazi su:

- | | |
|----------|--|
| a_3 | negativna potvrda prijama |
| a_4 | poruka pripravna za ponovni prijenos (retransmisijsku) |
| c_2 | negativna potvrda na kanalu |
| x_{nr} | predaja negativne potvrde |
| y_{nr} | prijam negativne potvrde |
| x_{pp} | retransmisijska poruka. |

Mreža je složenija nego za osnovni model protokola, a složeniji je i graf stanja. Mreža je aktivna i sigurna, a nije konzervacijska i perzistentna. Strukturno je

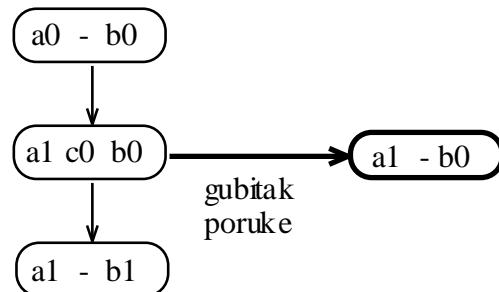
restričijska, te odgovara pojmu mreže slobodnog izbora. Prijelazi x_r i x_{nr} , te y_r i y_{nr} su konfliktni.



Slika 4.8. Model protokola s pozitivnom i negativnom potvrdom

Prijašnja analiza potvdila je ispravnost komunikacije samo ako nema nikakve pogreške. Međutim, komunikacijske protokole valja verificirati potpuno, što znači da pri sintezi valja ispitati i moguće neregularnosti. Model utemeljen na Petrijevoj mreži omogućuje simulaciju pogreške što će se pokazati na primjeru gubitka poruke.

Neka se u stanju (a_1, c_0, b_0) izgubi poruka što se simulira prijelazom u novo stanje (a_1, b_0) kao što je prikazano na dijelu grafa stanja (sl.4.9).

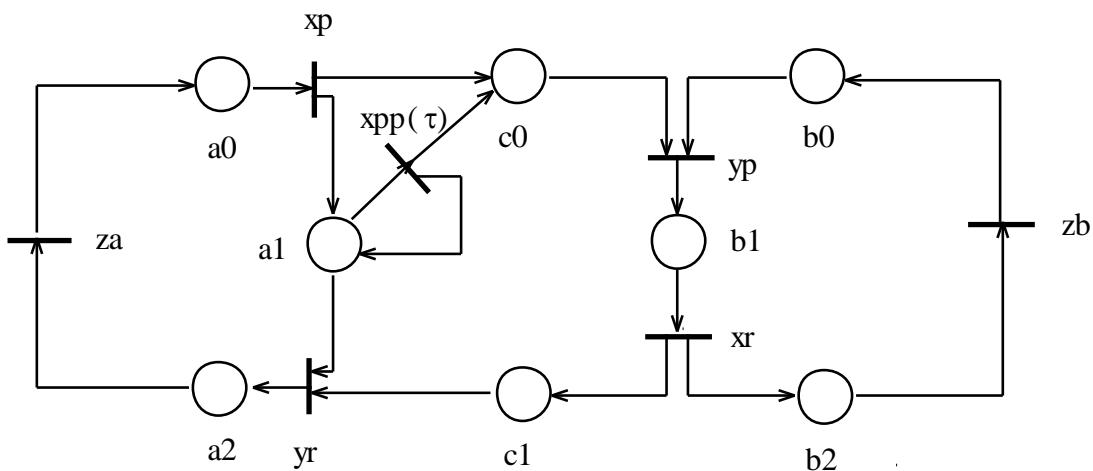


Slika 4.9. Prijelaz u neregularno stanje

U tom stanju ne može se izvesti nijedan prijelaz i riječ je o stanju blokiranja. Drugim riječima djelovanjem pogreške iz skupa regularnih stanja prešlo se u neregularno stanje koje se ne može napustiti logikom opisanog protokola. Potrebni su novi mehanizmi za upravljanje komunikacijom i koordinaciju procesa. Teorijski i praktično provodi se vremenska kontrola komunikacije, što u ovom pristupu uvodi vremensku Petrijevu mrežu.

4.2.2. Primjena vremenske Petrijeve mreže

U stanju blokiranja (a_1, b_0) proces P_A neprekidno provjerava je li stigla potvrda, a proces P_B je li stigla poruka, odnosno čekaju jedan na drugoga da nešto učini. Uobičajeno je rješenje da predajni proces koji očekuje potvrdu provodi vremensku kontrolu nakon koje ponavlja poruku, prepostavljajući da nije stigla do prijamnog procesa. Drugim riječima osnovni model treba proširiti vremenskim prijelazom koji će odašiljati poruku nakon isteka vremenske kontrole (sl.4.10) i vratiti procese u regularno stanje (sl.4.11).



Slika 4.10. Vremenska Petrijeva mreža za model protokola

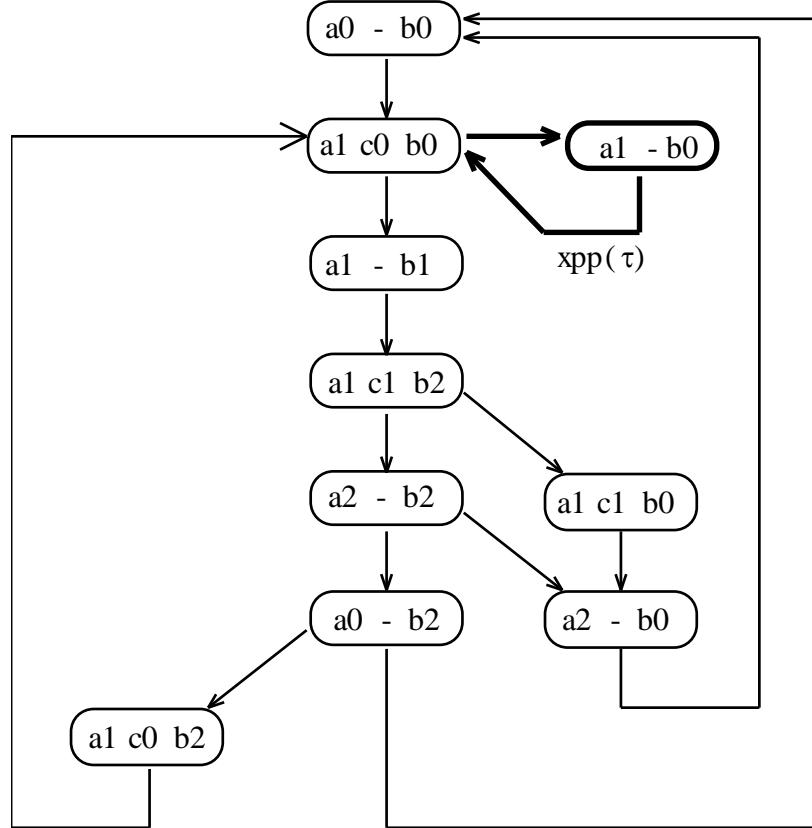
Može se dokazati da uvedeni vremenski prijelaz $x_{pp}(\tau)$ rješava gubitak poruke i potvrde u bilo kojem stanju i ostvaruje povratak u regularno stanje.

Postavlja se pitanje kako odrediti trajanje vremenske kontrole. Definiranje vremenskih ograničenja je složeno zbog najmanje dva razloga. Prvi je određivanje relativnih odnosa graničnih vremena realizacije prijelaza i zadržavanja u nekom stanju. Drugi je određivanje ponašanja sustava ako se neko od uvedenih vremenskih ograničenja ne ispunji. Najkraće trajanje vremenskog uvjeta mora biti veće od najduljeg trajanja prijenosa:

$$\tau_{min} > T_{c0max}(a_1, c_0, b_0) = T_{c0max},$$

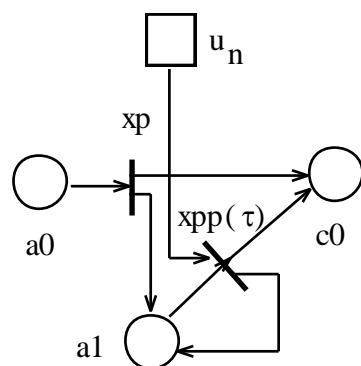
odnosno zadržavanja sustava u stanju (a_1, c_0, b_0) zbog ispunjenosti uvjeta c_0 .

Tada se poruka neće ponoviti prije nego što je mogla stići do predajnog procesa.



Slika 4.11. Povratak u regularno stanje

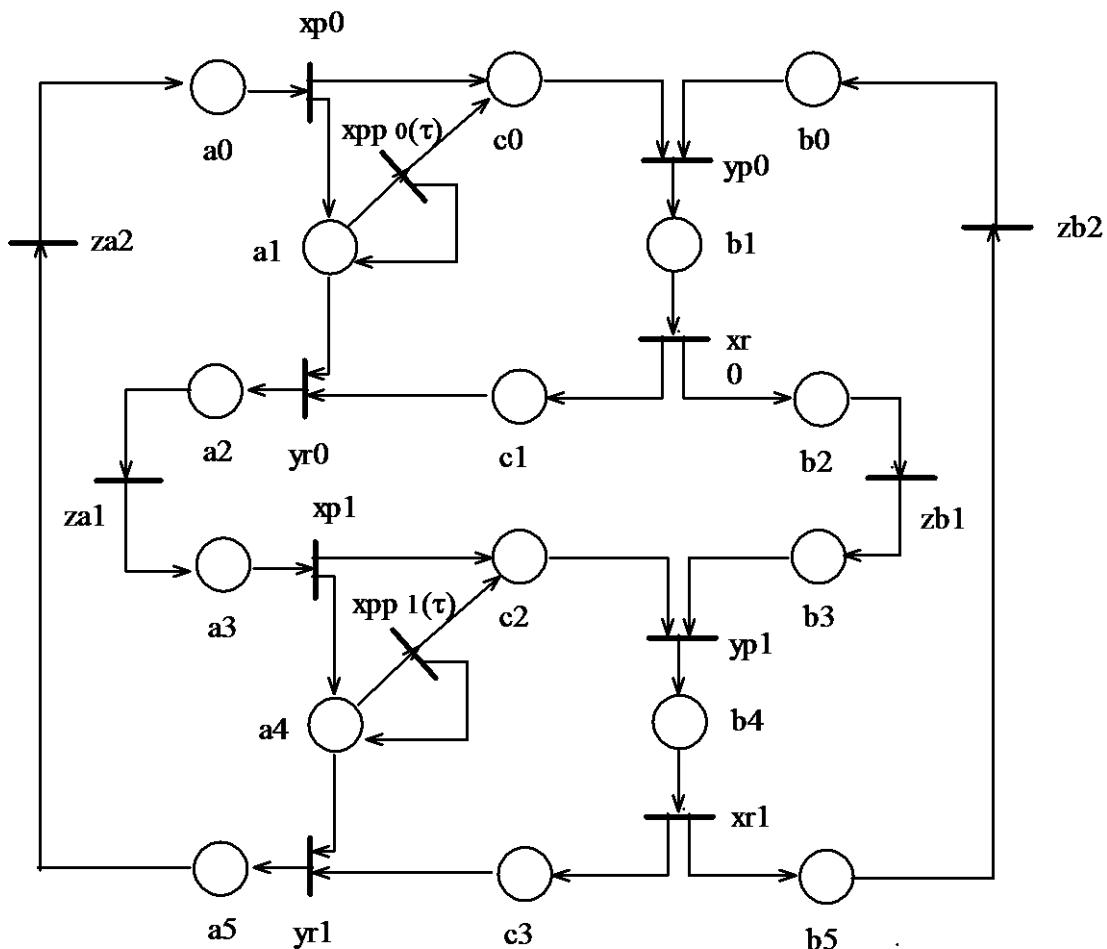
Ponavljanje broja pokušaja ispravnog i potvrđenog prijenosa poruke potrebno je ograničiti. Za to se može primijeniti na primjer proširena Petrijeva mreža kojom se uvodi "vanjski" uvjet u_n sa značenjem "izvedi prijelaz n puta" (sl.4.12).



Slika 4.12 Vanjski uvjet za model protokola

Pokazat će se također kako procedurni aspekti komunikacije utječu na složenost modela. Tipična situacija nastane kad je potrebno razlikovati informacijske jedinice. Složenost mreže ovisi o broju informacijskih jedinica i njihovoj obradi. Zbog toga se često primjenjuje podjela protokola na više razina kojima se rješavaju pojedini problemi.

Protokol za prijenos numeriranih poruka označenih s 0 i 1 naizmjenično, tzv. protokol s alternirajućim bitom poslužiti će kao primjer (sl.4.13).



Slika 4.13. Protokol s alternirajućim bitom

Analizira se gubitak poruka r_0 i r_1 u stanjima kanala koja imaju ispunjene uvjete c_0 i c_2 . Stanja blokiranja su (a_1, b_0) i (a_4, b_3) . Povratak u regularno stanje ostvaren je prijelazima x_{pp0} i x_{pp1} s vremenskim uvjetima:

$$\tau_{pp0min} > T_{a1max}$$

$$\tau_{pp1min} > T_{a4max}$$

i ispunjeni su uvjeti za povratak u regularno stanje nakon gubitka poruke.

Za gubitak u C_0 vrijedi:

$$T_{yrmin}(a_1, c_1, b_2) < T_{zb1max}(a_1, c_1, b_2)$$

$$T_{za1min}(a_2, b_2) < T_{zb1max}(a_2, b_2)$$

$$T_{xp1min}(a_0, b_2) < T_{zb1max}(a_0, b_2),$$

a u izraze za c_2 valja uvrstiti ekvivalentne prijelaze i uvjete. Mreža se vraća u regularno stanje ako se vremenski prijelazi ne izvedu prije nego što se utvrdi stvarni gubitak poruke. Da bi se izbjegla izvedba tih prijelaza potrebno je uvesti dva nova, također vremenska prijelaza y_{pp1} i y_{pp0} između mesta c_0 i b_3 , odnosno c_2 i b_0 za koja vrijedi:

$$\tau_{yp1max} < \tau_{xp0min} + \tau_{yp0min} + \tau_{za2min}$$

$$\tau_{yp0max} < \tau_{xp1min} + \tau_{yp1min} + \tau_{za1min}.$$

Alternativa izravnom uvođenju vremenskih uvjeta i radu s vremenskom Petrijevom mrežom jest obrada vremenskih uvjeta na drugoj razini koja se u mrežu preslikava kao vanjski uvjet za izvedbu prijelaza. Tada se dodjeljuju vanjski uvjeti prijelazu t_j sa značenjem:

P_{tj} - predikat dopuštenja za izvedbu prijelaza

F_{tj} - funkcija akcije pokrenute izvedbom prijelaza.

Takav se prijelaz izvodi ako su ispunjeni uvjeti a predikat dopuštenja je istinit. Izvedbom prijelaza generira se novo stanje i pokreće funkcija akcije.

Takav pristup može poslužiti i za povezivanje upravljačkog i procedurnog segmenta protokola. Upravljački se modelira Petrijevom mrežom, a procedurni nadovezuje interakcijom preko predikata dopuštenja i funkcija akcije.

**Sveučilište u Zagrebu
Fakultet elektrotehnike i računarstva
Ak.g. 2014./15.
Komunikacijski protokoli**

**Ignac Lovrek
Modeli telekomunikacijskih procesa - teorija i primjena Petrijevih mreža
Školska knjiga, Zagreb, 1997.**

5. MODELI POZIVA I USLUGA

Pozivom se smatra uporaba ili moguća uporaba jedne ili više veza uspostavljenih između dva ili više korisnika. Osnovni poziv predočava poziv između dva korisnika koji ne sadrži nikakve dodatne mogućnosti komuniciranja. Usluga je mogućnost kojom raspolaže korisnik radi ispunjenja njegova telekomunikacijskog zahtjeva.

5.1. OSNOVNI PROCES POZIVA

Slijed aktivnosti koje se odvijaju pri posluživanju osnovnog poziva naziva se osnovni proces poziva. Upravljanje pozivom obuhvaća skup funkcija koje služe za obradu poziva, odnosno njegovo uspostavljanje, trajanje, nadgledanje, održavanje i prekidanje. Model poziva je prikaz funkcija sadržanih u procesiranju poziva.

Za razmatranje modela poziva relevantna je horizontalna dekompozicija poziva kojom se utvrđuju faze poziva tijekom njegova uspostavljanja, trajanja i prekidanja kao što su:

- ustanovljivanje zahtjeva za komunikacijom
- provjera pozivajućeg korisnika (A) kao pokretača komunikacije
- analiza zahtjeva za komunikacijom
- odabir drugoga, pozvanog korisnika (B)
- analiza adrese pozvanog korisnika
- rezervacija komunikacijskog kanala
- analiza stanja terminala pozvanog korisnika
- pozivanje i čekanje na javljanje pozvanog korisnika
- javljanje
- uspostavljanje komunikacije prije rezerviranim kanalom
- trajanje komunikacije
- provjera korisnika (A ili B) kao pokretača prekidanja
- analiza zahtjeva za prekidanjem komunikacije
- oslobođanje zauzetog komunikacijskog kanala
- konačni prekid komunikacije.

Preduvjet za početak poziva jest mirno stanje poziva, a isti uvjet mora se uspostaviti nakon konačnog prekida komunikacije.

Uspješnim se smatra onaj poziv kojim je obavljena komunikacija korisnika, odnosno poziv u kojem se izvode sve spomenute faze u slijedu. Tijekom uspješnog poziva korisnici su regularno izvodili komunikacijske operacije, a sva sredstva u terminalima, čvorovima i mreži u cjelini potrebna za ostvarivanje poziva dodijeljena su mu pravodobno.

Neuspješan završetak bilo koje faze poziva rezultira povratkom u mirno stanje. Faza poziva može završiti neregularno zbog stanja terminala, čvorova ili mreže u cjelini ili "ponašanja" korisnika. Ako se pozivu u nekoj fazi ne mogu dodijeliti tražena sredstva, pokreće se postupak završavanja poziva i izvješćuju korisnici o prekidanju poziva. Poziv također može završiti neuspješno (bez ostvarene komunikacije korisnika) ako pozvani korisnik nije slobodan ili ne prihvata poziv (ne odaziva se).

Nepravilan završetak bilo koje faze poziva također izaziva povratak u mirno stanje. To se događa ako pozivajući korisnik odustane od poziva prije nego što je on uspostavljen (nekoherentno ponašanje) ili pri pogrešnoj akciji i isteku vremenske kontrole (neregularno ponašanje). Neregularno ili nekoherentno ponašanje jednog korisnika ne može izazvati zadržavanje drugog korisnika u pozivu, niti sredstva dodijeljena pozivu držati zauzetim. U takvim primjerima onemogućuju se komunikacijske aktivnosti tog korisnika dok on ne prihvati regularno ponašanje.

Odredimo svaku fazu f_i poziva ovako:

- faza f_i može početi ako su ispunjeni preduvjeti
- faza f_i završava pozitivnim rezultatom ako su raspoloživa sva potrebna sredstva, a korisnici nisu izazvali prekid poziva
- faza f_i završava negativnim rezultatom ako pozivu nisu mogla biti dodijeljena sva potrebna sredstva ili su korisnici izazvali prekid poziva
- završetak faze f_i očituje se ispunjenim postuvjetom koji odgovara uspješnom ili neuspješnom rezultatu.

Nepovoljan rezultat pojedine faze poziva pokreće (preduvjet je) dodatne faze g_j kojima su opisane aktivnosti zaključivanja komunikacije. Primjeri nepovoljnog rezultata neke faze poziva su sljedeći:

- korisniku nije dozvoljeno pokretanje komunikacije
- odabrana pogrešna adresa (pozivni broj) korisnika
- odabrana nepostojeća adresa (pozivni broj) korisnika
- istek vremenske kontrole pri biranju znamenke
- nema slobodnog puta kroz mrežu

- pozvani korisnik zauzet
- pozvani korisnik se ne javlja
- korisnik nije završio komunikaciju,

a dodatne faze poziva su na primjer:

- blokiranje pozivajućeg korisnika
- blokiranje pozvanog korisnika.

Postuvjeti više različitih faza f_i mogu biti preduvjeti za istu fazu g_j .

Primjenjujući Petrijevu mrežu, izvedbi faze f_i dodjeljuje se prijelaz t_i , sa skupom ulaznih mesta $I(t_i)$ i skupom izlaznih mesta $O(t_i)$.

Dvije faze f_i i f_{i+1} se izvode neposredno u slijedu jedna iza druge ako je $\delta(\mu, t_i) = \mu'$, a t_{i+1} se može izvesti u μ' , odnosno ako vrijedi:

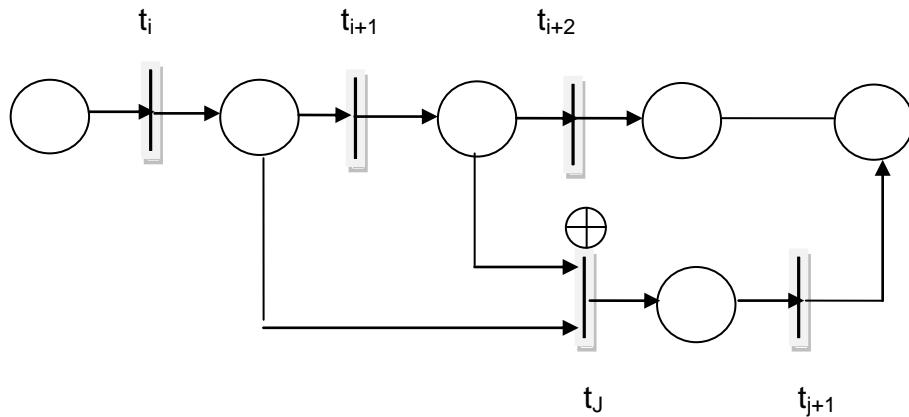
$$\mu(p_k) \geq \#(p_k, I(t_i)), \text{ za svaki } p_k \in P$$

$$\mu'(p_k) \geq \#(p_k, I(t_{i+1})), \text{ za svaki } p_k \in P,$$

što znači da je skup preduvjeta za t_{i+1} jednak nepravom skupu postuvjeta od t_i , a μ i μ' su neposredno dostupna stanja.

Dvije faze f_i i f_{i+2} se izvode jedna iza druge ako su stanje μ u kojem se može izvesti prijelaz t_i i stanje μ'' u kojem se može izvesti prijelaz t_{i+2} dostupna.

Budući da je dovoljno ispuniti jedan od preduvjeta za fazu g_j , ista se modelira isključivim ILI prijelazom t_j pri kojem je uvijek samo jedan ili nijedan preduvjet ispunjen (sl.5.1).



Slika 5.1. Model poziva

Svaku fazu f_i modeliranu prijelazom t_i s preduvjetima $I(t_i)$ i postuvjetima $O(t_i)$ može se tretirati blokom ako se:

- doda početni prijelaz t_{pi} za koji su preduvjeti $I(t_i)$ izlazna mjesta
- doda konačni prijelaz t_{ki} za koji su postuvjeti $O(t_i)$ ulazna mjesta.

Blok je struktura sastavljena od elemenata Petrijeve mreže, definirana kao petorka:

$$M_B = (P', T', I', O', \mu')$$

sa samo jednim prijelazom koji se naziva početnim (t_p) i samo jednim prijelazom koji se naziva konačnim (t_k).

Pridružena Petrijeva mreža koja nastaje umetanjem mjesta p_0 koje je za t_p preduvjet, a za t_k postuvjet određuje svojstva faze poziva kao bloka, pa je blok siguran i aktivan ako je to i pridružena Petrijeva mreža za koju vrijedi:

$$M = (P, T, I, O, \mu)$$

$$P = P' \cup p_0$$

$$T = T'$$

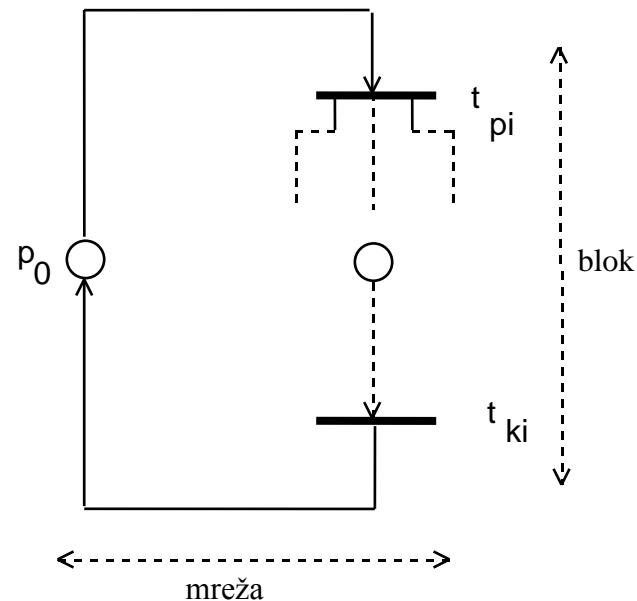
$$\mu = \mu' \cup \mu_0.$$

Tako opisana faza poziva (sl.5.2) je i *dobro strukturirani blok* jer se može postići da je:

- mjesto p_0 označeno u samo jednom stanju μ_0
- prijelaz t_p omogućen samo u stanju μ , a
- blok aktivan.

Ako se postigne i svojstvo sigurnosti, riječ je o *D-Petrijevoj mreži*, odnosno *D-blokovima*. Elementarna Petrijeva mreža je D-mreža (sl.5.3).

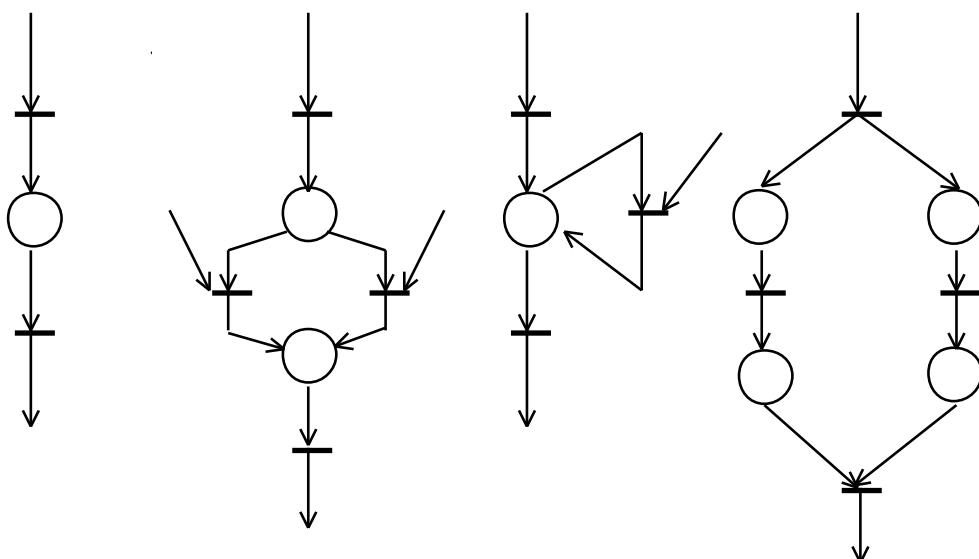
Osnovne strukture D-blokova opisuju izvedbu prijelaza serijski (u slijedu), alternativno, ponavljanjem (u petlji) i paralelno (sl.5.4).



Slika 5.2. Faza poziva predviđena dobro strukturiranim blokovima i pridruženom Petrijevom mrežom



Slika 5.3. Elementarna Petrijeva mreža



Slika 5.4. Osnovni D-blokovи

Supstitucija prijelaza u elementarnoj mreži D-blokovima kao rezultat daje novu Petrijevu mrežu koja je također D-mreža. Proširenje Petrijeve mreže zamjenom prijelaza dobro strukturiranim blokom "spušta" opis procesa na nižu razinu, s više detalja. Slično se, zamjenom dobro strukturiranog bloka jednim prijelazom, dobiva općenitiji prikaz procesa, s manje detalja.

Jednostavna pravila pojednostavnjenja su:

- stapanje serijskih mjesta (jedno je ulazno, a drugo izlazno za neki prijelaz)
- stapanje serijskih prijelaza (jedan je ulazni, a drugi izlazni za neko mjesto)
- stapanje paralelnih mjesta (ulazna ili izlazna mjesta za neki prijelaz)
- stapanje paralelnih prijelaza (ulazni ili izlazni prijelazi za neko mjesto)
- izbacivanje samopetljastih mjesta (isto mjesto je ulazno i izlazno za neki prijelaz)
- izbacivanje samopetljastih prijelaza (isti prijelaz je ulazni i izlazni za neko mjesto),

pri čemu se zadržava aktivnost, sigurnost i ograničenost. Takvi postupci primijenit će se za sintezu algoritama obrade poziva i usluga.

5.2. SINTEZA ALGORITAMA OBRADE POZIVA

Polazeći od elementarne Petrijeve mreže (s jednim mjestom i jednim prijelazom), uzastopnom se zamjenom prijelaza D-blokovima može provesti sustavan postupak razvoja algoritama obrade poziva, pri čemu svaki složeniji izvedeni model zadržava dobra svojstva sigurnosti i aktivnosti.

Primjena spomenutog postupka važna je za transformaciju makromodela poziva u mikromodel poziva. Pri modeliranju poziva u cijelosti povoljno je primijeniti makromodel, a za pojedine faze mikromodel. D-mreža i D-blok primijenit će se za svođenje na makromodel postupcima sažimanja (zamjena prijelazom), odnosno razvoj mikromodela postupcima proširivanja (zamjena prijelaza).

Korak 0

Najopćenitiji formalni opis poziva predočen je elementarnom Petrijevom mrežom koja sadrži mjesto i prijelaz:

- p_0 korisnici pripravni za poziv
 t_0 komunikacija ostvarena,

što jednostavno znači da će korisnici pripravni za poziv (mirno stanje poziva) moći ostvariti komunikaciju i nakon njezina završetka opet biti pripravni za novi poziv.

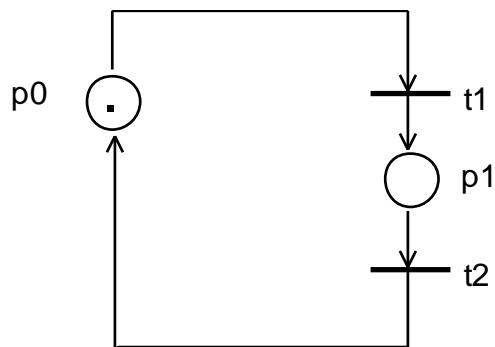
Korak 1

Prijelaz t_0 zamjenjuje se dobro strukturiranim blokom sa serijskim odnosom prijelaza:

- t_1 uspostavljanje komunikacije
- t_2 prekidanje komunikacije

i mjestom:

p_1 komunikacija (izmjena informacija između korisnika),
pri čemu su ti prijelazi početni i konačni u smislu definicije bloka (sl.5.5).



Slika 5.5. Petrijeva mreža-1 osnovnog poziva

Korak 2

Postupak se nastavlja raščlanjivanjem i detaljnijim opisom pojedinih događaja. Razrađuju se uspostavljanje i prekidanje poziva. Pritom je povoljno rastaviti algoritam tako da se razlikuju operacije na strani pozivajućeg - A korisnika i pozvanog - B korisnika.

Prijelaz t_1 (uspostavljanje komunikacije) zamjenjuje se blokom s prijelazima i mjestima:

- t_3 započinjanje poziva
- t_4 A bira B broj (pozivni broj)
- t_5 B se priprema za prihvaćanje poziva
- t_6 javljanje B (B prihvaća poziv)
- p_2 A najavio poziv
- p_3 A pozvao B
- p_4 B u mirnom stanju
- p_5 B pripravan za prihvaćanje poziva.

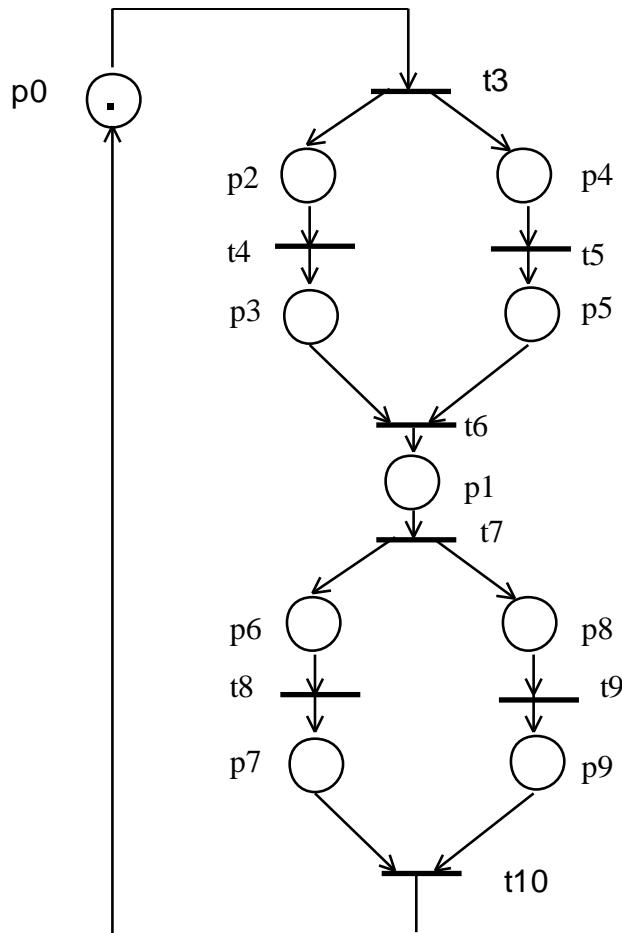
Postupak ćemo ilustrirati primjerom govorne komunikacije telefonom. Pri telefonskoj komunikaciji poziv započinje podizanjem mikrotelefonske kombinacije (slušalice). Odabire se pozivni broj pozvanog korisnika, a nakon njegova javljanja (podizanje mikrotelefonske kombinacije) ostvaruje se komunikacija i omogućuje izmjena informacija. To je opisano prijelazima. Spomenimo da prijelaz t_5 sustav provodi sam, bez ikakve aktivnosti pozvanog korisnika.

Prijelaz t_2 (prekidanje komunikacije) zamjenjuje se blokom koji sadrži ova mesta i prijelaze:

- t_7 A pokreće prekid
- t_8 B pokreće prekid
- t_{10} komunikacija prekinuta
- p_6 A završio komunikaciju
- p_7 A prekinuo komunikaciju
- p_8 B završio komunikaciju
- p_9 B prekinuo komunikaciju.

U telefonskoj vezi poziv se prekida polaganjem mikrotelefonske kombinacije. Nakon što jedan korisnik spusti slušalicu i drugi mora završiti poziv na isti način. To je jedina aktivnost korisnika, a predviđena je prijelazima.

Dobivena mreža predviđena je slikom 5.6.



Slika 5.6. Petrijeva mreža-2 osnovnog poziva

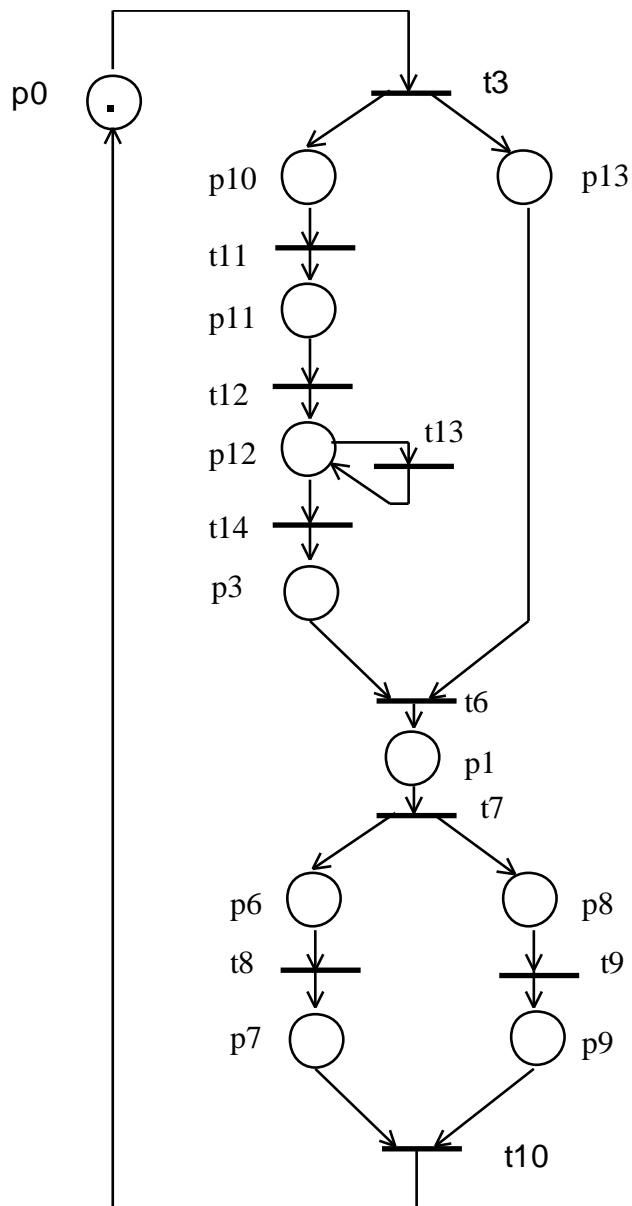
Korak 3

Razradit će se ponašanje A korisnika i pojednostavnići ponašanje B korisnika tijekom uspostavljanja komunikacije. Dio mreže između prijelaza t_3 i t_6 mijenja se tako da se uvode nova mjesta i prijelazi:

- t_{11} A pokreće komunikaciju
- t_{12} A bira prvu znamenku B broja
- t_{13} A bira ostale znamenke B broja
- t_{14} A bira zadnju znamenku B broja
- p_{10} A mirno stanje
- p_{11} A može slobodno birati
- p_{12} A u stanju biranja
- p_{13} B mirno stanje.

Razlikuje se biranje svake znamenke što će dopustiti dalju razradu i vremensku kontrolu postupka biranja. To je važno za uvođenje dijelova algoritma koji

rješavaju nekoherentno i neregularno ponašanje korisnika. Nova mreža predviđena je slikom 5.7.



Slika 5.7. Petrijeva mreža-3 osnovnog poziva

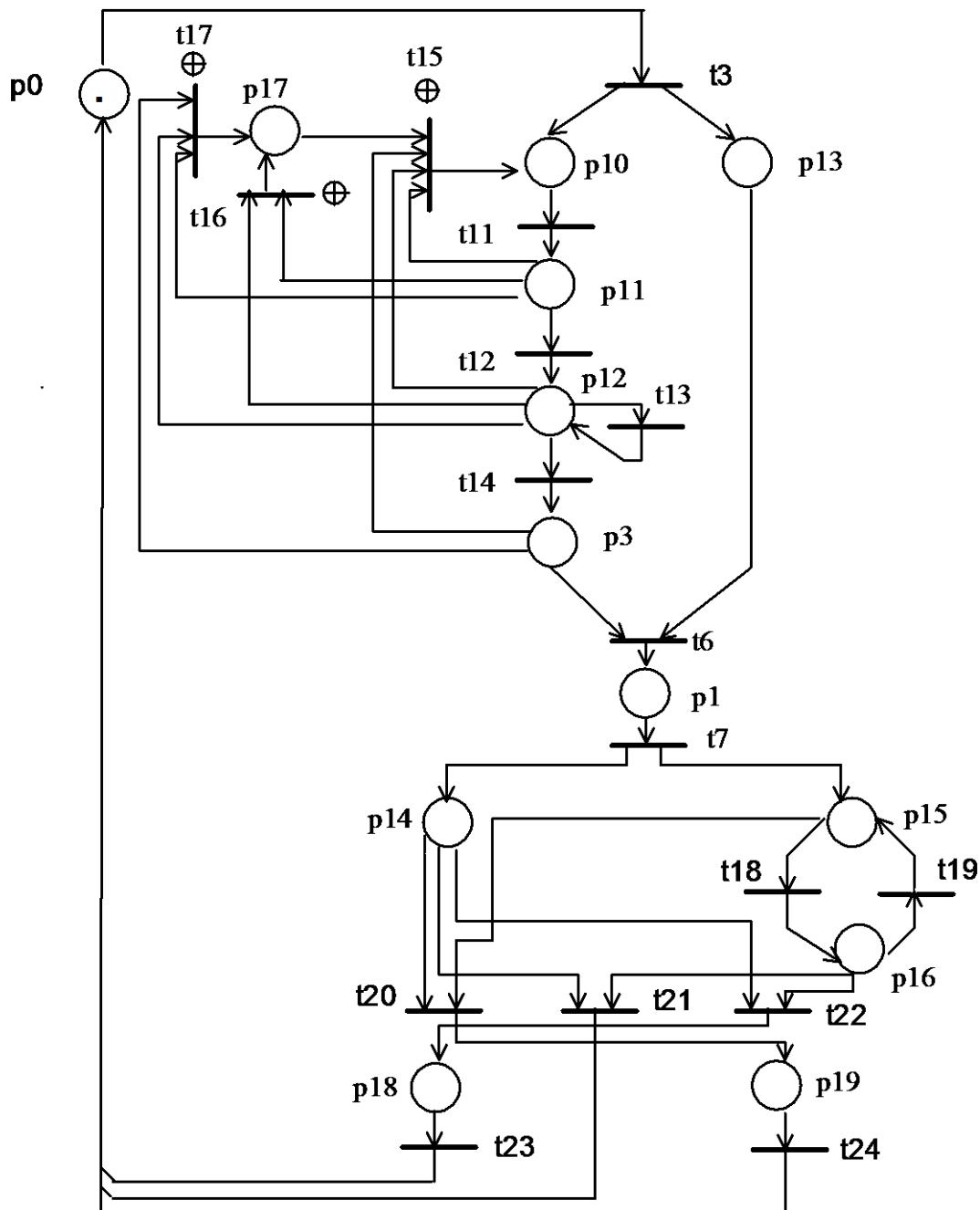
Završni korak

Sukcesivnom zamjenom prijelaza i razradom algoritma izvedena je formalna specifikacija poziva u završnom obliku (sl. 5.8).

Riješena su dva pitanja - odustajanje od poziva ili nekorektno biranje tijekom uspostavljanja komunikacije i prekidanje komunikacije na način uobičajen za govornu komunikaciju u javnoj telekomunikacijskoj mreži. Razlikuje se postupak pokrenut od A ili B korisnika. Prekid koji pokreće A korisnik je

konačan. Ako B korisnik prekida komunikaciju, on je može nastaviti ponovnim podizanjem mikrotelefonske kombinacije. Dručije rečeno, B korisnik može odustati od prekida komunikacije. U tom primjeru spuštanje i podizanje mikrotelefonske kombinacije se vremenski nadgleda.

Tipične oznake koje se upotrebljavaju pri specifikaciji govorne komunikacije su: za iniciranje i prihvaćanje poziva - podizanje mikrotelefonske kombinacije, a za prekid - polaganje mikrotelefonske kombinacije.



Slika 5.8. Formalna specifikacija poziva Petrijevom mrežom

Za razumijevanje algoritma potrebno je uočiti značenje uvedenih prijelaza i stanja:

- t_{15} A prekida prije ostvarene komunikacije s B
- t_{16} A bira pogrešnu znamenku (nepostojeći B broj)
- t_{17} A isteklo vrijeme za biranje znamenke
- t_{18} B prekida za vrijeme komunikacije s A
- t_{19} B odustaje od prekida
- t_{20} A prekida za vrijeme komunikacije s B
- t_{21} A prekida nakon što je B prekinuo
- t_{22} B isteklo vrijeme za odustajanja od prekida
- t_{23} A prekida za vrijeme blokade
- t_{24} B prekida za vrijeme blokade
- p_{14} A u ostvarenoj komunikaciji s B
- p_{15} B u ostvarenoj komunikaciji s A
- p_{16} B prekinuo komunikaciju
- p_{17} A blokiran
- p_{18} A blokiran nakon komunikacije s B
- p_{19} B blokiran nakon komunikacije s A.

Uvjeti p_{10} i p_{13} opisuju slobodnog korisnika, uvjeti p_{17} , p_{18} i p_{19} blokiranoga, a svi ostali uvjeti zauzetog korisnika. Korisnik je blokiran tako dugo dok regularno ne završi poziv.

5.3. OSNOVNI MODEL USLUGE

Usluga modificira osnovni model poziva tako da :

- izaziva preskakanje pojedinih faza poziva (npr. poziv bez biranja)
- smanjuje broj operacija u pojedinoj fazi poziva (npr. skraćeno biranje)
- umeće slijed faza poziva između dvije faze poziva (npr. povratni upit)
- ulančuje više poziva u jednoj komunikaciji (npr. konferencijska veza),

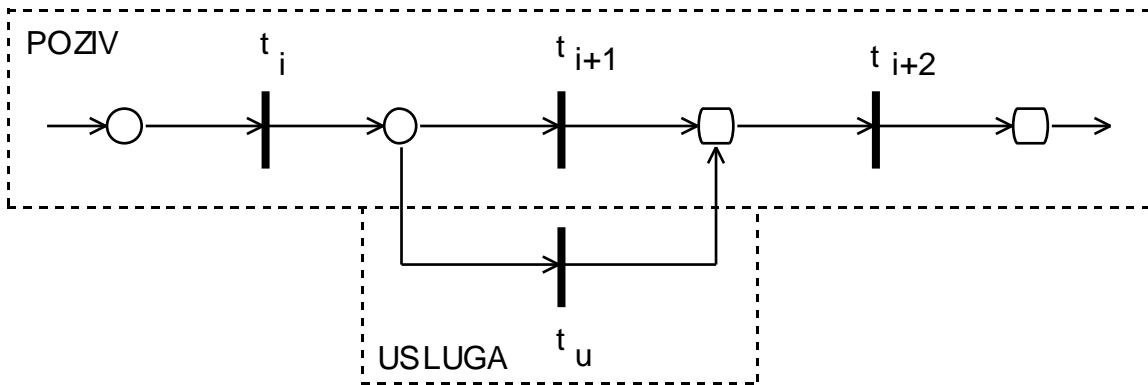
i to zbog:

- pojednostavljenja komunikacijskih operacija
- skraćenja trajanja komunikacijskih operacija
- omogućavanja dostupa odsutnom ili zauzetom pozvanom korisniku
- smanjenja broja uzastopnih poziva, uspješnih i neuspješnih, istom korisniku ili
- pružanja potpuno novih mogućnosti korisniku.

Svakoj se usluzi U_K može pridijeliti makromodel slično kao što je to izvedeno za sam poziv. Osnovni model usluge bi tada također sadržavao faze u_{Ki} koje opisuju uspješno odvijanje usluge i faze v_{Kj} koje određuju postupak pri pogrešnom ponašanju ili odustajanju korisnika. Očito je da će se neke faze osnovnog modela poziva i osnovnog modela usluge semantički i sintaksno podudarati ($f_i = u_{Ki}$), a neke će biti svojstvene samo pozivu ili usluzi. Isto tako će se podudarati faze nekih sličnih usluga U_K i U_L (npr. preusmjeravanje poziva ako je korisnik odsutan, preusmjeravanje poziva ako je korisnik zauzet), odnosno $u_{Ki} = u_{Li}$.

Takva se situacija odražava na strukturiranje algoritama obrade poziva i usluga i služi za optimiranje programskog sustava. Naime, za definirani skup usluga $U = \{U_1, U_2, \dots, U_K, \dots, U_N\}$ izvodi se zajednički model poziva i usluga $\{P, U\}$. Ostvaruje se modularnost koja se može nazvati lokalnom, jer se fazama poziva i usluga pridjeljuju moduli koji lokalno, tj. u čvoru, tvore mrežu povezanih modula koja reprezentira uvedeni skup poziva i usluga. Drugim riječima, cilj optimiranja je funkcionalni sastav čvora.

Razmotrimo faze poziva f_i i f_{i+1} i pretpostavimo da se iz f_i poziv nastavlja u f_{i+1} ili ostvaruje prelazak u uslugu, odnosno fazu u , te povratak iz u u f_{i+2} . Faze f_{i+1} i u moraju biti konfliktne, jer se međusobno isključuju različiti pozivi i usluge. Za izvedbu faze f_{i+2} dovoljan je uspješan rezultat jedne od prethodnih faza, f_{i+1} ili u . Prikaz na slici 5.9 odgovara takvom konceptu, a faze su modelirane prijelazima t_i , t_{i+1} , t_{i+2} i t_u . Treba podvući da je pri lokalno modularnoj izvedbi važan element ovisnosti zajedničko mjesto, odnosno mjesto koje je za jedan prijelaz izlazno a za drugi ulazno.



Slika 5.9 Model usluge

5.4. SINTEZA ALGORITAMA OBRADE USLUGA

Za algoritme obrade usluga može se primijeniti ista metodologija sinteze koja je primjenjena za algoritme obrade poziva, a rezultat će se dobiti lakše ako je poziv bolje razrađen i ako je provjerena njegova ispravnost. Nekoliko tipičnih usluga u govornoj komunikaciji poslužit će kao ilustracija.

Poziv bez biranja

Poziv bez biranja (*Hot line*) ostvaruje se podizanjem mikrotelefonske kombinacije. Tako iniciranom pozivu dodijelit će se unaprijed zapisani pozivni broj B korisnika.

Modifikacija osnovnog poziva je samo u dodavanju grane između prijelaza t_{11} i mesta p_3 .

Skraćeno biranje

Skraćeno biranje (*Abbreviated dialling*) omogućuje biranje skraćenoga pozivnog broja B korisnika koji se pretvara u unaprijed zapisani puni pozivni broj.

Osnovni poziv se uopće ne mijenja, već se samo mijenja značenje uvjeta p_3 u "skraćeni broj pretvoren u puni broj i A pozvao B".

Preusmjeravanje poziva

Preusmjeravanje poziva (*Call diversion*) omogućuje usmjeravanje poziva na drugi pozivni broj B' na kojem se nalazi B korisnik ili koji može obaviti komunikaciju umjesto B korisnika. B', dakako, mora biti upisan prije uporabe usluge. Preusmjeravanje se može provoditi bezuvjetno ili ako je B zauzet (*on busy*) ili se ne javlja (*on no replay*).

Ako je riječ o bezuvjetnom preusmjeravanju, osnovni se poziv ne mijenja, već samo značenje uvjeta p_3 u "pozivni broj B pretvoren u B' i A pozvao B'.

Ako se B korisnik ne javi u prepostavljenom vremenu, mora se B pretvoriti u B' i pozvati ga na novoj lokaciji. Modificira se grana između p_3 i t_{17} u osnovnom pozivu tako da se nakon isteka prve vremenske kontrole pokuša s preusmjeranim pozivom.

Ako je B korisnik zauzet, potrebno je znatnije proširenje osnovnog poziva između prijelaza t_{14} i mesta p_3 kako bi se pripremilo preusmjeravanje nakon identificiranog stanja zauzetosti B korisnika.

Slijedi me

Slijedi me (*Follow me*) je usluga koja omogućuje sukcesivno preusmjeravanje poziva, kako B korisnik mijenja položaj i dostupan je na različitim pozivnim

brojevima B' , B'' , B''' , ... Usluga se izvodi kao usluga bezuvjetnog preusmjeravanja, samo se ponavlja toliko puta koliko korisnik mijenja poziciju.

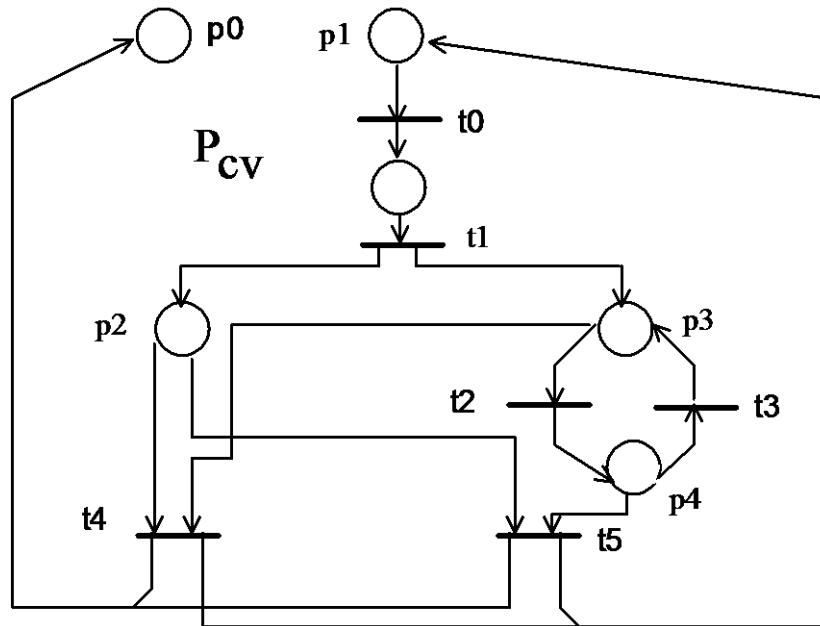
Konferencijska veza

Konferencijska veza (*Conference Call*) je usluga koja omogućuje istodobnu komunikaciju više od dva korisnika. Razmotrit će se konferencijska veza trojice. A i B korisnik u međusobnoj komunikaciji mogu uključiti C korisnika. Konferencijska veza može prijeći u običnu komunikaciju bilo koja dva korisnika. Usluga je bitno složenija od prijašnjih i zahtjeva znatno proširenje modela osnovnog poziva, što će se predočiti dvama rješenjima.

Preduvjet za ostvarivanje konferencijske veze (A, B, C) odgovara mjestu p_1 Petrijeve mreže osnovnog poziva za (A, B). Isto je mjesto postuvjet pri završetku konferencijske veze ako se isključuje C korisnik. Zbog toga će se konferencijskoj vezi pridružiti Petrijeva mreža P_{cv} s mjestom p_1 kao početnim i završnim (sl.5.10).

Značenje mjesta i prijelaza je ovakvo:

- t_0 A ili B pokreće konferencijsku vezu
- t_1 A ili B pokreće prekidanje konferencijske veze
- t_2 C prekida za vrijeme komunikacije s A i B
- t_3 C odustaje od prekida
- t_4 A ili B prekida za vrijeme konferencije s C
- t_5 C isteklo vrijeme za odustajanja od prekida
- p_0 C slobodan
- p_1 komunikacija A-B
- p_2 A i B u ostvarenoj komunikaciji s C
- p_3 C u ostvarenoj komunikaciji s A i B
- p_4 C prekinuo konferencijsku vezu.



Slika 5.10. Petrijeva mreža za uslugu konferencijske veze

To je elementarni prikaz usluge, jer se A i B tretiraju kao korisnici koji pozivaju uslugu, a prekidom usluge uvijek se isključuje C. U složenijem modelu razlikuje se pokretača i dopuštaju različiti završeci usluge.

**Sveučilište u Zagrebu
Fakultet elektrotehnike i računarstva
Ak.g. 2014./15.
Komunikacijski protokoli**

Model poziva

Neformalni opis poziva

Opis poziva hrvatskim jezikom.

Definicija poziva

"Poziv je generički pojam koji se odnosi na uspostavljanje, održavanje i prekidanje veze između pozivajuće i pozvane stranke (korisnika) u cilju izmjene informacije. Poziv predočuje združivanje dva ili više korisnika ili korisnika i mreže koje se ostvaruje uporabom mrežnih mogućnosti." (definicija ITU - *International Telecommunication Union*)

Neformalni opis modela poziva

Slijed aktivnosti koje se odvijaju pri posluživanju osnovnog poziva naziva se modelom poziva. Model poziva predočuje operacije sadržane u obradi poziva, a upravljanje pozivom u svim se komunikacijskim sustavima provodi programski.

Za razmatranje modela poziva relevantna je njegova horizontalna dekompozicija na tri osnovna dijela:

- uspostavljanje poziva;
- razgovor;
- prekidanje poziva.

Svaki osnovni dio poziva može se dalje rastaviti na faze kako slijedi:

Uspostavljanje poziva

- ustanovljivanje zahtjeva za komunikacijom;
- analiza zahtjeva za komunikacijom i pozivajućeg korisnika (A) kao pokretača komunikacije;
- odabir drugoga, pozvanog korisnika (B);
- analiza adrese (pozivnog broja) pozvanog korisnika (B);
- analiza stanja korisničke opreme (telefon, pokretni telefon, programski izведен virtualni telefon na osobnom/prijenosnom računalu) pozvanog korisnika (B);
- pozivanje i čekanje na javljanje pozvanog korisnika (B);
- javljanje pozvanog korisnika (B);
- uspostavljanje komunikacije.

Razgovor

- komunikacija - izmjena informacija.

Prekidanje poziva

- korisnik (A ili B) pokreće prekidanje;
- analiza zahtjeva za prekidanjem komunikacije (način naplate);
- konačni prekid komunikacije.

Preduvjet za početak poziva jest mirno stanje poziva, a isti uvjet mora se uspostaviti nakon konačnog prekida komunikacije.

Uspješnim se smatra onaj poziv kojim je obavljena komunikacija, odnosno poziv u kojem se izvode sve spomenute faze u slijedu. Tijekom uspješnog poziva korisnici su regularno izvodili komunikacijske operacije, a sva sredstva u terminalima (opći naziv za krajnju korisničku opremu putem koje se ostvaruje komunikacija), čvorovima i mreži u cjelini potrebna za ostvarivanje poziva, dodijeljena su im pravodobno.

Neuspješan završetak bilo koje faze poziva rezultira povratkom u mirno stanje. Faza poziva može završiti neregularno zbog stanja terminala, čvorova ili mreže ili "ponašanja" korisnika. Ako se pozivu u nekoj fazi ne mogu dodijeliti tražena sredstva, automatski se pokreće postupak završavanja poziva i korisnici izvješćuju o prekidanju poziva. Poziv također može završiti neuspješno (bez ostvarene komunikacije korisnika) ako pozvani korisnik nije slobodan ili ne prihvata poziv (ne odaziva se).

Nepravilan završetak bilo koje faze poziva isto tako izaziva povratak u mirno stanje. To se događa ako pozivajući korisnik odustane od poziva prije nego što je isti uspostavljen ili pri pogrešnoj akciji i isteku vremenske kontrole. Takvo ponašanje jednog korisnika ne smije izazvati zadržavanje drugog korisnika u pozivu, niti sredstva dodijeljena pozivu držati zauzetim. U takvim primjerima blokiranjem se onemogućuju komunikacijske aktivnosti korisnika dok ne prihvati regularno ponašanje.

Nepovoljan rezultat pojedine faze poziva pokreće dodatne faze kojima su opisane aktivnosti zaključivanja komunikacije. Primjeri nepovoljnog rezultata neke faze poziva su sljedeći:

- korisniku (A) nije dozvoljeno pokretanje komunikacije;
- istek vremenske kontrole pri biranju adrese (pozivnog broja);
- odabrana nepostojeća adresa (pozivni broj) korisnika (B);
- nema (slobodnog) puta kroz mrežu;
- pozvani korisnik (B) zauzet;
- pozvani korisnik (B) se ne javlja;
- korisnik nije završio komunikaciju,

a dodatne faze poziva su na primjer:

- blokiranje pozivajućeg korisnika (A)
- blokiranje pozvanog korisnika (B).

Formalni opis poziva

Opis poziva Petrijevom mrežom.



Diplomski studij

Informacijska i
komunikacijska tehnologija:

Telekomunikacije i informatika

Obradba informacija

Komunikacijski protokoli

5.
Mrežni protokol IPv6

Ak.g. 2014./2015.

30.10.2014.



■ 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 davalac 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, prerađu možete distribuirati samo pod licencem koja je ista ili slična ovoj.

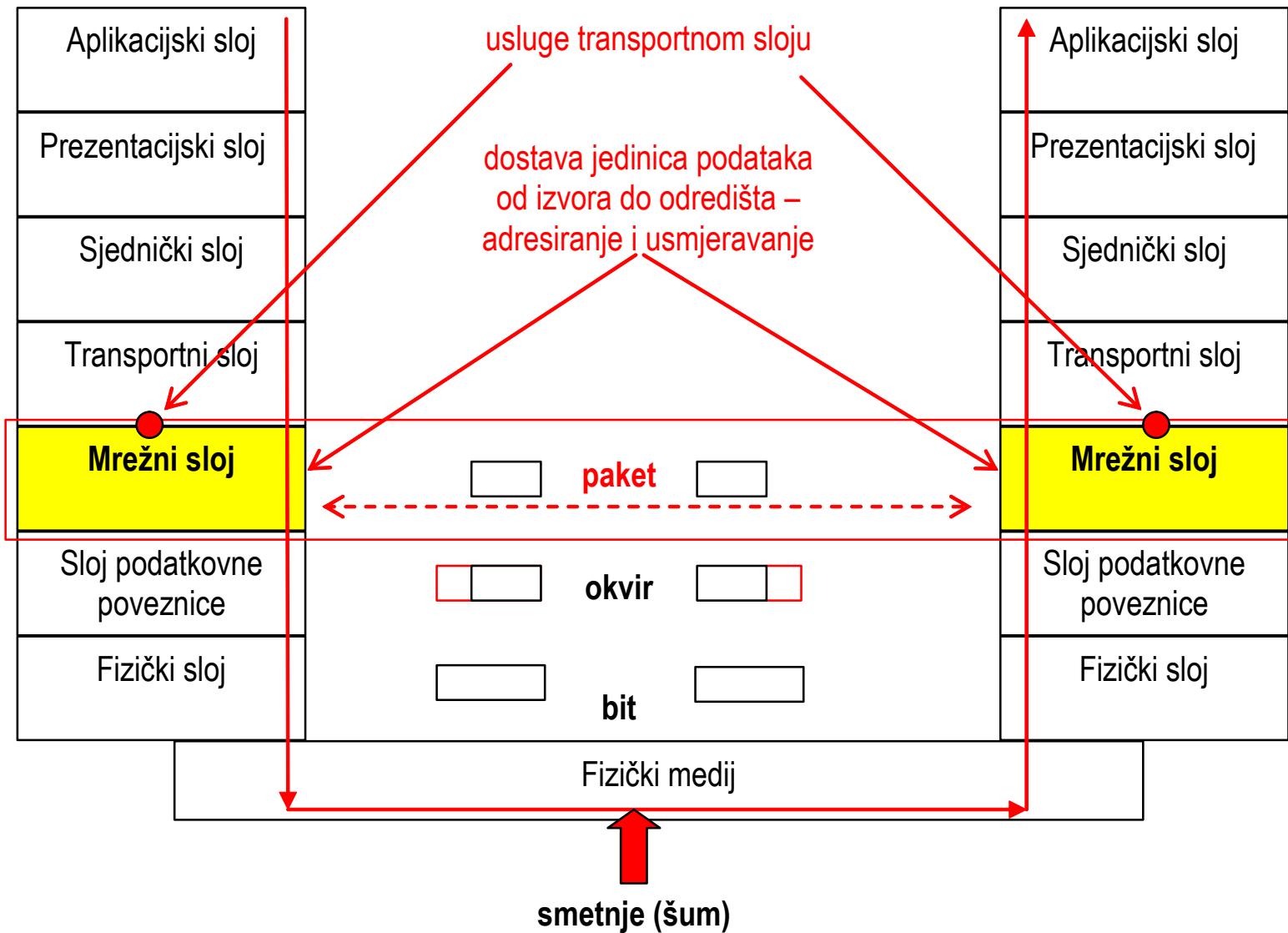
U slučaju daljnog korištenja ili distribuiranja morate drugima jasno dati do znanja licencne uvjete ovog djela. Najbolji način da to učinite je linkom na ovu internetsku stranicu.

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/>.

- ◆ Mrežni sloj i mrežni protokol IPv4 ukratko
- ◆ Glavne značajke protokola IPv6
- ◆ Format datagrama, osnovno i dodatna zaglavlja
- ◆ Adresiranje
- ◆ Kontrolni 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
 - datagramski ← mrežni sloj u Internetu i IP-mrežama

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 retransmisije s kraja na kraj mreže
 - pošiljatelj nema povratnu informaciju o ishodu
- ◆ rješavanje ovih problema prepušta se transportnom sloju!

4 Aplikacijski sloj (*Application Layer*)

3 Transportni sloj (*Transport Layer*)

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

IP

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

Odlike protokola IPv4

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
- } usluga IP-a
transportnom sloju:
nepouzdana dostava
datagrama

◆ Uloga u protokolnom složaju TCP/IP:

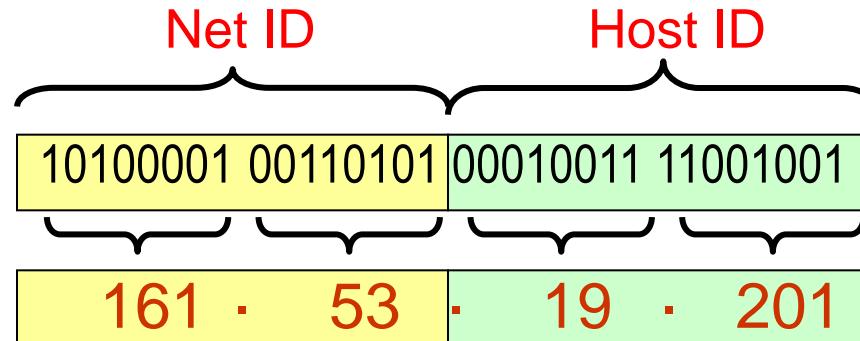
- ◆ **omatanje** (engl. *encapsulation*): IP prihvata podatke od višeg sloja (npr. transportnog protokola TCP, UDP), smješta ih u podatkovno polje IP datagrama te predaje datagram protokolu sloja podatkovne poveznice (npr. Ethernet)

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
 - datagram veći od podatkovnog polja okvira fragmentirati se kod pošiljatelja, a fragmenti se sastavljaju kod primatelja

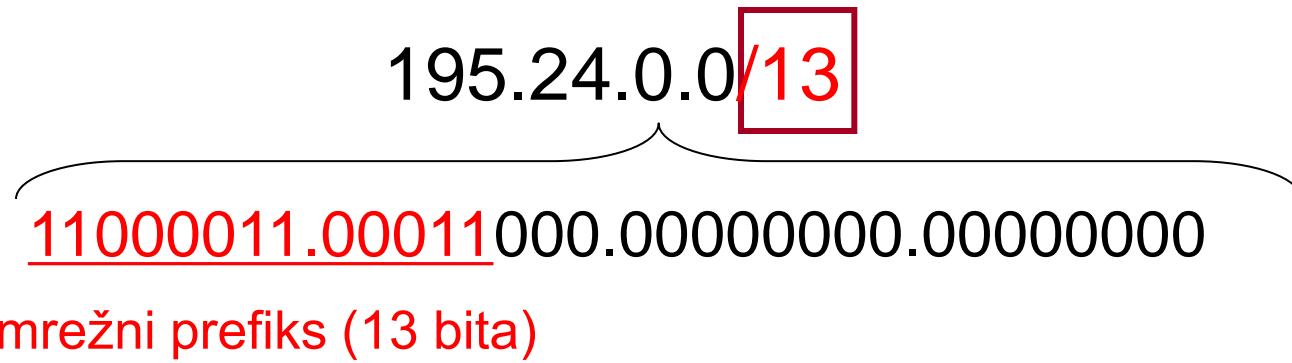
IP-adresa **32 bita** (IPv4): identifikator koji globalno i jednoznačno određuje mrežno sučelje

- 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 adresiranje

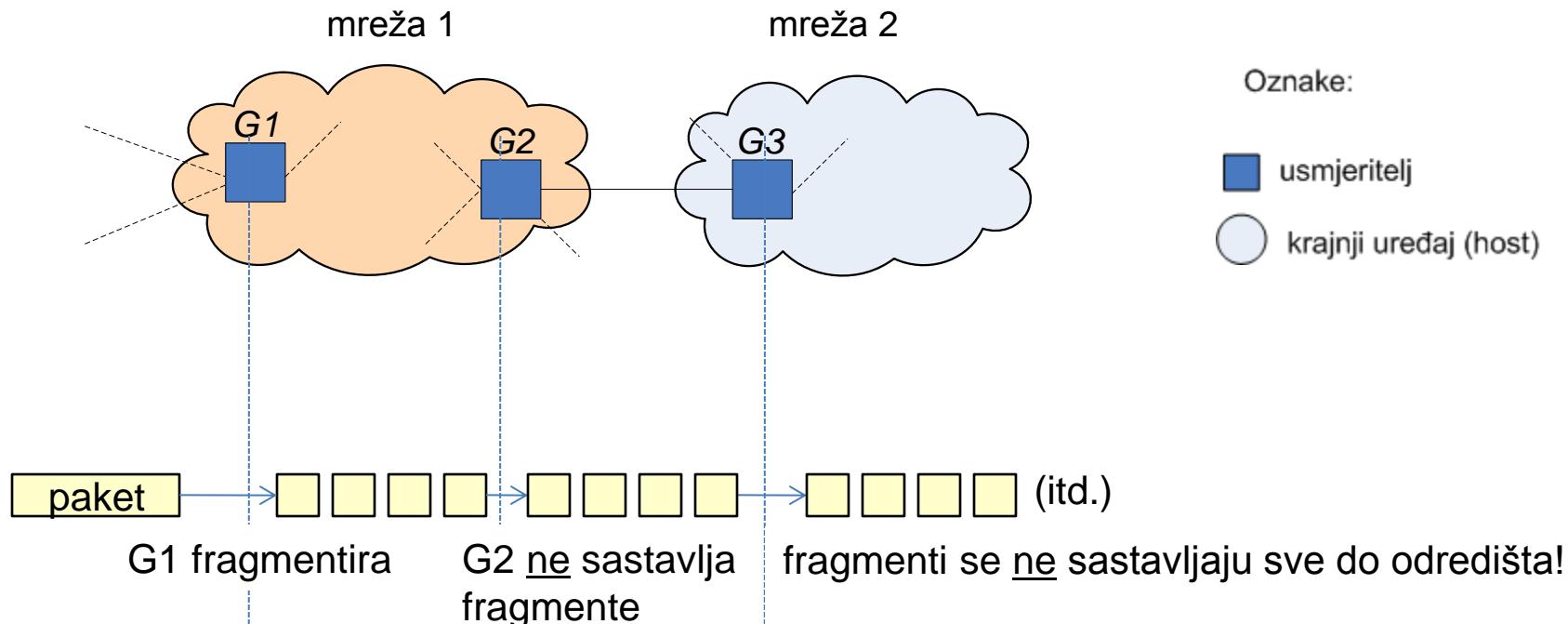
- ◆ prefiksni prikaz IP-adrese ne uzima u obzir izvorne klase A, B i C
- ◆ dioba između mrežnog i računalnog dijela adrese može biti na bilo kojem mjestu unutar adrese (ne samo na granici okteta kao kod klasa!)
- ◆ duljina mrežnog dijela se označava mrežnim prefiksom iza adrese



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

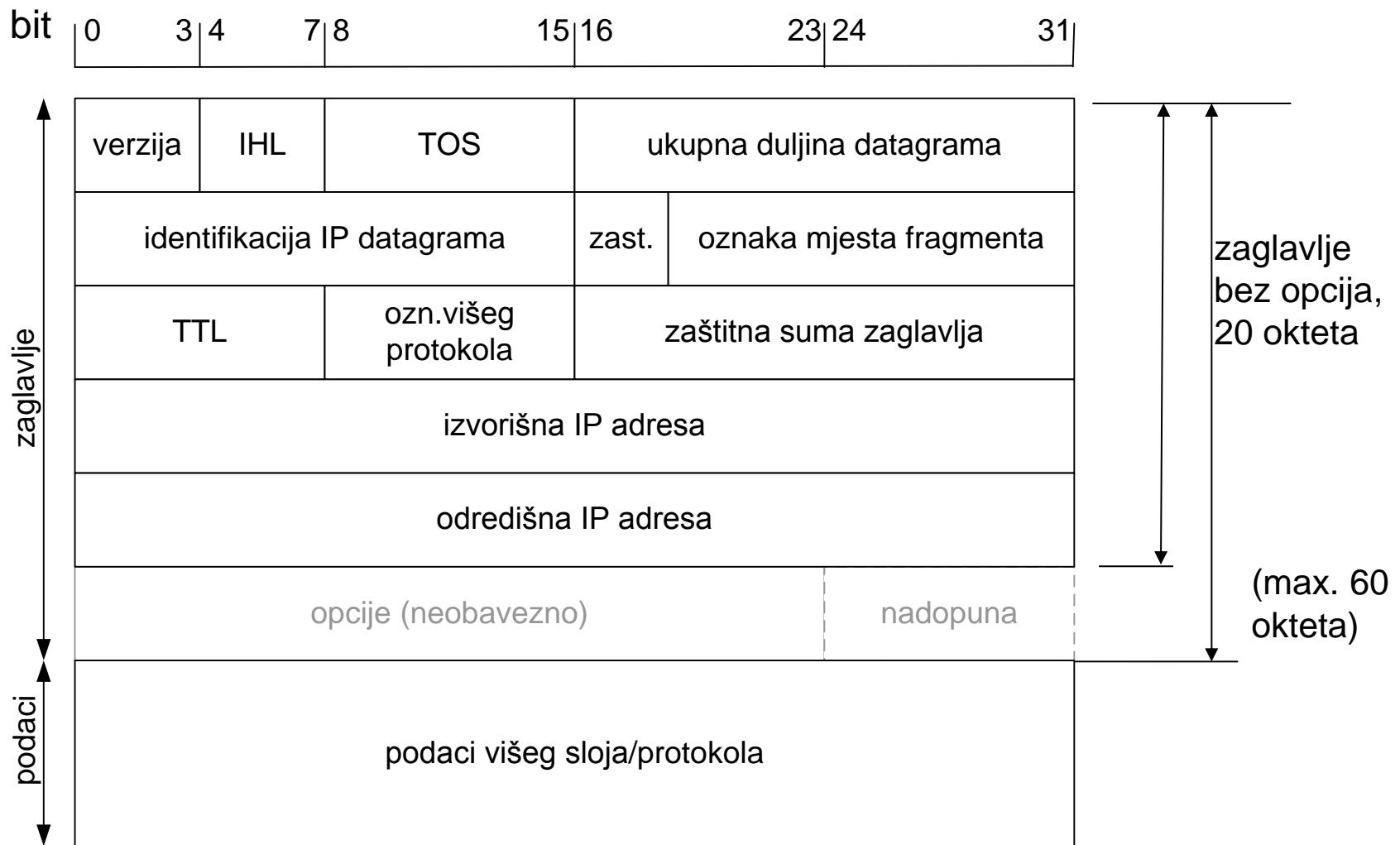
Fragmentacija

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

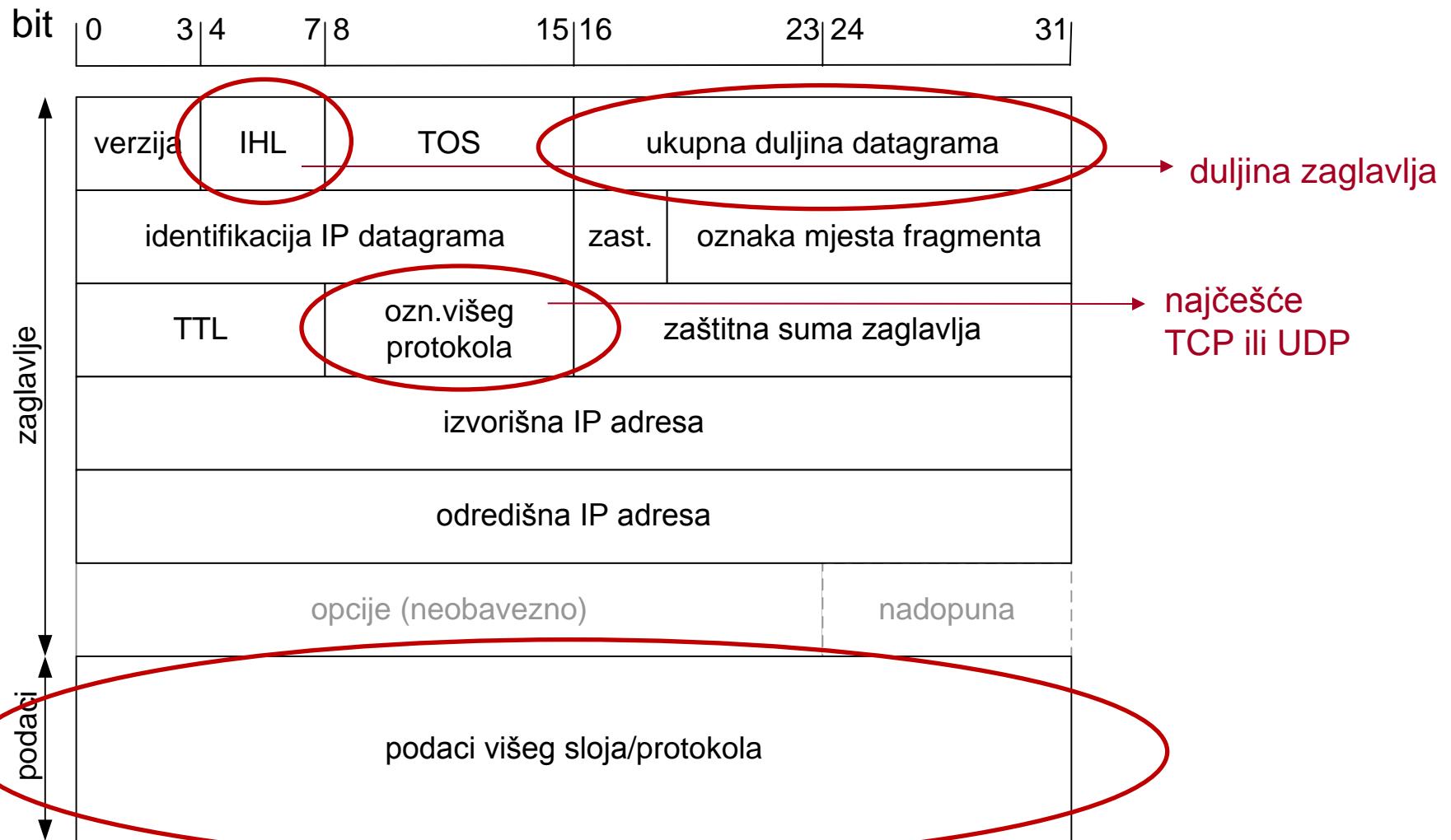


Netransparentna fragmentacija: model primijenjen u Internetu!

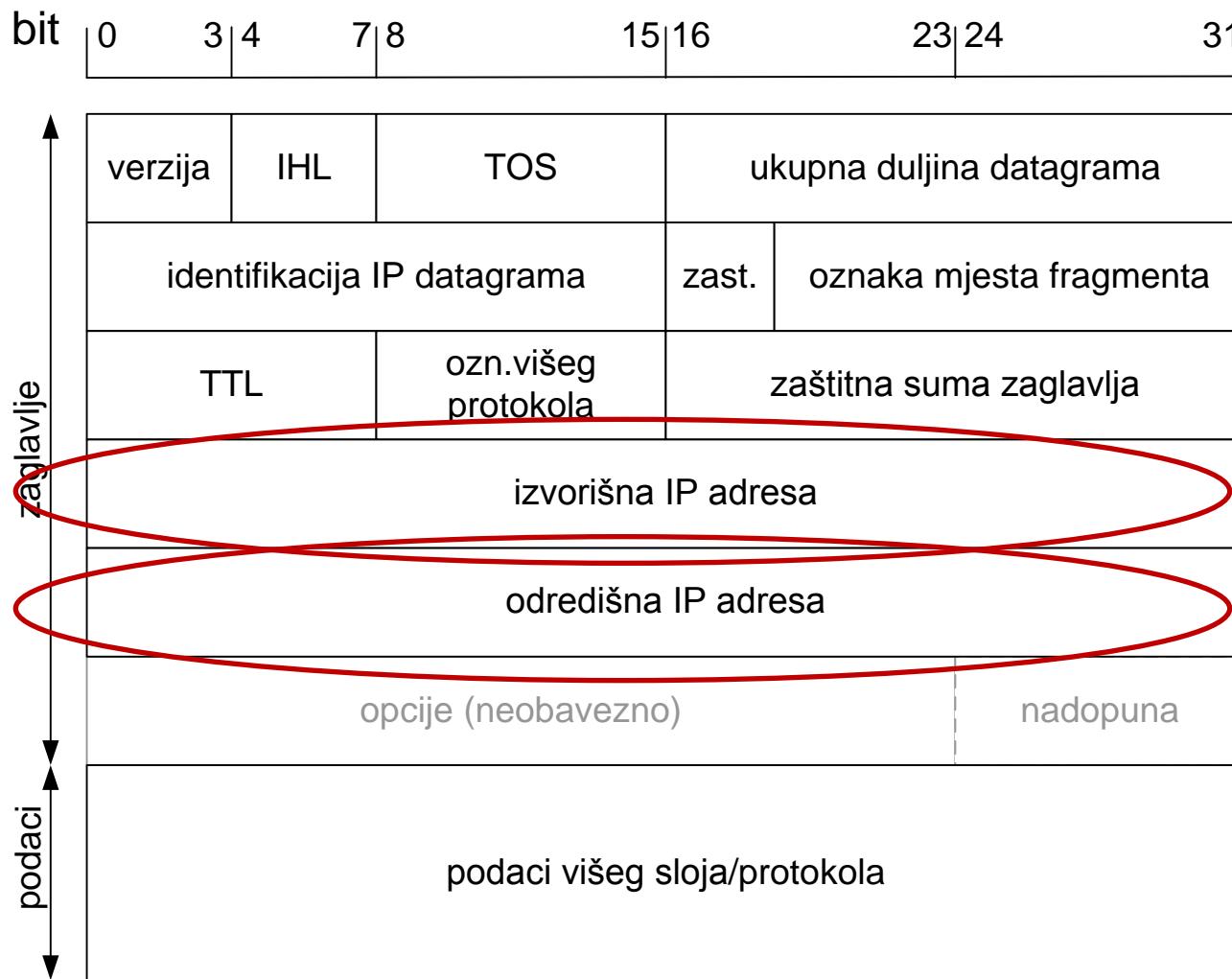
Format IPv4-zaglavlja



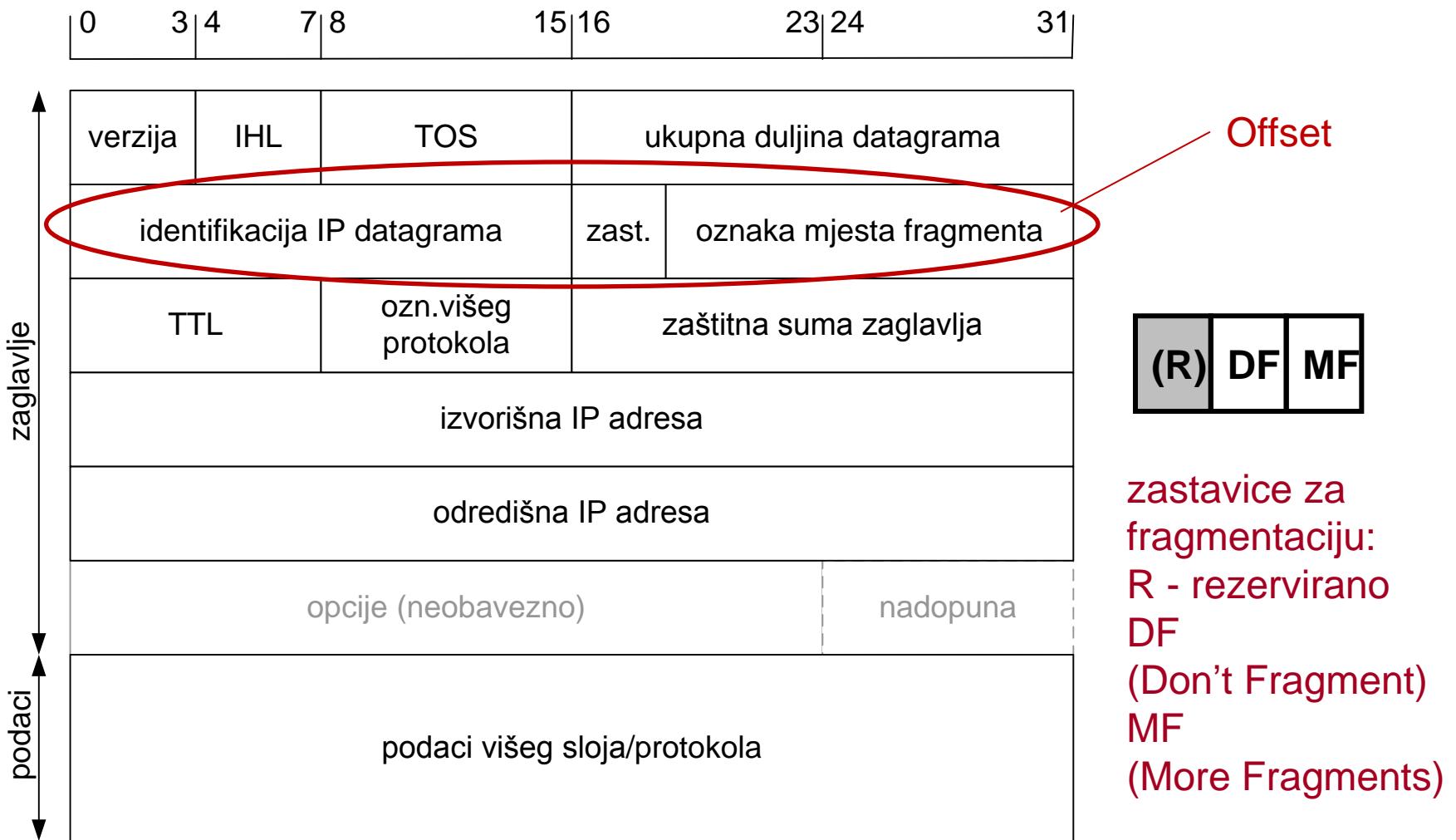
IPv4-zaglavje: polja vezana uz omatanje



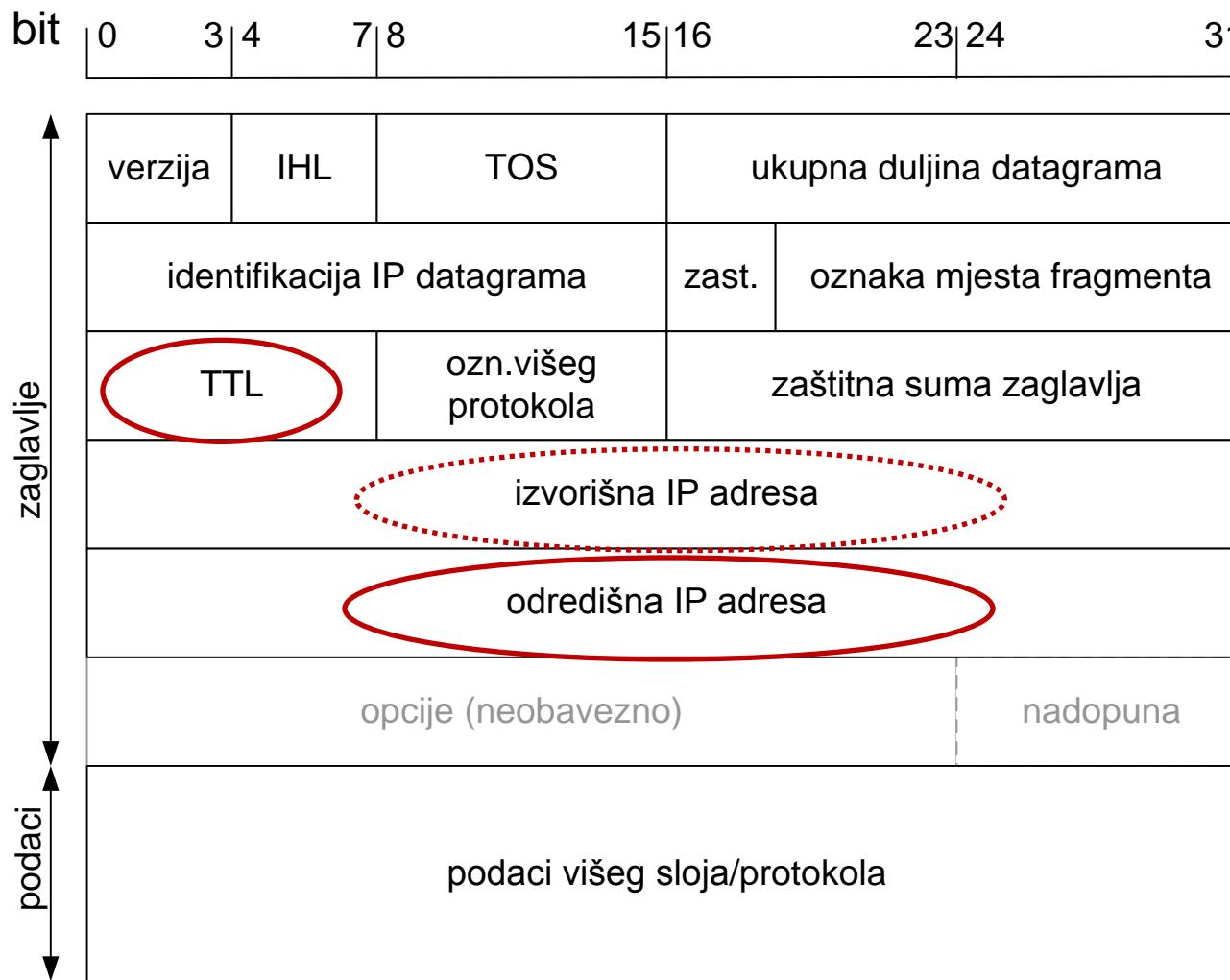
IPv4-zaglavje: polja vezana uz adresiranje



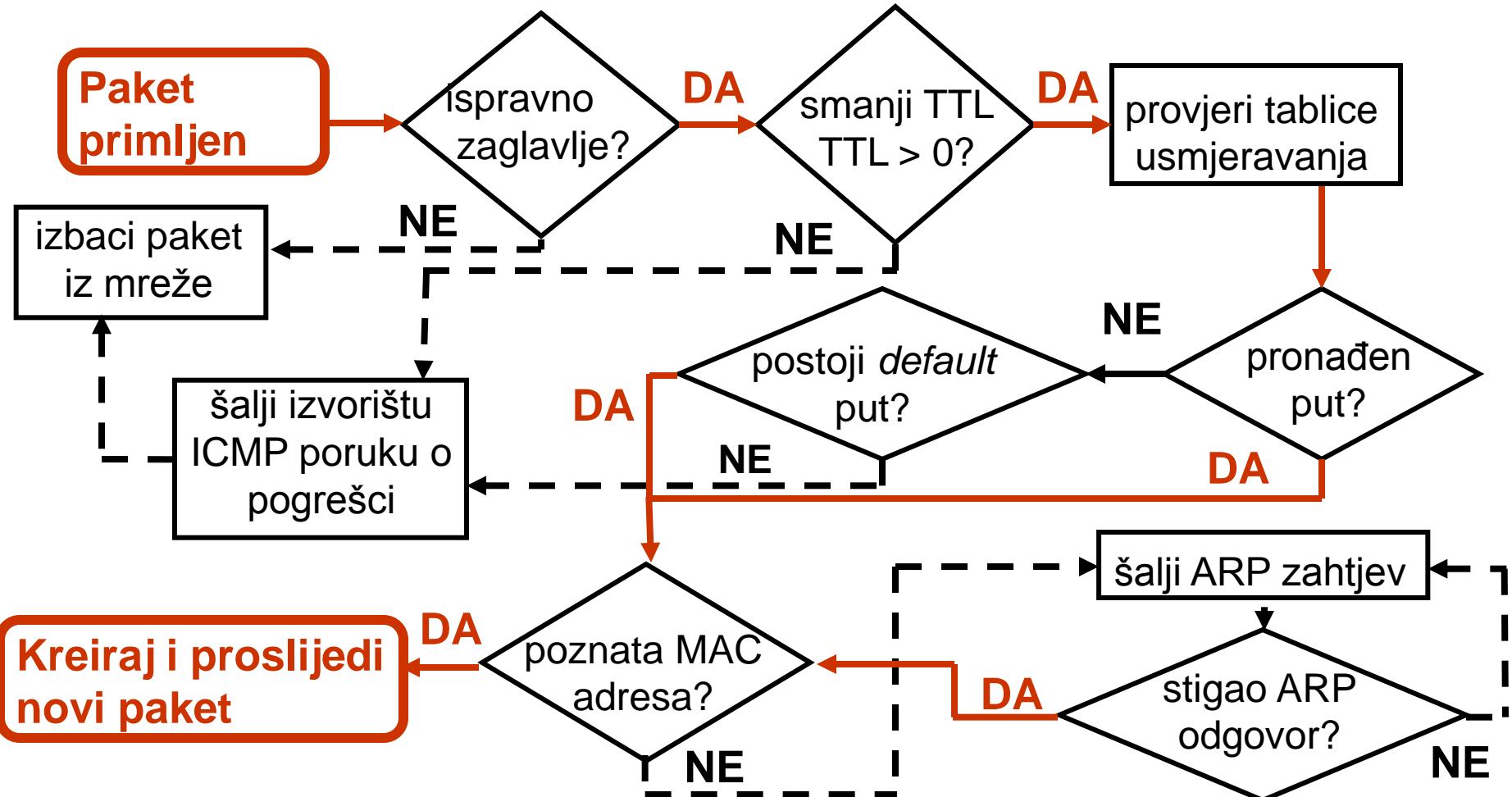
IPv4-zaglavje: polja vezana uz fragmentaciju



IPv4-zaglavje: polja vezana uz usmjeravanje



Proces usmjeravanja IPv4-paketa u usmjeritelju



Protokol *Internet Control Message Protocol*

ICMP služi za “dijagnostiku” u mreži s IPv4

- ◆ podsjetimo: IP je jednostavan protokol koji nema mogućnost dojave pogreške – to za njega radi ICMP
- ◆ ICMP definira mehanizam kojim se prenose dvije vrste kontrolnih poruka
 1. dojave o pogrešci – povratna informacija pošiljatelju o nekom problemu u mreži
 2. zahtjevi za informacijom – traži se informacija vezana za stanje u mreži
- ◆ ICMP ne otklanja problem niti djeluje na temelju tih poruka, samo javlja stanje
- ◆ ICMP je proširiv - i drugi internetski protokoli osim IP-a mogu definirati svoje kontrolne poruke

Internet Protocol Version 6, IPv6 (RFC 2460)

- ◆ 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

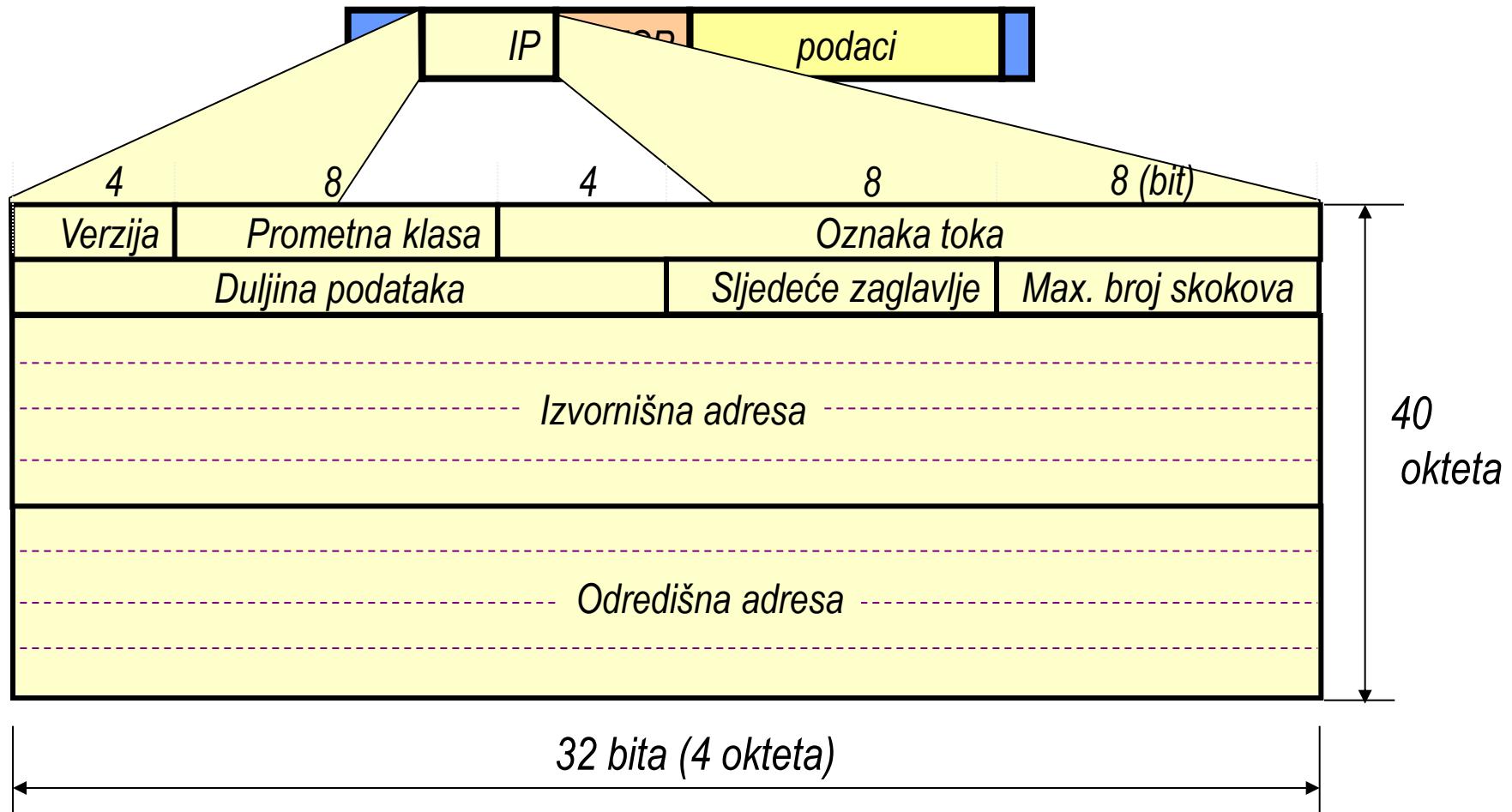
◆ ograničenja IPv4:

- 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)**

◆ novosti u IPv6:

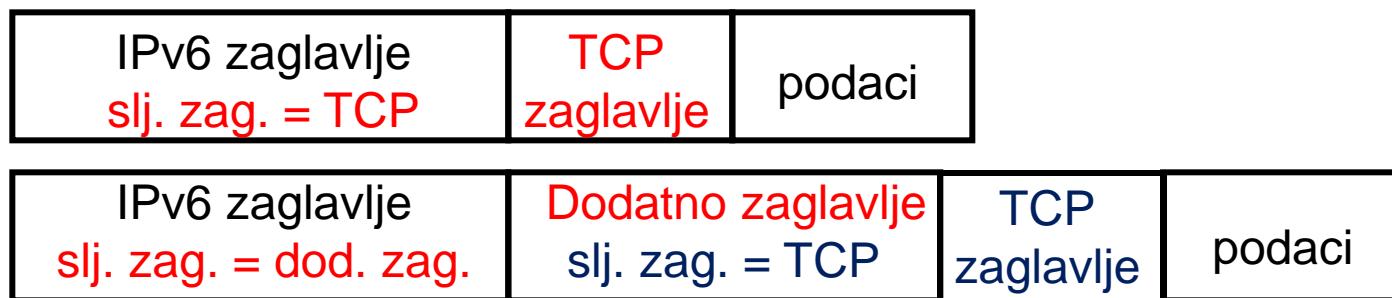
- veći adresni prostor (**128 bitne adrese**)
- pojednostavljenje formata zaglavlja (**fiksna duljina, manje polja**)
- unaprjeđeno usmjeravanje
- mogućnost označavanja tokova (tj. paketa koji pripadaju istom toku)
- bolja potpora za sigurnost: provjera autentičnosti i zaštita privatnosti, integritet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

Zaglavlje IPv6



Dodatna zaglavljja IPv6

- ◆ korištenje posebnih opcija u IPv4 usporava prosljeđivanje paketa u usmjeriteljima
- ◆ umjesto opcija IPv4 koriste se zaglavljja proširenja
- ◆ u IPv6 zaglavljja proširenja dodaju se iza osnovnog zaglavlja dodatna zaglavljja po potrebi



Poredak dodatnih zaglavlja IPv6

IPv6 datagram:

- 1. Zaglavljje IPv6**
2. Zaglavljje skok po skok
3. Zaglavljje namijenjeno odredištu (1)
4. Zaglavljje usmjeravanja
5. Zaglavljje fragmenta
6. Zaglavljje za provjeru autentičnosti
7. Zaglavljje za sigurnosno ovijanje podataka
8. Zaglavljje namijenjeno odredištu (2)

Samo zaglavljje IPv6 je obvezno!

Hop-by-Hop Header

- ◆ zaglavljje varijabilne duljine koje sadrži informaciju namijenjenu svakom čvoru na putu dostave datagrama
- ◆ sadrži podatke o sljedećem zaglavljtu, veličini samog dodatnog zaglavlja 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 zaglavljtu = 0
 - ne primjenjuje se fragmentacija

Destination 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 zaglavlja i polje s jednom ili više definicija akcije koju poduzima čvor - odredište

Primjer primjene:

- ◆ Mobile IPv6

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

Routing Header

- ◆ zaglavljue varijabilne duljine koje sadrži popis usmjeritelja na putu od izvorišta do odredišta
- ◆ sadrži podatke o sljedećem zaglavljiju, 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!

Primjer primjene:

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

Zaglavljje fragmenta

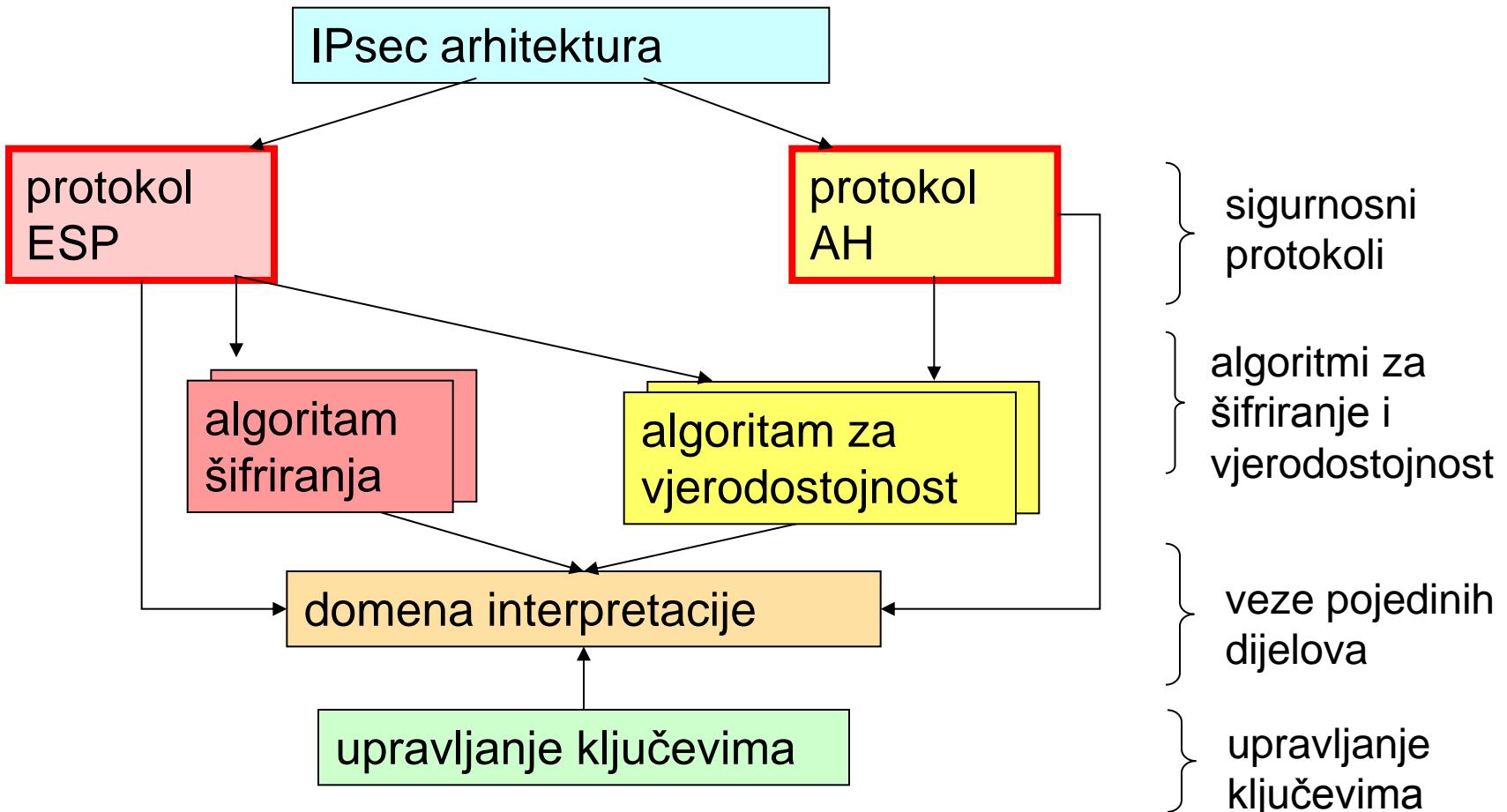
Fragment Header

- ◆ zaglavljje 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 zaglavje i dodatna zaglavja skok po skok i usmjeravanja
- ◆ sadrži podatke o sljedećem zaglavljiju, 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!

Sigurnosna internetska arhitektura



Izvor: RFC 2411 IP Security
Document Roadmap

Obrađuje se u predmetu „Sigurnost u Internetu“

Internet Protocol Security (IPsec)

- ◆ sigurnosna opcija za IPv4
- ◆ sastavni dio IPv6: dodatna zaglavlja AH i ESP
- ◆ sigurnosna arhitektura
 - sigurnosni protokoli
 - kriptografski algoritmi za šifriranje i vjerodostojnost
 - 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

Authentication Header (AH)

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

Encapsulating Security Payload Header (ESP)

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

Adresni prostor

- ◆ IPv6-adresa duljine 128 bitova
 - IPv4: 4 294 967 296 računala
 - IPv6: 340 282 366 920 938 463 463 374 607 431 768 211 456 čvorova
- ◆ 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
- ◆ IPv6-adrese imaju mrežni i računalni dio

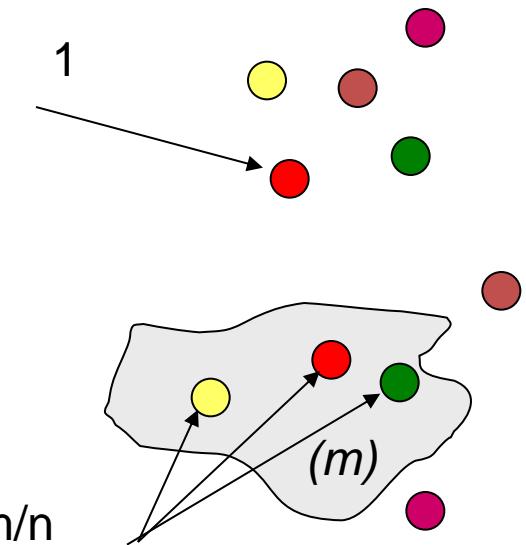
Zapis adresa

- ◆ notacija: 8 grupa po 4 heksadekadske znamenke:
npr: EFD1:0989:AB02:7654:C4ED:890B:DE65:1240
- ◆ sažimanje okteta :00: → ::
 - 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 → ::
 - znak :: može se upotrijebiti samo jednom
1080:0:0:8:800:0:0:200C ✗ **1080::8:800::200C**
- ◆ prefiksni zapis: ip-adresa/prefiks
 - 12AB:0:0:CD30::/60

Vrste IPv6 adresa (1)

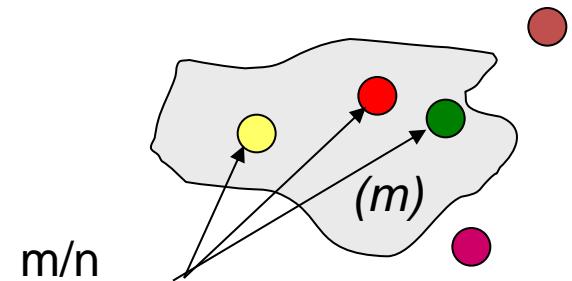
◆ *Unicast* – jednoodredišna adresa

- identificira jedno sučelje računala/čvora
- globalne i lokalne adrese



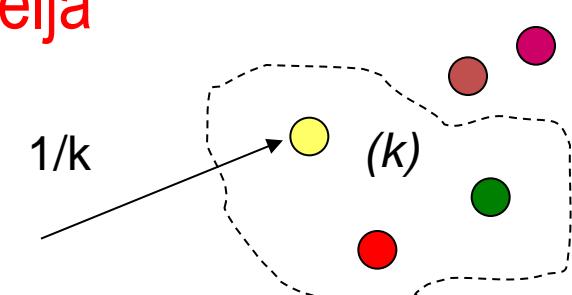
◆ *Multicast* – višeodredišna adresa

- određuje skup sučelja
(obično na različitim čvorovima)
- paket se dostavlja svima sučeljima određenim tom adresom



◆ *Anycast* – adresa bilo kojeg iz skupa sučelja

- paket se dostavlja se samo jednom
(najbližem) sučelju s definiranom adresom

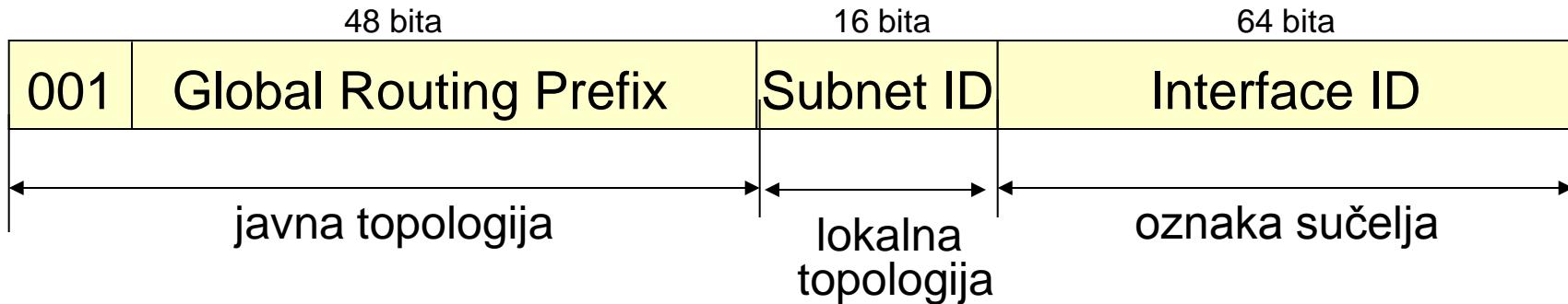


Vrste IPv6 adresa (2)

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 (rezervirane) adrese

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

Lokalna jednoodredišna adresa na poveznici (*link-local*)

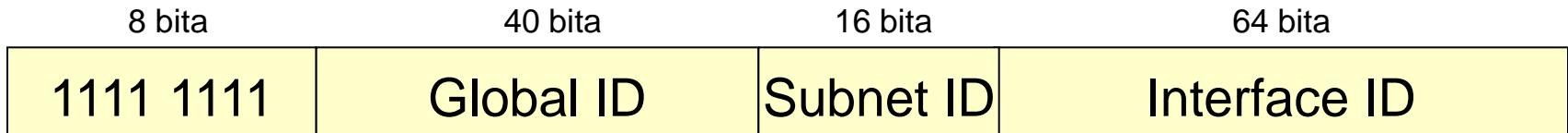
10 bita	54 bita	64 bita
1111 1110 10	0000...0000	Interface ID

Za komunikaciju čvorova na istoj poveznici*:

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

Prefiksni zapis = ?

*sučelja ne komuniciraju putem usmjeritelja



Privatna adresa za komunikaciju unutar organizacije:

- ◆ **globalni identifikator** (*Global ID*) – identifikator dijela organizacije – mjesta (*site*)

Prefiksni zapis = ?

Višeodredišna adresa (*multicast*)

8 bita	4 bita	4 bita	112 bita
1111 1111	F	S	Group ID

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*), mjesto (*site-local*), organizacija (*organisation-local*), globalno (*global*)
- ◆ posebne adrese koriste se za definiranje čvorova i usmjeritelja dosega sučelja i poveznice te druge primjene

Adresa jednog iz skupa sučelja (anycast)

n bita	128 - n bita
Subnet prefix	000 ... 000

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.

Posebne IPv6-adrese

◆ nespecificirana (*unspecified*) adresa

- 0:0:0:0:0:0:0 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

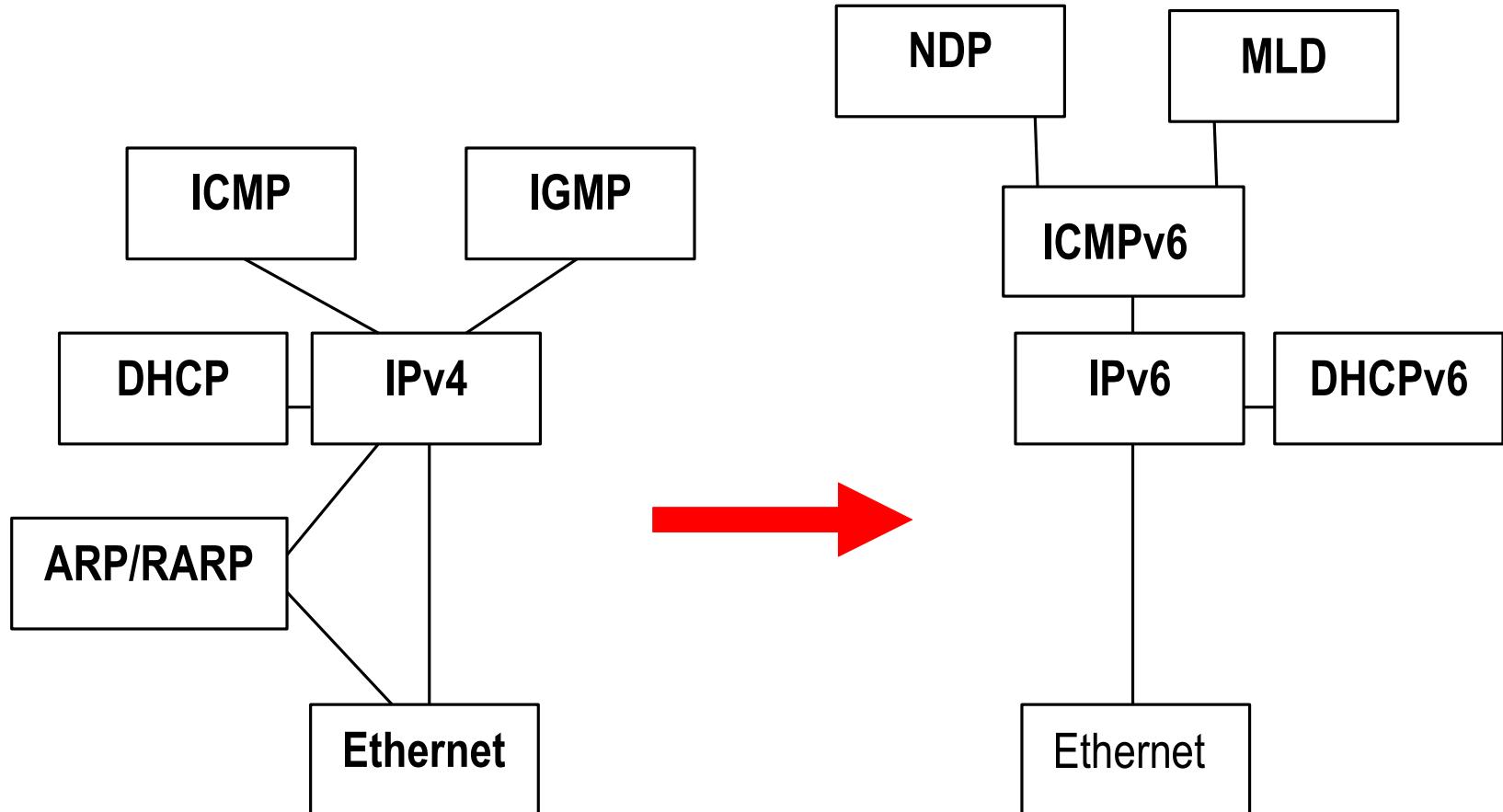
Dodjela IPv6 adrese

Dva mehanizma autokonfiguracije:

- ◆ samostalna autokonfiguracija adrese – autokonfiguracija bez poznavanja stanja (*stateless*):
 - zasnovana na MAC adresi predočenoj EUI-64-bitnim brojem (izveden iz ethernetske 48 bitne adrese); primjena protokola **NDP**
- ◆ autokonfiguracija s poslužiteljem, uz poznavanje stanja (*statefull*) – koristi se poslužitelj **DHCPv6**; uz IPv6-adresu, omogućena potpuna konfiguracija TCP/IP

Kontrolni protokoli!

Kontrolni protokoli za IPv6 (1)



Kontrolni protokoli za IPv6 (2)

◆ *Internet Control Message Protocol for IPv6 (ICMPv6)*

- služi za dojavu pogrešaka i dijagnostiku (npr. ICMPv6 "ping")
- prenosi poruke za protokole NDP i MLD

◆ *Neighbour Discovery Protocol (NDP)*

- zamjenjuje ARP i proširuje njegovu funkcionalnost

◆ *Multicast Listener Directory (MLD)*

- zamjenjuje IGMP 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 – DHCPv6 poslužitelj dinamički dodjeljuje IPv6 adresu
- pruža druge konfiguracijske informacije

Internet Control Message Protocol for IPv6 (ICMPv6)

- ◆ ICMPv6 - proširuje funkcionalnost ICMPv4
- ◆ ICMPv4 i v6 nisu 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 izvorištu i sastavljati na odredištu: **MTU-puta = MTU-poveznice_{min}**
- ◆ Postupak:
 1. izvor šalje datagram veličine MTU vlastite poveznice
 2. usmjeritelj na putu prosljeđuje 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.

NDP (*Neighbour Discovery Protocol*)

- ◆ kontrolni 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*) – računalo otkriva MAC-adresu računala (odgovora ARP-zahtjevu u IPv4)
- ◆ Otkrivanje duplicitne adrese (*duplicate address detection*) – provjera da li IP-adresa već postoji
- ◆ 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)

Protokol NDP primjenjuje se i za Mobile IPv6

Poruke protokola NDP



Vrste poruka ICMPv6:

- ◆ traženje/pobuđivanje usmjeritelja (*Router Solicitation*)
- ◆ oglašavanje usmjeritelja (*Router Advertisement*)
- ◆ traženje/pobuđivanje 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*)

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

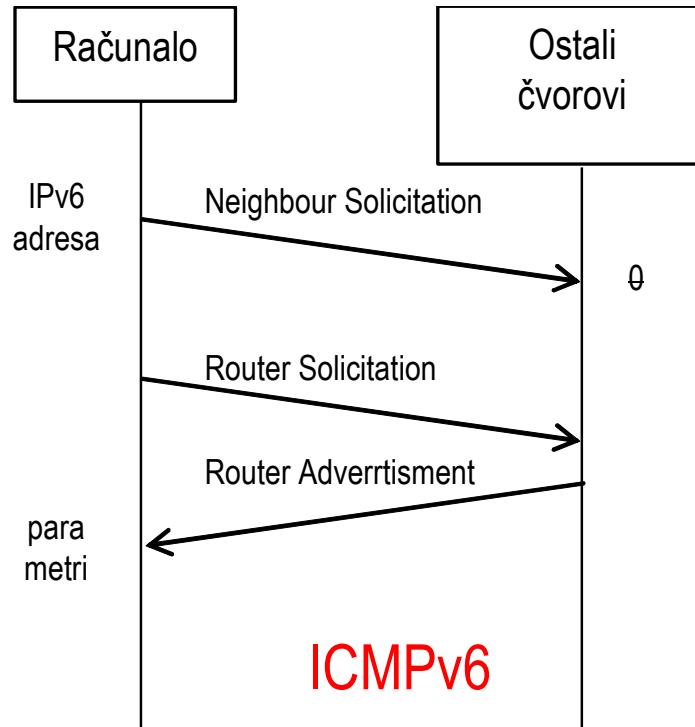
NDP

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

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

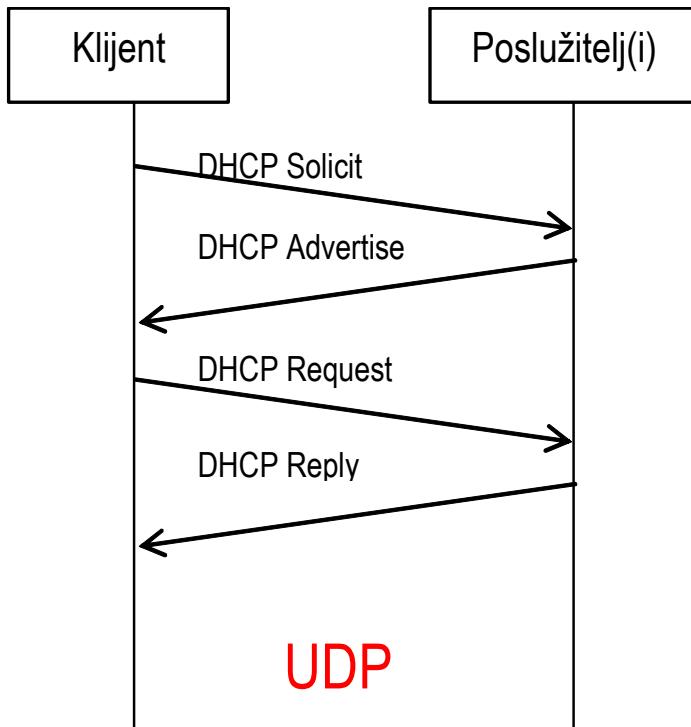


Uspješna samostalna autoautokonfiguracija adrese:

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

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*)



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. adrese koju više neće koristiti
- ◆ *DHCP Reconfigure*: promjena nekih parametara

- ◆ Usporedite protokole IPv4 i IPv6 s obzirom na funkcionalnost i performanse.
- ◆ Što se može dogoditi IPv6-datagramu ako tijekom prijenosa smetnje izazovu pogrešku jednog bita u odredišnoj adresi?
- ◆ Kako se provodi fragmentacija za protokol IPv6 i kako se može ustanoviti najveća dopuštena duljina fragmenta?
- ◆ Navedite i objasnите 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.



Diplomski studij

Informacijska i
komunikacijska tehnologija:

Telekomunikacije i informatika

Obradba informacija

Ak.g. 2014./2015.

Komunikacijski protokoli

6.

Uvođenje protokola IPv6 u mrežu
Pokretljivost u IP-mreži

6.11.2014.



n slobodno smijete:

- **dijeliti** — umnožavati, distribuirati i javnosti priopćavati djelo
- **remiksirati** — prerađivati djelo

n pod sljedećim uvjetima:

- **imenovanje.** Morate priznati i označiti autorstvo djela na način kako je specificirao autor ili davalac 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, prerađu 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 IPv4
 - 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 mehanizmi:
 - tuneliranje datagrama

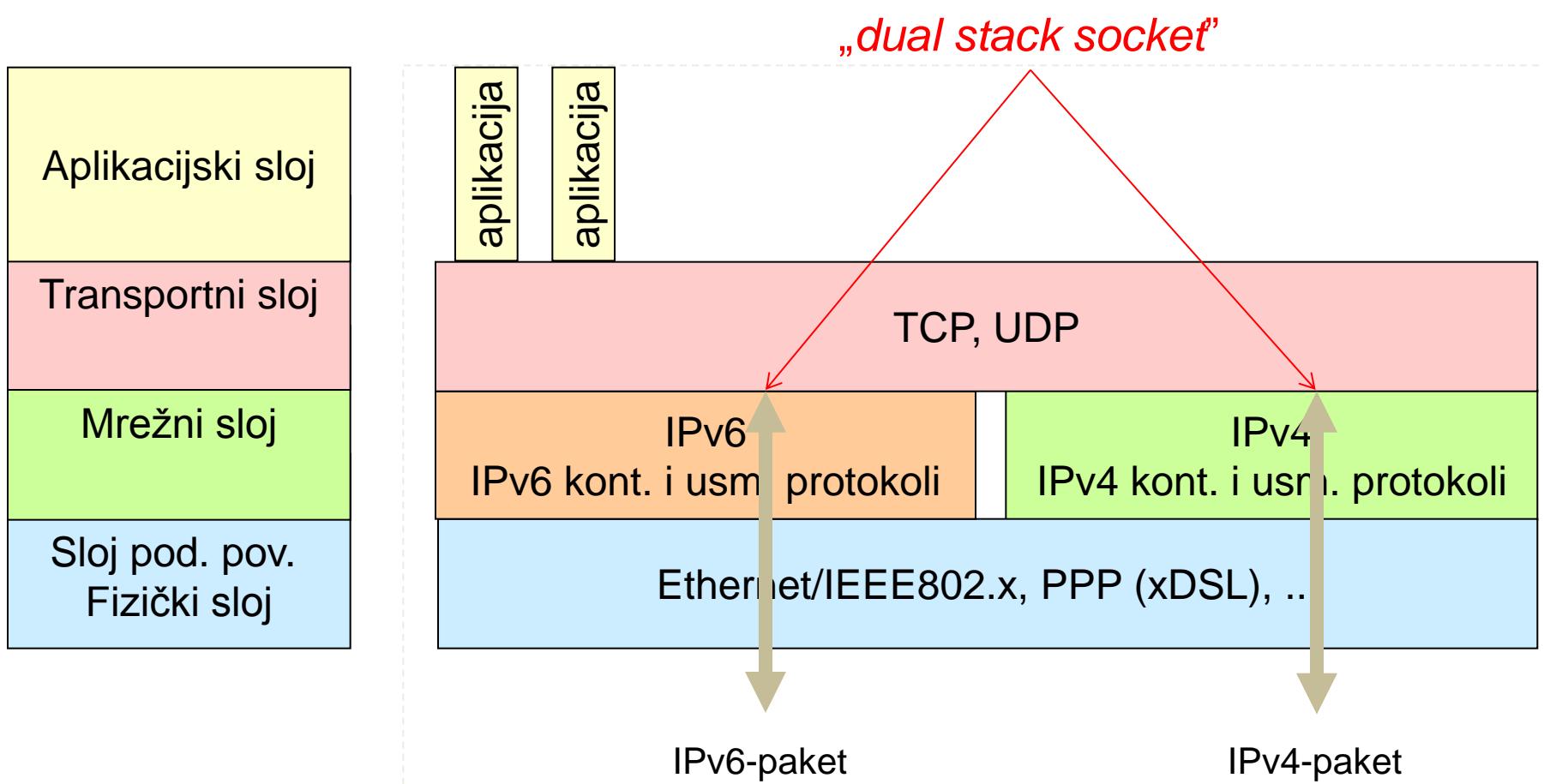
Sustav domenskih naziva (*DNS – Domain Name System*):

◆ Dogradnja za IPv6:

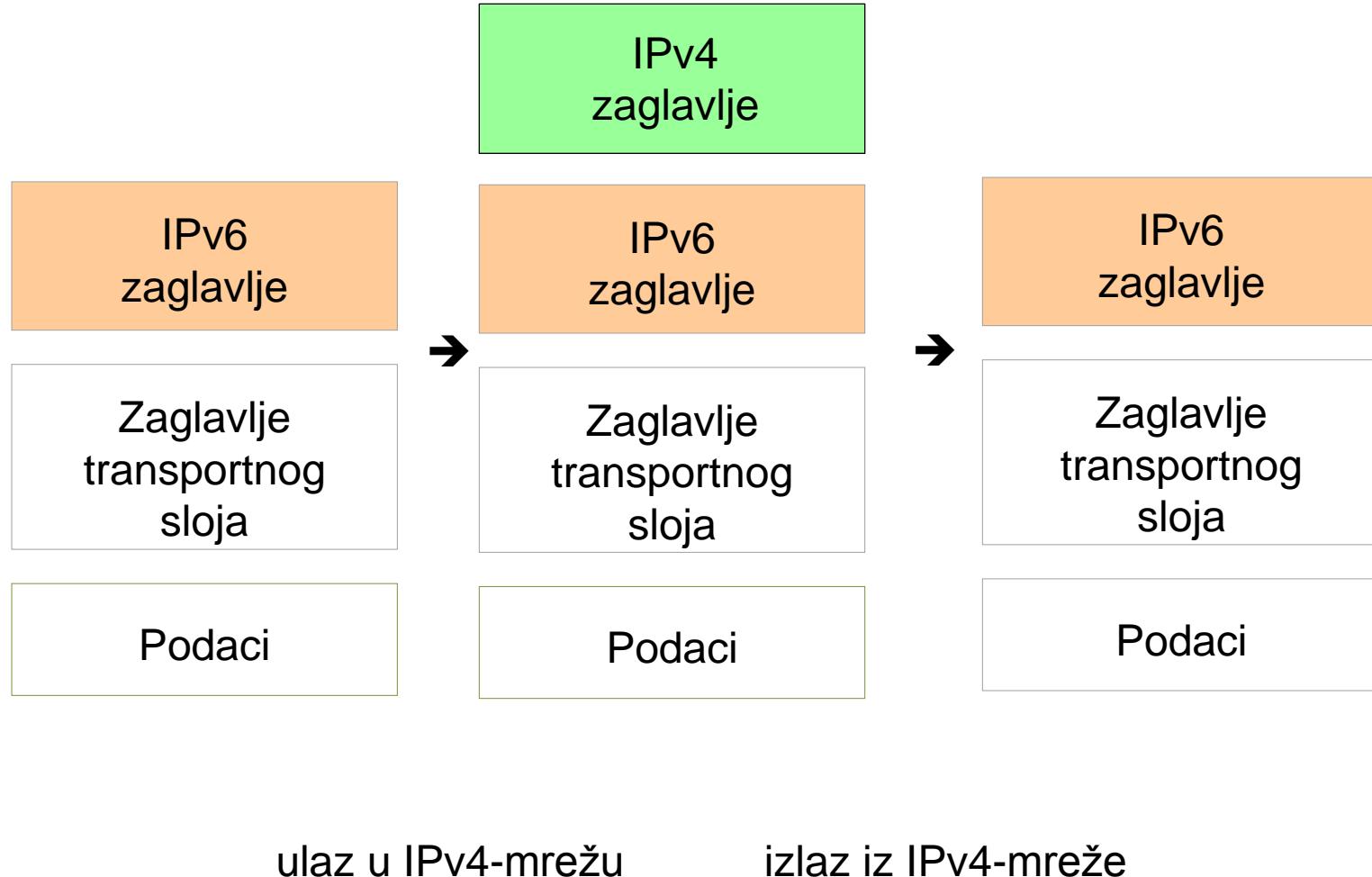
- A zapisi za pretvorbu naziv → IPv4-adresa (IPv4-čvor i IPv6/IPv4-čvor)
- AAAA zapisi za pretvorbu naziv → IPv6-adresa (IPv6-čvor i IPv6/IPv4-čvor)
- PTR zapisi za pretvorbu IPv4-adresa → naziv (IPv4-čvor i IPv6/IPv4-čvor)
- PTR zapisi za pretvorbu IPv6-adresa → naziv (IPv6-čvor i IPv6/IPv4-čvor)

IPv6/IPv4-čvor – dvostruki IP-sloj

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



Načelo tuneliranja 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.

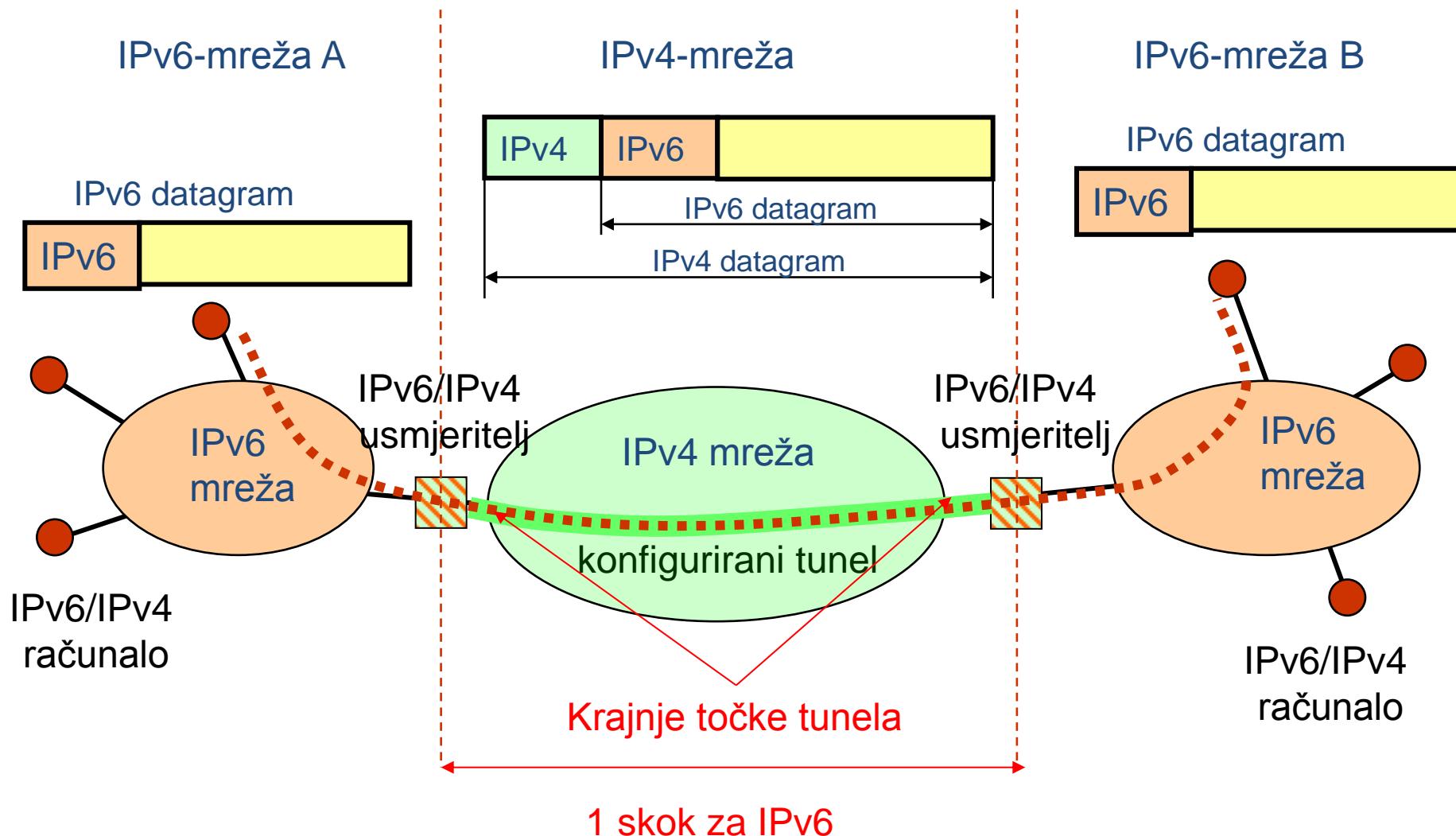
Konfigurirani tunel:

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

Automatski tunel:

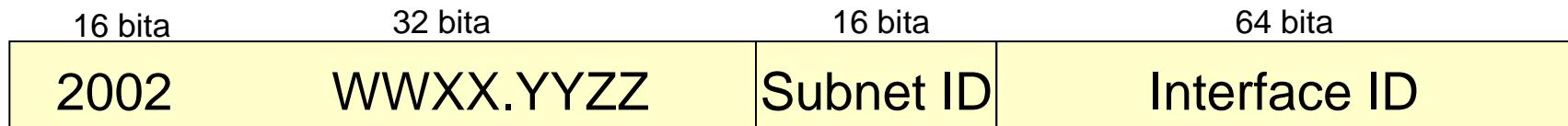
- ◆ Krajnje točke tunela određuju se primjenom posebnih rješenja i adresa:
 - 6to4
 - ISATAP (*Intra-Site Automatic Tunnel Addressing Protocol*) – primjena u intranetu
 - Teredo – primjena u mrežama s NAT (*Network Address Translator*)

Konfigurirani tunel usmjeritelj-usmjeritelj



Adresa „6to4”:

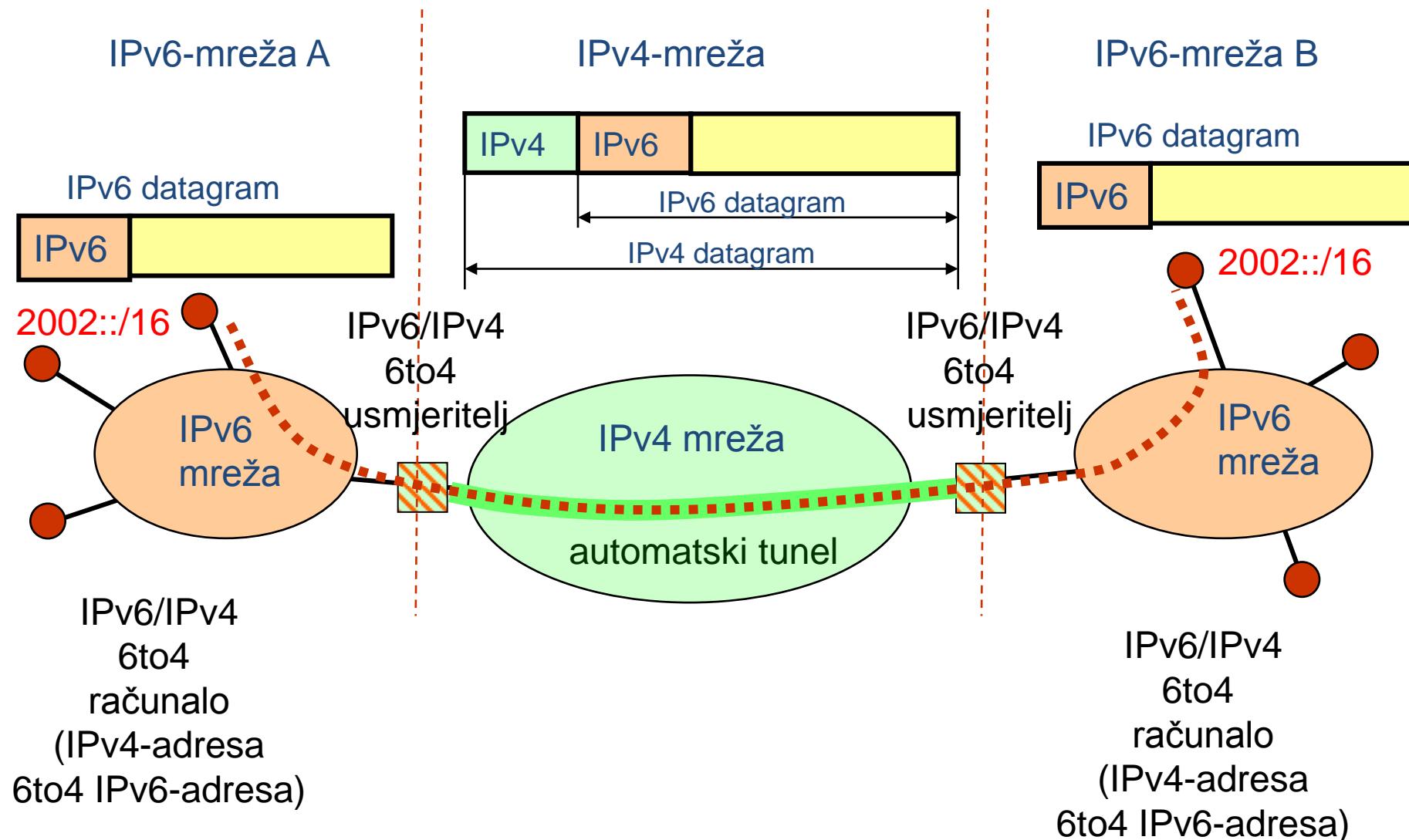
- ◆ Stvaranje globalnog adresnog prefiksa za IPv6/IPv4-čvor



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 uvođenje IPv6

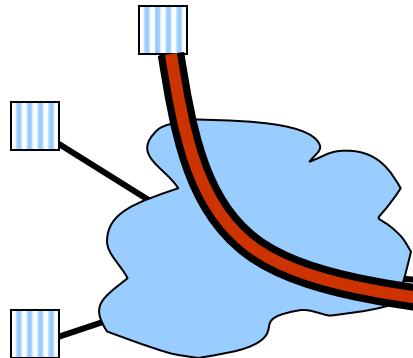
Suživot IPv4 i IPv6:

- ◆ 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

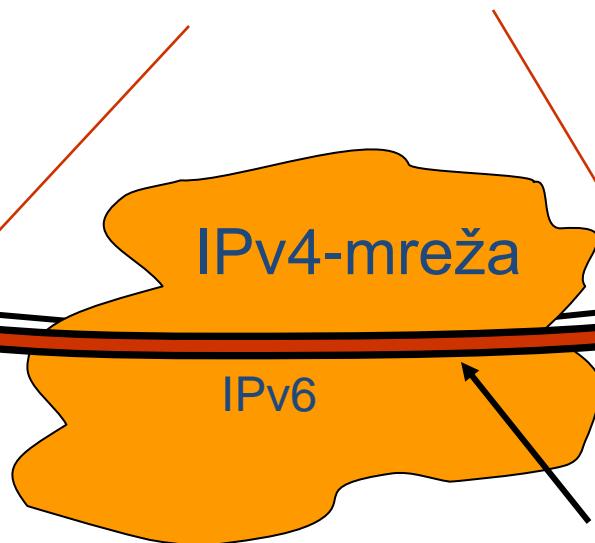
Konačno rješenje s IPv6

Suživot IPv4 i IPv6 (1)

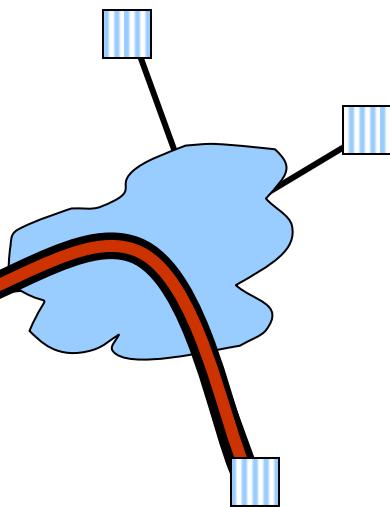
IPv6-mreža



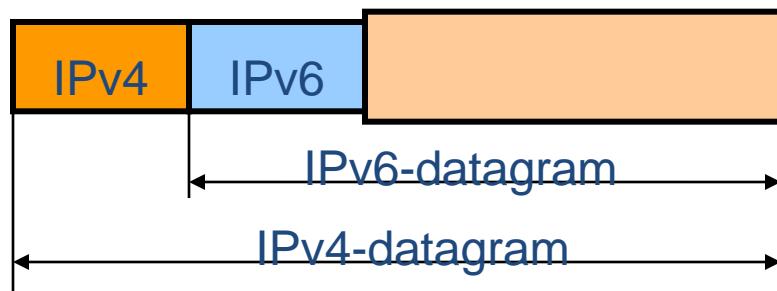
IPv4-usmjeritelji



IPv6-mreža



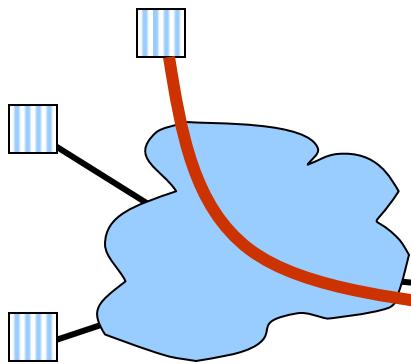
tunel



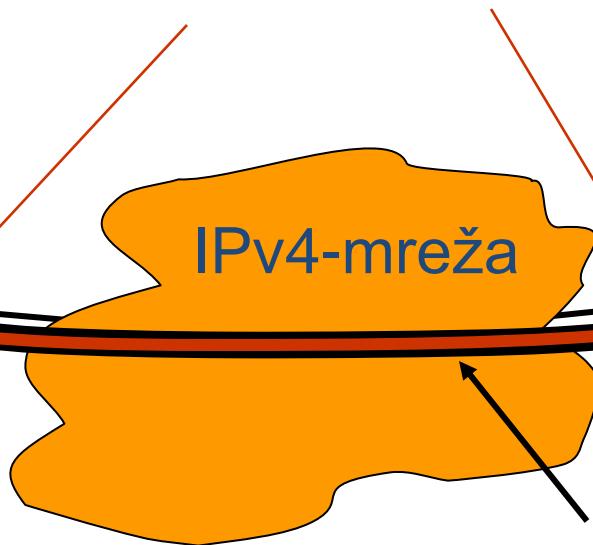
Na kojoj je relaciji uspostavljen tunel?

Suživot IPv4 i IPv6 (2)

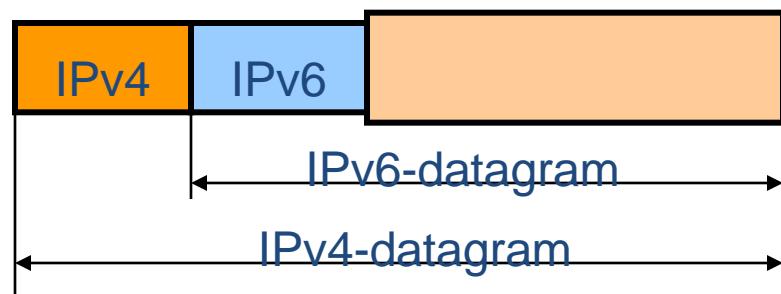
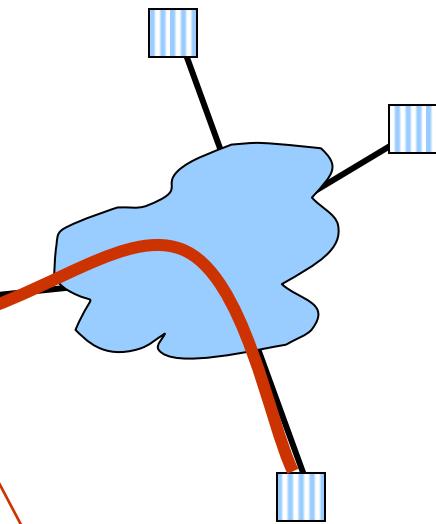
IPv6-mreža



IPv6/IPv4-usmjeritelji



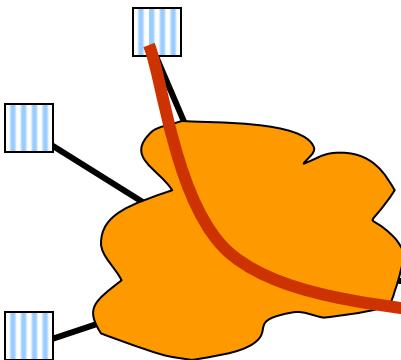
IPv6-mreža



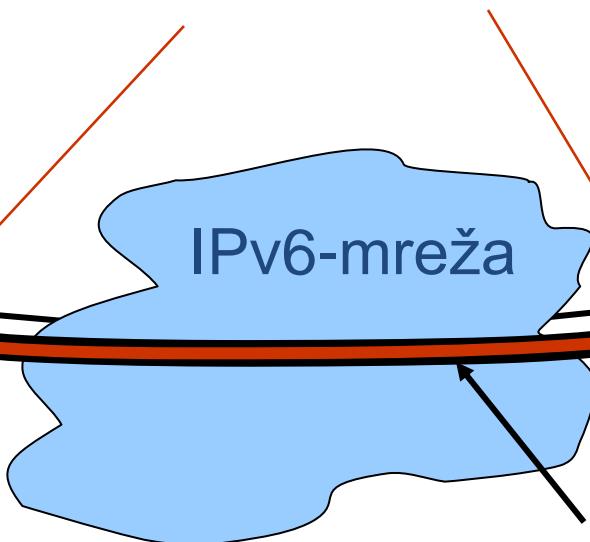
defragmentiranje IPv4
hop limit - 1

Suživot IPv4 i IPv6 (3)

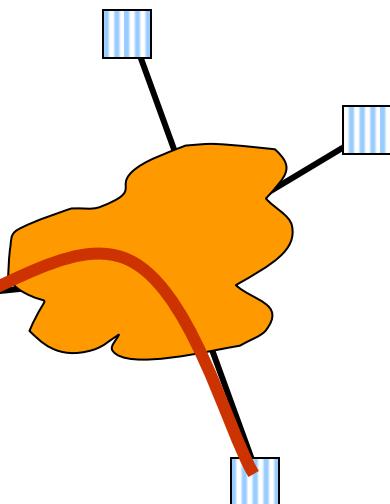
IPv4-mreža



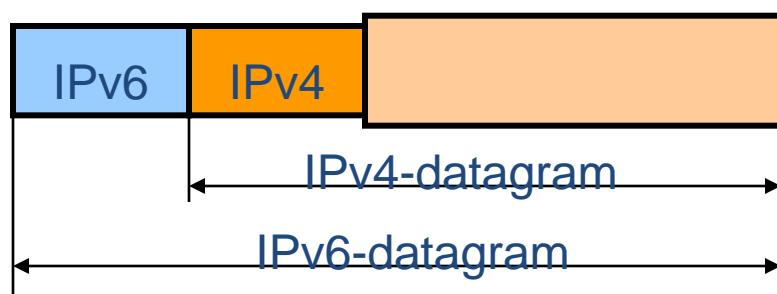
IPv6/IPv4 usmjeritelji



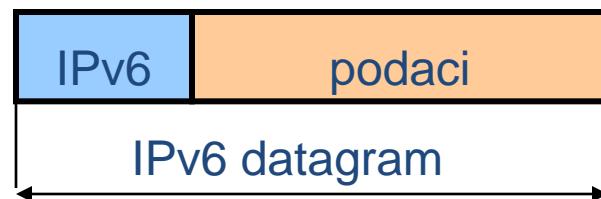
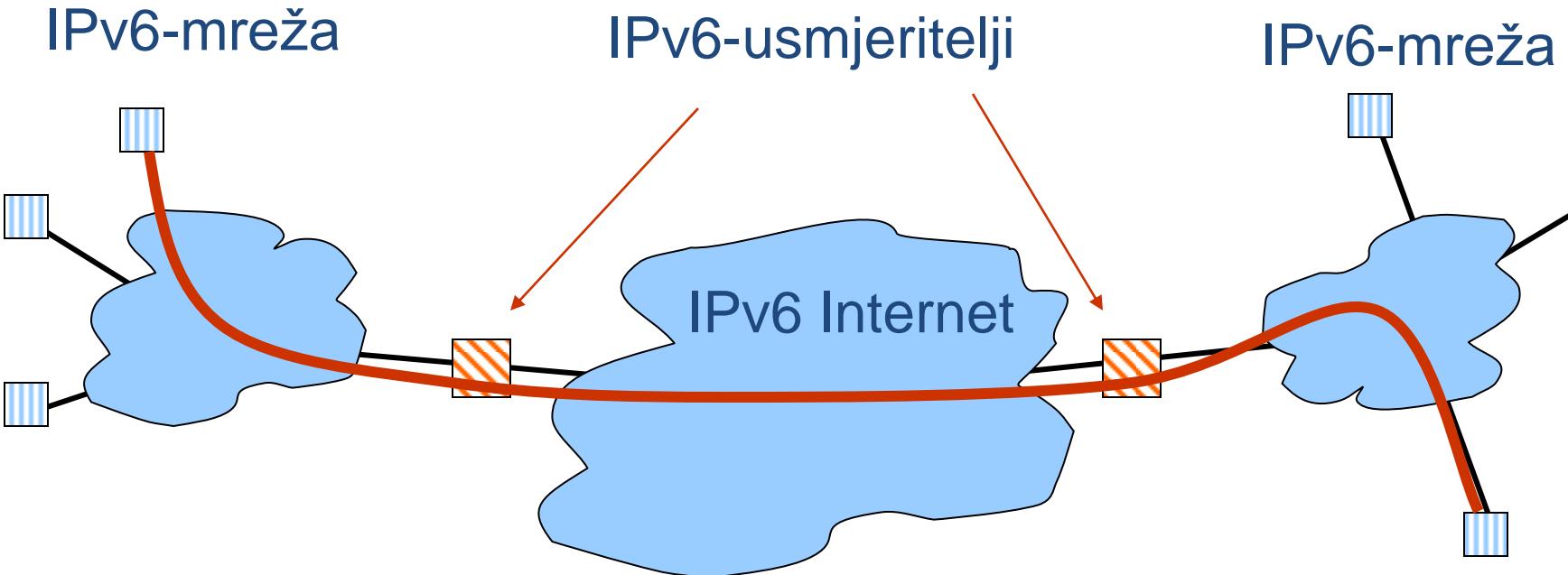
IPv4-mreža



tunel



Konačno rješenje s IPv6



Nema tuneliranja!

Kako mogu komunicirati IPv6-čvor i IPv4-čvor?

Komunikacija računala koje raspolaže samo protokolom IPv4 s računalom koje raspolaže samo protokolom IPv6

Samo uz prevođenje prometa između IPv6 i IPv4:

- NAT64: pretvorba informacijskog prometa IPv6 ↔ IPv4
- DNS64: preslikavanje adresa IPv6 ↔ IPv4

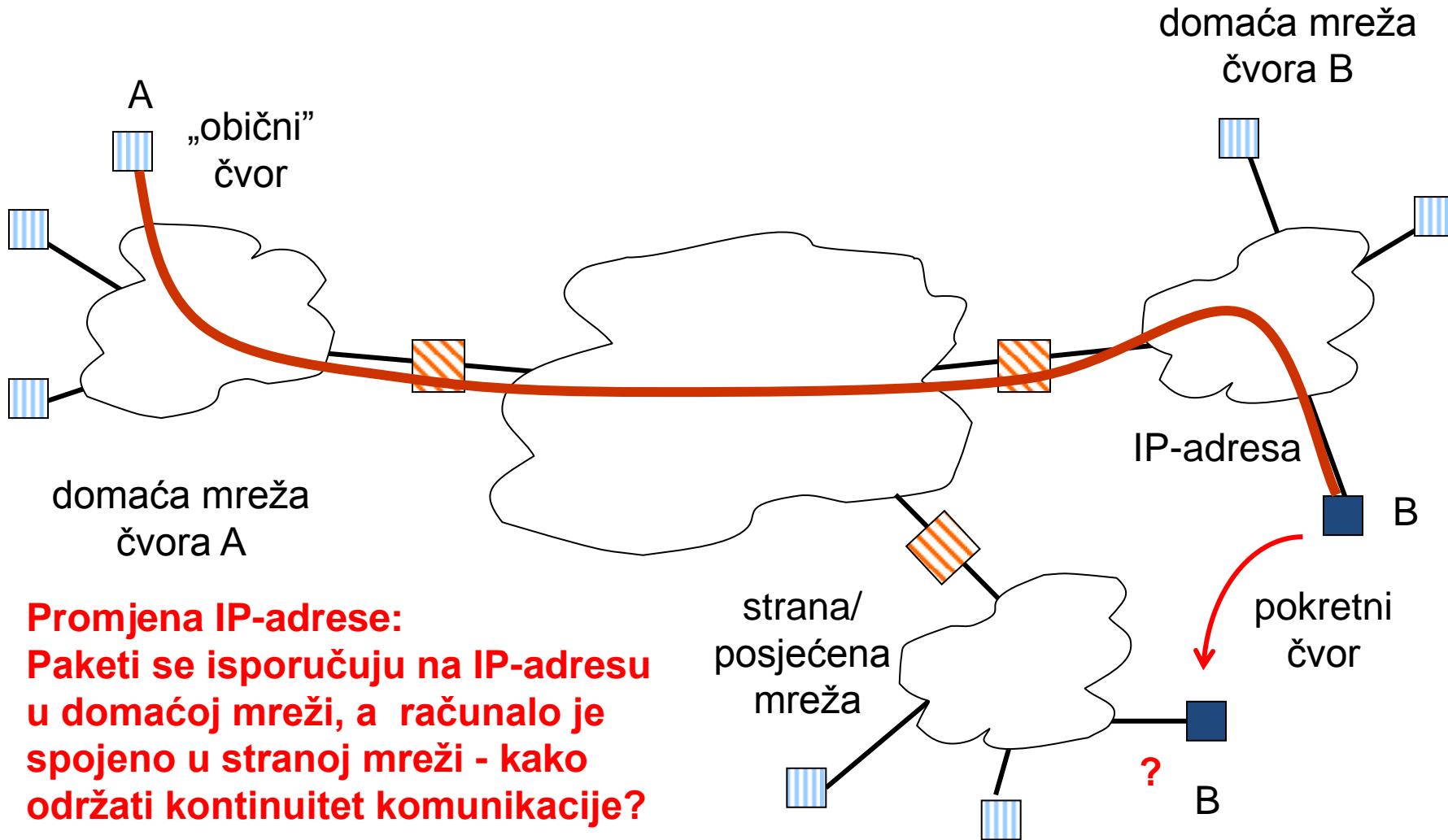
◆ Pređočite situacije u kojima se tuneliranje kroz IPv4-mrežu na putu između dva IPv6/IPv4-računala provodi na ovim relacijama:

- računalo-usmjeritelj
- usmjeritelj-računalo

i navedite izvorišne i odredišne adrese u zaglavljima datagrama.

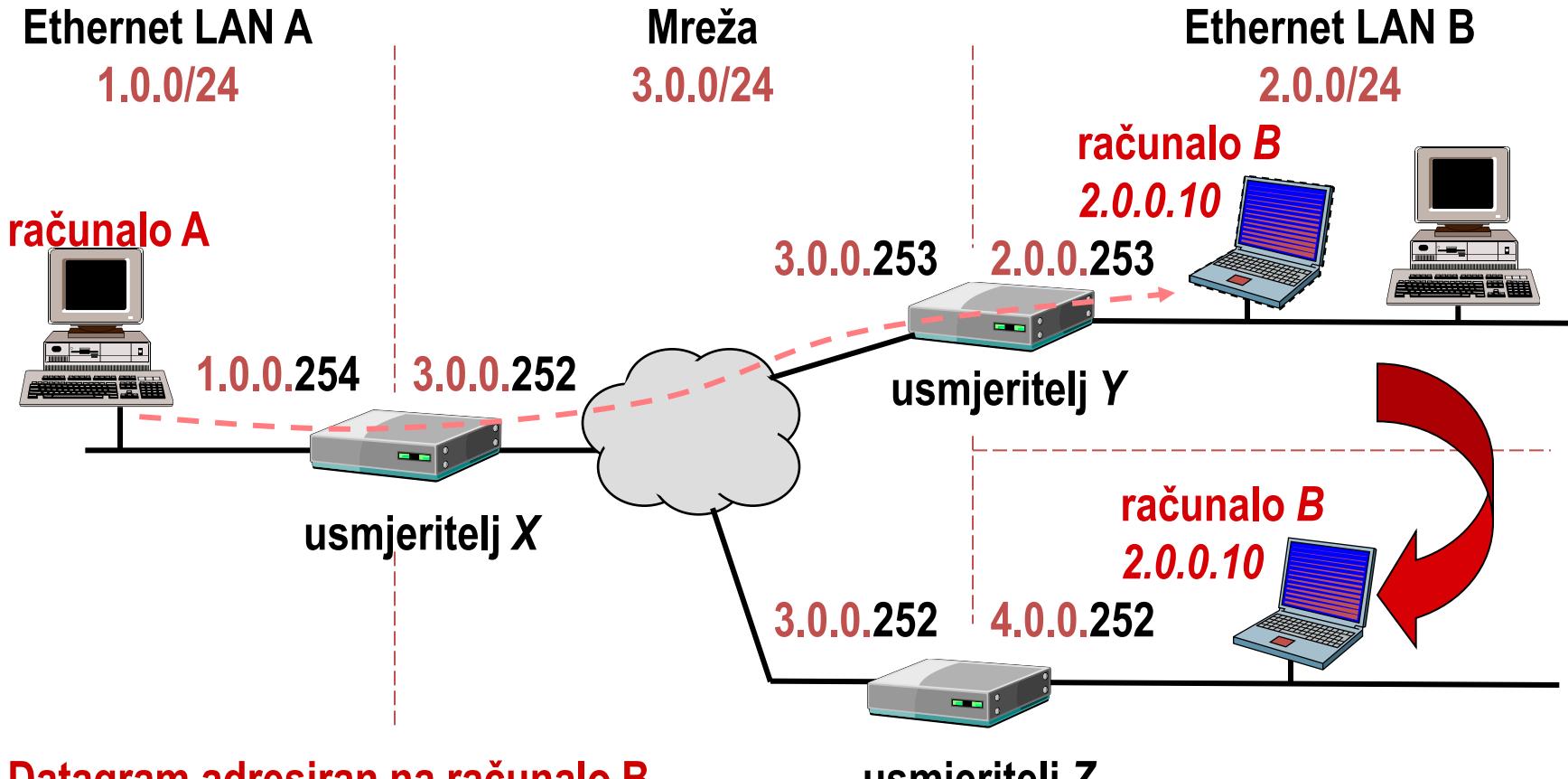
Pokretljivost u IP mreži

Opis problema



- ◆ 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?



Datagram adresiran na računalo B neisporučiv nakon što B iz svoje domaće mreže B prijeđe u stranu mrežu C.

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

Aplikacija

HTTP, FTP, Telnet, SMP,
SNMP, NFS, ...

Transport

TCP, UDP, ...

Mreža

IP, ICMP, ...

Prijenos

Podatkovna poveznica
Fizički sloj

◆ “Klasični” IP:

- pokretni korisnik/čvor zahtijevao 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

Aplikacija

HTTP, FTP, Telnet, SMP,
SNMP, NFS, ...

Transport

TCP, UDP, ...

Mreža

IP, ICMP, ...

Prijenos

Podatkovna poveznica
Fizički sloj

◆ 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

Aplikacija

HTTP, FTP, Telnet, SMP,
SNMP, NFS, ...

Transport

TCP, UDP, ...

Mreža

IPv4(6), ICMP(v6), ...

Prijenos

Podatkovna veza
Fizikalni sloj

Pokretljivost u mrežnom sloju

Mobile IP: proširenje IPv4

Mobile IPv6: rješenje u IPv6

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

Mobile IP

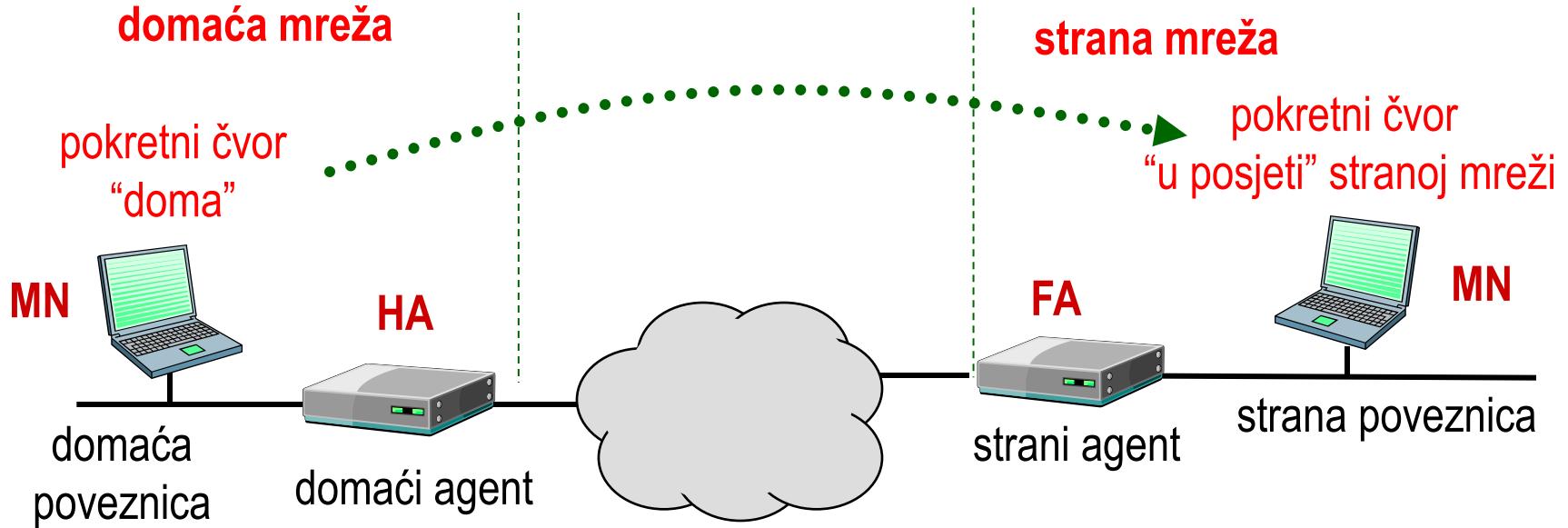
Domaća adresa (*home address*)

- ◆ 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

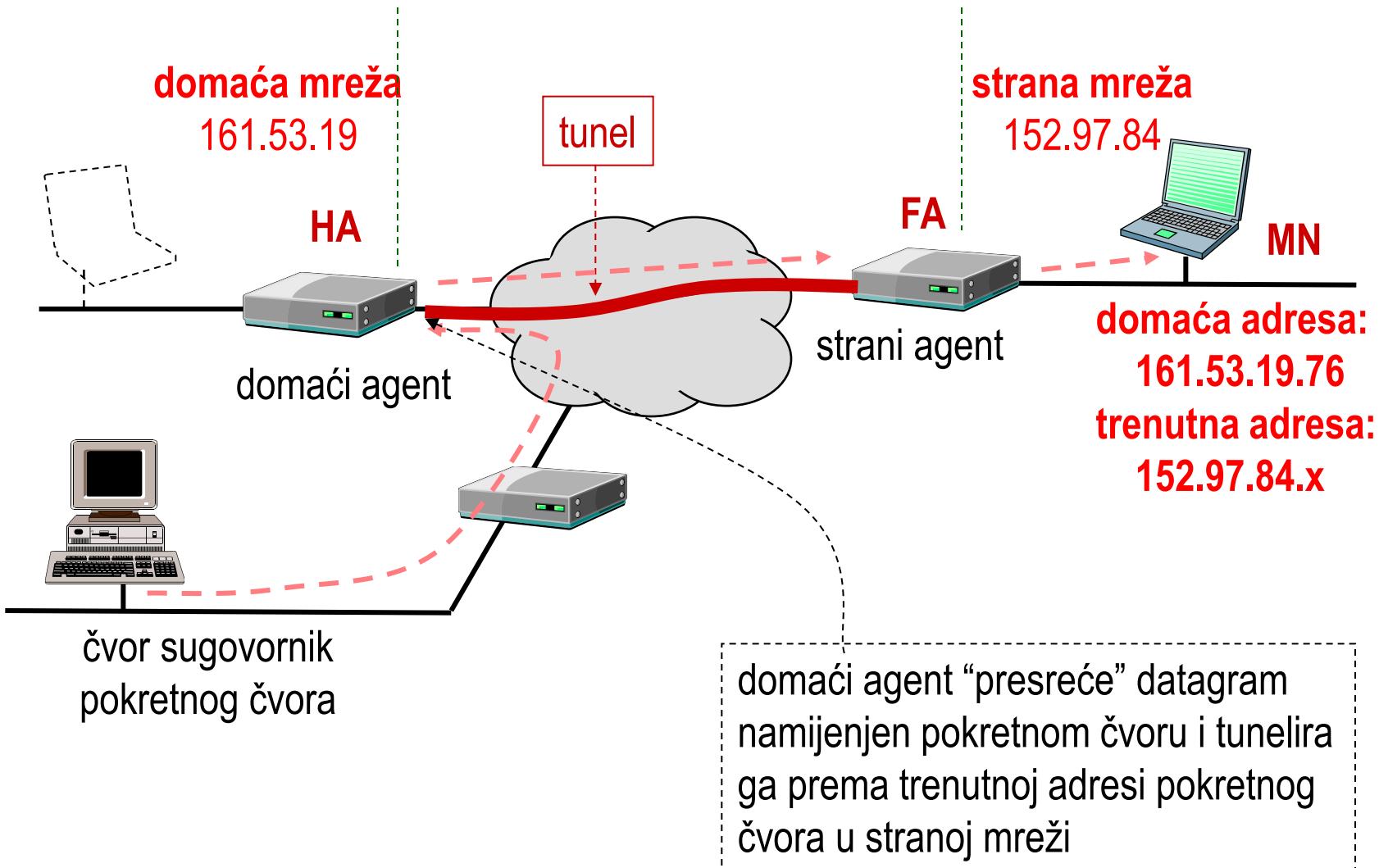


pokretni čvor (*Mobile Node, MN*)

domaći agent (*Home Agent, HA*)

strani agent (*Foreign Agent, FA*)

Mobile IP – tuneliranje do strane mreže



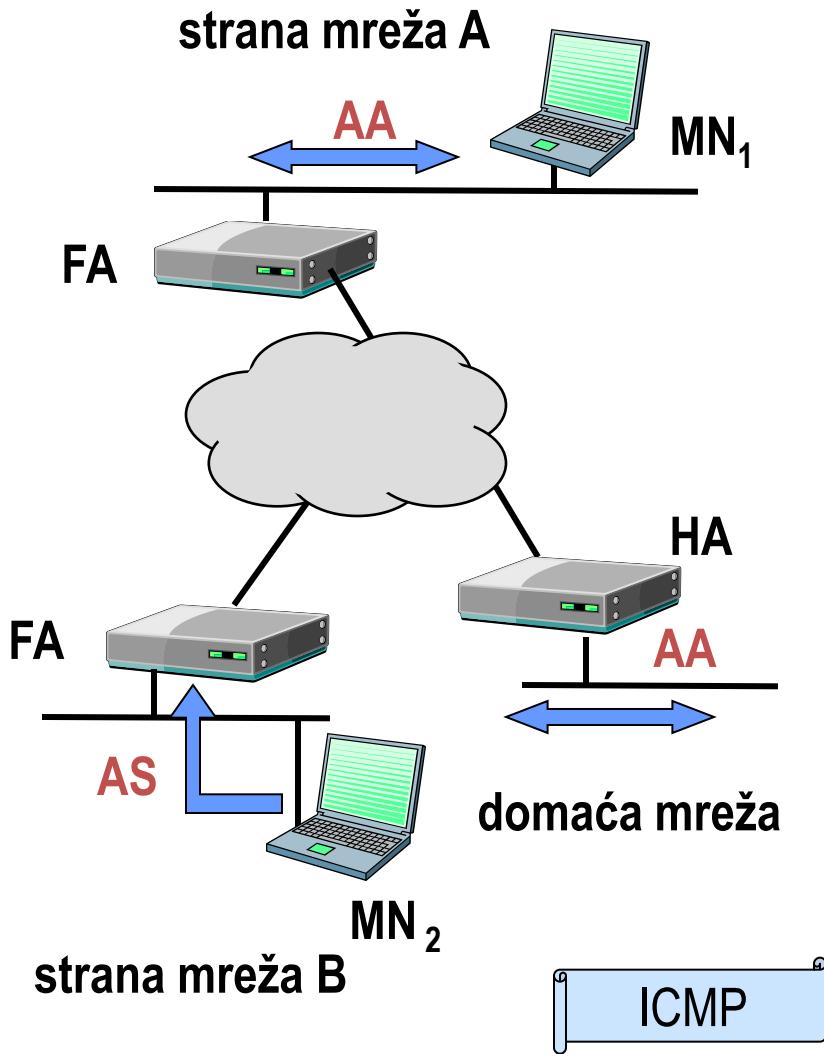
Procedure pokretnog čvora

◆ 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 obavješćuje domaćeg agenta o trenutnoj adresi
- Čvor periodički obnavlja registraciju
- Čvor se deregistrira pri povratku na domaću poveznicu



◆ 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

Agent Solicitation Message

IP Header	Time to Live = 1
	Home Address
ICMP Router Solicitation	

Agent Advertisement Message

IP Header	
ICMP Router Advertisement	Lifetime
	Router Address
Mobility Agent Advertisement Extension	Care-of Address
Optional	Prefix

Format ICMP-poruka

♦ *Lifetime*

- govori kada pokretni čvor može očekivati poruku

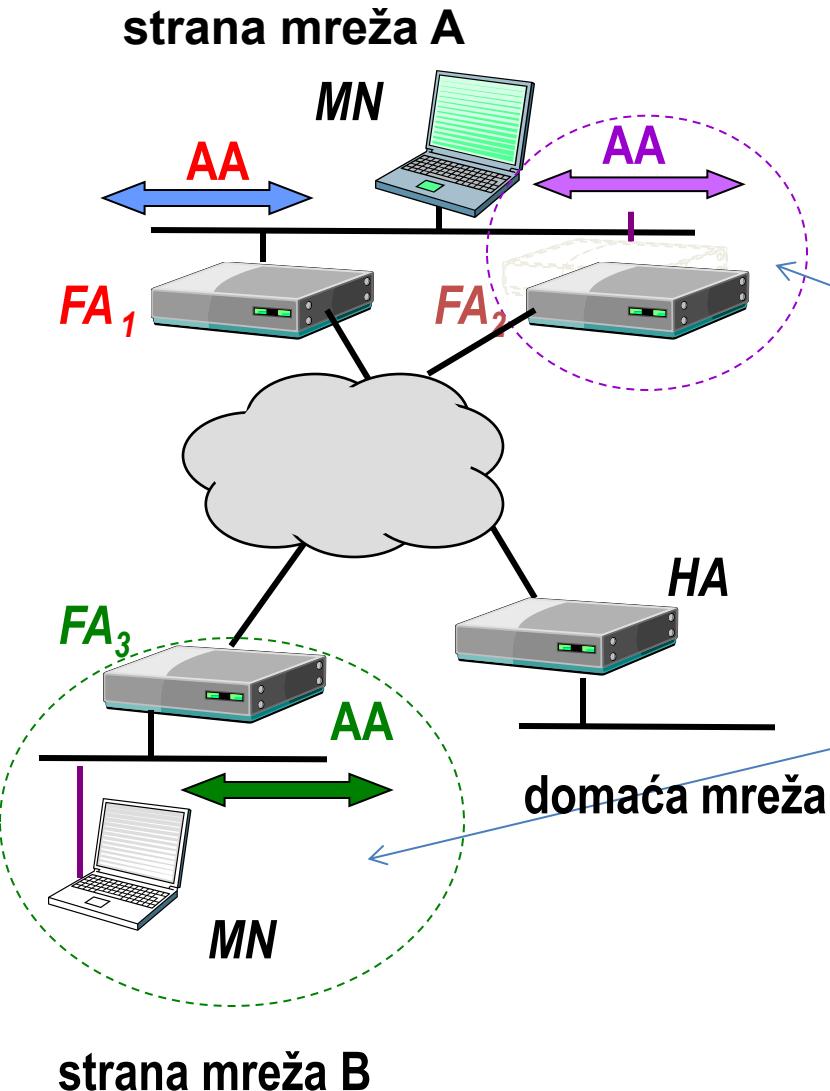
♦ *Network Prefix*

- izračunava se iz *Router Address* i *Prefix* u AA (različit za svaku poveznicu)

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!)

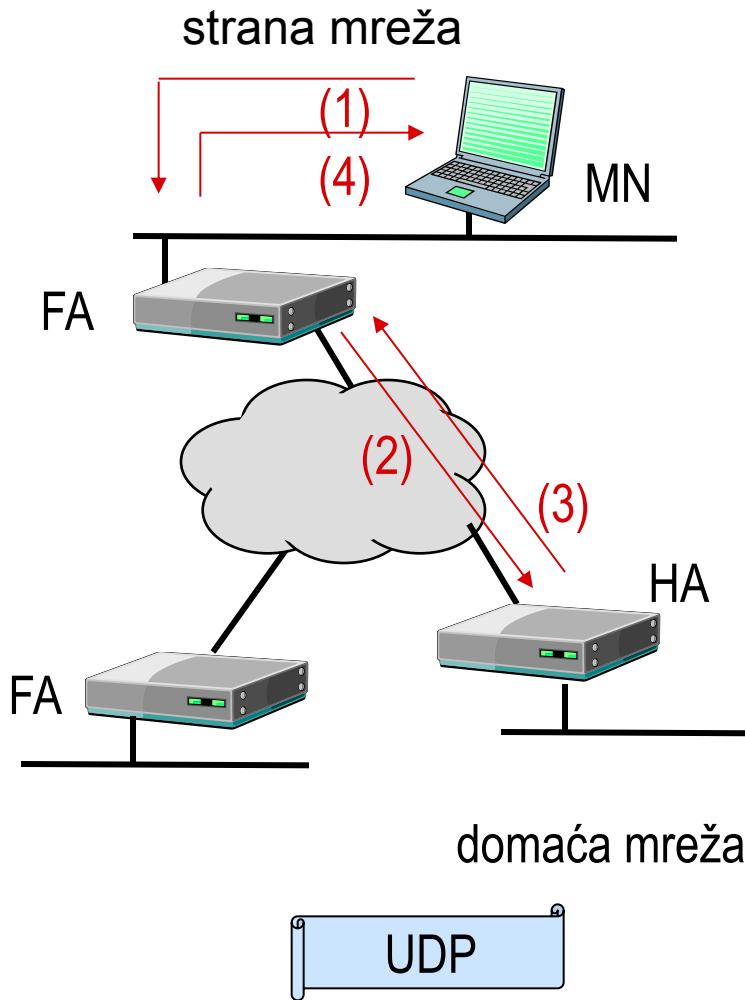
Rješenje: Pokušaj komuniciranja s *default* usmjeriteljem na domaćoj poveznici (ICMP *Echo Request/Reply*). Ako pokušaj uspije, to potvrđuje pretpostavku.

- 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 konfiguiranje IP adrese

Registracija (1)



(1), (2) Registration Request

◆ pokretni čvor šalje registracijski zahtjev s trenutnom adresom 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)

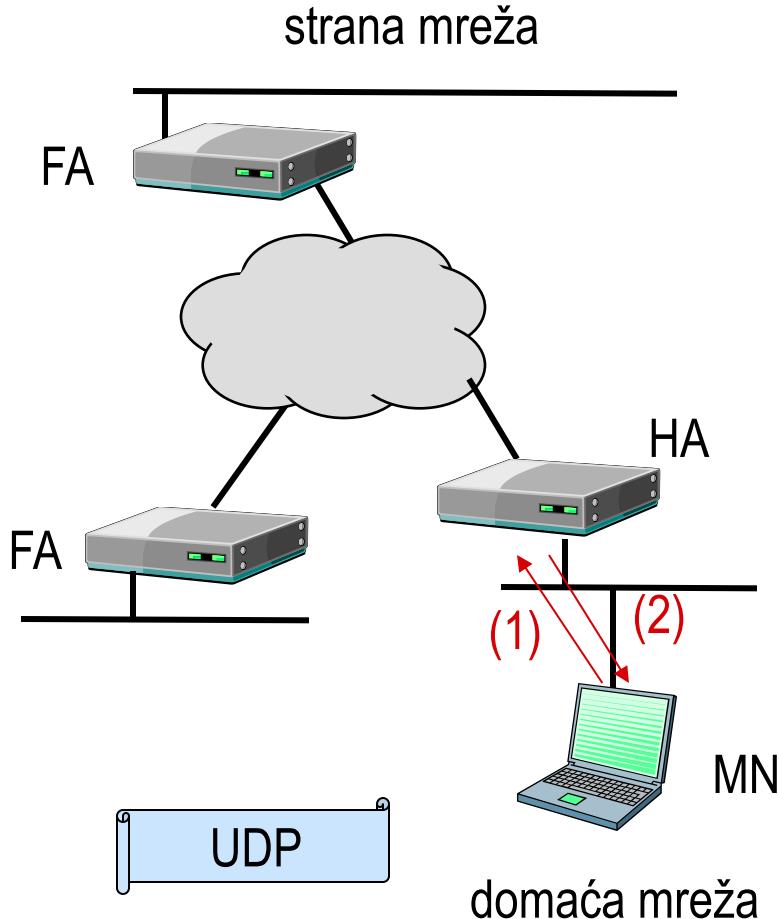
Registration Request

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

Format poruka



(1) (de-)Registration Request

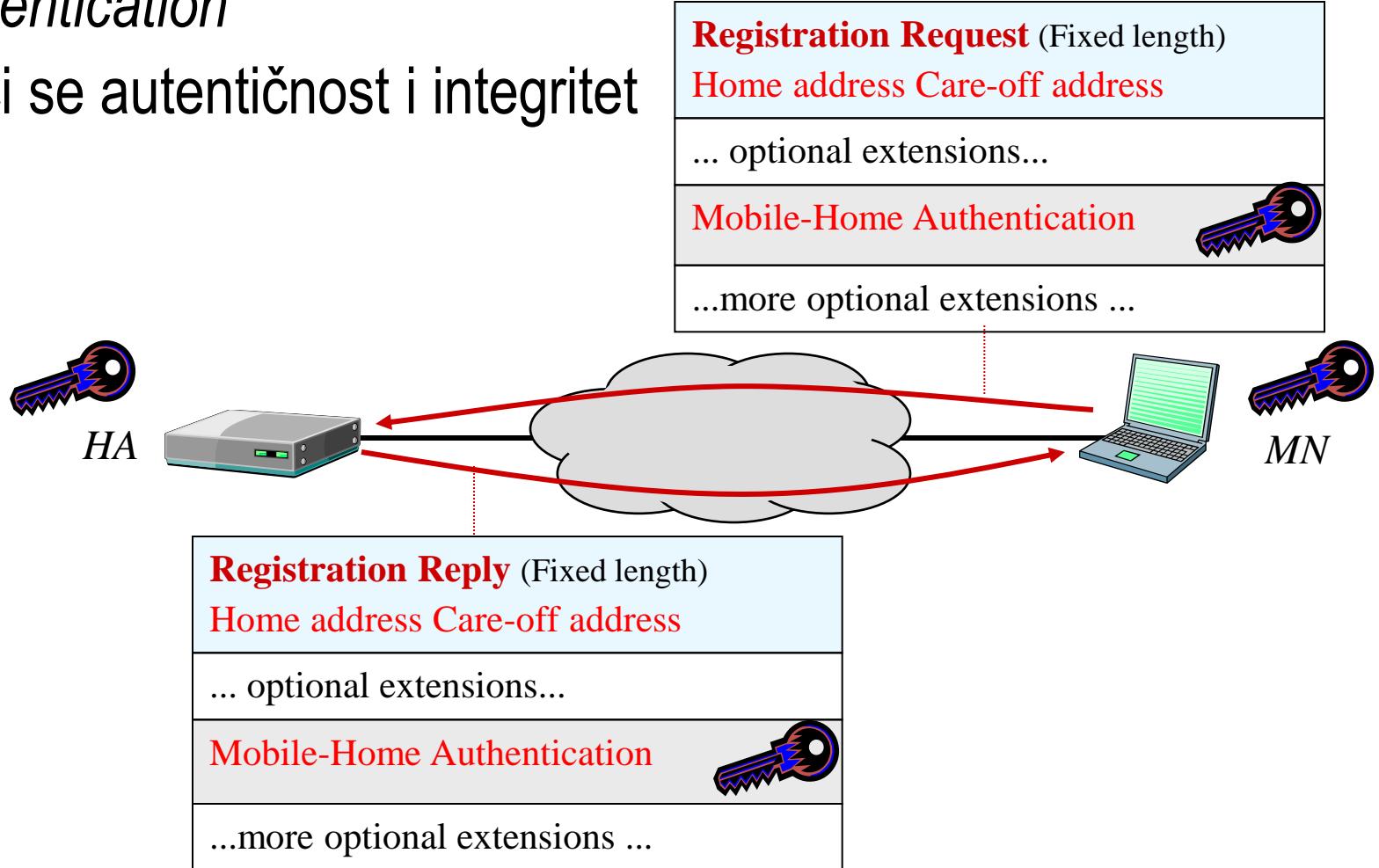
◆ pokretni čvor se prijavljuje domaćem agentu po povratku u domaću mrežu i time odregistriira trenutnu care-of adresu

(2) (de-)Registration Reply

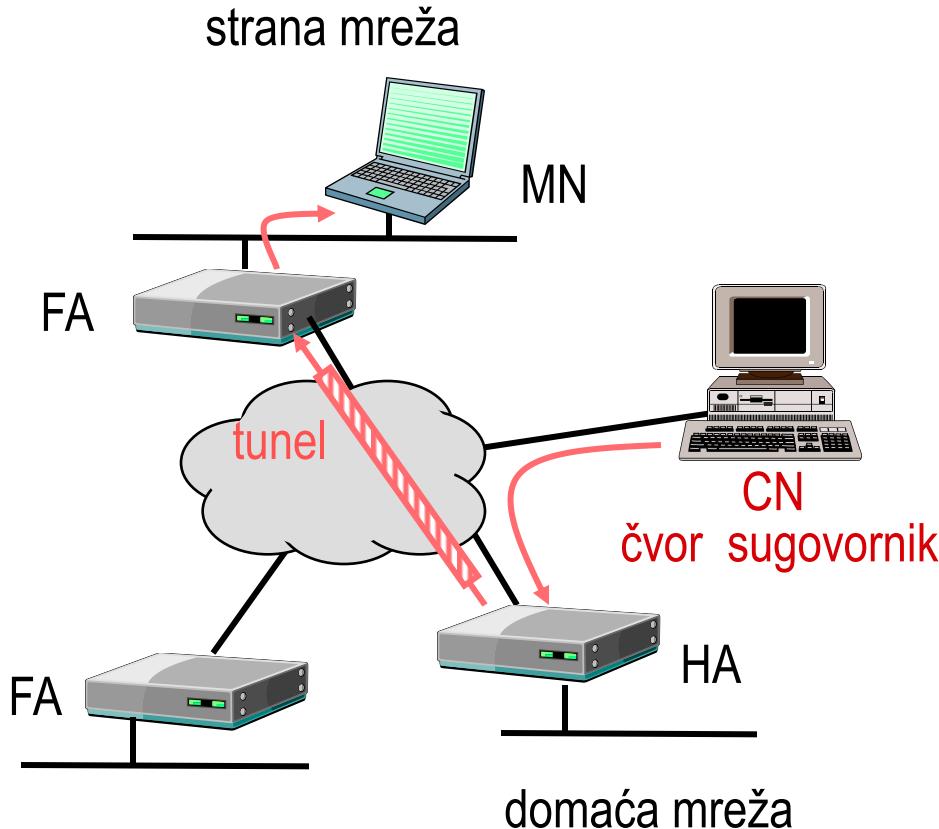
◆ domaći agent potvrđuje deregistraciju

Autentičnost i integritet registracijskih poruka

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



Usmjeravanje datagrama na pokretni čvor



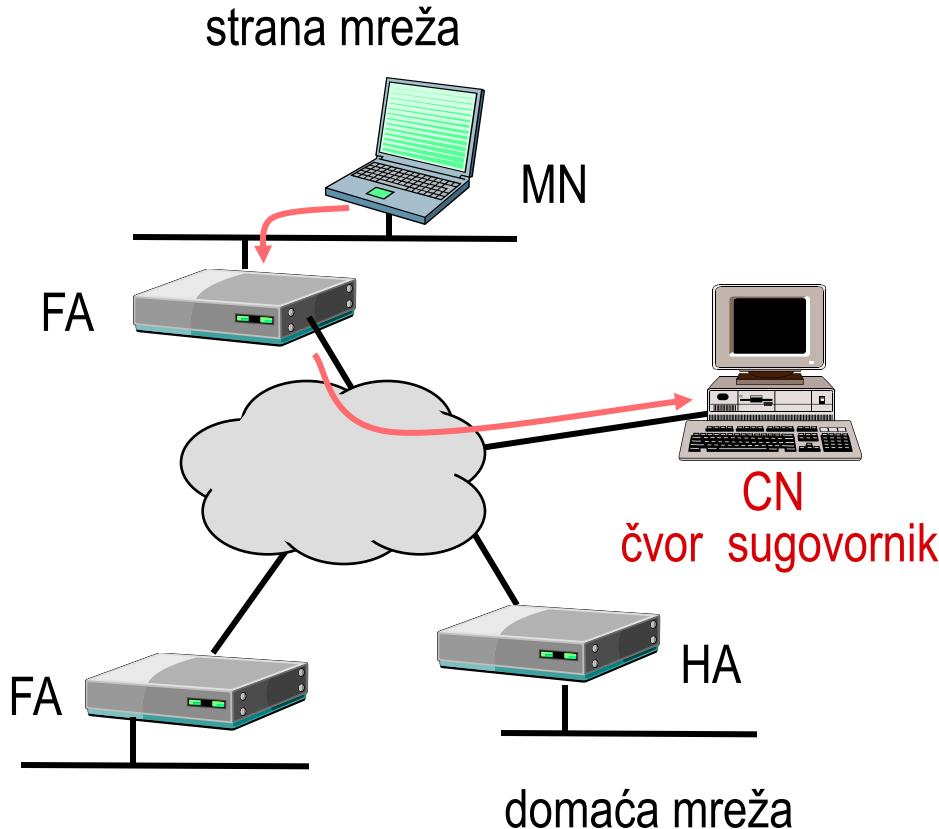
Domaći agent, HA

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

Strani agent, FA

- ◆ vadi izvorne datagrame iz tuneliranih i isporučuje ih pokretnom čvoru

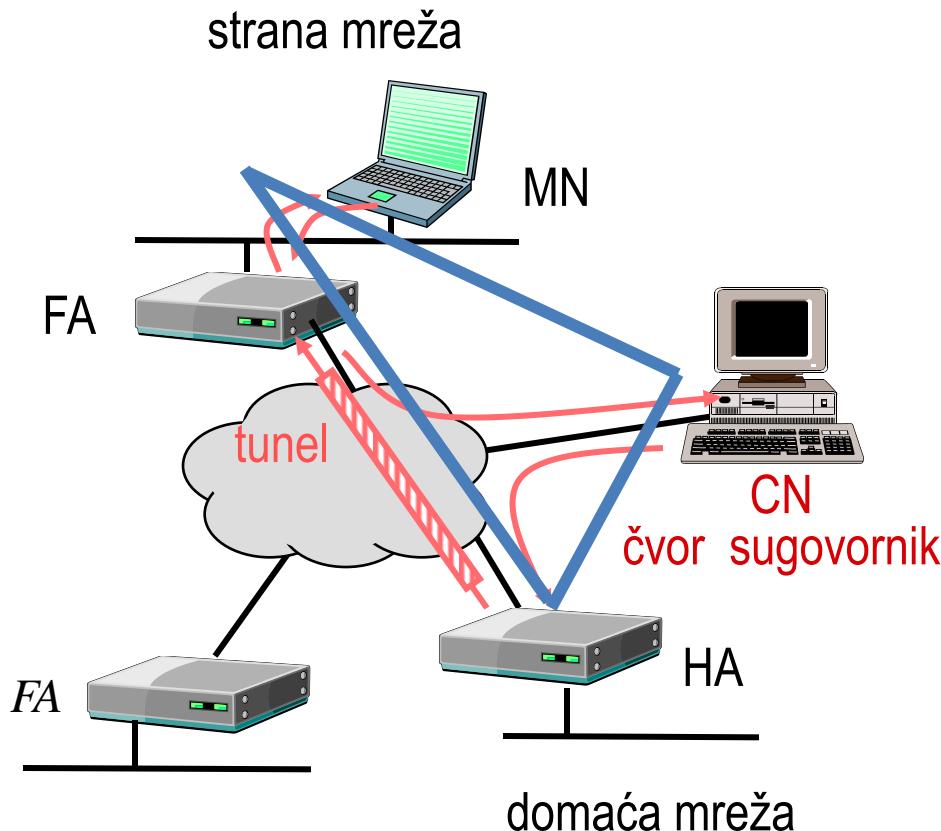
Odašiljanje datagrama s pokretnog čvora



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

Mobile IPv6

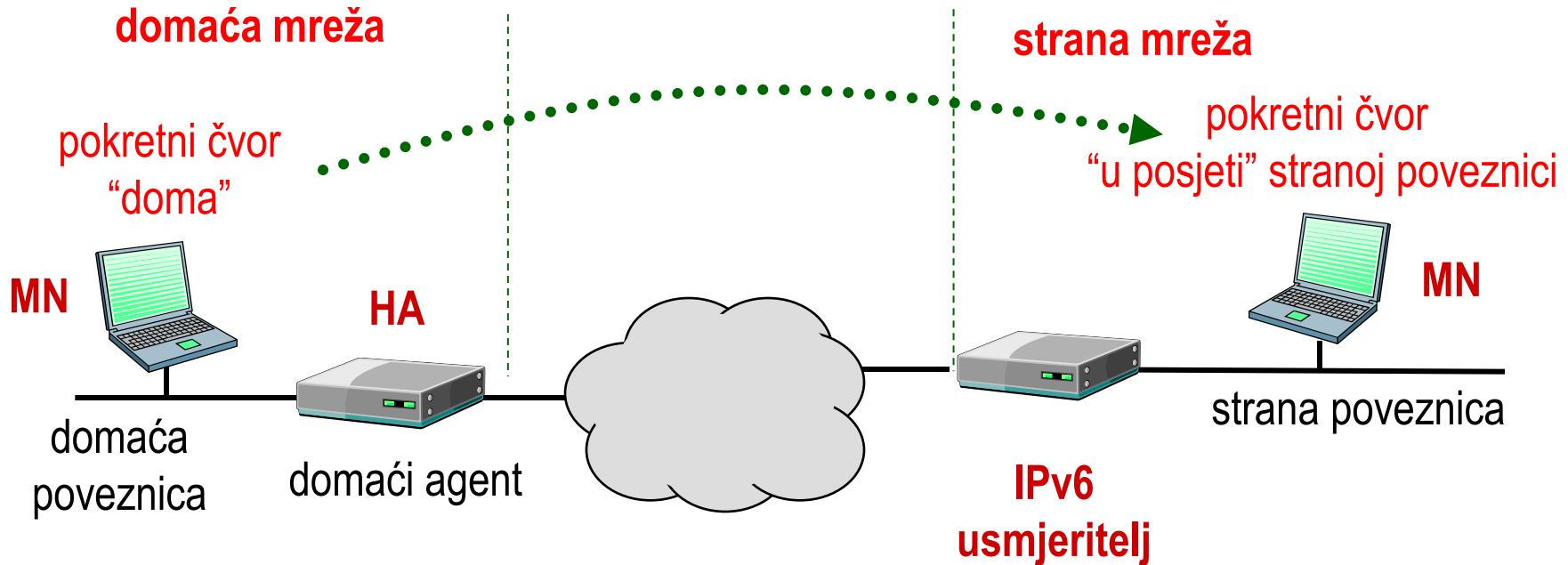
Mobile IPv6 – pregled (1)

- ◆ Što je isto kao u *Mobile IPv4*?
 - pokretni čvor, domaći agent, domaća i strana poveznica
- ◆ Što je drugačije u odnosu na *Mobile IPv4*?
 - adresiranje, pridjeljivanje domaće i trenutne adrese
 - nema stranog agenta - koristi se IPv6 usmjeritelj
- ◆ Što je novo u odnosu na *Mobile IPv4*?
 - čvor sugovornik (*Correspondent Node, CN*)
 - 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)

- ◆ funkcionalni entiteti: HA, MN, CN
- ◆ dodatno zaglavljivo pokretljivosti (*Mobility Header*):
 - registracija i optimizacija usmjeravanja
- ◆ dodatno zaglavljivo usmjeravanja (*Routing Header*):
 - izravno usmjeravanje CN – MN (trenutna adresa)
- ◆ dodatno zaglavljivo 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

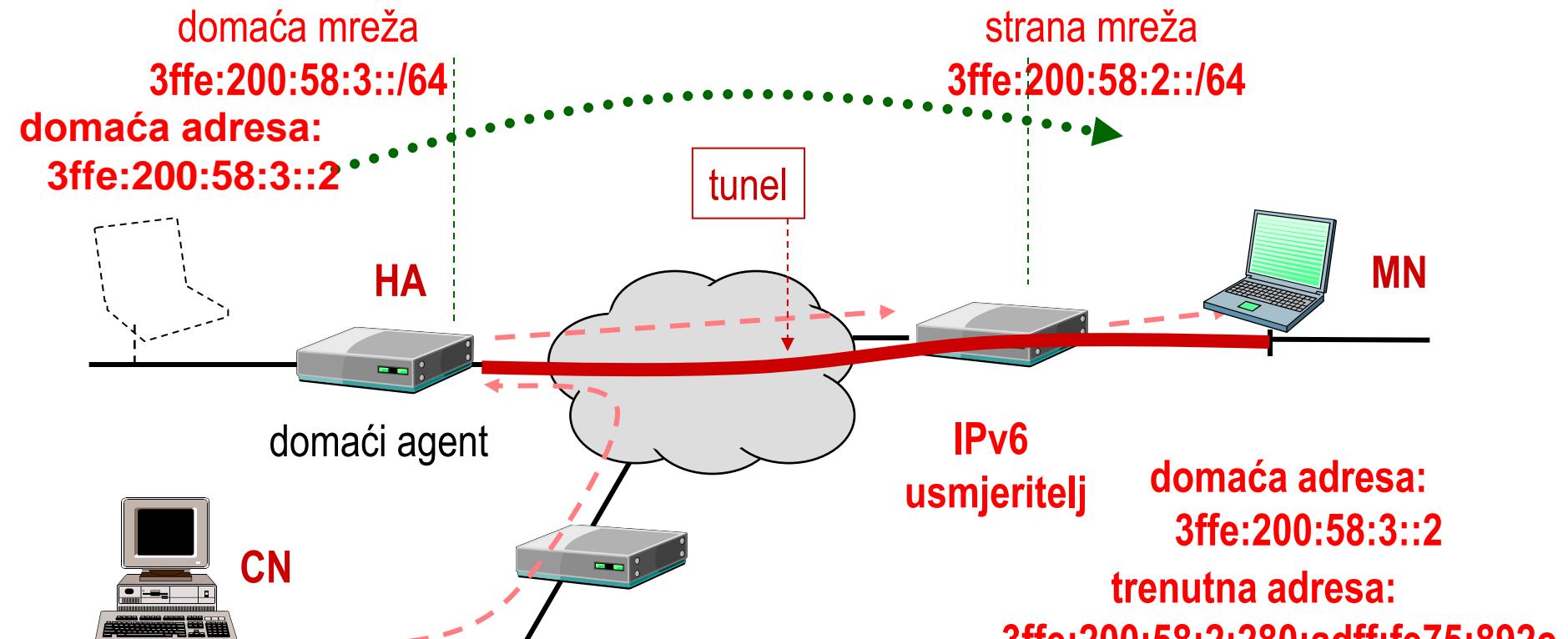
Mobile IPv6 - funkcijski entiteti



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

Nema stranog agenta, koristi se IPv6 –usmjeritelj!

Mobile IPv6 - način rada (1)



čvor sugovornik (Correspondent Node, CN)

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 zaglavljaju pokretljivosti (*Mobility Header*)
4. omogućena izmjena paketa između MN i čvora sugovornika (CN)
5. provodi se optimizacija usmjeravanja

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 IPv4!

- ◆ 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 pretpostavlja 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)

- ◆ registracija se naziva **povezivanje (*Binding*)**
- ◆ procedura suštinski ostaje ista kao kod Mobile IPv4, tj:
 - pokretni čvor registrira novu adresu kao trenutnu adresu kod domaćeg agenta
 - domaći agent potvrđuje registraciju
- ◆ primjenjuje se dodatno zaglavlje 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 zaglavlje: iza/ispred kojeg zaglavlja?

Poruke dodatnog zaglavja pokretljivosti:

◆ *Binding Update*

- poruka kojom pokretni čvor obavješćuje domaćeg agenta o svojoj trenutnoj adresi

◆ *Binding Acknowledgement*

- poruka kojom domaći agent potvrđuje primljeni *Binding Update*

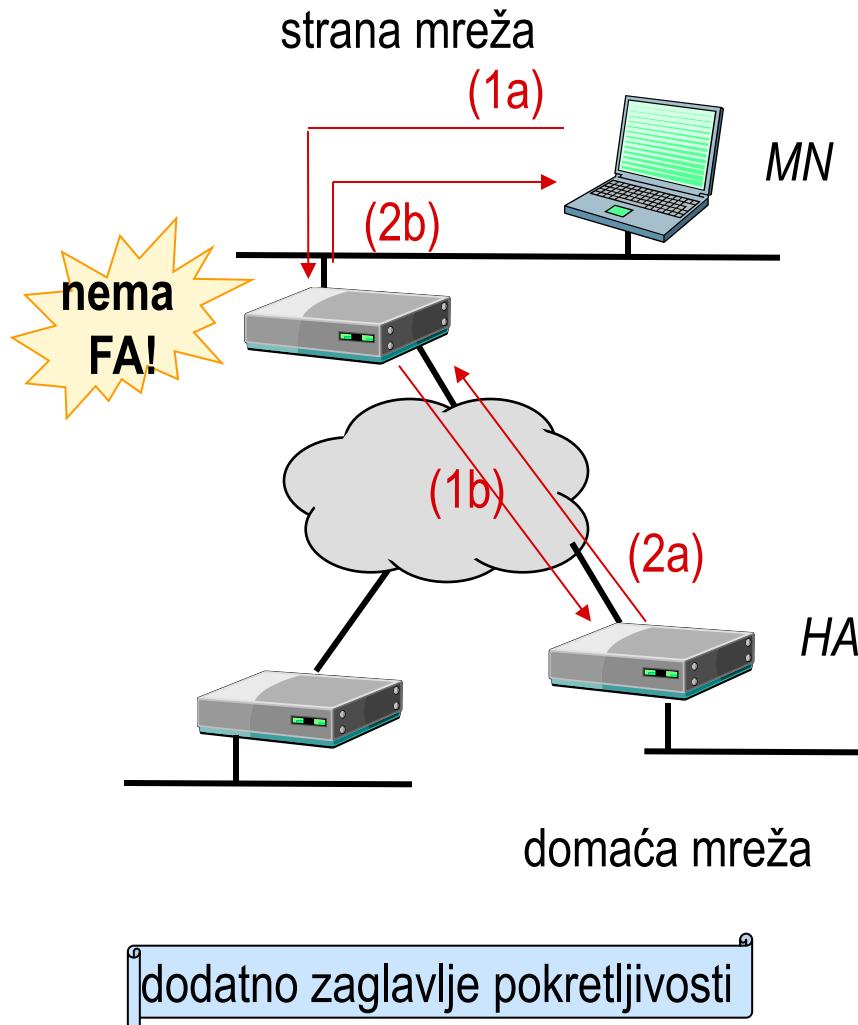
◆ *Binding Refresh Request*

- 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 dodatno zaglavlje usmjeravanja
- ◆ svaki pokretni čvor ima popis svojih poslanih *Binding Update* poruka čija važnost nije istekla
- ◆ svaki pokretni čvor ima popis svih domaćih agenta za promatranu poveznici

Usmjeravanje paketa (1)

Od CN prema MN:

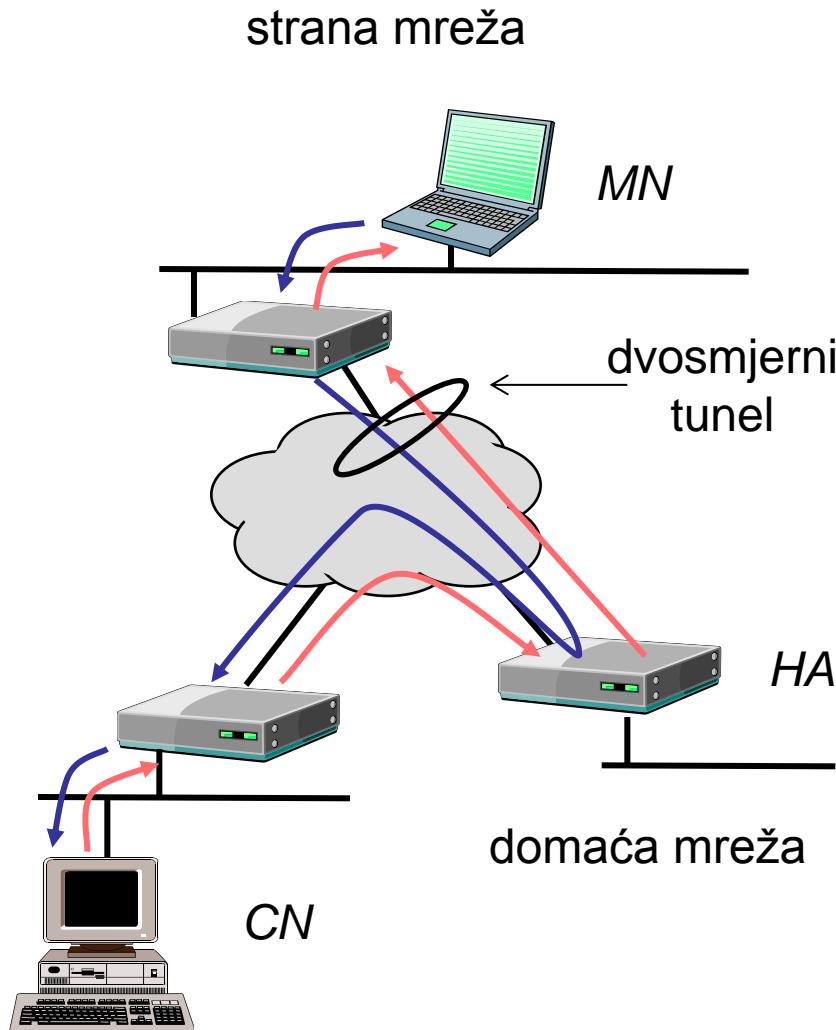
- ◆ domaći agent presreće pakete od čvora sugovornika adresirane na pokretni čvor i tunelira ih prema njegovoj trenutnoj adresi

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

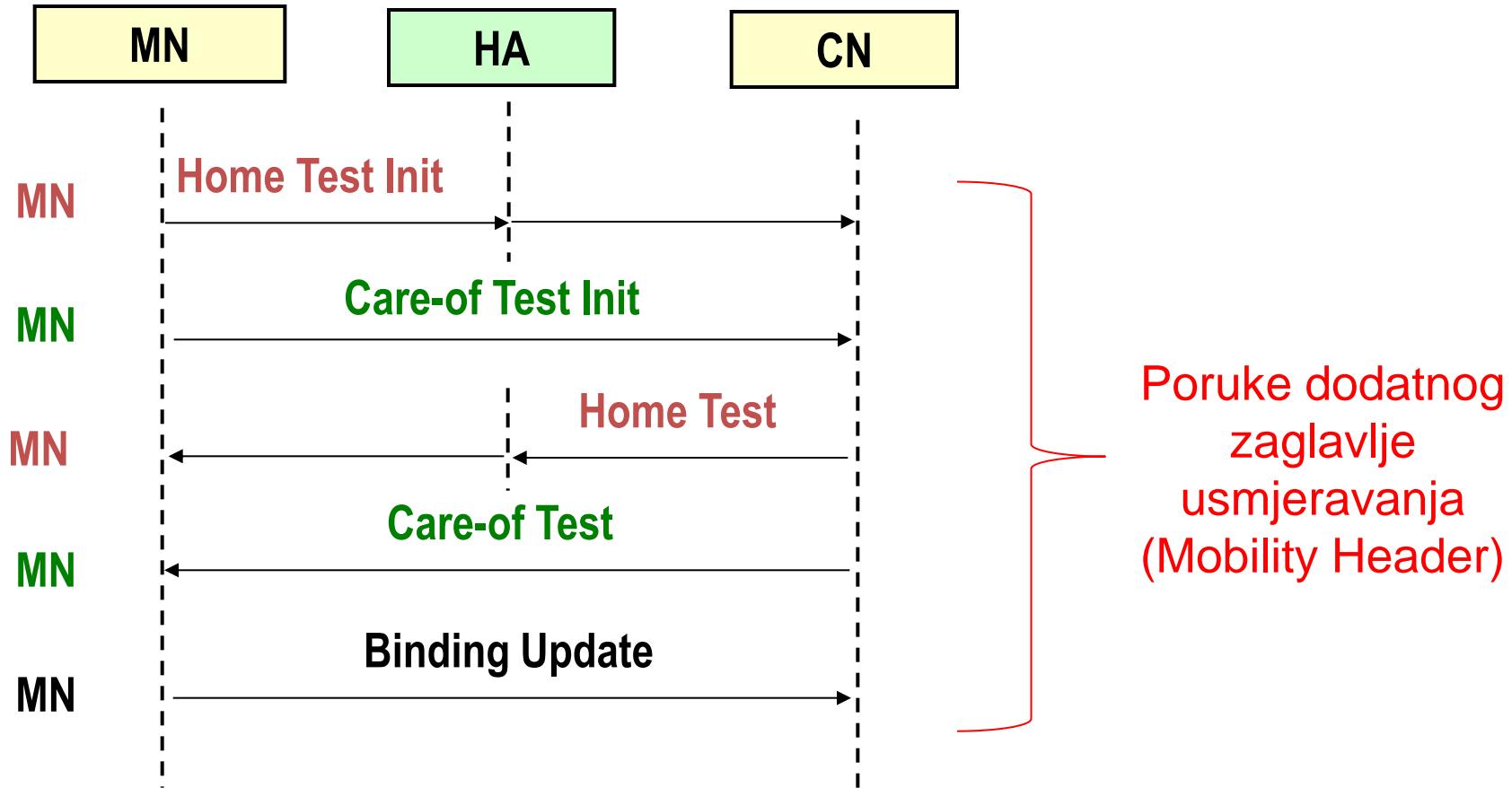
Neučinkovito, zašto?

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

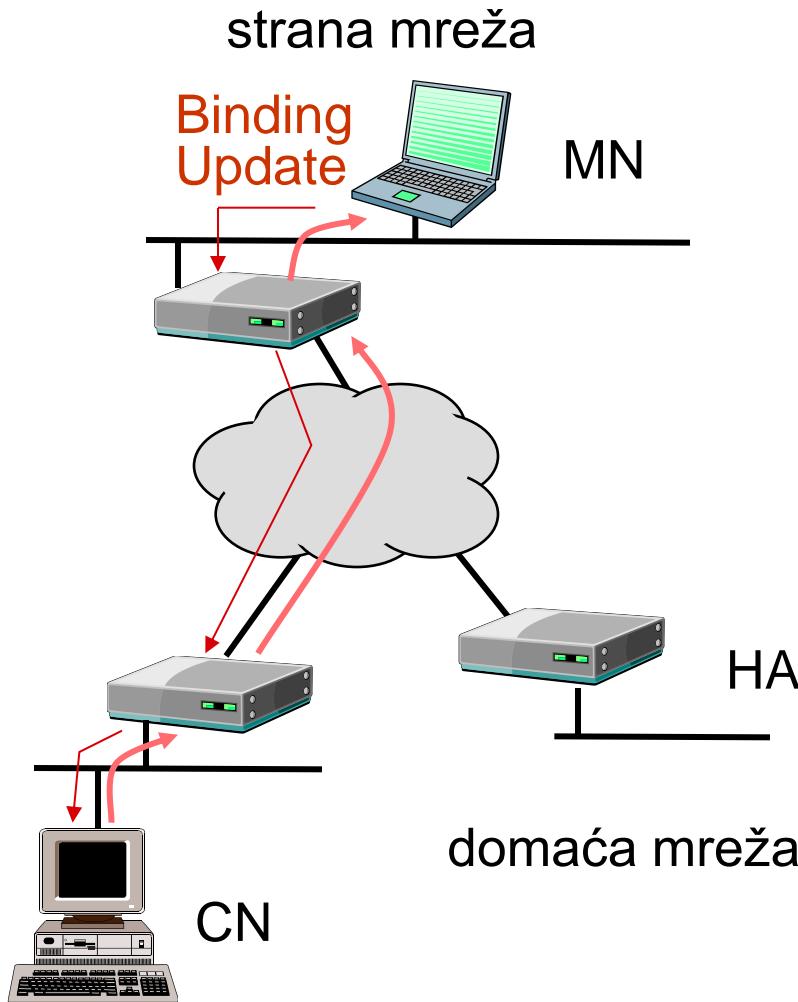
- ◆ MN šalje poruke prema CN:
 - pokreni test domaće adrese (*Home Test Init*, HoTI) – preko HA
 - pokreni test trenutne adrese (*Care-off Test Init*, CoTI) – izravno
- ◆ CN vraća poruke prema MN:
 - test domaće adrese (*Home Test Init*, HoT) – preko HA
 - test trenutne adrese (*Care-off Test Init*,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

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

Optimizacija usmjeravanja paketa (2)

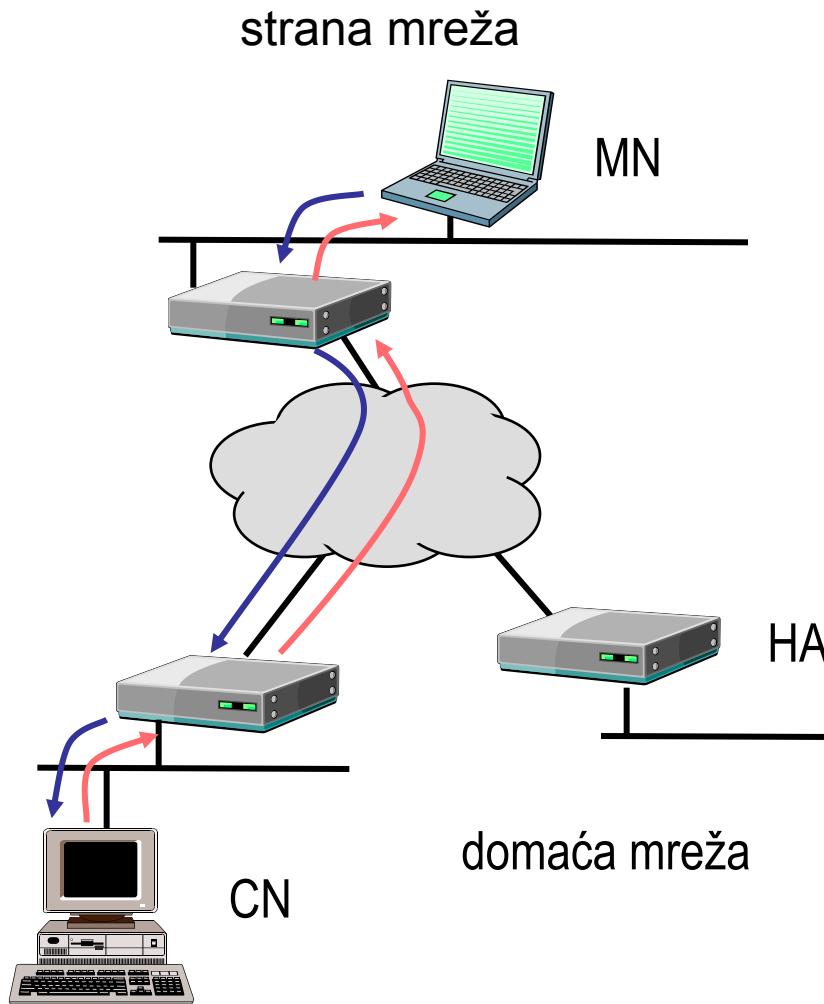


Optimizacija usmjeravanja paketa (3)



- ◆ MN šalje prema CN *Binding Update* sa svojom trenutnom adresom
- ◆ CN usmjerava pakete prema MN izravno, koristeći **dodatno zaglavlje usmjeravanja** koje sadrži domaću adresu MN
- ◆ MN zamjenjuje u zaglavljiju 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!

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

Zadatak: usporedba Mobile IPv4 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

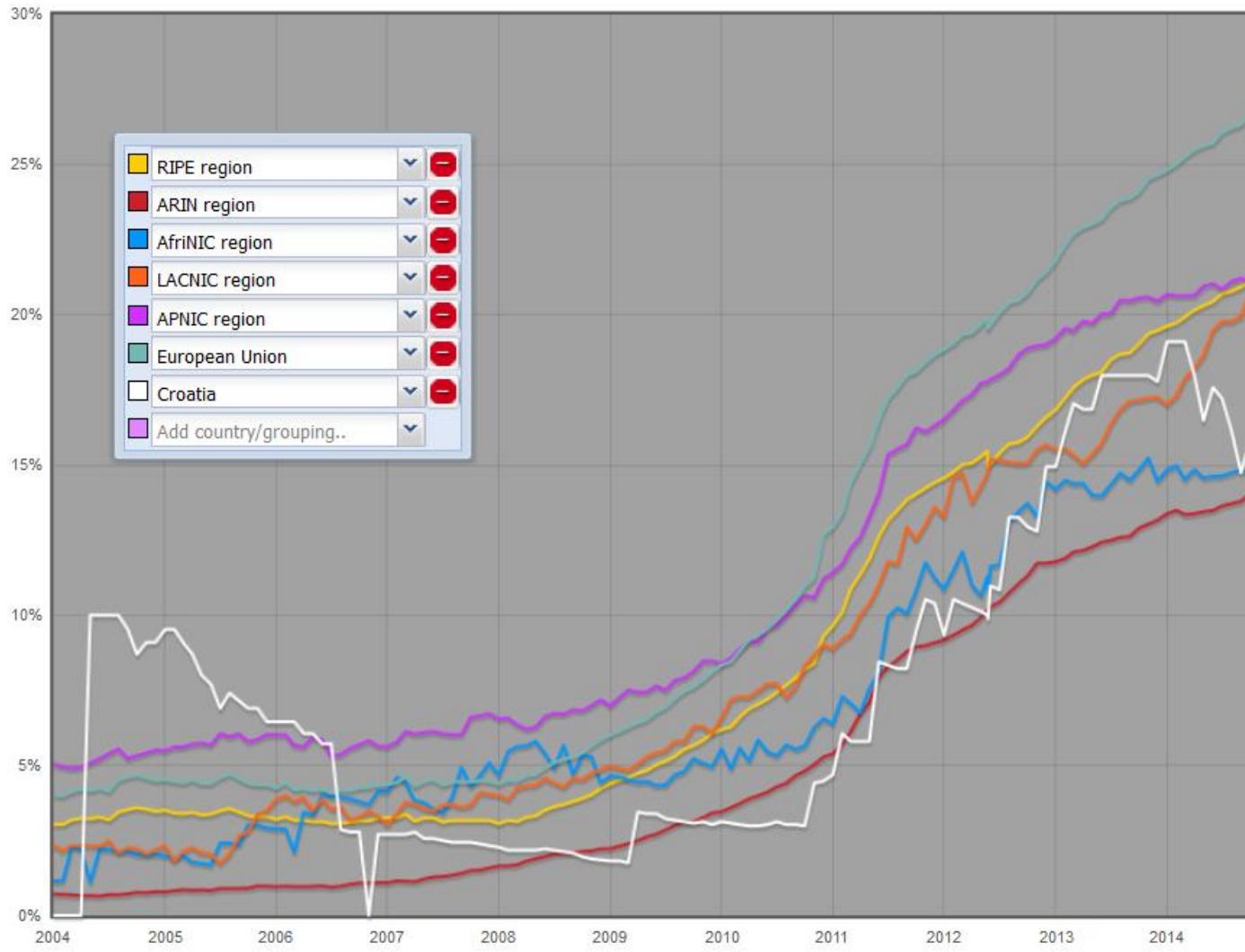
Zadatak: kont. protokoli i dodatna zaglavlja za Mobile IPv6

Funkcija	Kontrolni protokol ili dodatno zaglavlje
Otkrivanje usmjeritelja i utvrđivanje promjene poveznice	
Autokonfiguracija trenutne adrese	
Povezivanje	
Optimizacija usmjeravanja paketa	
Otkrivanje domaćeg agenta	

- ◆ 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.

Primjena IPv6 u svijetu, Europi i RH – trend (11/2014)

This graph shows the percentage of networks (ASes) that announce an IPv6 prefix for a specified list of countries or groups of countries



Izvor:
<http://v6asns.ripe.net/v6>

European Union:
26.79% (3214 out of 11998
ASes)
on 2014-11-01

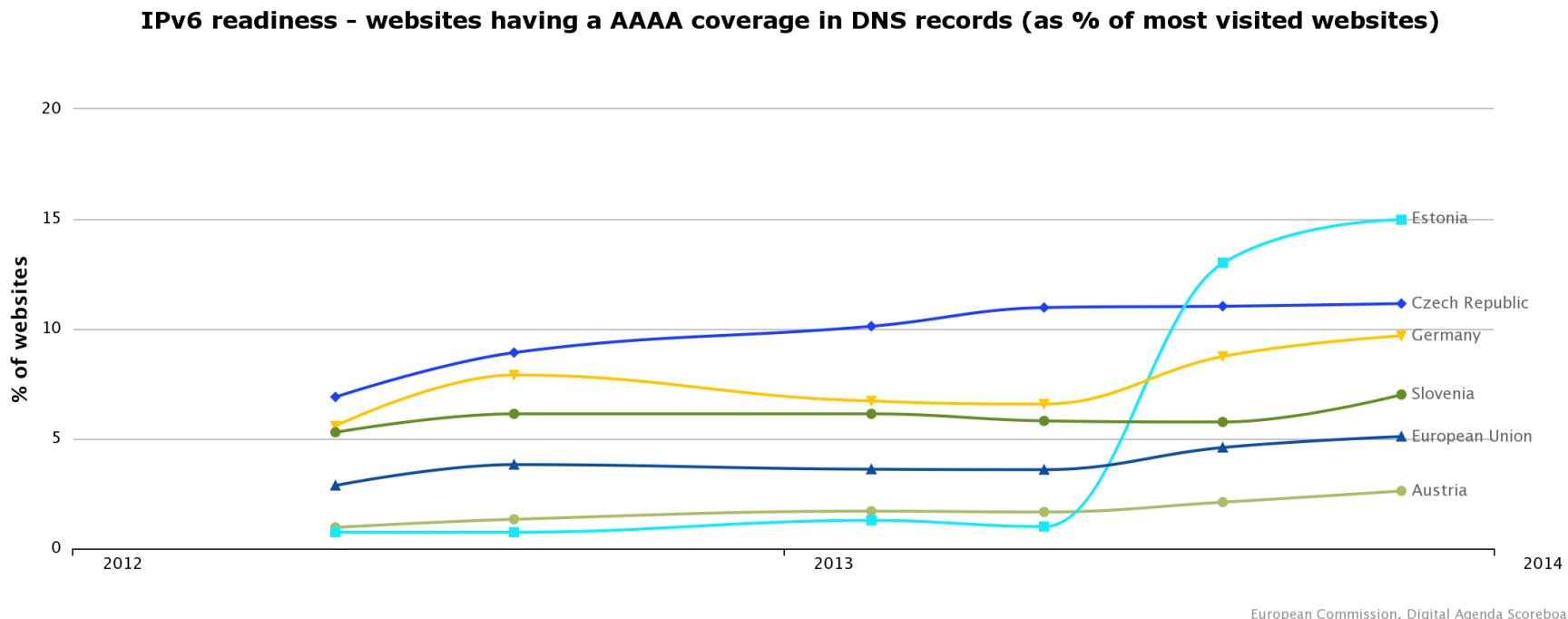
Croatia:
15.79% (15 out of 95 ASes)
on 2014-11-01

Postotak AS-ova koji koriste IPv6 (stanje na dan 3.11.2014.):

- Europska Unija: 26,79% ↑ (4434 od 20878 AS-ova)
- RIPE regija 21,24% ↑ (3760 od 19766 AS-ova)
- RH 15,79% ↓ (15 od 95 AS-ova)

Digitalna agenda – indikator: uporaba Interneta – spremnost za IPv6 (% najposjećenijih web sjedišta)

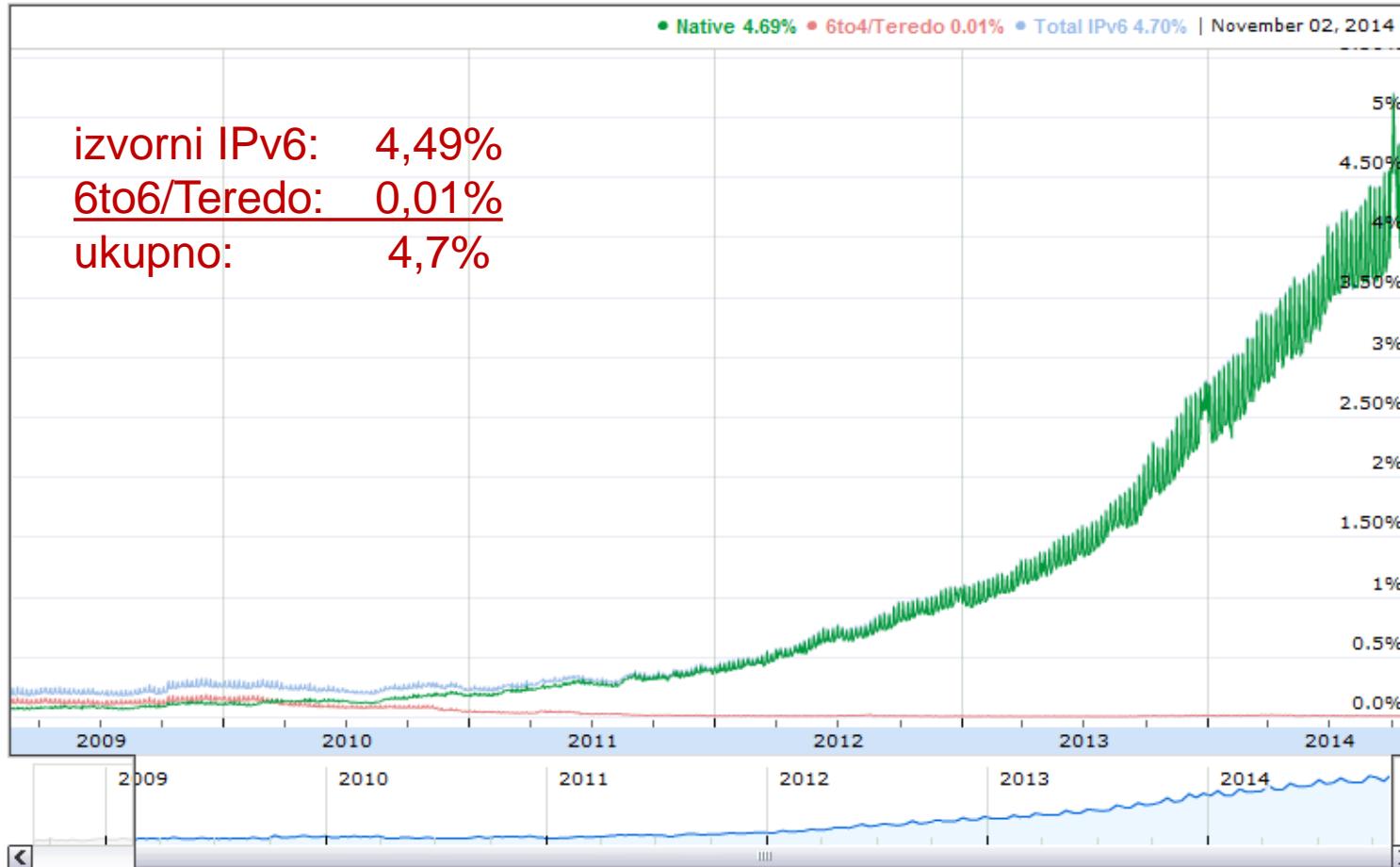
- prosjek EU – 5,1 %
- najbolje 3 države: Estonija 15%, Češka 11,2%, Njemačka



Usluge – IPv6 povezivost među korisnicima Googlea

IPv6 Adoption

We are continuously measuring the availability of IPv6 connectivity among Google users. The graph shows the percentage of users that access Google over IPv6.





Diplomski studij

Informacijska i komunikacijska
tehnologija:

Telekomunikacije i informatika

Obradba informacija

Ak.g. 2014./2015.

Komunikacijski protokoli

7.

Protokoli usmjeravanja u Internetu

Protokoli RIP i OSPF

13.11.2014.



n slobodno smijete:

- **dijeliti** — umnožavati, distribuirati i javnosti priopćavati djelo
- **remiksirati** — prerađivati djelo

n 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.

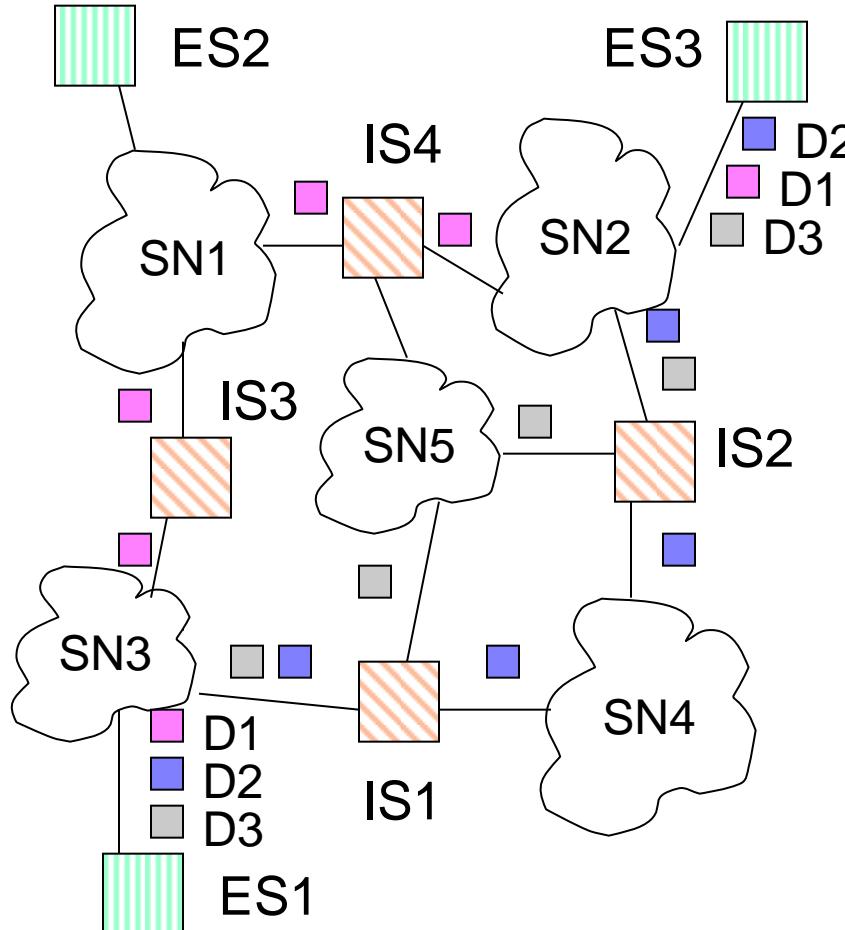
Od svakog od gornjih uvjeta moguće je odstupiti, ako dobijete dopuštenje nositelja autorskog prava.

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

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

Sadržaj

- ◆ Usmjeravanje u Internetu
- ◆ Proces usmjeravanja paketa
 - načela usmjeravanja paketa
 - područje usmjeravanja
 - besklasno usmjeravanje
- ◆ Protokoli usmjeravanja
 - Routing Information Protocol (RIP)
 - Open Shortest Path First (OSPF)



Svaki datagram prolazi kroz niz IS-ova i podmreža.

Određivanje puta i prosljeđivanje paketa od izvorišnog do odredišnog čvora na temelju odredišne IP-adrese:

- ◆ ukoliko su izvorišni i odredišni čvor u istoj podmreži s dijeljenim medijem, tada komuniciraju izravno, ili
- ◆ ukoliko su izvorišni i odredišni čvor u različitim (pod)mrežama, tada komuniciraju preko jednog ili više usmjeritelja.

- ◆ **Usmjeritelj (usmjernik)** – sustav koji ima najmanje dva mrežna sučelja u dvije različite mreže
 - sadrži **tablicu usmjeravanja**

Pitanje:

Kako se obrađuju paketi u usmjeritelju?

Uloga usmjeritelja (1)

Usmjeravanje datagrama kroz mrežu

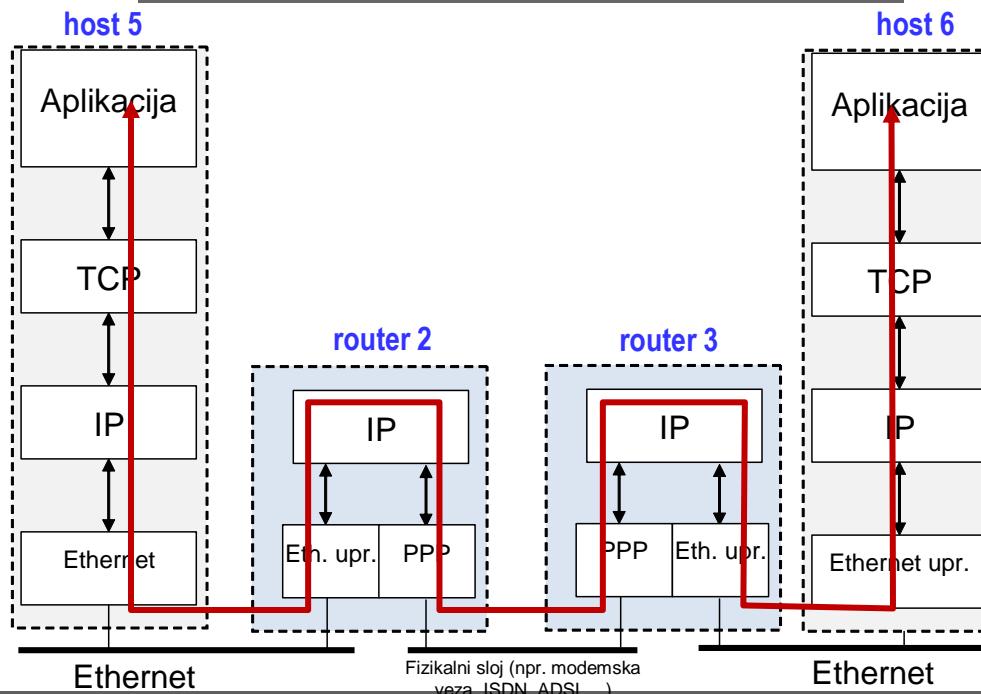
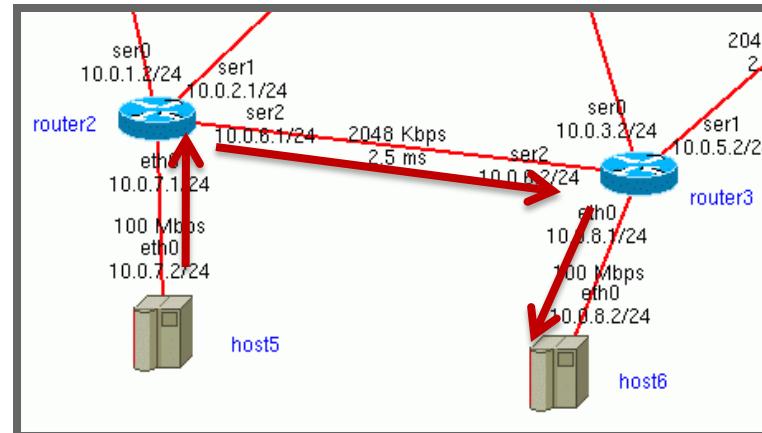
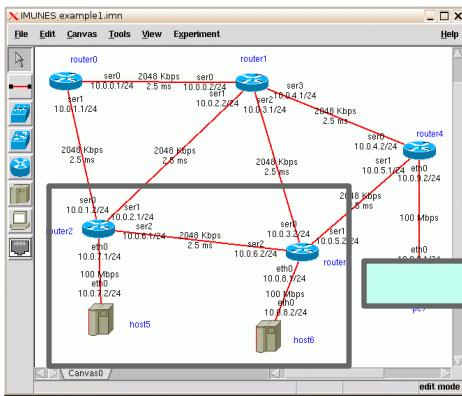
- ◆ Protokoli usmjeravanja uključuju strategiju usmjeravanja i algoritme usmjeravanja
- ◆ Mrežni sloj TCP/IP-složaja
- ◆ Usmjerava datagrame s obzirom na odredišnu IP-adresu pojedinog datagrama
 - nespojna, nepotvrđena usluga dostave datagrama između mrežnih sučelja
 - svaki datagram usmjerava se neovisno o drugima, prema odredišnoj IP-adresi
 - “*best effort*” usluga

Uloga usmjeritelja (2)

Zadaće:

- ◆ prihvatiti nadolazeći datagram, provjeriti zaštitnu sumu i pogledati odredišnu IP-adresu i
- ◆ na temelju adrese proslijediti ga na odgovarajuću mrežu, odnosno uputiti ga sljedećem usmjeritelju (*next hop*).

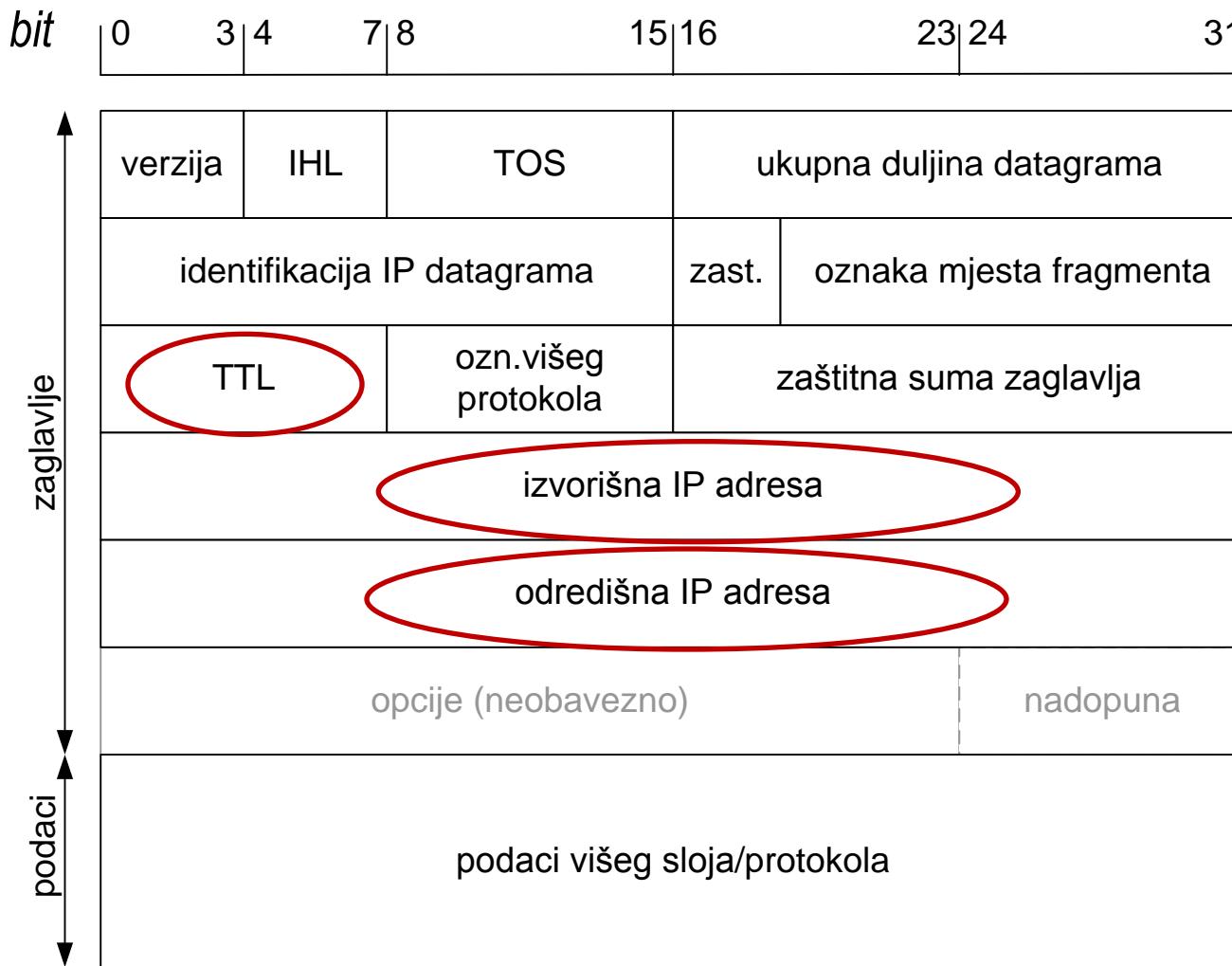
Usmjeravanje paketa s kraja na kraj mreže



Načela usmjeravanja paketa

- ◆ Osnovna upravljačka informacija (u zaglavlju paketa):
 - ◆ izvorišna adresa (*source address*)
 - ◆ odredišna adresa (*destination address*)
 - ◆ ograničenje broja skokova na putu (TTL, *hop limit*)
- ◆ Područje usmjeravanja
 - ◆ usmjeravanje unutar autonomnog sustava
 - ◆ usmjeravanje između autonomnih sustava

Format IP zaglavlja – polja važna za usmjeravanje



Besklasno usmjeravanje

- ◆ Classless Inter-Domain Routing – CIDR (RFC 4632)
 - odredišna IP-adresa se određuje na temelju mrežnog prefiksa
 - putovi usmjeravanja ne agregiraju prema klasama adresa, već prema mrežnom prefiksnu
 - duljina mrežnog dijela (Net ID) se označava **mrežnim prefiksom** iza adrese
 - primjer: 195.24.0.0/**13** – prvih 13 bitova određuju adresu podmreže
 - veličina mrežnog dijela adrese može biti proizvoljna
 - dopušta agregiranje prefiksa kod usmjeravanja (“*supernetting*”)
- ◆ Prednosti:
 - efikasnije iskorištenje adresnog prostora
 - unapređenje upravljanja tablicom usmjeravanja (manje tablice usmjeravanja)
- ◆ Nedostatak:
 - složenost

Tablica usmjeravanja

- ◆ Tablica usmjeravanja = informacije koje usmjeritelji ima o topologiji mreže
 - ◆ služi za odluku o odlaznom mrežnom sučelju za zadanu odredišnu IP-adresu
- ◆ Unosi u tablici sadrže:
 - ◆ odredišnu adresu (*Destination*, *Network destination* ili odredište),
 - ◆ adresu prvog sljedećeg usmjeritelja na putu ka odredištu (*Gateway*, *next hop*, sljedeći skok)
 - ◆ oznaku sučelja (ili adresu) preko kojeg se dohvaća sljedeći usmjeritelj (*Network interface (Netif)*, *Interface*, sučelje)
 - ◆ *prepostavljeni put (default)* – poseban unos koji se primjenjuje ako nema određenijeg puta

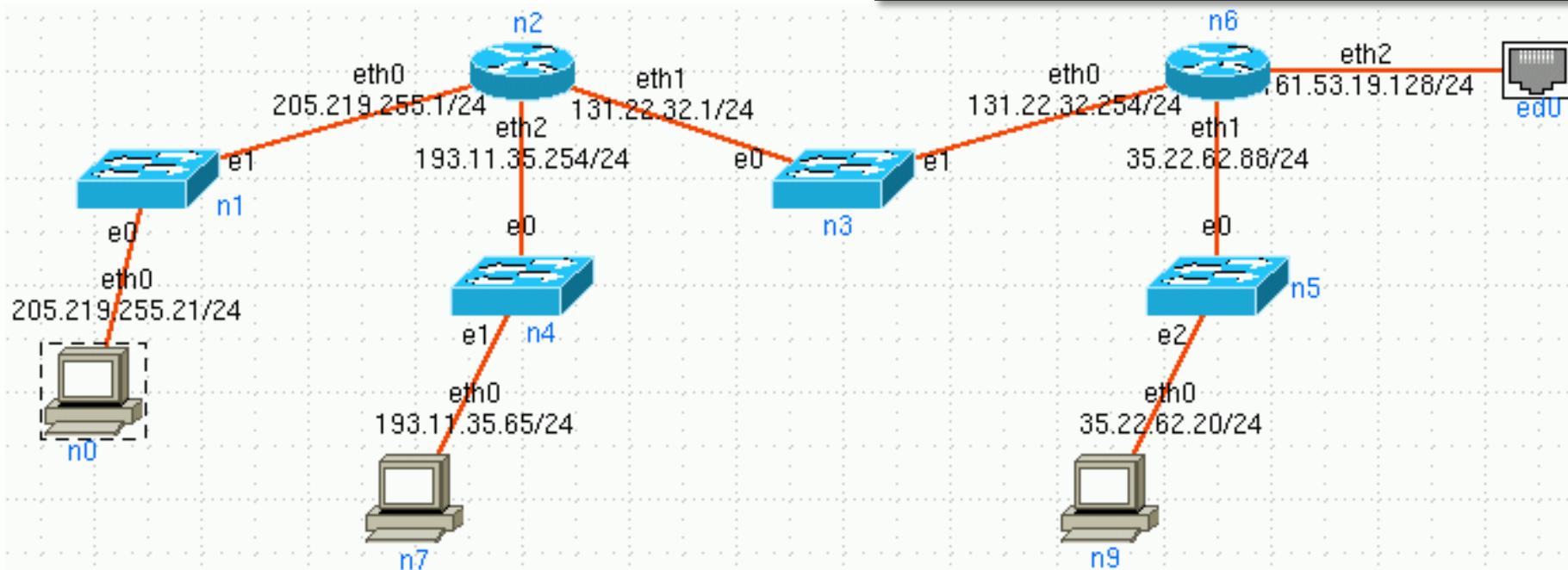
Terminologija:
IMUNES →
(FreeBSD Unix)

Destination	Gateway	Netif
default	131.22.32.254	eth1
127.0.0.1	127.0.0.1	lo0
131.22.32.0/24	link#3	eth1
131.22.32.254	40:00:aa:aa:00:04	eth1
193.11.35.0/24	link#4	eth2
205.219.255.0/24	link#2	eth0
224.0.0.0/4	127.0.0.1	lo0

Primjer tablice usmjeravanja

Destination	Gateway	Netif
default	131.22.32.254	eth1
127.0.0.1	127.0.0.1	lo0
131.22.32.0/24	link#3	eth1
131.22.32.254	40:00:aa:aa:00:04	eth1
193.11.35.0/24	link#4	eth2
205.219.255.0/24	link#2	eth0
224.0.0.0/4	127.0.0.1	lo0

Destination	Gateway	Netif
default	161.53.19.1	eth2
35.22.62.0/24	link#3	eth1
127.0.0.1	127.0.0.1	lo0
131.22.32.0/24	link#2	eth0
131.22.32.1	link#2	eth0
161.53.19.0/24	link#4	eth2
161.53.19.1	00:09:b7:6a:c2:ff	eth2
193.11.35.0/24	131.22.32.1	eth0
205.219.255.0/24	131.22.32.1	eth0
224.0.0.0/4	127.0.0.1	lo0

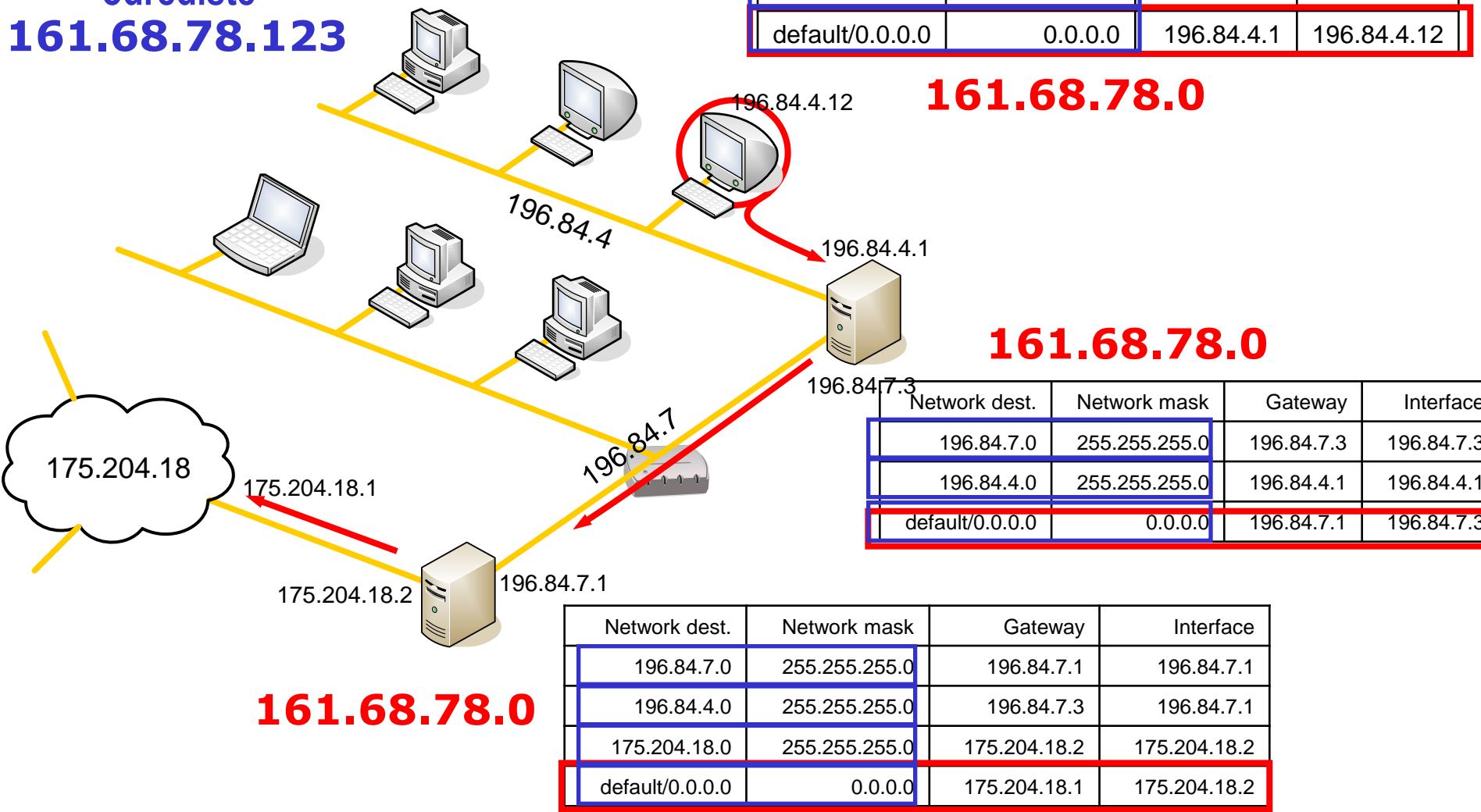


Upravljanje tablicom usmjeravanja

- ◆ Protokoli usmjeravanja izvedeni su u usmjeriteljima, a uključuju strategiju usmjeravanja i algoritme usmjeravanja
- ◆ Svaki usmjeritelj održava svoju tablicu usmjeravanja
 - čuva popis mreža na koje je izravno spojen preko svojih sučelja
 - razmjenjuje informacije o usmjeravanju s drugim usmjeriteljima (odredišta za koja oni znaju put)
 - ažurira tablicu usmjeravanja na temelju:
 - informacija prikupljenih s vlastitih sučelja
 - znanja skupljenog razmjenom informacija s drugim usmjeriteljima putem poruka
 - protokol usmjeravanja definira oblik i sadržaj poruka koje se razmjenjuju
- Na osnovu podataka u tablici usmjeravanja, usmjeritelj za svaki datagram bira put i prosljeđuje datagram po odabranom putu prema sljedećem usmjeritelju

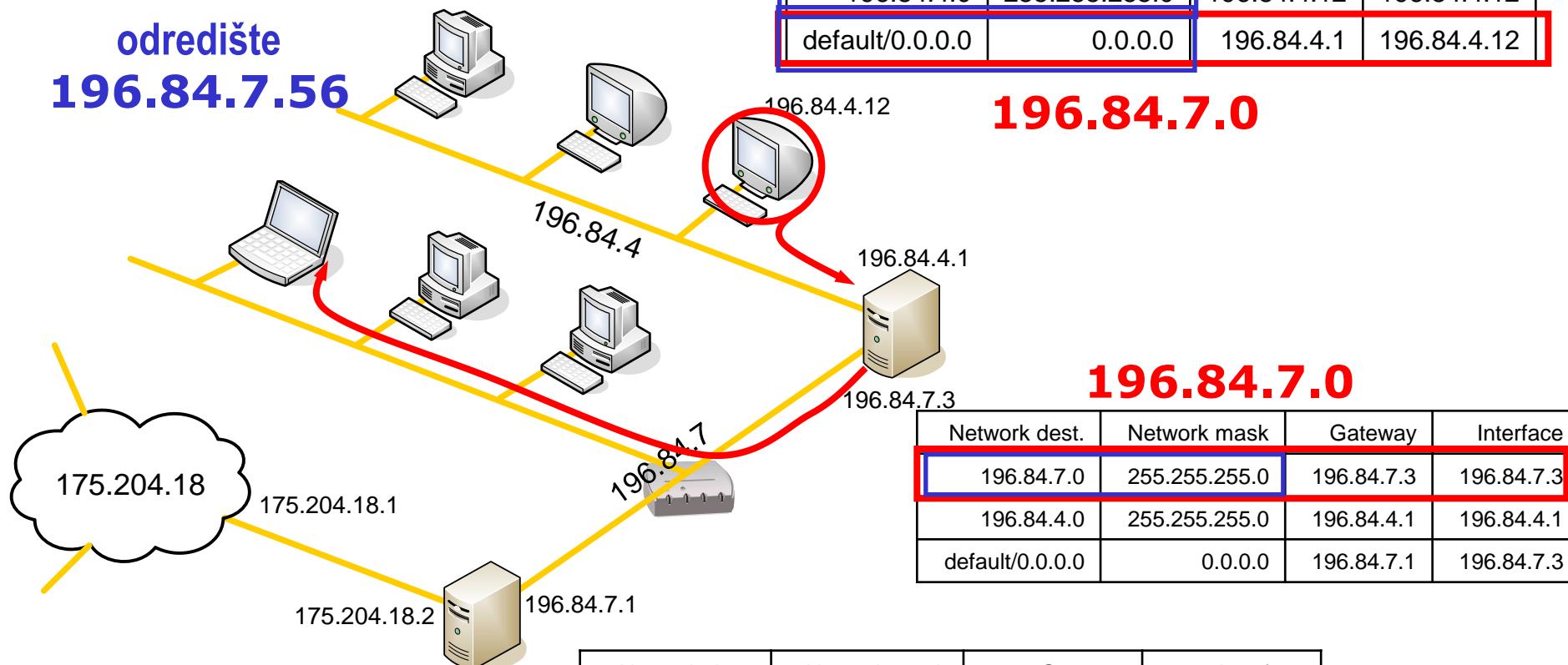
Primjer usmjeravanja (1)

odredište
161.68.78.123



Primjer usmjeravanja (2)

odredište
196.84.7.56



Network dest.	Network mask	Gateway	Interface
196.84.7.0	255.255.255.0	196.84.7.1	196.84.7.1
196.84.4.0	255.255.255.0	196.84.7.3	196.84.7.1
175.204.18.0	255.255.255.0	175.204.18.2	175.204.18.2
default/0.0.0.0	0.0.0.0	175.204.18.1	175.204.18.2

Primjer za vježbu (1)

Računalo s IP-adresom **192.168.104.5** (R1) šalje podatke računalu s IP-adresom **161.53.19.10**. Opišite postupak usmjeravanja!

192.168.104.5 (R1)

192.168.104.0	255.255.255.0	192.168.104.5
default	255.255.255.0	192.168.104.1

192.168.104.

192.168.104.1

U1

192.168.100.3

192.168.100.

192.168.100.1

161.53.19.1 (R2)

U2

161.53.19.

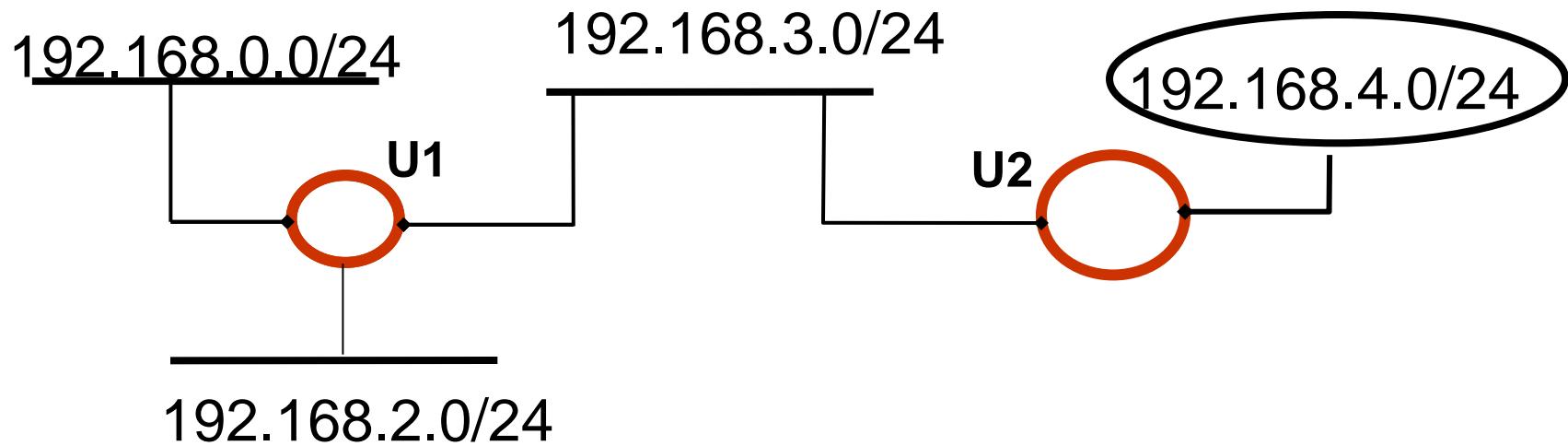
161.53.19.230

192.168.104.0	255.255.255.0	192.168.104.1
192.168.100.0	255.255.255.0	192.168.100.3
default	255.255.255.0	192.168.100.1

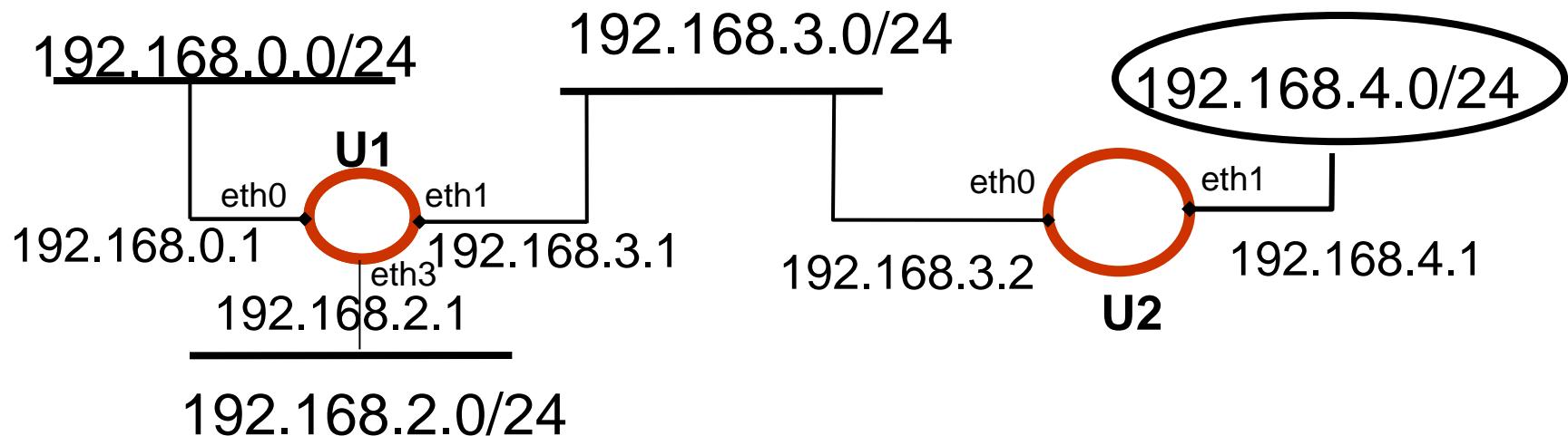
192.168.104.0	255.255.255.0	192.168.100.3
192.168.100.0	255.255.255.0	192.168.100.1
161.53.19.0	255.255.255.0	161.53.19.230
default	255.255.255.0	161.53.19.1

Primjer za vježbu (2)

Izradite tablice usmjerenja za usmjeritelje U1 i U2 za mrežu na slici!

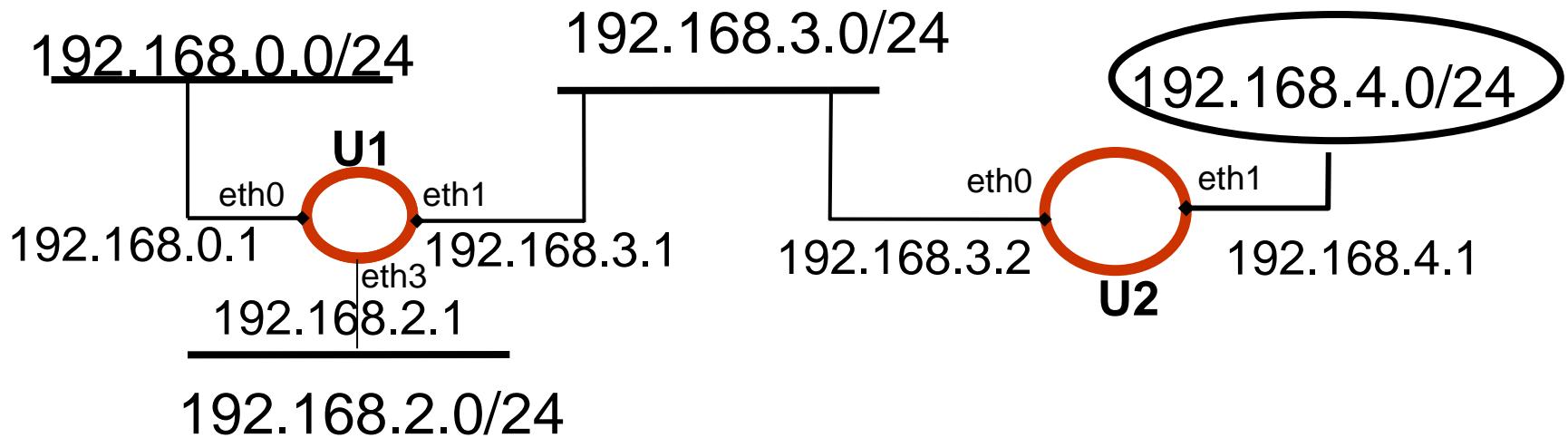


Postavljanje oznaka mreže



Primjer za vježbu (2)

Definiranje tablica usmjeravanja



Mreža	Sljedeći skok	Sučelje
<code>192.168.0.0/24</code>		<code>eth0</code>
<code>192.168.3.0/24</code>		<code>eth1</code>
<code>192.168.2.0/24</code>		<code>eth3</code>
<code>192.168.4.0/24</code>	<code>192.168.3.2</code>	<code>eth1</code>
default	<code>192.168.3.2</code>	<code>eth1</code>

Mreža	Sljedeći skok	Sučelje
<code>192.168.3.0/24</code>		<code>eth0</code>
<code>192.168.4.0/24</code>		<code>eth1</code>
<code>192.168.2.0/24</code>	<code>192.168.3.1</code>	<code>eth0</code>
<code>192.168.0.0/24</code>	<code>192.168.3.1</code>	<code>eth0</code>
default	<code>192.168.3.1</code>	<code>eth0</code>

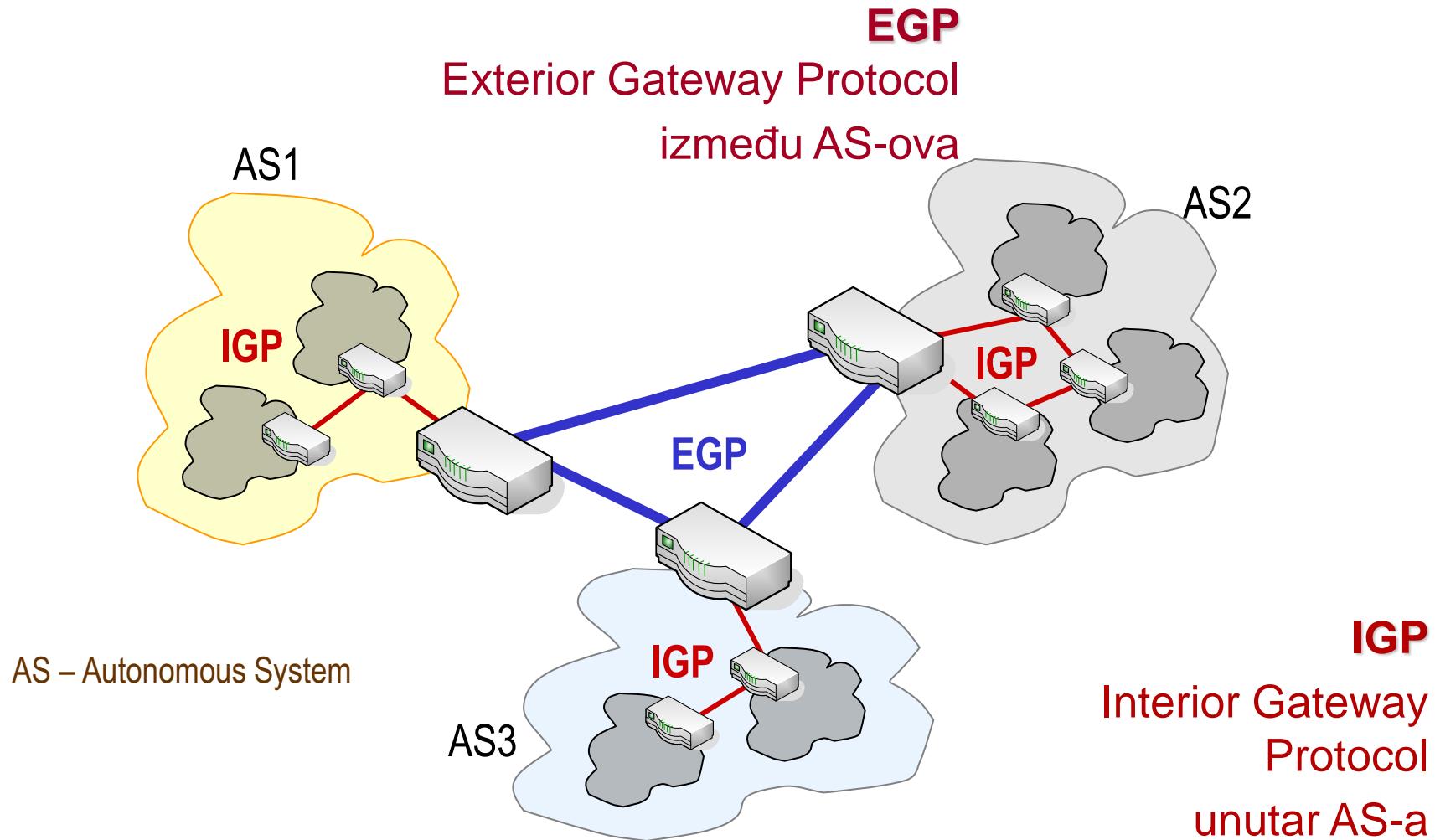
Zadaci

- ◆ Dodajte usmjeritelje u mrežu 192.168.2.0/24 i 192.168.3.0/24 u primjeru za vježbu (2) i definirajte njihove tablice usmjeravanja.
- ◆ Na (svom) računalu spojenom na Internet (PC s operacijskim sustavom Windows) u komandnoj liniji (cmd) naredbom *route print* ili *netstat -r* ispišite i analizirajte tablicu usmjeravanja za protokole IPv4 i IPv6.
- ◆ Koje se naredbe koriste za promjenu, dodavanje i brisanje rute u tablici usmjeravanja na računalu?

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 prosljeđuje ga po odabranom putu prema sljedećem usmjeritelju

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!): **sljedeće predavanje**

- ◆ *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
 - ◆ Preplavljanje
 - ◆ 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

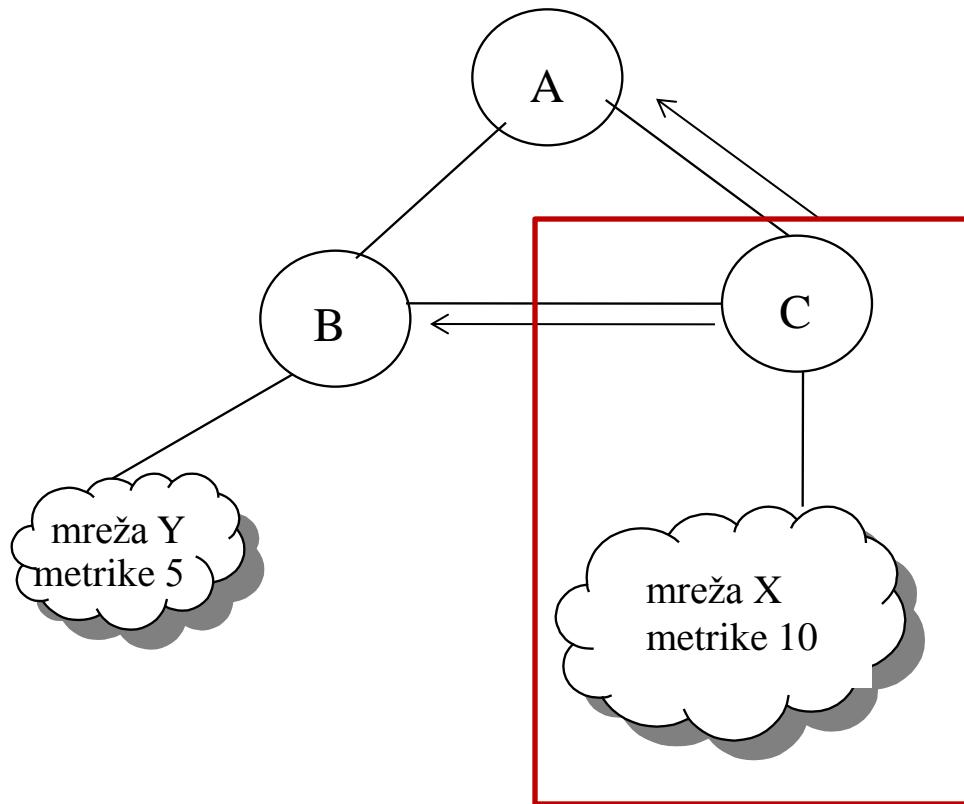
- ◆ Osnovne operacije
 - Prilikom pokretanja šalje poruku svim susjedima tražeći kopije njihovih tablica usmjeravanja
 - U aktivnom načinu rada šalje tablice usmjeravanja susjednim usmjeriteljima **svakih 30 sekundi**, periodički
 - Svaka promjena topologije (metrike) šalje se ostalim usmjeriteljima 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 15 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	

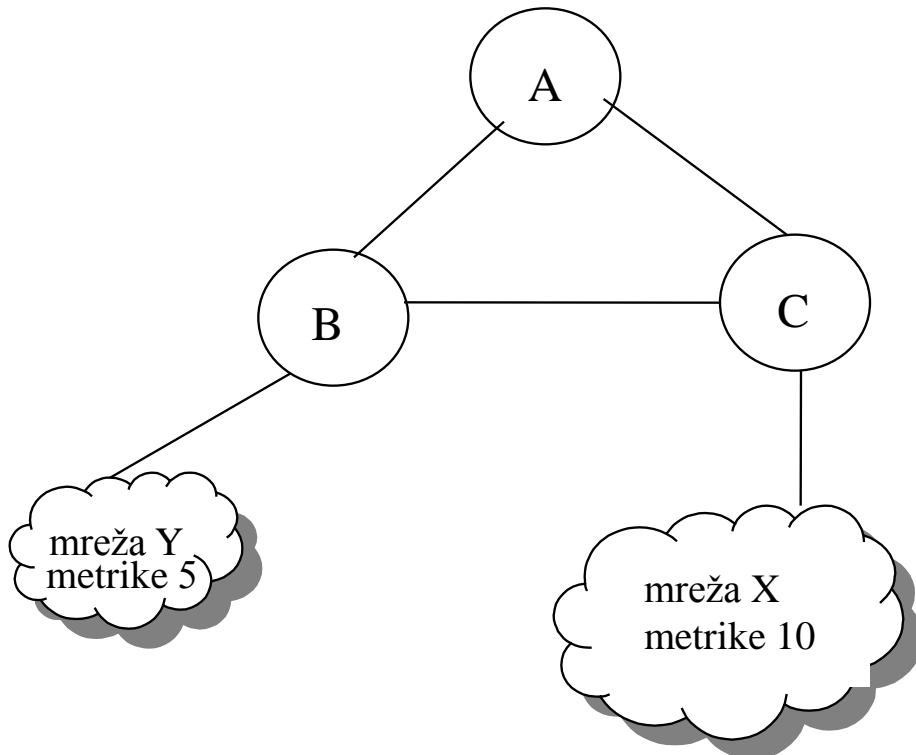
Usmjeritelj B

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža Y	-	1
default	A	

Usmjeritelj C

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	-	1

RIP – punjenje tablice usmjerenja (korak 2)



Usmjerenitelj A

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

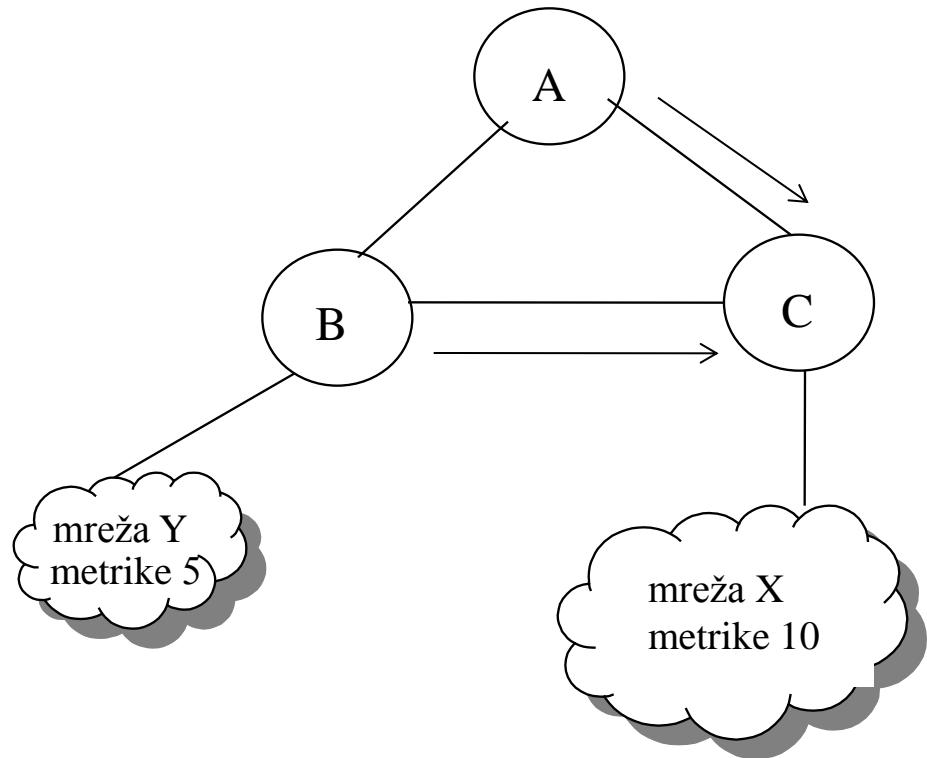
Usmjerenitelj B

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

Usmjerenitelj C

Odredište	Slj. skok.	Metrika
mreža X	-	1

RIP – punjenje tablice usmjerenja (korak 3)



Usmjerenitelj A

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

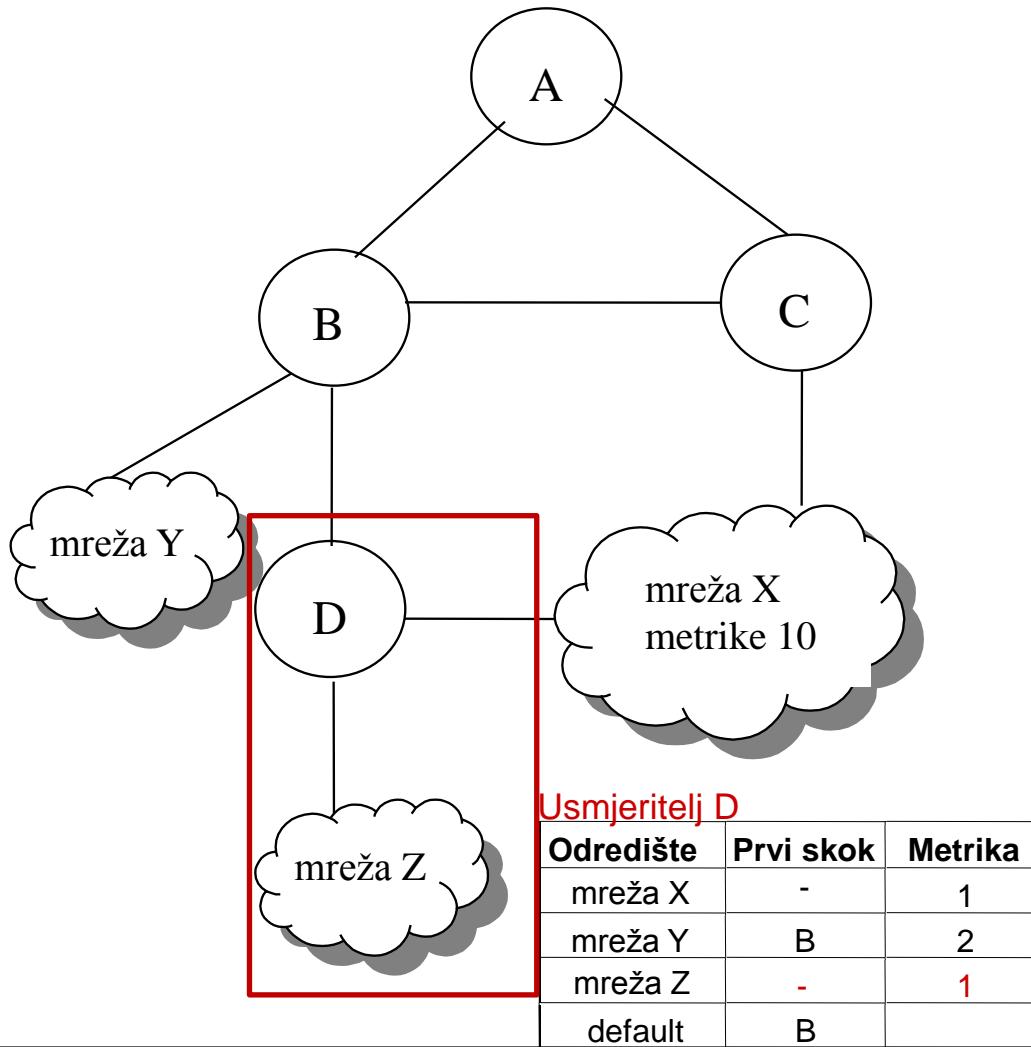
Usmjerenitelj B

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

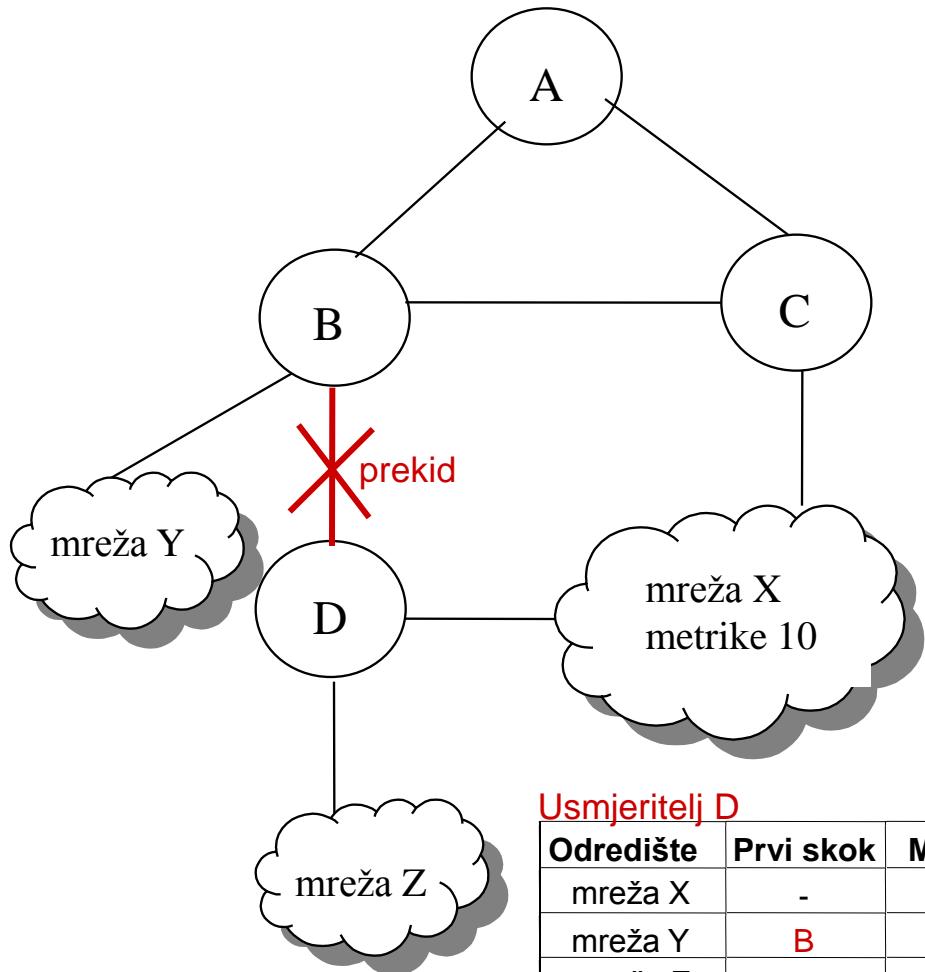
Usmjerenitelj C

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

RIP – primjer uvođenja novog usmjeritelja



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	

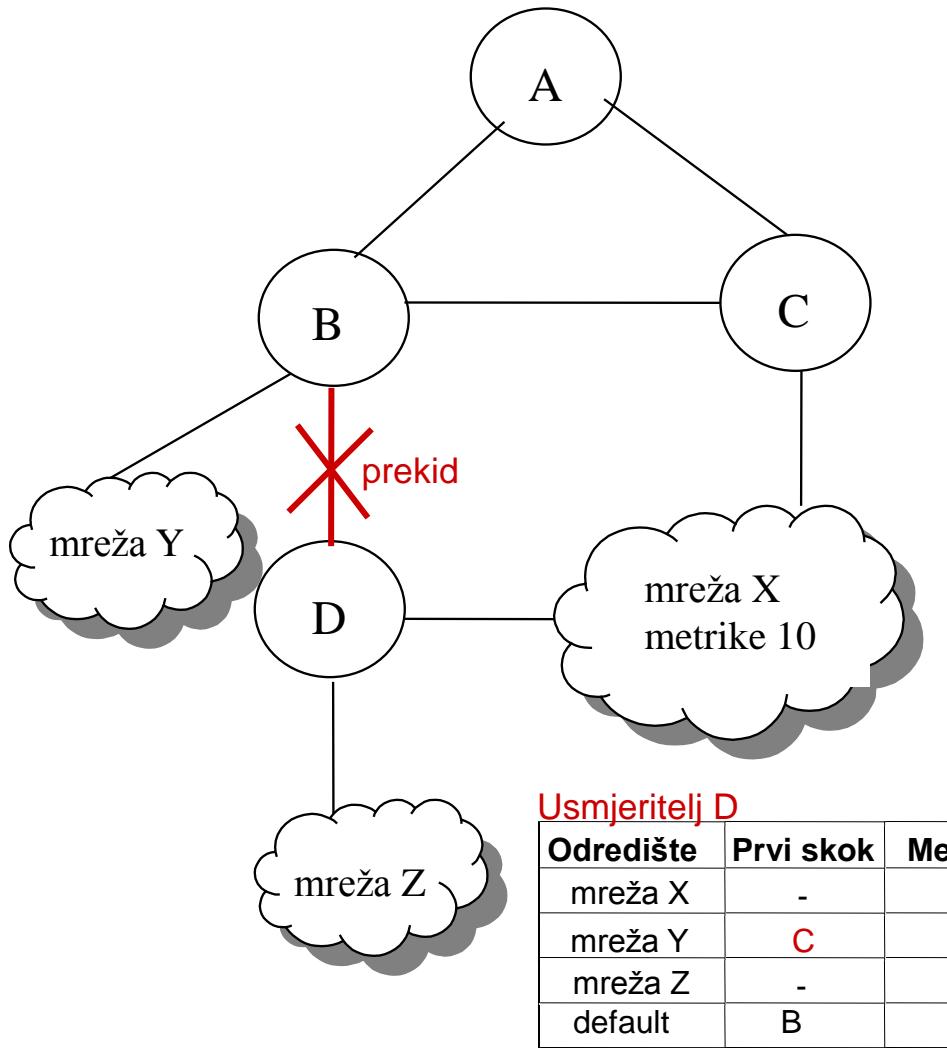
Usmjeritelj B

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

Usmjeritelj 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

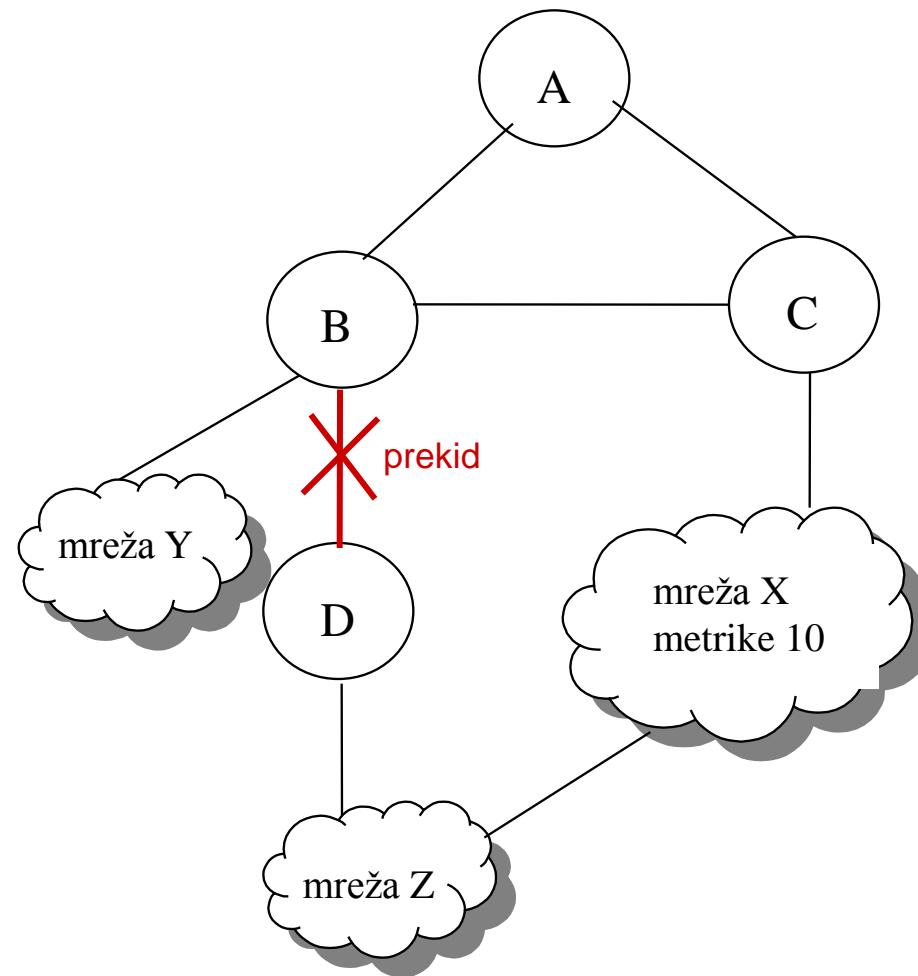
Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	C	2
mreža Y	-	1
mreža Z	C	13
default	C	

Usmjeritelj 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

- ◆ 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

Operacije protokola OSPF (1)

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

Operacije protokola OSPF (2)

- ◆ Hijerarhijsko 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)

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

Značajke protokola OSPF

- ◆ Svaki usmjeritelj ažurira raspodijeljenu bazu podataka LSDB (*Link State Database*)
 - Sadrže podatke o usmjeriteljima s kojima nisu izravno povezani
- ◆ Usmjeravanje za velike mreže
 - Interni IR (*internal*)
 - Granični ABR (*area border*)
 - Na granici AS-a ASBR (*AS boundary*)
 - Na okosnici mreže (*backbone*)

OSPF-poruke

- ◆ Tipovi paketa/poruka
 - 1 - *Hello* - otkrivanje i održavanje susjednih odnosa između usmjeritelja
 - 2 - *Database Description* - opisuju bazu podataka, poruke se izmjenjuju tijekom inicialne 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;

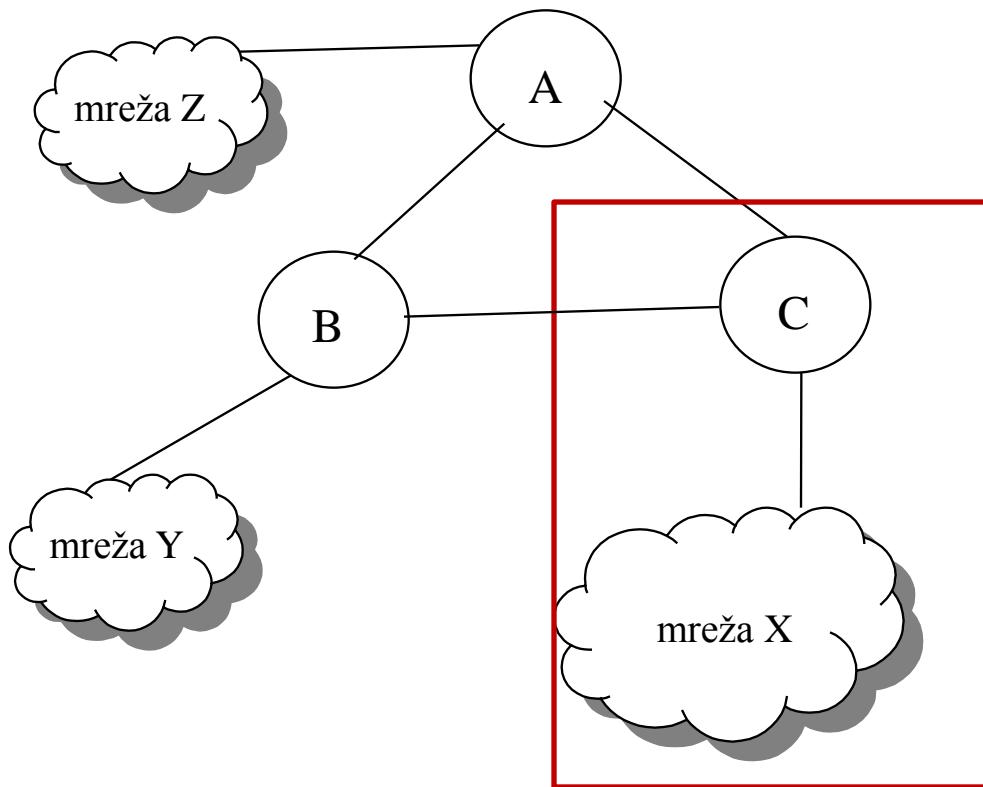
Protokol Hello

- ◆ 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 zaglavlja 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 usmjerenja (1)



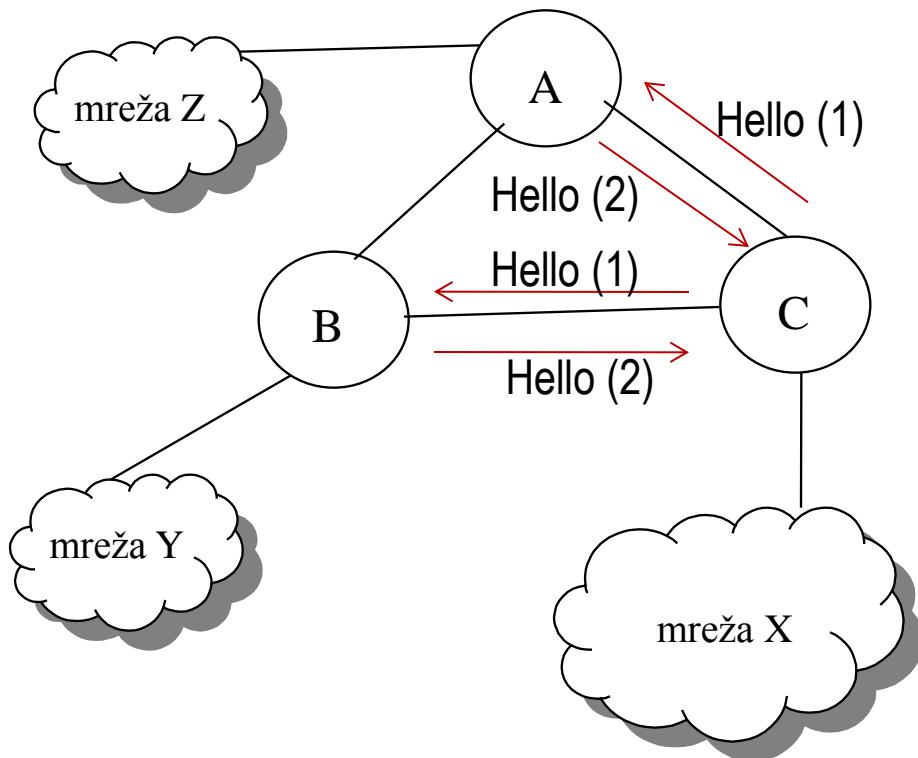
Usmjeritelj A

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)



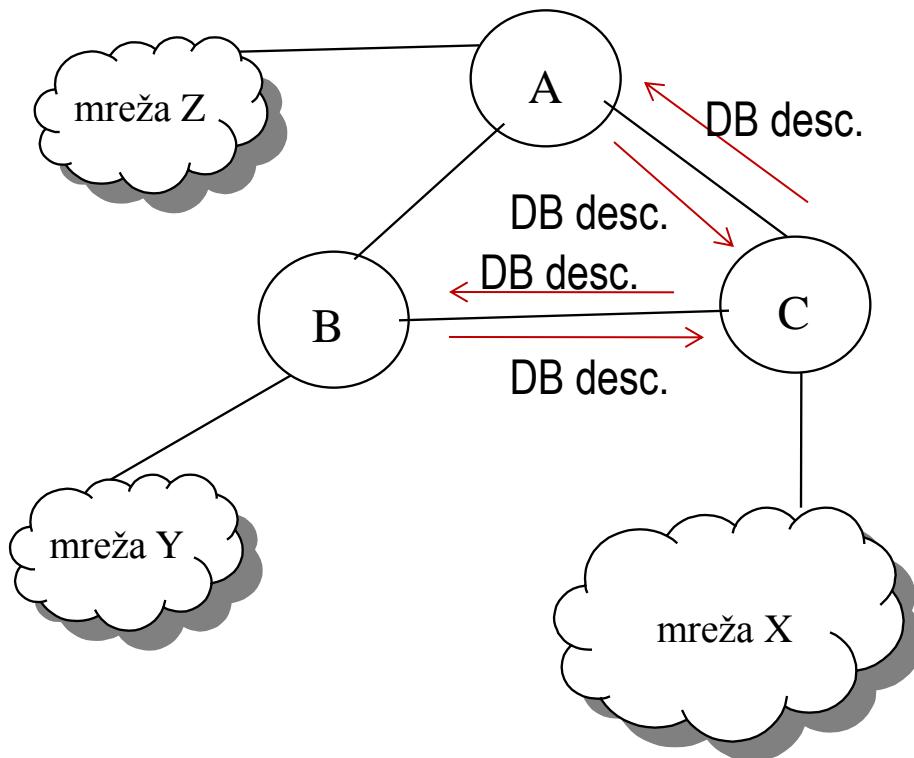
Usmjeritelj A

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)



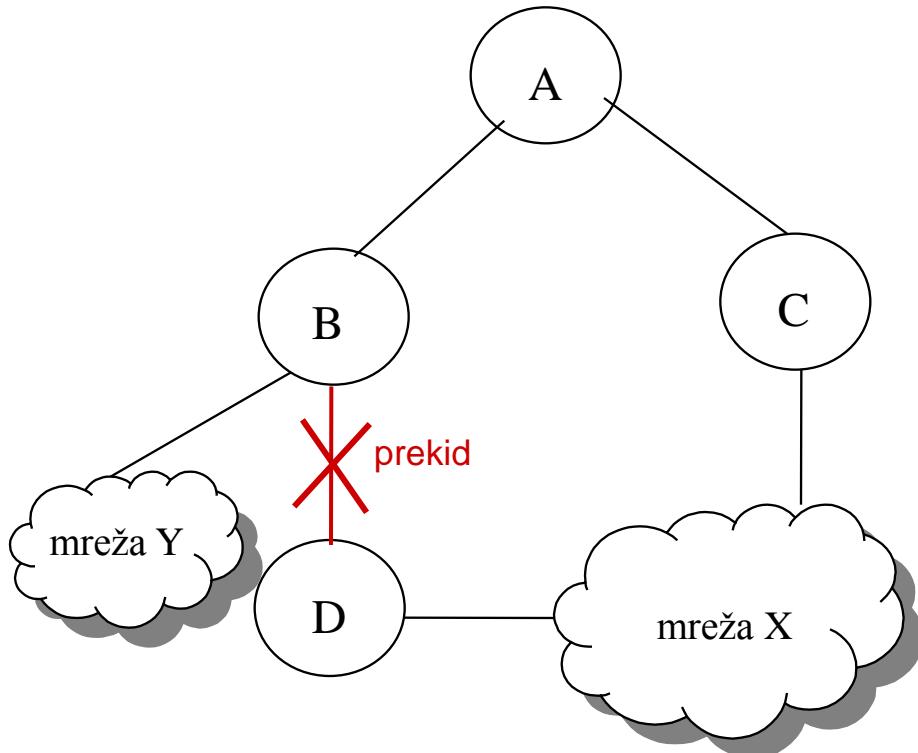
Usmjeritelj A

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	

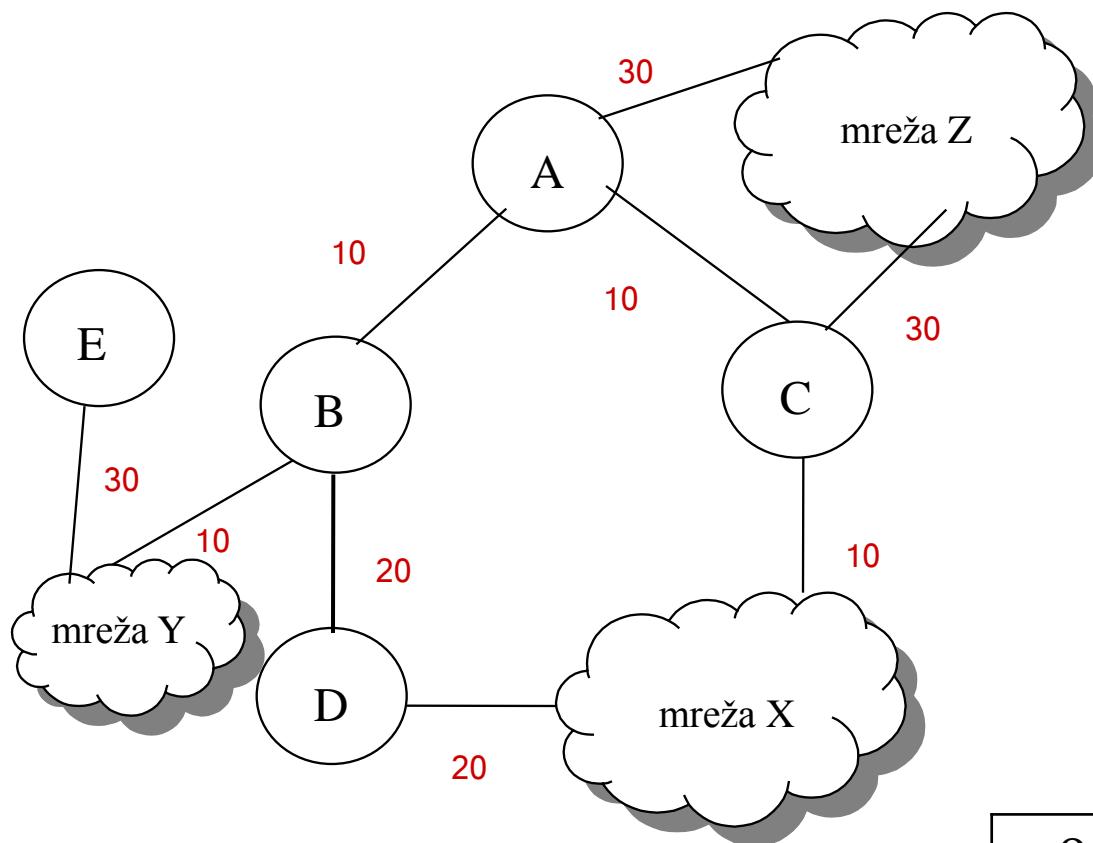
OSPF – primjer prekida poveznice



Usmjeritelj A

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

Primjer OSPF – određivanje najkraćeg puta



Usmjeritelj E

LSDB

	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		

Odred.	Slj. skok	Metrika
X	B	60
Y	-	30
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 naslijedjena 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

Usporedba protokola RIP i OSPF

	RIP	OSPF
algoritam	vekt. udaljenosti	stanja linka
maks. skok	15	x
podjela mreže	u RIPv2	da, hijerarhija
metrika	broj skokova	skok, propusnost linka
broj ruta	jedna ruta	više ruta
tip ruta	host, mreža	host, mreža, podmreža
složenost	jednostavan	složeniji

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 ispada jednog od usmjeritelja.



Diplomski studij

Informacijska i komunikacijska
tehnologija:

Telekomunikacije i informatika

Obradba informacija

Ak.g. 2014./2015.

Komunikacijski protokoli

8.

Protokoli usmjeravanja u Internetu:
protokol BGP (*Border Gateway Protocol*)

4.12.14.



■ 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.

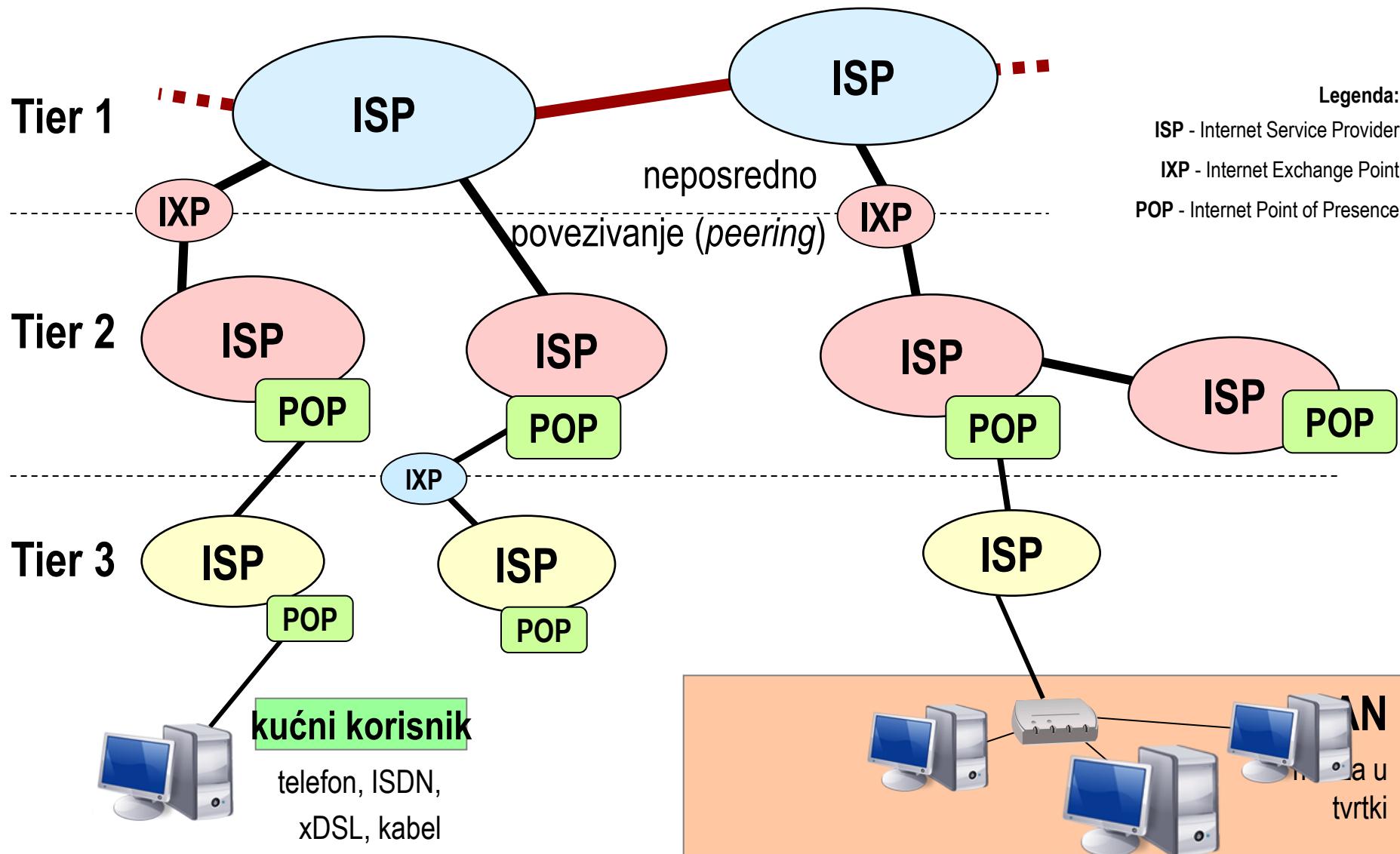
Od svakog od gornjih uvjeta moguće je odstupiti, ako dobijete dopuštenje nositelja autorskog prava.

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

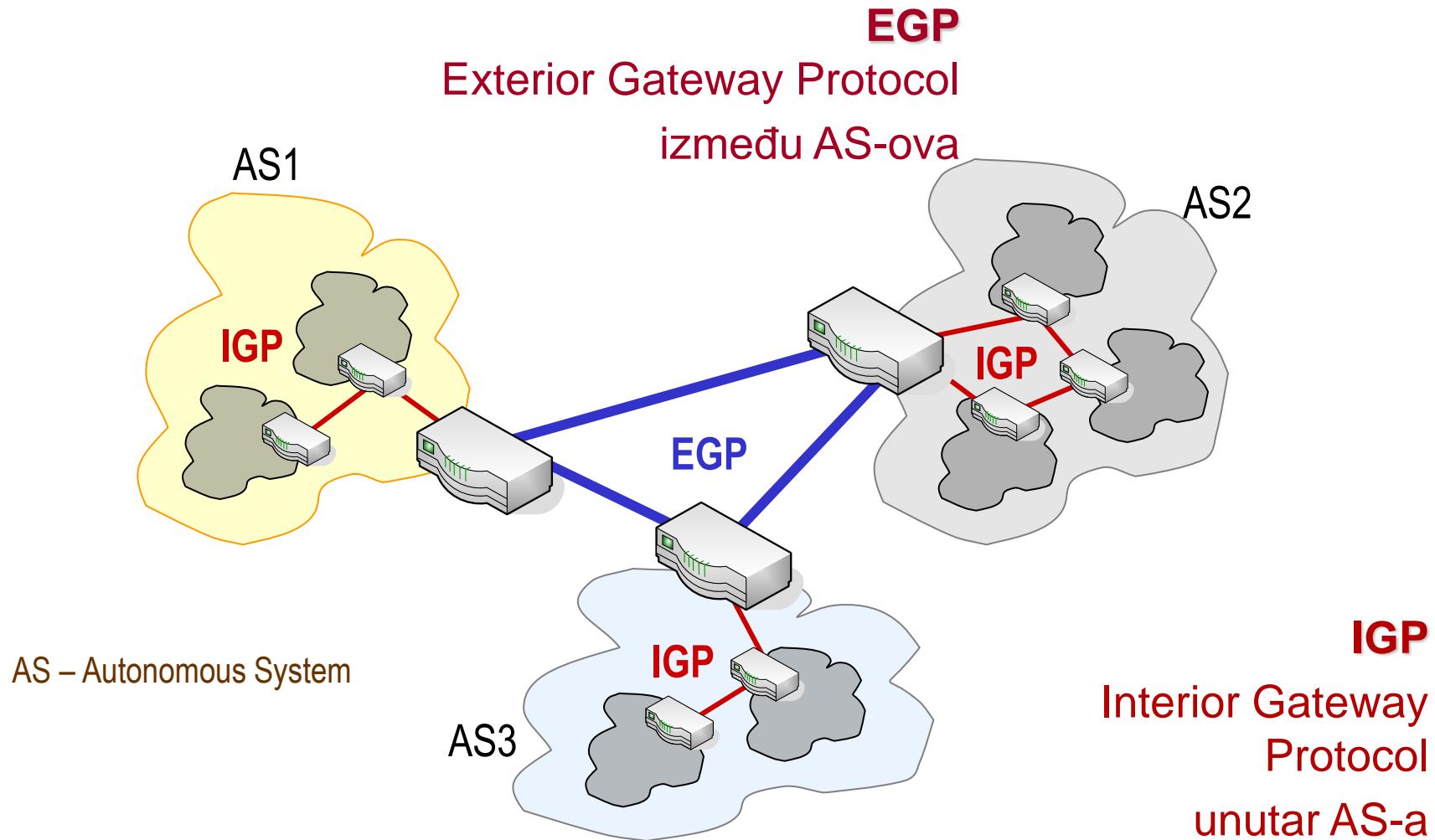
Tekst licencije preuzet je s <http://creativecommons.org/>.

- ◆ Protokoli usmjeravanja između autonomnih sustava
- ◆ Pojam autonomnog sustava
- ◆ Osnove protokola BGP
 - BGP poruke
 - BGP atributi
 - Komunikacija protokolom BGP
- ◆ Primjer BGP mreže
- ◆ Hrvatska akademska mreža CARNet
 - Croatian Internet eXchange (CIX)

Hijerarhija Interneta



Klasifikacija protokola usmjeravanja



Protokoli usmjeravanja

IGP protokoli: -> prošlo predavanje

- ◆ 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!): -> danas!

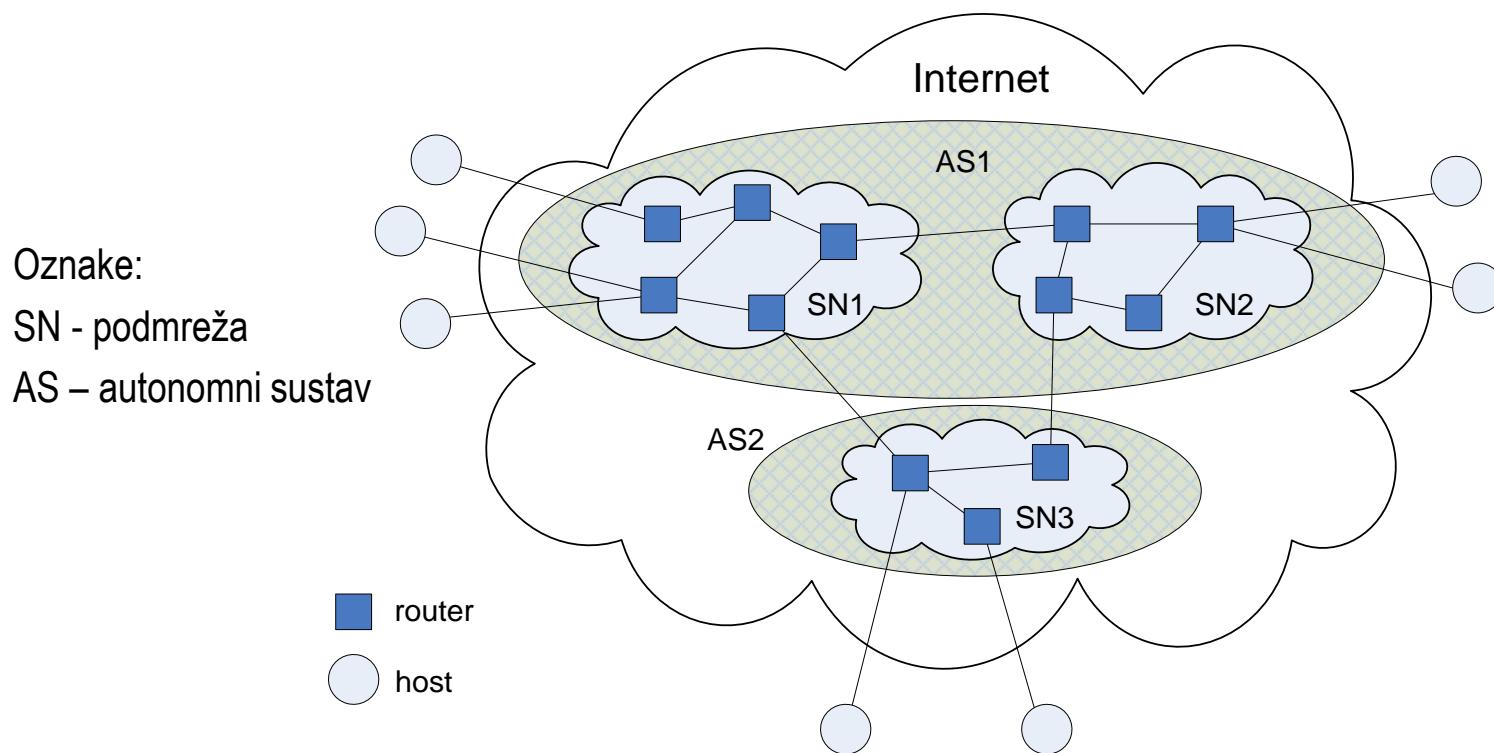
- ◆ Border Gateway Protocol (BGPv4)
 - ◆ algoritam vektora staze (engl. *vector path*)
 - ◆ sličan algoritmu vektora udaljenosti, ali uzima u obzir putove ili staze kao niz AS-ova na putu do odredišta

Pojam autonomnog sustava AS

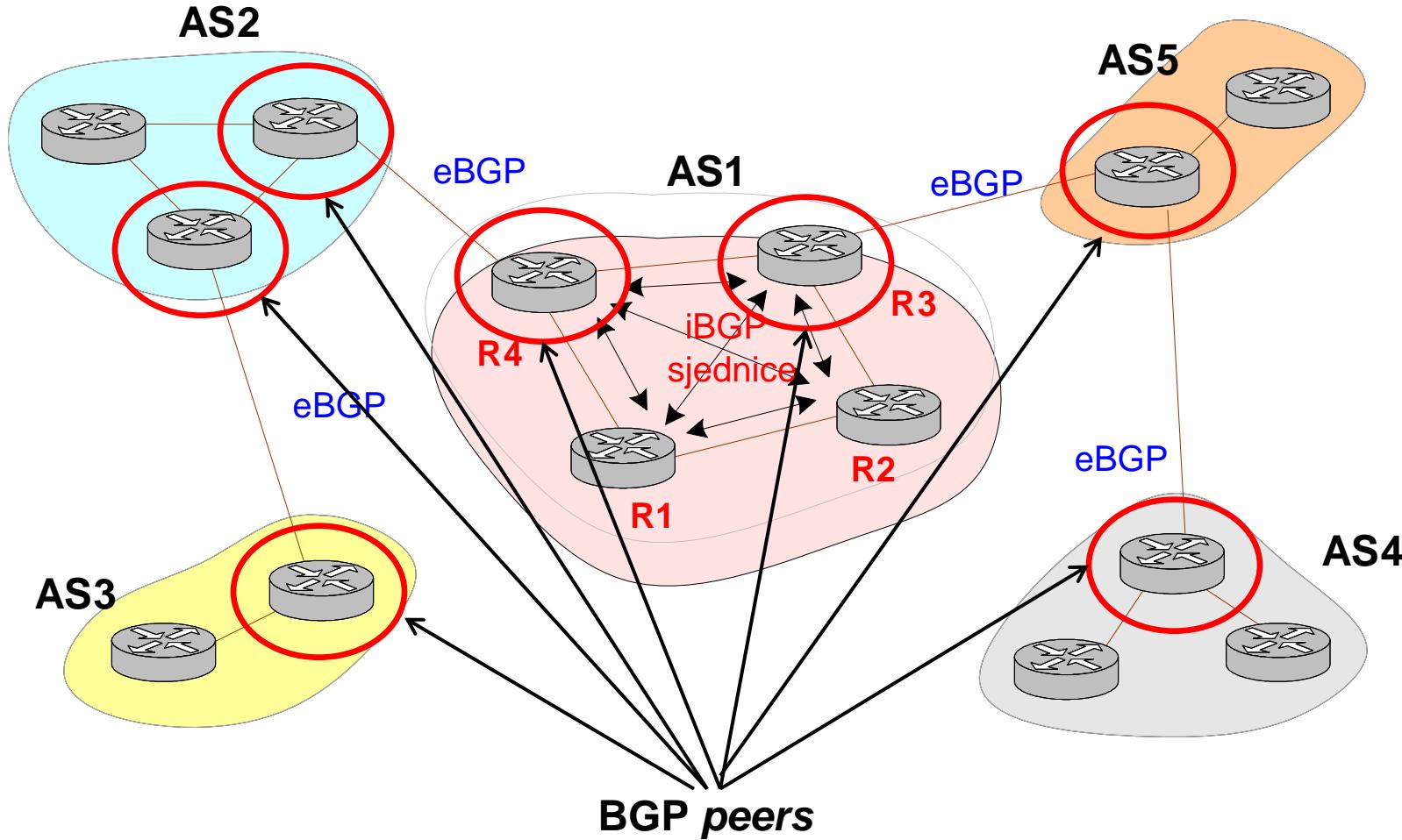
- ◆ Skup mreža i usmjeritelja temeljenih na istim načelima pod zajedničkom upravom i zajedničkom politikom usmjeravanja “prema van”, odnosno prema ostalim AS-ovima
- ◆ Jedinstveni broj AS
 - Javni i privatni AS-ovi
 - Davatelji internetskih usluga ISP-ovi (T-Com, VIPNet, Iskon, Metronet, Optima Telekom ...)
- ◆ 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)

Povezanost autonomnih sustava

- ◆ Jedinstveni broj AS-a dodijeljuje IANA
 - CARNet je AS 2108
- ◆ Pogled s motrišta usmjeravanja – skup AS-ova



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

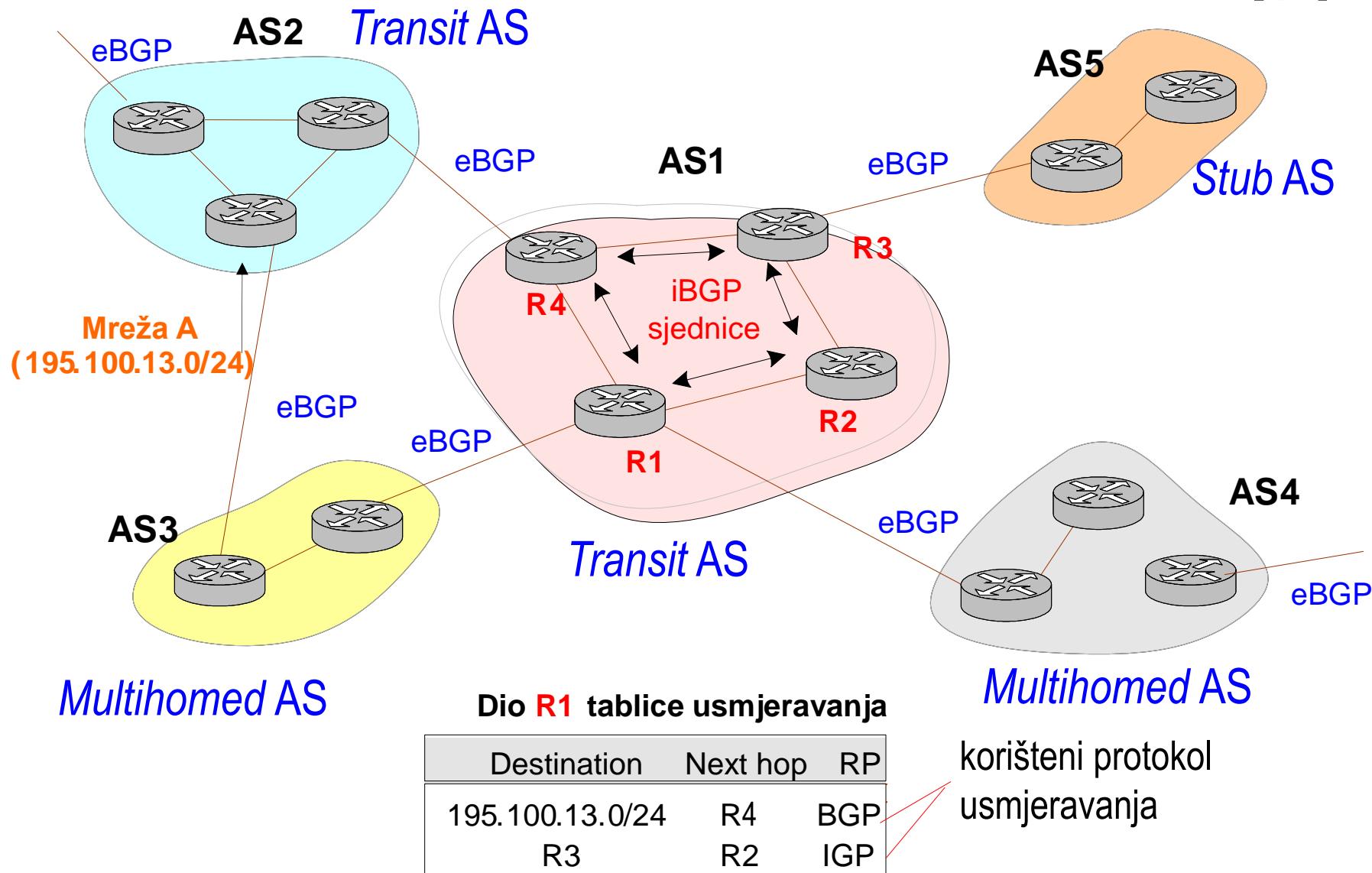
Border Gateway Protocol (BGP)

- ◆ 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



BGP operacije

- ◆ Dvije kategorije prometa
 - lokalni – izvorište i odredište unutar istog AS-a
 - tranzitni – izvorište i odredište izvan istog AS-a
- ◆ Tranzitni BGP usmjeritelji
 - dopuštaju prolazak tranzitnog prometa
 - može nametnuti ograničenja
 - obično imaju **potpune tablice usmjeravanja**
 - preko 400,000 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 putovima (NLRI)
- ◆ Tablica usmjeravanja sadrži informacije o stazama prema AS-u u kojem se nalazi odredišna mreža

BGP staza

- ◆ Staza se sastoji slijeda autonomnih sustava koje treba proći do odredišta
- ◆ Mogu postojati višestrukе 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 staze se objavljaju 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 (samo 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

Poruka *open*

- ◆ Šalje se nakon uspostave TCP sjednice između usmjeritelja
 - Identifikacija usmjeritelja i poveznice između njih
- ◆ Svaka poruka definira parametre prema mogućnostima usmjeritelja (pregovaranje o parametrima sjednice)
- ◆ Uz fiksno zaglavlje poruka *open* sadrži sljedeća polja:
 - *version* – sadrži informaciju o inačici protokola BGP (BGPv4)
 - *my autonomous system* – sadrži broj AS-a u kojem se nalazi pošiljatelj poruke
 - *hold time* – vremenska kontrola, definira vrijeme čekanja, dopušteno trajanje neaktivnosti nakon čega se prekida sjednica (brojač se ponovo pokreće kada dođe poruka *keepalive* ili *update*)
 - *BGP identifier* - identifikacija pošiljatelja (IP adresa usmjeritelja)
 - *Optional parameters length* – veličina polja *optional parameters*
 - *Optional parameters* – sadrži popis izbornih parametara

Poruka update

- ◆ Razmjenjivanje informacije o stazama (NLRI)
 - Oglašavanje mogućih staza iz baze (Adj-RIBs-Out) usmjeritelja
 - Ažuriranje staza i njihovih atributa
- ◆ Parametri poruke
 - *Path attributes* (atributi staza)
 - Popis atributa koji se ažuriraju za određene staze
 - *Total path attributes length*
 - Duljina polja *path attributes*
 - *Network layer reachability information* (NLRI)
 - Popis staza (IP adresa) koji se najavljaju za ažuriranje
 - *Withdrawn routes*
 - Popis staza koji su najavljeni, ali se neće ažurirati jer više nisu valjani
 - *Total route length*
 - Duljina polja *withdrawn routes*

Poruke *notification* i *keepalive*

◆ Keepalive

- Služi za utvrđivanje dostupnosti usmjeritelja i održavanje sjednice
- Uobičajeno vrijeme između *keepalive* poruka je **60 sekundi**
- Vremenska kontrola se ponovno pokreće nakon primitka *keepalive* ili *update* poruke

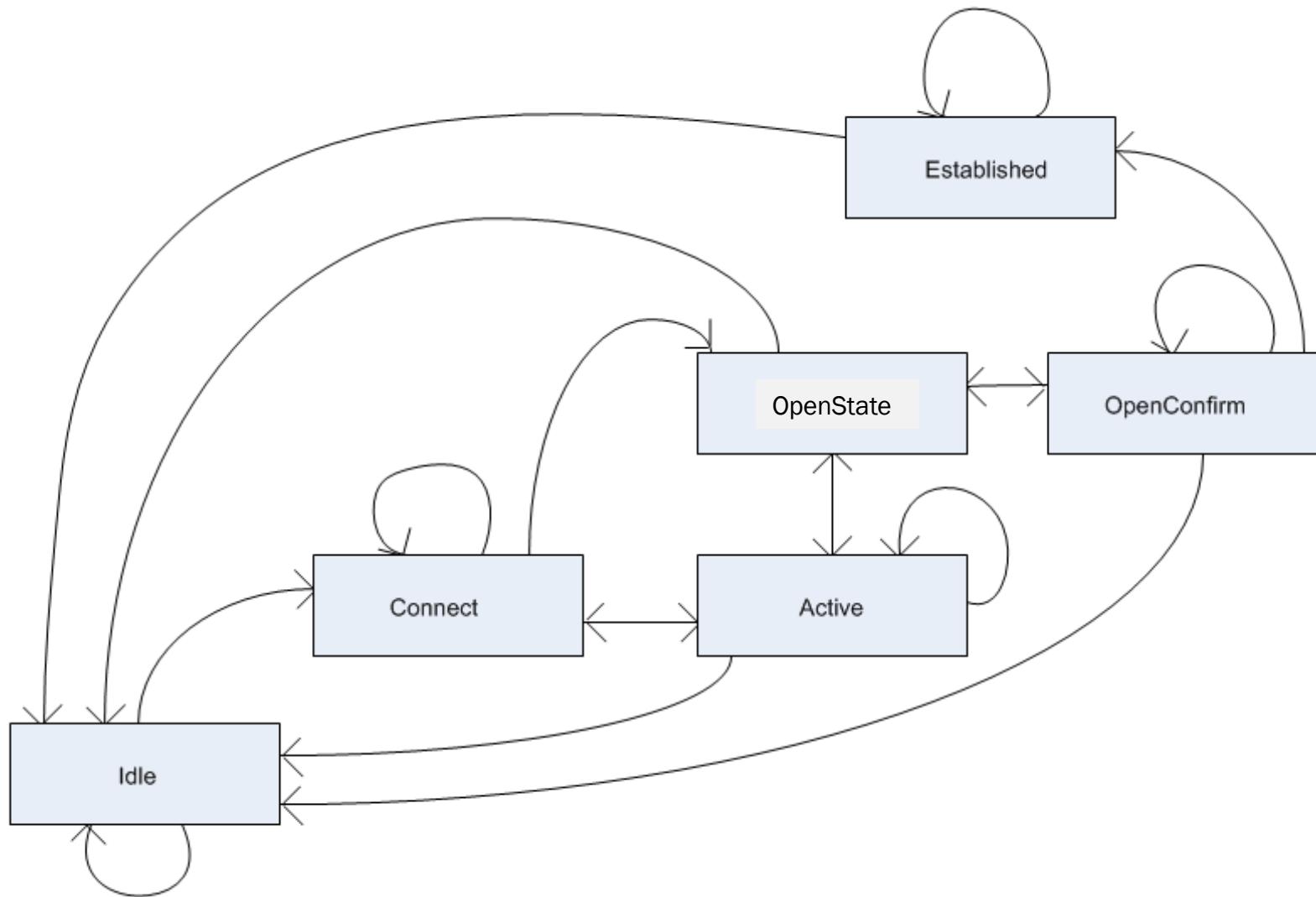
◆ Notification

- Nakon slanja poruke raskida se BGP sjednica
- Indikacija pogreške kao što su:
 - Isteč vremenske kontrole (*hold timer-a*)
 - Primitak nepoznatog atributa
 - Primitak pogrešnog AS broja
 - Polje *error code* u poruci otkriva razlog pogreške

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



Stanje *Idle*

- ◆ Prvo stanje usmjeritelja BGP
- ◆ Usmjeritelj čeka uspostavu sjednice sa susjednim usmjeriteljem
- ◆ Osluškuje iniciranje sjednice
- ◆ Za vrijeme pokušavanja uspostave sjednice pokreće brojač *ConnectRetry*
- ◆ Ako nema pogreške prelazi u stanje *Connect*

Stanje Connect

- ◆ Čeka uspostavu sjednice sa susjednim usmjeriteljem
- ◆ Uspješnom uspostavom sjednice
 - poništava brojač *ConnectRetry*
 - dovršava inicijalizaciju
 - šalje poruku *open*
 - odlazi stanje *OpenState*
- ◆ Ako sjednica nije uspostavljena
 - pokreće brojač *ConnectRetry*
 - prelazi u stanje *Active*
- ◆ Ako je isteklo vrijeme brojača *ConnectRetry*
 - ponovno pokreće brojač *ConnectRetry*
 - ostaje u stanju *Connect*

Stanje Active

- ◆ Nalazi se ako sjednica nije uspostavljena u prvom pokušaju
- ◆ Pokušava uspostaviti sjednicu
- ◆ Ako se sjednica uspješno uspostavi
 - poništava brojač *ConnectRetry*
 - šalje poruku *open*
 - postavlja brojač *HoldTimer* (obično na 4 minute)
 - prelazi u stanje *OpenState*
- ◆ Ako istekne brojač *ConnenctRetry*
 - ponovo pokreće brojač *ConnectRetry*
 - vraća se u stanje *Connect*
- ◆ Ako se sjednica ne uspostavi odlazi u stanje *Idle*
 - ponavljajući prelasci iz stanja *Connect – Active* ponavljaju, sjednica se ne može uspostaviti

Stanje *OpenConfirm*

- ◆ Usmjeritelj čeka poruke od susjeda
- ◆ Ako dobije poruku *keepalive* ili *update*, prelazi u stanje *Established*
- ◆ U slučaju isteka brojača *HoldTimer*, prije nego što primi poruku *keepalive*, šalje poruku *notification* i prelazi u stanje *Idle*
- ◆ Ako primi poruku *notification*, također se vraća u stanje *Idle*
- ◆ Ako dođe do bilo kakve pogreške, odlazi u stanje *Idle*

Stanje *Established*

- ◆ Razmjenjuju se poruke *update*, *notification* i *keepalive*
- ◆ Primitkom poruka *update* ili *keepalive*, ponovo se pokreće brojač *HoldTimer*
- ◆ Kod regularnog rada, usmjeritelj se nalazi u ovom stanju
- ◆ Iste kom brojača *HoldTimer*, usmjeritelj šalje poruku *notification* i prelazi u stanje *Idle*
- ◆ U slučaju bilo kakve pogreške, vraća se u stanje *Idle*

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 modificira 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
- ◆ Dobro 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 združenja staza

Atribut Aggregator

- ◆ Izborni tranzitni atribut
- ◆ Uključen u poruke koje su nastale združivanjem staza
- ◆ Združivati se mogu staze koji imaju iste atribute
- ◆ 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

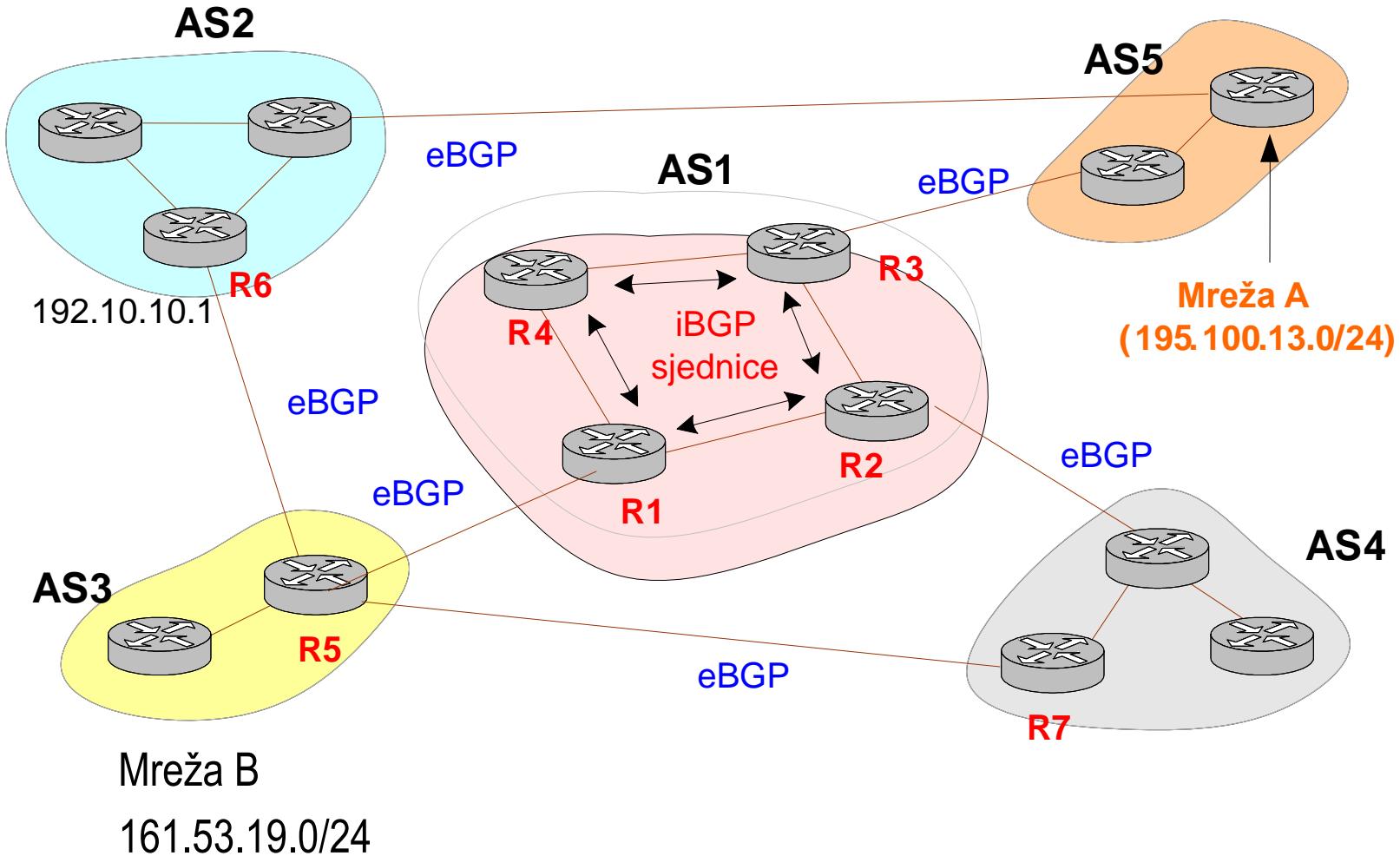
- ◆ Algoritam usmjeravanja odlučuje o “najboljoj stazi” za zadano odredište na temelju **procesa odluke** (*decision process*)
- ◆ Nema definiranog pravila već se primjenjuje vlastita politika lokalnog administratora AS-a definirana u PIB (Policy Information Base)
- ◆ Promatraju se neobrađene staze objavljeni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

Primjer algoritma usmjerenja

◆ Proces donošenja odluke o stazi:

- odaber stazu s najvećom vrijednosti atributa *local pref*. Ako se staza ne može odrediti na temelju ovog kriterija prijeđi na sljedeći korak
- odaber 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
- odaber stazu s najkraćim atributom *AS path*. Ako se staza ne može odrediti na temelju ovog kriterija prijeđi na sljedeći korak
- odaber stazu s manjom vrijednosti atributa *origin*. Ako se staza ne može odrediti na temelju ovog kriterija prijeđi na sljedeći korak
- odaber stazu s najmanjim atributom *MED*. Ako se staza ne može odrediti na temelju ovog kriterija prijeđi na sljedeći korak
- odaber 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

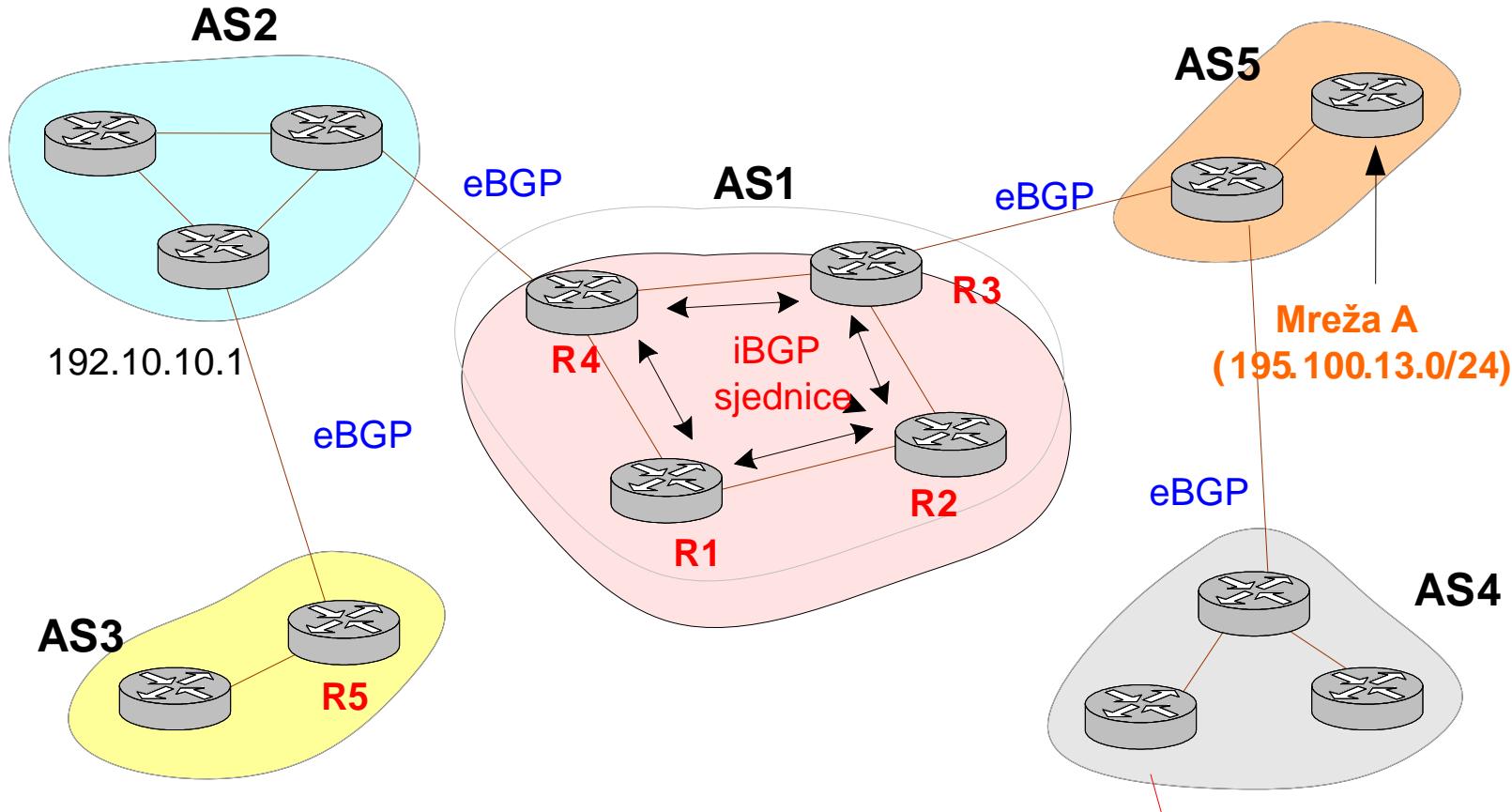
◆ Atributi staze 3

- 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)
 - ◆ Ovlašavaju moguće putove
-
- ◆ Tablica usmjeravanja
 - odredište, put
 - ◆ Uz oznaku puta navodi se sljedeći skok
 - ◆ Ukoliko dođe do prekida u mreži put se briše

Primjer BGP tablice usmjeravanja



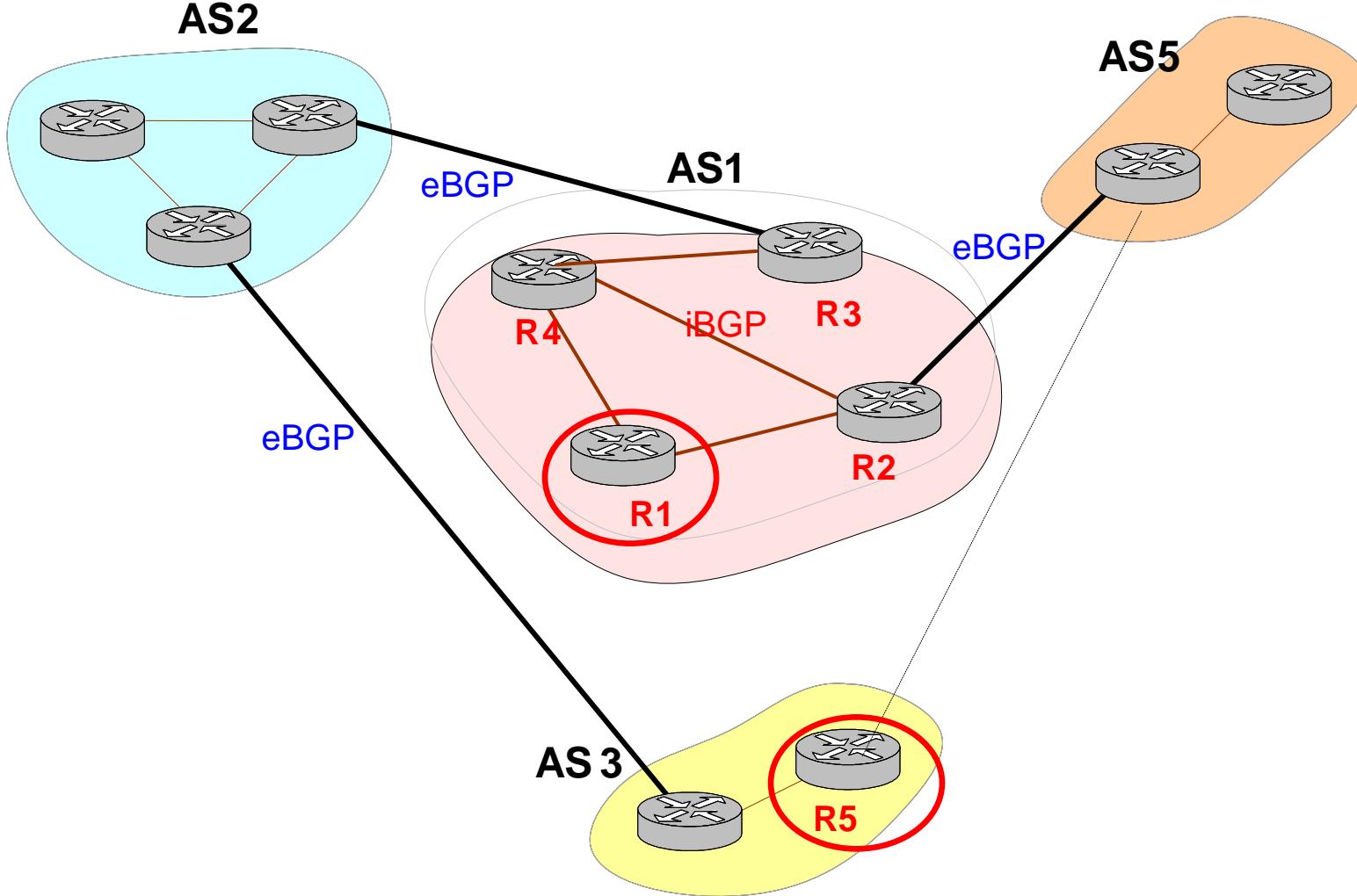
Dio R5 tablice usmjeravanja

Destination	Next hop	AS path
195.100.13.0/24	192.10.10.1	AS2 AS1 AS5
161.53.19.0/24	192.10.10.1	AS2 AS1 AS5 AS4

Zadatak

- ◆ Za zadanu mrežu na slici (sljedeći slajd) pretpostavite 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 pretpostavite 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.

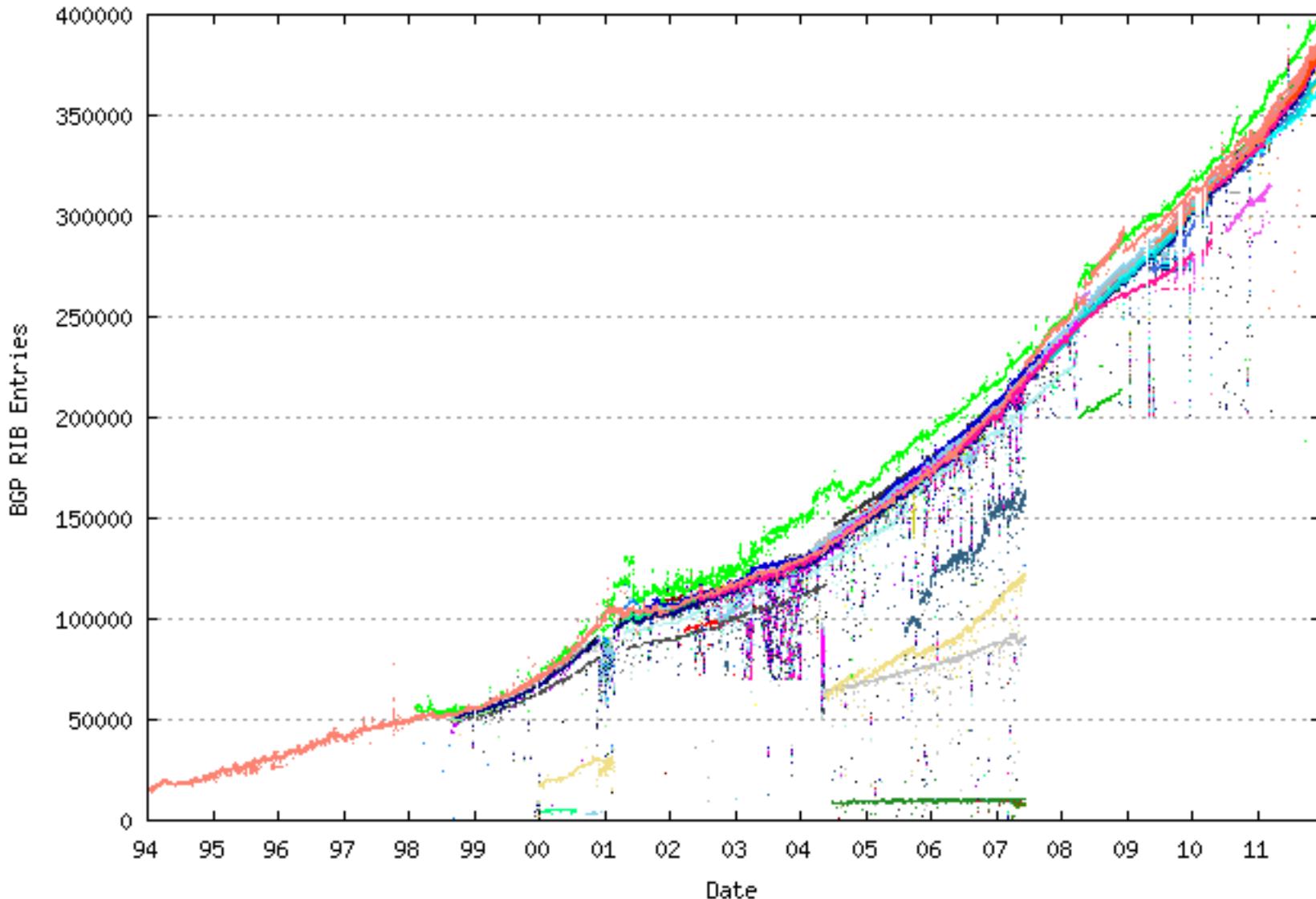
Slika uz zadatak



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 crtkano 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.

Broj zapisa u BGP tablici usmjeravanja

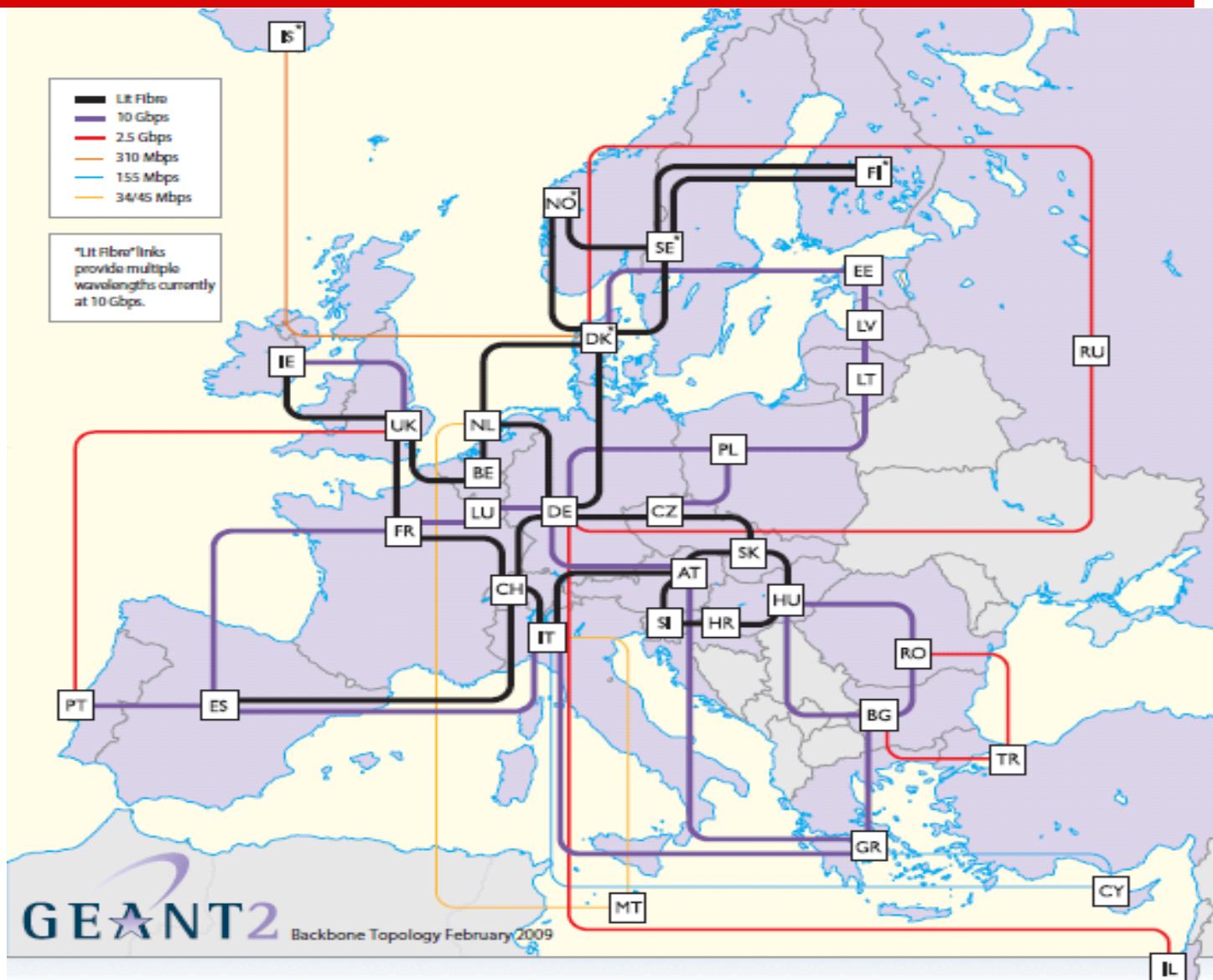


Regionalni internetski registar

- ◆ 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 Tih ocean
 - LACNIC (Latin American and Caribbean Internet Address Registry) – Latinska Amerika i Karibi
 - AfriNIC (African Network Information Centre) - Afrika

- ◆ 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 10 Gbit/s
- ◆ Veza prema drugim ISP-ovima u Hrvatskoj ostvarena je kroz **mjesto razmjene internetskog prometa u Hrvatskoj – CIX** (Croatian Internet eXchange)

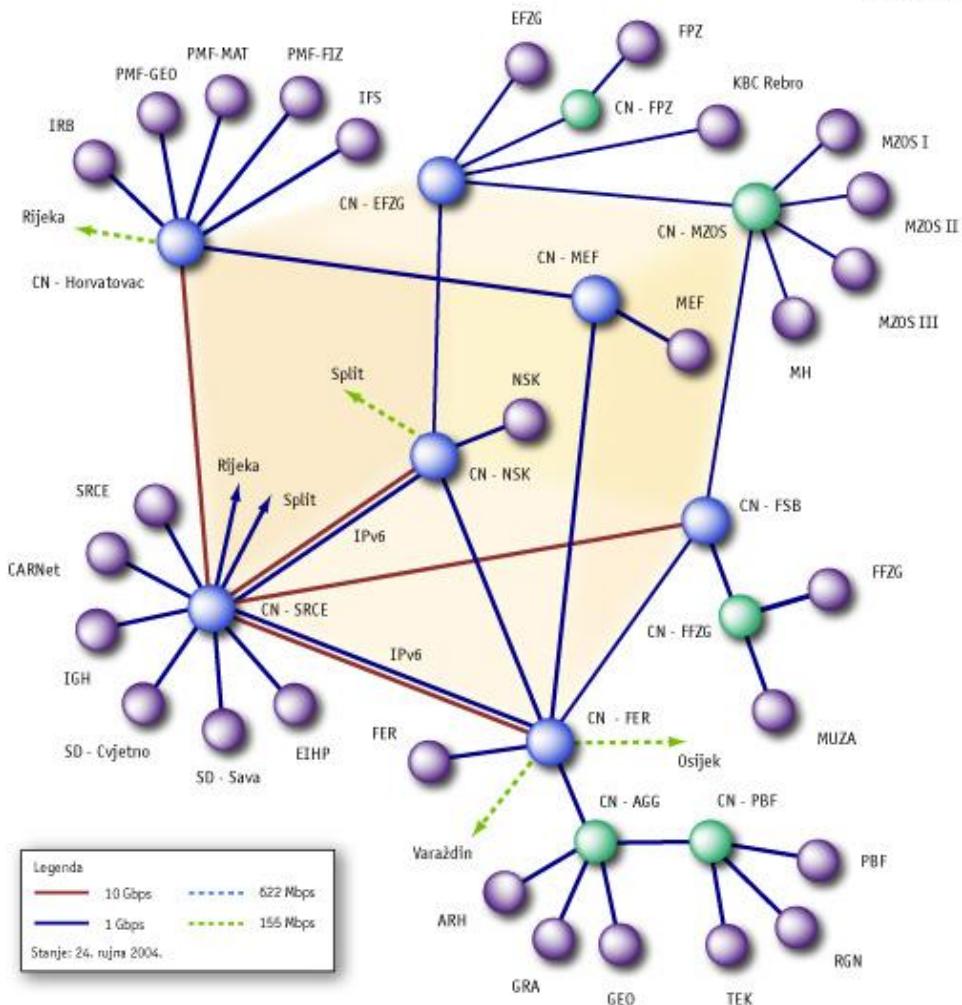
GEANT mreža



- ◆ Unutar Hrvatske CARNet povezuje sve veće hrvatske gradove, i to na nekoliko razina različitih tehnologija i pristupnih brzina
- ◆ Okosnica CARNet mreže povezuje veće sveučilišne centre (DU, OS, PU, RI, ST, ZD, ZG) brzinama (od 100 Mbit/s do 1 Gbit/s), dok druge, manje centre povezuje modemskim vezama preko iznajmljenih linija (najčešće brzinom od 2 do 100 Mbit/s).
- ◆ Mreža u samom Zagrebu povezuje veće fakultete i znanstvene ustanove brzinama do 10 Gbit/s

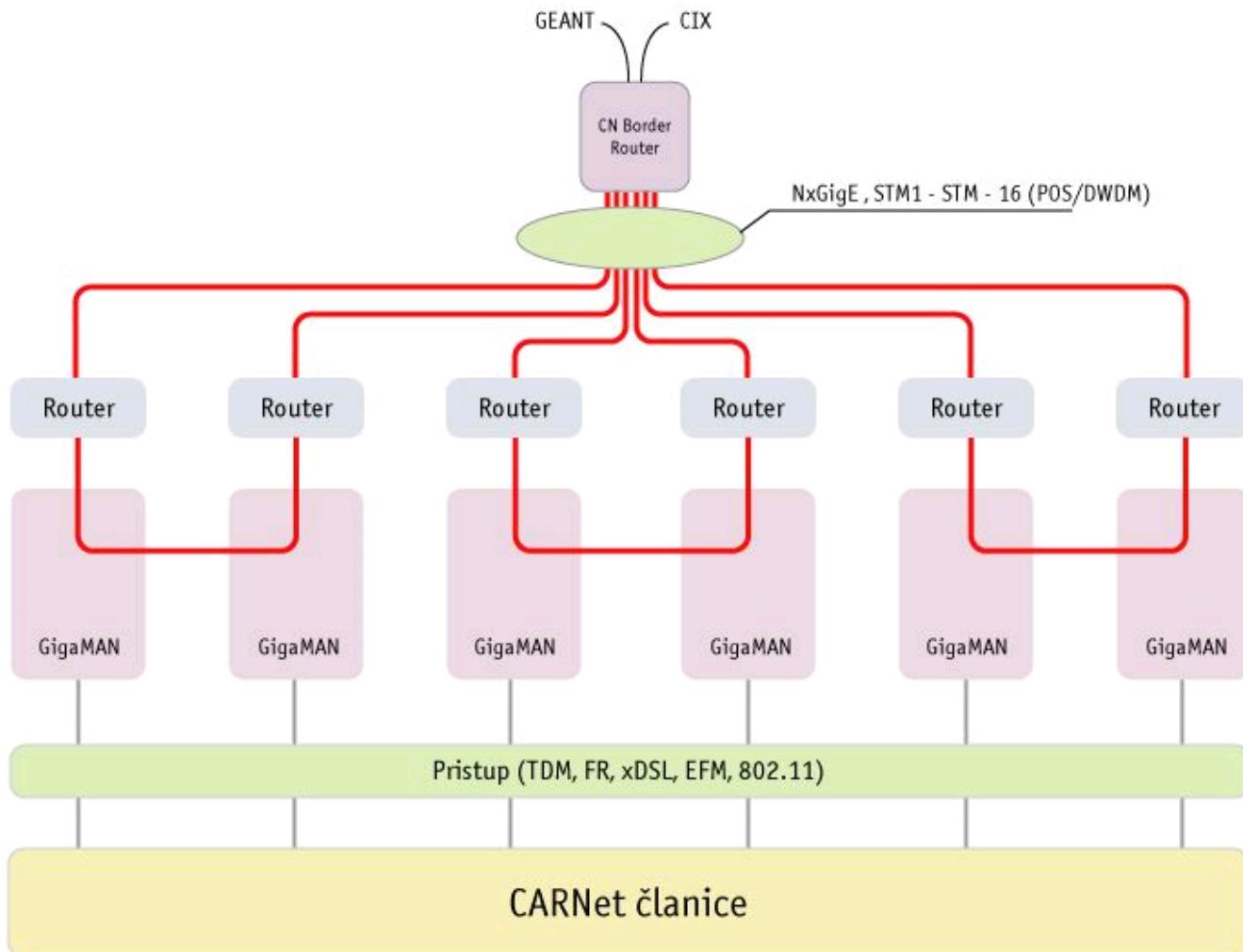
ZG CARNet mreža

Stanje zagrebačkog dijela CARNet mreže

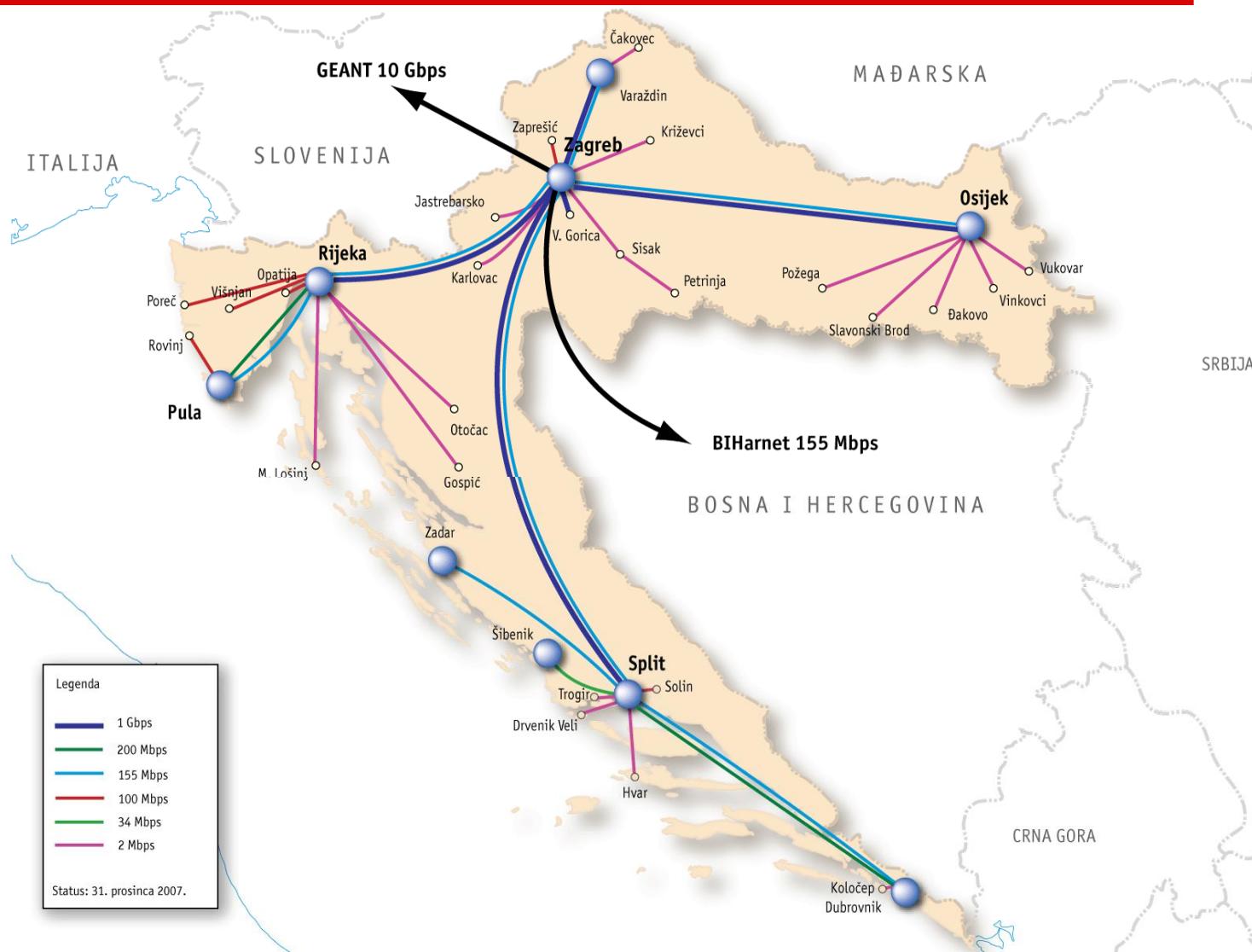


CARNet mrežna čvorista

CN - SRCE	Sveučilišni računski centar
CN - FER	Fakultet elektrotehnike i računarstva
CN - AGG	Fakultet arhitekture, građevine i geodezije
CN - PBF	Prihrambeno-biotehnološki fakultet
CN - FFZG	Filozofski fakultet
CN - FSB	Fakultet strojarstva i brodogradnje
CN - MEF	Medičinski fakultet
CN - MZOS	Ministarstvo znanosti, obrazovanja i sporta
CN - EFZG	Ekonomski fakultet
CN - HORVAT.	Nacionalna i sveučilišna knjižnica
CN - NSK	Fakultet prometnih znanosti
CN - FPZ	Fakultet prometnih znanosti
FPZ	Kliničko bolnički centar Rebro
Rebro	Ekonomski fakultet
EFZG	Ministarstvo znanosti, obrazovanja i sporta
MZOS	Fakultet strojarstva i brodogradnje
FSB	Filozofski fakultet
FFZG	Fakultet elektrotehnike i računarstva
FER	Arhitektonski fakultet
ARH	Građevinski fakultet
GRA	Geodetski fakultet
GEO	Prihrambeno-biotehnološki fakultet
PBF	Rudarsko-geološko-naftni fakultet
RGN	Sveučilišni računski centar
SRCE	Institut Ruder Bošković
IRB	Institut za fiziku Sveučilišta
IFS	PMF-Geofizikalni odsjek
PMF-GEO	PMF-Matematički odsjek
PMF-MAT	PMF-Fizički odsjek
PMF-FIZ	Nacionalna i sveučilišna knjižnica
NSK	Medičinski fakultet
MEF	Muzička akademija
MUZA	Institut građevinarstva Hrvatske
IGH	Studentski dom - Cvjetno
SD - Cvjetno	Studentski dom - Sava
SD - Sava	Energetski Institut Hrvaje Počer
EIHP	Tekstilno tehnički fakultet
TEK	Matica Hrvatska
MH	



CARNet mreža (2)



- ◆ 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 peeringa* je RIPE baza podataka

Matrica “peeringa” IPv4

	1. Amis Telekom	2. B.net Hrvatska	3. BTnet	4. CARNet	5. CROATIA AIRLINES	6. Google	7. H1 Telekom	8. HEP	9. HITRONet	10. HRT	11. Hrvatski Telekom	12. i3b Internetbreitbandbetriebs GmbH	13. Iskon	14. Magic Telekom	15. Metronet	16. Odašiljači i veze d.o.o.	17. Omonia	18. OPTIKA KABEL TV	19. Optima Telekom	20. SoftNET d.o.o.	21. VeriSign Netherlands VB	22. VIP-NET	23. Voljatel telekomunikacije
1. Amis Telekom	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. B.net Hrvatska	+	-	?	+	?	?	+	+	?	+	+	+	+	+	+	+	?	+	+	+	?	+	+
3. BTnet	?	?	-	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
4. CARNet	+	+	?	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	?	?	?
5. CROATIA AIRLINES	?	?	?	?	-	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
6. Google	?	?	?	?	?	-	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
7. H1 Telekom	?	?	?	?	?	?	-	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
8. HEP	?	?	?	?	?	?	?	-	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
9. HITRONet	+	+	-	+	-	+	+	-	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	-
10. HRT	?	?	?	+	?	?	?	?	?	-	?	?	+	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
11. Hrvatski Telekom	?	?	?	+	?	?	?	?	?	+	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
12. i3b Internetbreitbandbetriebs GmbH	+	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-
13. Iskon	?	?	?	?	+	?	?	?	?	-	?	?	?	?	?	?	?	+	?	?	+	+	+
14. Magic Telekom	-	+	+	?	+	+	+	+	?	?	+	+	+	+	+	+	+	?	?	+	+	+	+
15. Metronet	+	+	?	+	-	+	+	-	-	-	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
16. Odašiljači i veze d.o.o.	+	+	?	+	-	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17. Omonia	-	+	?	+	-	+	+	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18. OPTIKA KABEL TV	-	+	?	+	-	?	?	-	+	-	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-	-	-	+
19. Optima Telekom	+	+	?	+	-	?	?	+	+	-	-	+	+	+	+	+	-	+	-	-	+	-	+
20. SoftNET d.o.o.	?	-	?	+	?	?	?	-	?	+	?	-	?	-	?	-	?	-	+	-	?	-	+
21. VeriSign Netherlands VB	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	-	?	?
22. VIP-NET	+	+	?	+	-	+	?	-	+	-	?	?	+	+	+	+	?	-	+	-	+	-	+
23. Voljatel telekomunikacije	+	+	?	+	-	+	+	-	+	-	?	-	+	+	+	+	+	-	+	-	+	-	-

Matrica “peeringa” IPv6

	1. Amis Telekom	2. B.net Hrvatska	3. BTnet	4. CARNet	5. CROATIA AIRLINES	6. Google	7. H1 Telekom	8. HEP	9. HITRONet	10. HRT	11. Hrvatski Telekom	12. i3b Internetbreitbandbetriebs GmbH	13. Iskon	14. Magic Telekom	15. Metronet	16. Odašiljači i veze d.o.o.	17. Omonia	18. OPTIKA KABEL TV	19. Optima Telekom	20. SoftNET d.o.o.	21. VeriSign Netherlands VB	22. VIP-NET	23. Voljatel telekomunikacije
1. Amis Telekom	-	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
2. B.net Hrvatska	?	-	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
3. BTnet	?	?	-	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
4. CARNet	-	-	?	-	?	?	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5. CROATIA AIRLINES	?	?	?	?	-	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
6. Google	?	?	?	?	?	-	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
7. H1 Telekom	?	?	?	?	?	-	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
8. HEP	?	?	?	?	?	?	-	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
9. HITRONet	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10. HRT	?	?	?	?	?	?	?	?	?	-	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
11. Hrvatski Telekom	?	?	?	?	?	?	?	?	?	-	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
12. i3b Internetbreitbandbetriebs GmbH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13. Iskon	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	-	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
14. Magic Telekom	-	-	?	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15. Metronet	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	-	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
16. Odašiljači i veze d.o.o.	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	-	?	?	?	?	?	?	?	?
17. Omonia	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	-	?	?	?	?	?	?	?
18. OPTIKA KABEL TV	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	-	?	?	?	?	?	?	?
19. Optima Telekom	?	?	?	+	?	?	?	?	-	?	-	+	?	-	?	?	?	-	?	?	?	?	?
20. SoftNET d.o.o.	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	-	?	?	?	?	?
21. VeriSign Netherlands VB	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	-	?
22. VIP-NET	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	-	?
23. Voljatel telekomunikacije	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	-

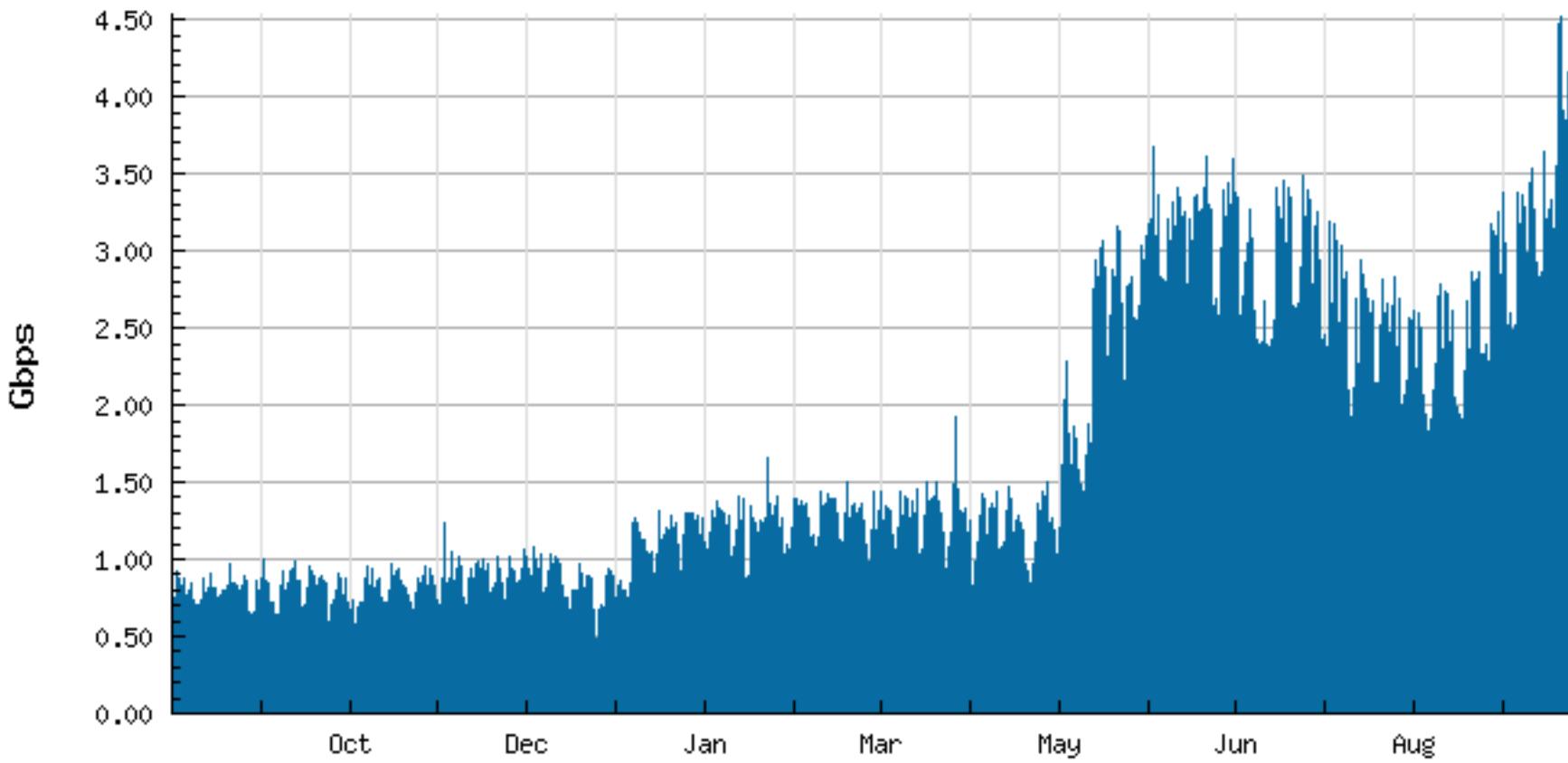


Promet na CIX mreži

UKUPNI PROMET CIX mreže

Datum: od 12.09.2010 10:06 do 12.09.2011 10:06

■ Ukupno : MAX: 4.53 MIN: 0.1 AVG: 1.11 Gbps



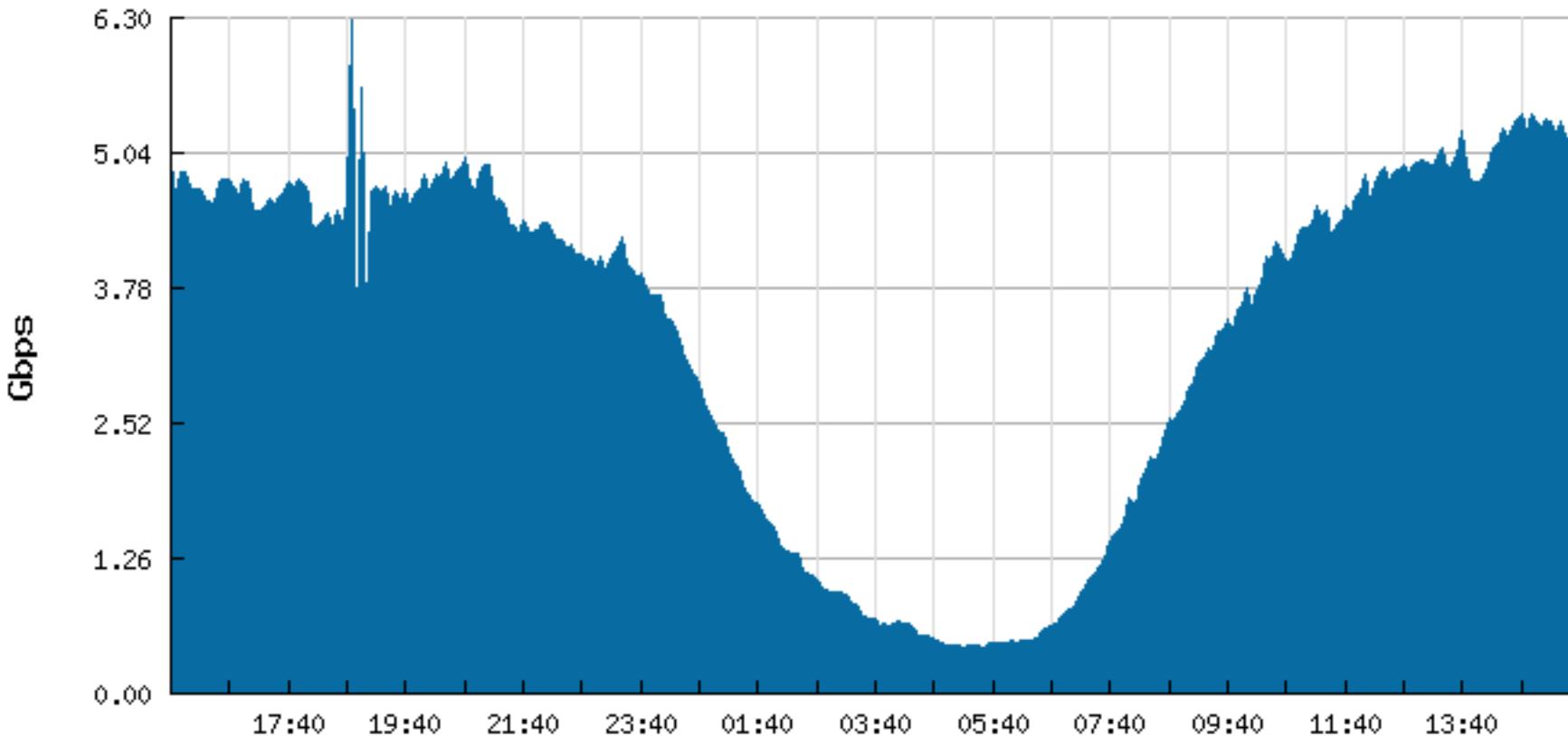


Dnevni promet na CIX mreži

UKUPNI PROMET CIX mreže

Datum: od 28.11.2011 15:35 do 29.11.2011 15:35

■ Ukupno : MAX: 6.3 MIN: 0.43 AVG: 3.32 Gbps



Analiza BGP prometa unutar RIPE NCC

RIPE Region Analysis Summary

Prefixes being announced by RIPE Region ASes:	86545
Total RIPE prefixes after maximum aggregation:	49132
RIPE Deaggregation factor:	1.76
Prefixes being announced from the RIPE address blocks:	79935
Unique aggregates announced from the RIPE address blocks:	52845
RIPE Region origin ASes present in the Internet Routing Table:	15797
RIPE Prefixes per ASN:	5.06
RIPE Region origin ASes announcing only one prefix:	7877
RIPE Region transit ASes present in the Internet Routing Table:	2504
Average RIPE Region AS path length visible:	4.6
Max RIPE Region AS path length visible:	33
Number of RIPE region 32-bit ASNs visible in the Routing Table:	912
Number of RIPE addresses announced to Internet:	478890496
Equivalent to 28 /8s, 139 /16s and 74 /24s	
Percentage of available RIPE address space announced:	77.1



Diplomski studij

Informacijska i komunikacijska
tehnologija:

Telekomunikacije i informatika

Obradba informacija

Ak.g. 2014./2015.

Komunikacijski protokoli

9.

Signalizacijski protokoli u Internetu

11.12.14.

■ 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

- ◆ Signalizacija u mreži
 - Signalizacijski protokoli u Internetu
- ◆ Protokol SIP
 - Arhitektura i operacije protokola SIP
 - Uspostava sjednice
- ◆ Prijenos signalizacije mrežom IP
 - Protokol SIGTRAN
 - Protokoli MGCP, BICC, TRIP
 - Izvedbeno rješenje: Softswitch
- ◆ Prijenos govora mrežom IP

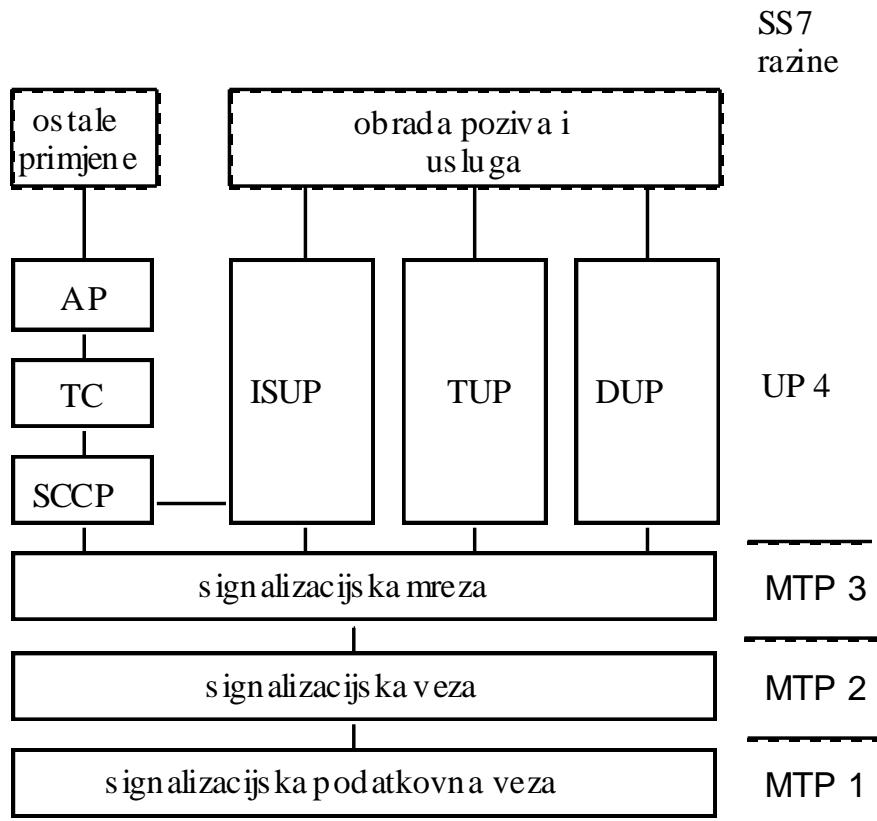
Signalizacija u mreži

- ◆ 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**.
(Komunikacijske mreže, V sem.)

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*

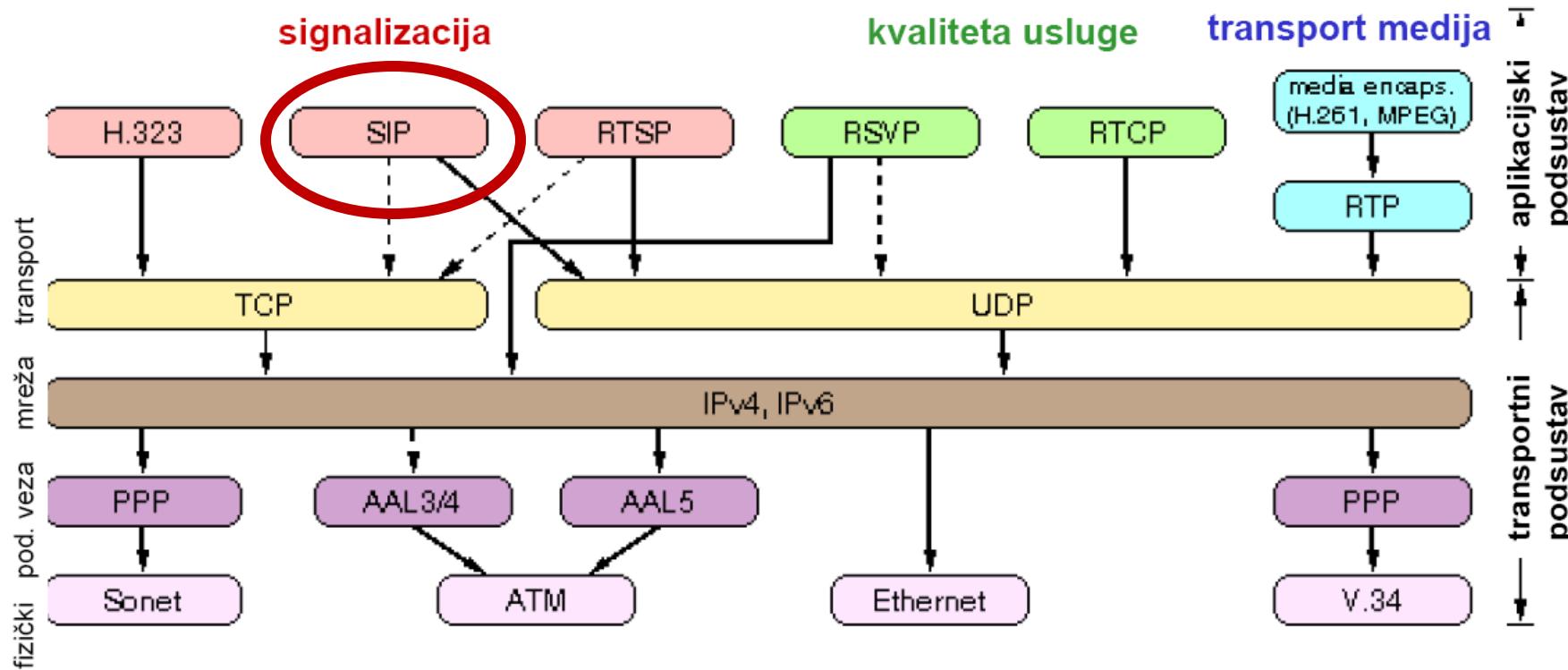
- ◆ Internetska mreža IP
- ◆ Kako ostvariti “kvalitetan” telefonski poziv Internetom?
 - internetsku telefoniju VoIP (Voice over IP, IP telefonija),
 - višemedijsku konferenciju...?
- ◆ Primjenom signalizacijskog protokola u Internetu (na aplikacijskom sloju)
ili/i
- ◆ Korištenjem/prijenosom postojećeg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

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



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

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>)

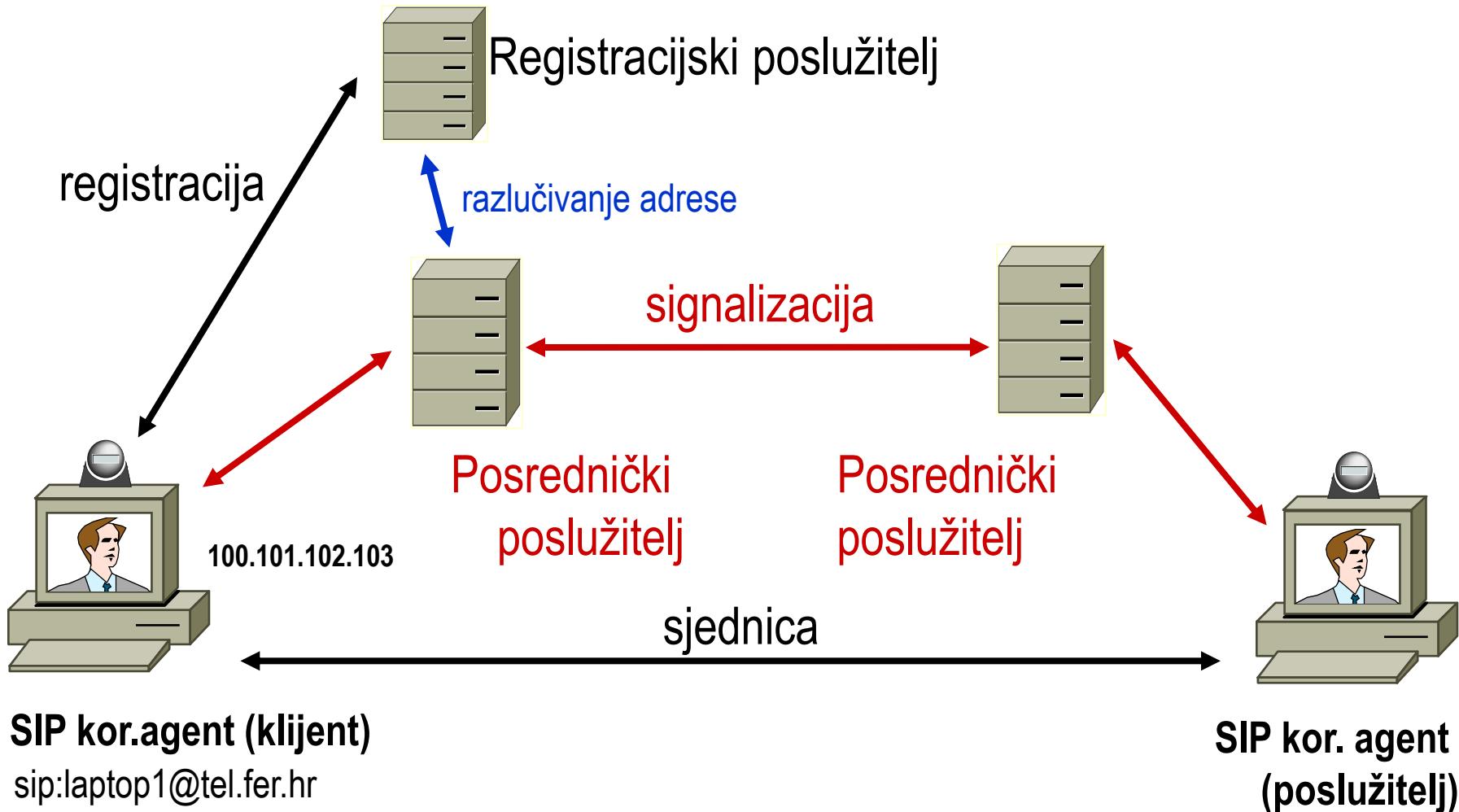
npr: kp-gj@zavod.tel.fer.hr

- ◆ 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

- ◆ **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 operacije

- ◆ Adresiranje
- ◆ Lociranje SIP poslužitelja
- ◆ Slanje zahtjeva
- ◆ SIP zahtjevi (metode)
- ◆ SIP odgovori

Adresiranje

- ◆ Koristi URL (*Uniform Resource Locators*)
- ◆ Podržava internetske i PSTN adrese
- ◆ Format: **ime@domena**
- ◆ Saznati (razlučiti adresu) na korisnik@racunalo
- ◆ Primjeri:

sip:ana@tel.fer.hr

sip:korisnik <korisnik@tel.fer.hr>

sip:+1-385-1-6129-825@tel.fer.hr;user=phone

sip:ana@10.64.1.1

sip:790-7360@wcom.com;phone-context=VNET

Lociranje poslužitelja (1)

- ◆ Pozivajuća strana locira odgovarajući poslužitelj
- ◆ Klijent šalje zahtjev prema:
 - lokalnom posredničkom poslužitelju ili
 - poslužitelju na odgovarajućoj IP adresi
- ◆ Klijent određuje IP adresu, vrata (*port*) poslužitelja i korišteni protokol

Lociranje poslužitelja (2)

Klijent:

- Pokušava kontaktirati poslužitelja na odgovarajućim vratima koja su navedena u zahtjevu (URL). Ako nije navedeno, šalje se na vrata 5060
- Koristi definirani protokol, UDP ili TCP
- Šalje zahtjev na IP adresu poslužitelja
- Pronalazi jednu ili više adresa poslužitelja preko DNS upita
- Rezultat može biti privremeno pohranjen

Slanje zahtjeva

- ◆ Nakon što je klijent razlučio adresu poslužitelja SIP
 - Šalje jedan ili više zahtjeva SIP poslužitelju
 - Prima jedan ili više odgovora od poslužitelja
- ◆ SIP zahtjev je definiran kao:
 - <Method> <SP> Request-URL <SP> SIP-Version <CRLF>
(SP=Space, CRLF=Carriage Return and Line Feed)
(Method = “INVITE” | “ACK” | “OPTIONS” | “BYE” | “CANCEL” |
“REGISTER”)
- ◆ Primjer:
INVITE sip:ana@tel.fer.hr SIP/2.0

Format poruke (1)

- ◆ Format poruke SIP je tekstualni format (ISO10646 UTF-8)
- ◆ Poruke SIP su slične porukama protokola HTTP i RTSP, osnovna podjela na zahtjeve (metode) i odgovore (statusni kod)
- ◆ Zahtjevi i odgovori koriste generički oblik poruke:
 - početni redak, sadrži zahtjev ili statusni kod odgovora
 - jedno ili više zaglavlja
 - prazni redak za odvajanje zaglavlja poruke i opcionalnog tijela poruke
 - opcionalni dio poruke – npr. opis sjednice SDP

Format poruke (2)

- ◆ za pozivanje korisnika u sjednicu, SIP koristi SDP za opis sjednice (SDP opis umeće se u SIP poruku)
- ◆ SIP je neovisan o transportnom protokolu i o vrsti sjednice

Session Description Protocol, SDP

- ◆ protokol za opis sjednice
- ◆ propisani skup parametara koji služi za opis sjednice
 - Definira format za opis sjednice
- ◆ standardni format za opis medija koji sudjeluju, podaci o protokolima i formatima koji će se koristiti u sjednici i sl.
- ◆ RFC 2327

Format poruke (3)

Zahtjev

Odziv

method URL SIP/2.0

SIP/2.0 status reason

Via:	SIP/2.0/ protocol host:port
From:	<i>user <sip:from_user@source></i>
To:	<i>user <sip:to_user@destination></i>
Call-ID:	<i>localid@host</i>
CSeq:	<i>seq#method</i>
Content-Length:	<i>length of body</i>
Content-Type:	<i>media type of body</i>
Header:	<i>parameter ;par1=value;par2="value"</i>

prazni redak

V=0

o= orgin_user timestamp timestamp IN IP4 host

c=IN IP4 media destination address

t=0 0

m= media type port RTP/AVP payload types

zaglavlje poruke

tijelo poruke

Slijed operacija

Prilikom uspostave sjednice:

- ◆ 1: klijent šalje inicijalni zahtjev INVITE
- ◆ 2: poslužitelj vraća odgovor

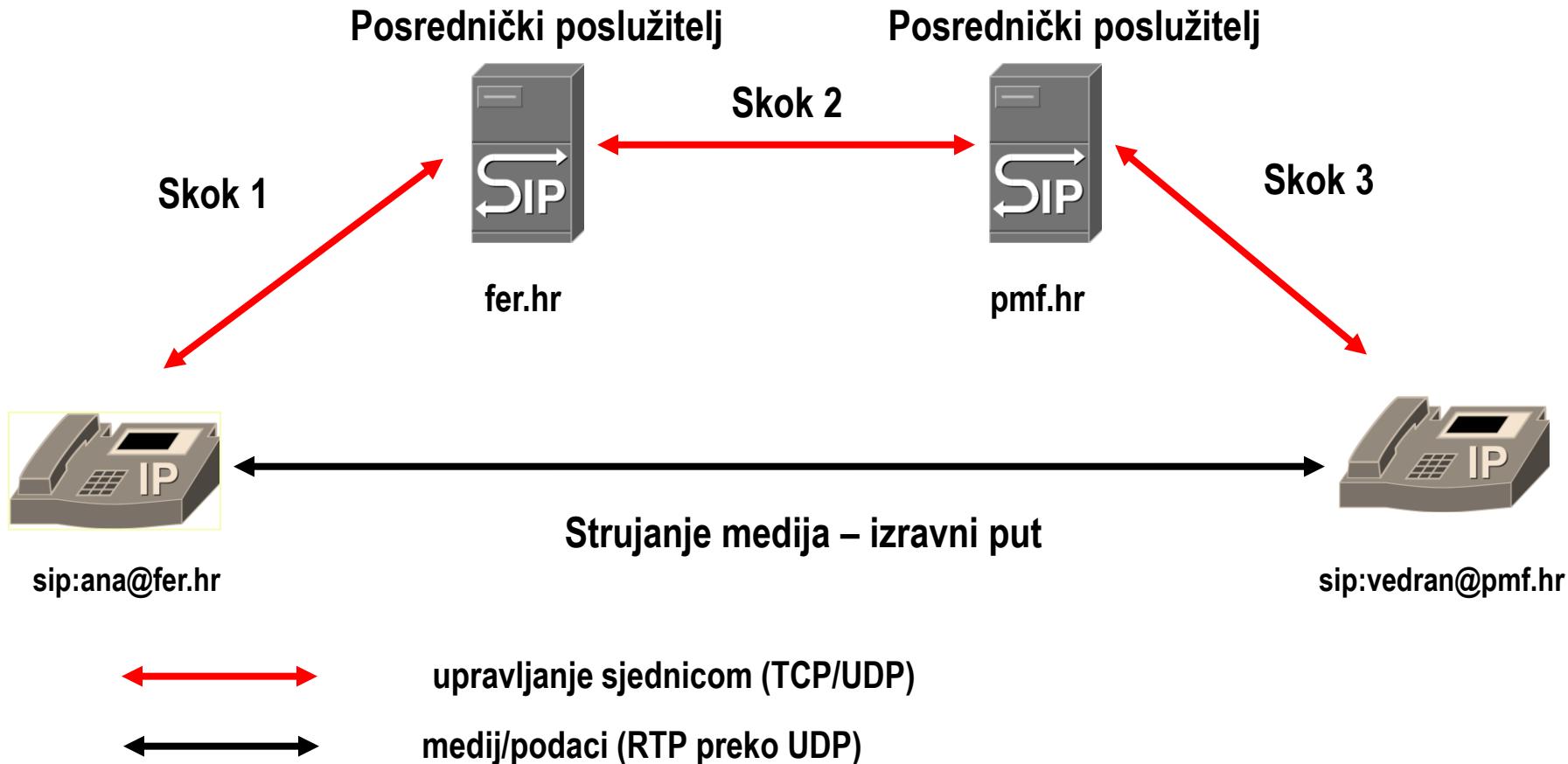
- ◆ 3: klijent prima odgovor na inicijalni zahtjev
- ◆ 4: klijent ili poslužitelj generiraju daljnje zahtjeve

- ◆ 5: primanje dalnjih zahtjeva
- ◆ 6: BYE – kraj sjednice

- ◆ X: CANCEL – može se dogoditi tijekom sjednice

Uspostava sjednice

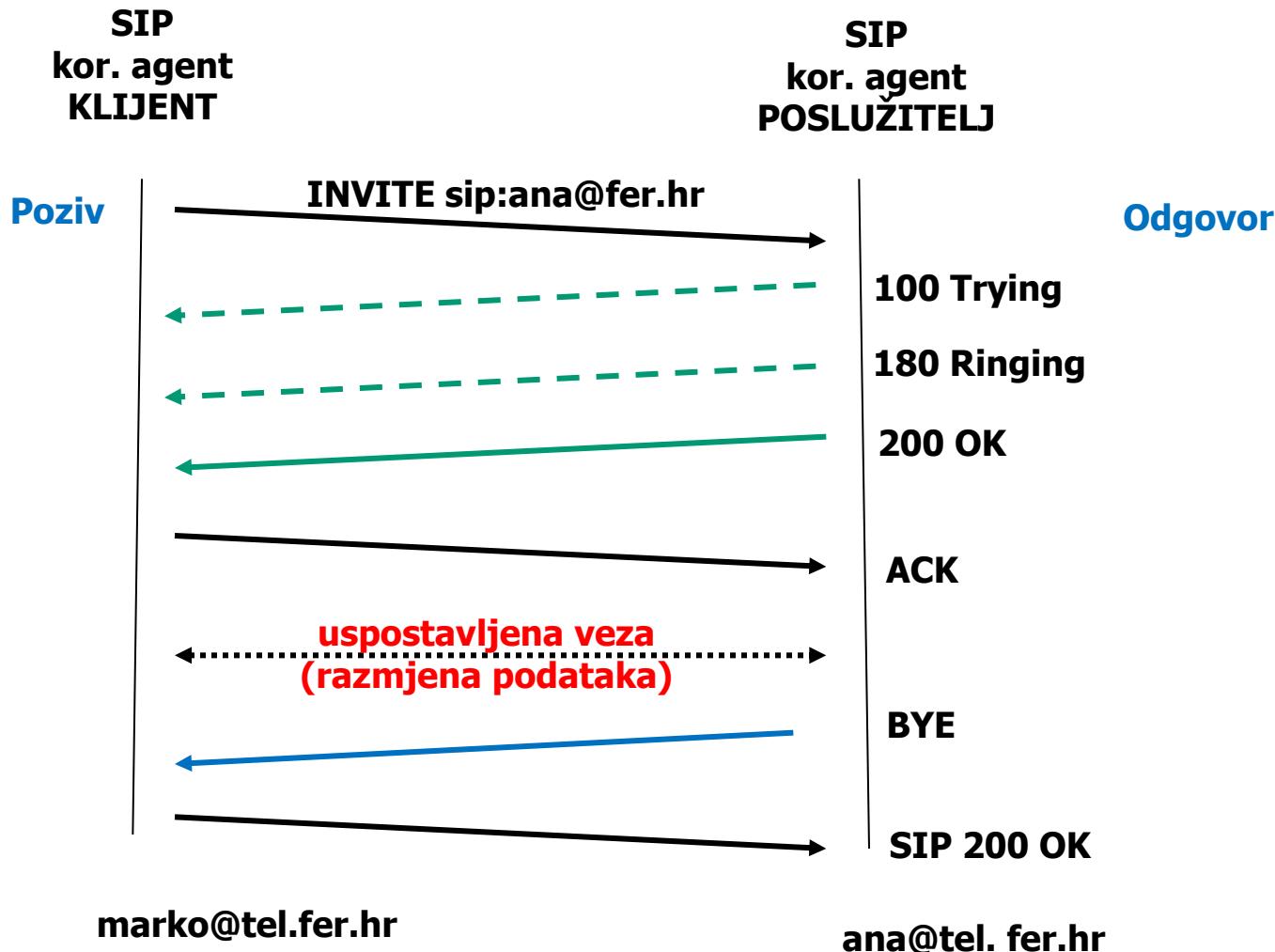
- Izravno
- Preko posredničkog(ih) poslužitelja



SIP zahtjevi

- ◆ INVITE: iniciranje sjednice (poziv na sjednicu)
 - Opis sjednice uključen je u tijelo poruke
- ◆ Re-INVITE: koristi se za promjenu stanja/parametara sjednice
- ◆ ACK: potvrda uspostave sjednice, koristi se u paru s INVITE
- ◆ BYE: završetak sjednice
- ◆ CANCEL: prekid sjednice
- ◆ REGISTER: povezuje adresu sa trenutnom lokacijom, može sadržavati korisničke podatke
- ◆ OPTIONS: provjera mogućnosti primatelja

Primjer izravnog poziva



Zahtjev INVITE

- ◆ Važna polja u zahtjevu:
 - ◆ Call-ID
 - Jedinstveni broj sjednice
 - ◆ Cseq
 - Brojač
 - Vrijednost brojača se smanjuje slanjem svakog novog zahtjeva s istim Call-ID
 - ◆ To i From
 - Lokalna i udaljena adresa, zajedno s Call-ID definiraju jedinstvenu sjednicu

Primjer zahtjeva INVITE

INVITE sip:ana@tel.fer.hr

SIP/2.0

Via: SIP/2.0/UDP 161.53.19.124:5060;branch=33

Max-Forwards: 70

To: sip:ana@tel.fer.hr

From: sip:marko@tel.fer.hr

Call-id: 1234@161.53.19.124

Cseq: 1 INVITE

Contact: sip:ana@161.53.19.124

v=0

o=gjezic 26764646 46734 IN IP4 zavod.tel.fer.hr

s=probna sjednica

c=IN IP4 192.0.0.1

t=0 0

m=audio 20000 RTP/AVP 0

a=sendrecv

SIP zaglavje

SDP opis sjednice

Zahtjev REGISTER

- ◆ Korisnički agent obaviještava mrežu o svojoj lokaciji, odnosno trenutnoj IP adresi
- ◆ Registracija obavezna za dolazne pozive, za odlazne ne
- ◆ Zahtjev se šalje i prosljeđuje dok ne dođe do nadležnog poslužitelja za registraciju u domeni
- ◆ Cseq se smanjuje svakim slanjem REGISTER zahtjeva
- ◆ Može sadržavati tijelo poruke, ali i ne mora

Primjer registracije korisnika



REGISTER sip:registrar.fer.hr SIP/2.0

Via: SIP/2.0/UDP
 fer.hr:5060;branch=z9hG4bKus19
 Max-Forwards: 70
 To: <sip:ana@fer.hr>
 From: sip:ana@fer.hr ;tag=3431
 Call-ID: 23@fer.hr
 CSeq: 1 REGISTER
 Contact: sip:ana@fer.hr
 Content-Length: 0

SIP/2.0 200 OK

Via: SIP/2.0/UDP fer.hr:5060;branch=z9hG4bKus19
 To: <sip:ana@fer>;tag=8771
 From: sip:ana@fer.hr ;tag=3431
 Call-ID: 23@200.201.202.203
 CSeq: 1 REGISTER
 Contact: <sip:werner.heisenberg@munich.de>;expires=3600
 Content-Length: 0

Zahtjev BYE

- ◆ Raskid sjednice može inicirati jedan od korisničkih agenata koju sudjeluju u sjednici (ne posrednički poslužitelj ili neki treći korisnički agent)
- ◆ Zahtjev s kraja na kraj

BYE sip:marko@tel.fer.hr SIP/2.0

Via: SIP/2.0/UDP t
tel.fer.hr:5060;branch=z9hG4bK392kf
Max-Forwards: 70
To: <sip:marko@tel.fer.hr>;tag=76341
From: G. Marconi
<sip:ana@tel.fer.hr>;tag=a53e42
Call-ID: 123456789@tel.fer.hr
CSeq: 1 BYE
Content-Length: 0

Raskid sjednice

SIP/2.0 200 OK

Via: SIP/2.0/UDP
tel.fer.hr:5060;branch=z9hG4bK392kf
;received=200.201.202.203
To: <sip:ana@tel.fer.hr>;tag=76341
From: <sip:marko@tel.fer.hr>;tag=a53e42
Call-ID: 123456789@lab.high-voltage.org
CSeq: 1 BYE
Content-Length: 0

Potvrda raskida

Zahtjev ACK

- ◆ Potvrda, konačni odgovor INVITE poruci
- ◆ Zahtjev od točke do točke
- ◆ Slanjem ACK CSeq se ne smanjuje
- ◆ Poslužiteljska strana uspoređuje Cseq broj u ACK poruci s odgovarajućim Cseq brojem u INVITE poruci

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

Via: tel.fer.hr:5060;branch=z9hG4bK321g

Max-Forwards: 70

To: <sip:ana@tel.fer.hr>;tag=a53e42

From: <sip:marko@tel.fer.hr>;tag=76341

Call-ID: 123456789@ltel.fer.hr

CSeq: 1 ACK

Content-Length: 0

Zahtjev CANCEL

- ◆ Prekid sjednice može biti iniciran od korisničkog agenta ili posredničkog poslužitelja
- ◆ Zahtjev od točke do točke
- ◆ Prosljeđuje se istim putem kao i INVITE zahtjev

CANCEL sip:i.ana@fer.hr SIP/2.0

Via: SIP/2.0/UDP 10.downing.gb:5060;branch=z9hG4bK3134134

Max-Forwards:70

To: <sip:vedran@pmf.hr>

From: Rene Descartes <sip:visitor@10.downing.hr>;tag=034323

Call-ID: 42@10.downing.hr

CSeq: 32156 CANCEL

Content-Length: 0

Polja u zaglavlju SIP

- ◆ Četiri kategorije polja u zaglavlju:
 - Općenita
 - Vezana uz poruku zahtjeva
 - Vezana uz poruku odgovora
 - Vezana uz entitet u mreži
- ◆ Vrste poruka s obzirom na komunikaciju:
 - Od točke do točke
 - uz korisničke agente na klijentu i poslužitelju, poruke mogu biti poslane i od posredničkih poslužitelja
 - u nekim slučajevima posrednički poslužitelji ih mogu i mijenjati
 - S kraja na kraj

Polja u zaglavljima zahtjeva i odgovora

- ◆ **Call-ID** – obavezno polje, jedinstveni broj korisničkog agenta koji sudjeluje u komunikaciji
- ◆ **Contact** – adresa na koju se šalju zahtjevi i odgovori prilikom komunikacije, popunjava poslužitelj za preusmjeravanje
- ◆ **CSeq** – nalazi se u svakom zahtjevu, broj zahtjeva koji je poslan, broj se smanjuje sa svakim slanjem zahtjeva unutar iste komunikacije
- ◆ **Date** – datum slanja
- ◆ **From** – adresa entiteta koji kreira/inicira poruku
- ◆ **To** – adresa entiteta koji treba primiti poruku
- ◆ **Via** – zapis o ruti poruke, kako bi komunikacija išla istom rutom u drugom smjeru
- ◆ **Allow-events** - način komunikacije, npr. dijalog
- ◆ ...

Polja u zaglavlju zahtjeva

- ◆ **Accept** – prihvatljiva vrsta medija
- ◆ **Accept-contact** – adresa posredničkog poslužitelja preko kojeg se šalje zahtjev
- ◆ **Accept-encoding** – prihvatljiva shema kodiranja
- ◆ **Accept-language** – prihvatljiv jezik komunikacije
- ◆ **Authorization** – informacija o autorizaciji poruke
- ◆ **Reason** – razlog prekida sjednice (kod BYE i CANCEL poruka)
- ◆ **Reply-to** – adresa na koju se šalje odgovor
- ◆ **Route** – informacija o usmjerenju zahtjeva
- ◆ **Session-expires** – vrijeme isteka sjednice
- ◆ ...

SIP odgovori

- ◆ SIP odgovori su definirani u HTTP obliku:

SIP-Version SP Status-Code SP Reason-Phrase CRLF

(SP=Space, CRLF=Carriage Return and Line Feed)

- ◆ Primjer:

SIP/2.0 404 Not Found

- ◆ Prva znamenka označava klasu odgovora
- ◆ Nakon što je sjednica uspostavljena, klijent ili poslužitelj mogu generirati INVITE ili BYE zahtjeve s ciljem promjene ili završetka sjednice

Vrste SIP odgovora

- ◆ **1xy** – informativni, o statusu poziva
zahtjev primljen, nastavlja se procesiranje zahtjeva (npr. 180 ringing)
- ◆ **2xy** – uspješno izvršenje zahtjeva
akcija uspješno primljena, razumljiva i prihvaćena (npr. 200 OK)
- ◆ **3xy** – preusmjeravanje
daljnje akcije preusmjerene s ciljem izvršenja zahtjeva (npr. 301 *Moved temporarily*)
- ◆ **4xy** – pogreška na klijentu
zahtjev sadrži sintaksnu pogrešku ili ne može biti izvršen na tom poslužitelju (npr. 404 *Not Found*)
- ◆ **5xy** – pogreška na poslužitelju
nemogućnost valjanog izvršenja zahtjeva (npr. 500 *Internal server error*)
- ◆ **6xy** – globalna pogreška
zahtjev nije valjan niti za jedan poslužitelj (npr. Decline)

Informativni odgovori

- ◆ Informiraju o napretku uspostave poziva
- ◆ Odgovori s kraja na kraj
 - Izuzetak je poruka **100 Trying** koji se šalje od točke do točke i ne sadrži tijelo poruke, nikad se ne proslijedi
 - **180 Ringing** – informira da je INVITE primljen, ukoliko pozvani korisnik odgovori brzo, ne šalje se
 - **181 Call is being forwarded** – poziv je preusmjerен na drugu krajnju točku
 - **182 Call queued** – zahtjev INVITE je primljen i stavljen u rep čekanja za obradu
 - **183 Session progress** – informira da je INVITE primljen i uspostava sjednice je u postupku (slična je poruci Trying ali se šalje s kraja na kraj)

Potvrđni odgovori

- ◆ Odgovori koji upućuju da je zahtjev uspješno primljen i prihvaćen
 - **200 OK** - (1) odgovor na poziv u sjednicu - prihvaca poziv i u tijelu poruke šalje parametre pozvanog korisnika
 - (2) odgovor na zahtjev – uspješan primitak ili obrada zahtjeva
 - odgovor na INVITE, REGISTER i OPTIONS
 - **202 Accepted** – zahtjev je primljen, ali ne može biti obrađen od primljene strane

Primjer odgovora

SIP/2.0 180 Ringing

Via: SIP/2.0/UDP
tel.fer.hr:5060;branch=z9hG4bKfw19b
;received=100.101.102.103
To: <sip:marko@tel.fer.hr>;tag=a53e42
From: <sip:ana@tel.fer.hr>;tag=76341
Call-ID: 123456789@tel.fer.hr
CSeq: 1 INVITE
Contact: <sip:ana@tel.fer.hr>
Content-Length: 0

Odgovor u tijeku

SIP/2.0 200 OK

Via: SIP/2.0/UDP 161.53.19.124
branch=33
Max-Forwards: 70
To: sip:marko@ tel.fer.hr
From: sip:ana@tel.fer.hr
Call-ID: 1234@ 161.53.19.124
CSeq: 1 200 OK
Contact: sip:TN@ 161.53.19.124

v=0
o=gjezic 26764646 46734 IN IP4
zavod.tel.fer.hr
s= probna sjednica
c=IN IP4 192.0.0.1
t=0 0
m=audio 30000 RTP/AVP 0
a=sendrecv

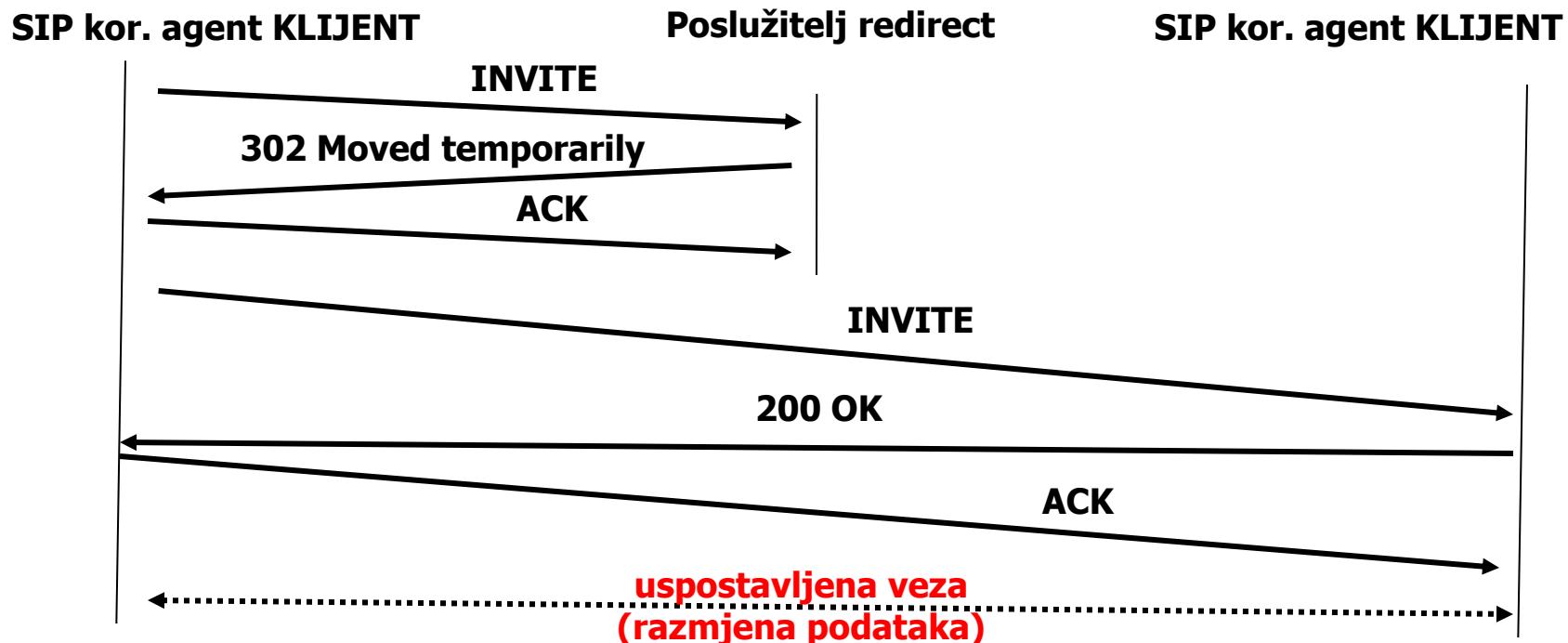
Potvrđan odgovor

Poruke preusmjeravanja (1)

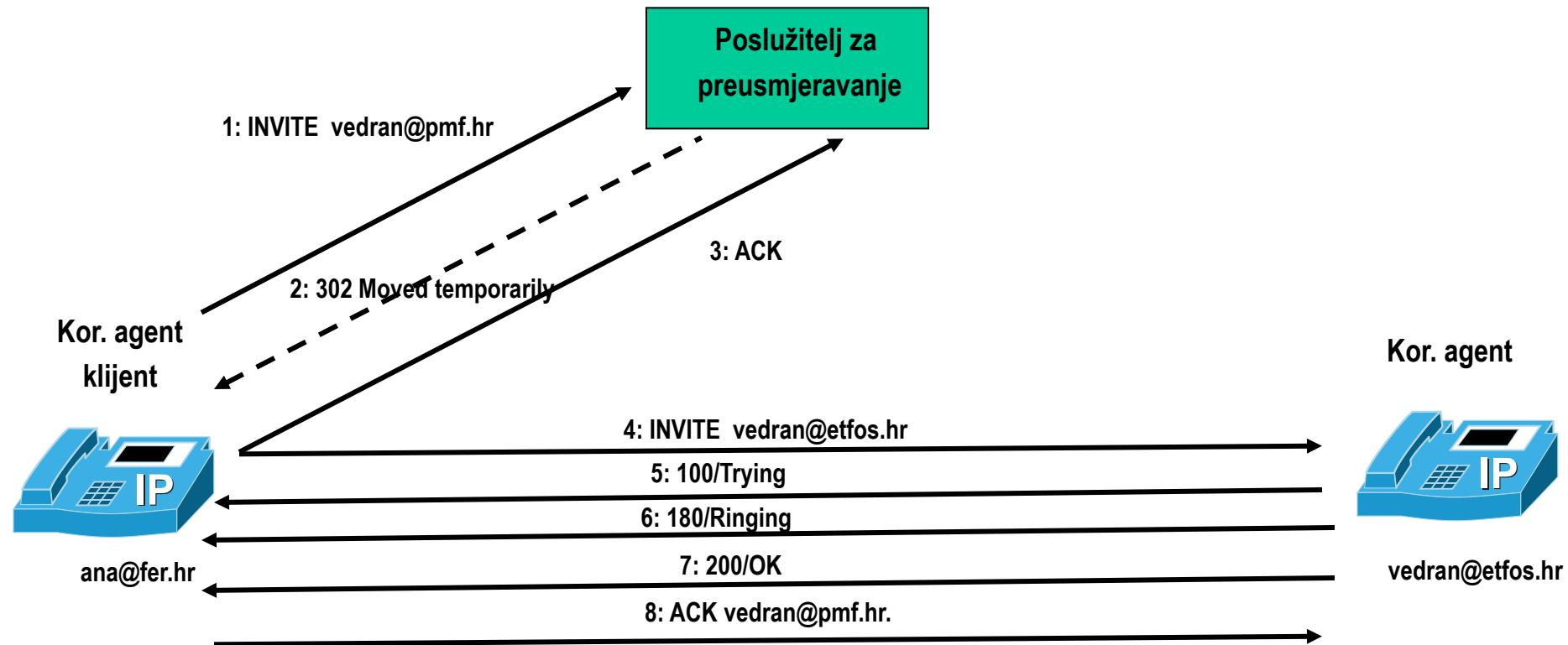
- ◆ Šalju se od strane posredničkog usmjeritelja ili usmjeritelja za preusmjeravanje kao odgovor na zahtjev za uspostavom sjednice
- ◆ Primanjem odgovora klijent može potvrditi i primitak (ACK) te tada šalje novi INVITE zahtjev na dobivenu adresu poslužitelja
 - **300 Multiple choices** – odgovor koji indicira da je zahtjev poslan na više mogućih lokacija
 - **301 Moved permanently** – odgovor sadrži novu adresu pozvanog korisnika (Contact polje zaglavlja)
 - **302 Moved temporarily** – odgovor sadži novu adresu koja trenutno vrijedi za pozvanu stranu (adresu u Contact polju ne treba spremati, vrijedi određeno vrijeme definirano u Expires poljem)

Poruke preusmjeravanja (2)

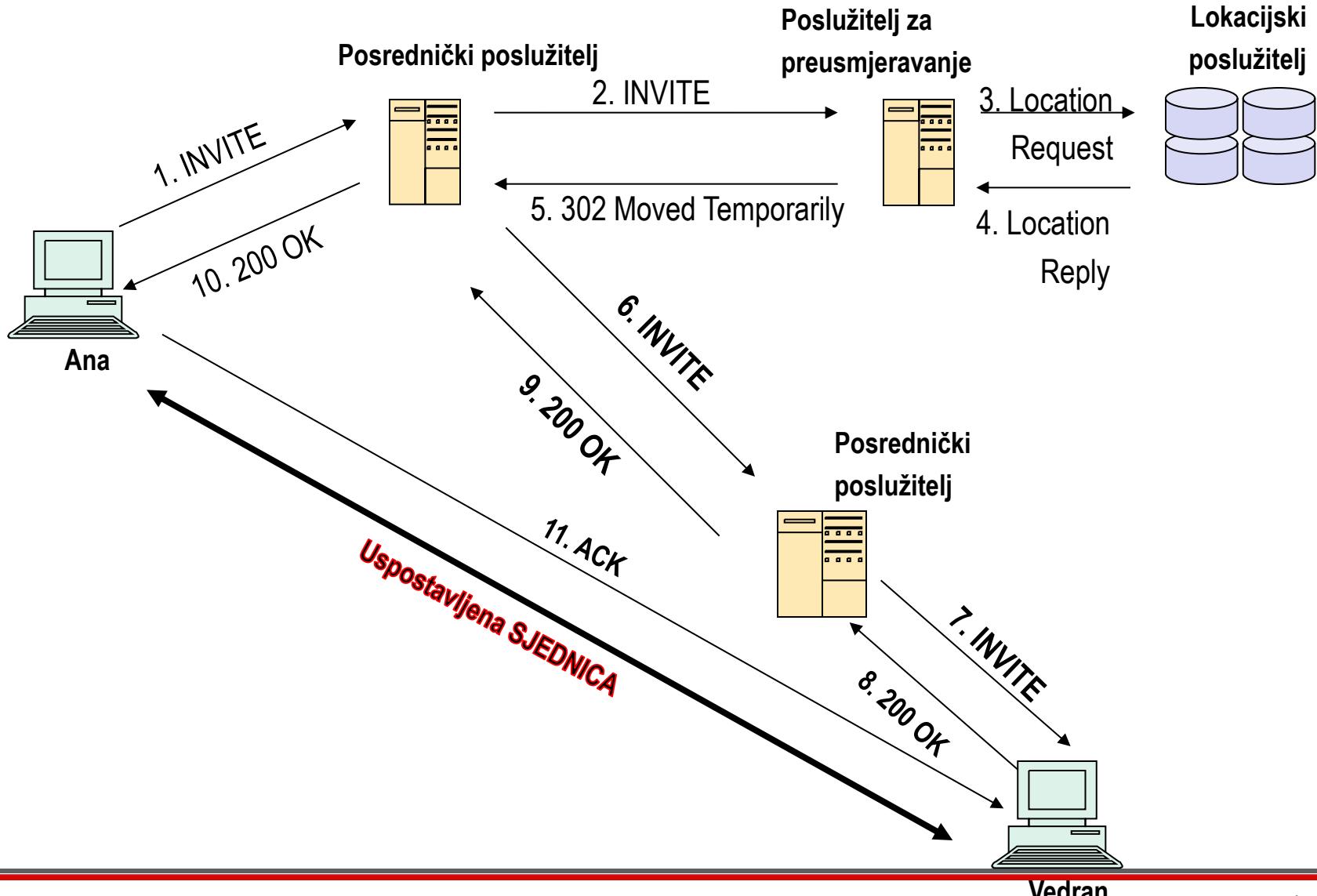
- **305 Use proxy** – odgovor koji daje adresu posredničkog poslužitelja koji je nadležan za poslani zahtjev te pozivajuća strana mora poslati novi zahtjev na novu adresu
- **380 Alternative service** – odgovor vraća adresu poslužitelja koji poslužuje željenu uslugu



Primjer izravne uspostave poziva



Primjer poziva preko posredničkog poslužitelja



Usmjeravanje

- ◆ **Via polje** u SIP zaglavljtu
 - definira put/rutu kojom se zahtjev usmjerava
- ◆ Zaglavljje Via :
 - Inicijator zahtjeva stavlja adresu u via zaglavljtu
 - Poslužitelji provjeravaju via zaglavljta, dodaju vlastitu adresu i prosljeđuju zahtjeve
 - Svaki posrednički poslužitelj dodaje Via zaglavljte sa svojom adresom kako bi se osiguralo da će odgovor ići istom rutom
 - Radi izbjegavanja petlji i neuobičajenih situacija kod usmjeravanja

Primjer zahtjeva

INVITE sip:vedran@pmf.hr SIP/2.0

Via: SIP/2.0/UDP

pmf.hr:5060;branch=z9hG4bKmp17a

Max-Forwards: 70

To: <sip:vedran@pmf.hr>

From: <sip:ana@fer.hr>;tag=42

Call-ID: 10@100.101.102.103

CSeq: 1 INVITE

Subject: Where are you exactly?

Contact: <sip:vedran@pmf.hr>

Content-Type: application/sdp

Content-Length: 159

INVITE sip:vedran@pmf.hr SIP/2.0

Via: SIP/2.0/UDP proxy.pmf.hr:5060;
branch=z9hG4bK83842.1

Via: SIP/2.0/UDP

pmf.hr:5060;branch=z9hG4bKmp17a

Max-Forwards: 69

To: <sip:vedran@pmf.hr>

From: <sip:ana@fer.hr>;tag=42

Call-ID: 10@100.101.102.103

CSeq: 1 INVITE

Contact: <sip:ana@fer.hr>

Content-Type: application/sdp

Content-Length: 159

Primjer zahtjeva

Prosljedjeni zahtjev posredničkog
poslužitelja

Pogreške

◆ Klijent

- Zahtjev ne može biti ispunjen
- Poslužitelj daje odgovor klijentu kako zahjev mora biti preformuliran i ponovo poslan (4xx)
 - Npr. 400 Bad request – nedostaje neko polje (to, from, call-id ili cseq)

◆ Poslužitelj

- 5xx (npr. 500 Server internal error)

◆ Općenite pogreške

- Odgovori koji upućuju da će se pogreška za poslani zahtjev uvijek dogoditi bez obzira na mjesto gdje se zahtjev pošalje te da ga ne treba nigdje i nikada u ovom obliku ponovo poslati
- 6xx (npr. 600 Busy everywhere)

Mehanizmi sigurnosti

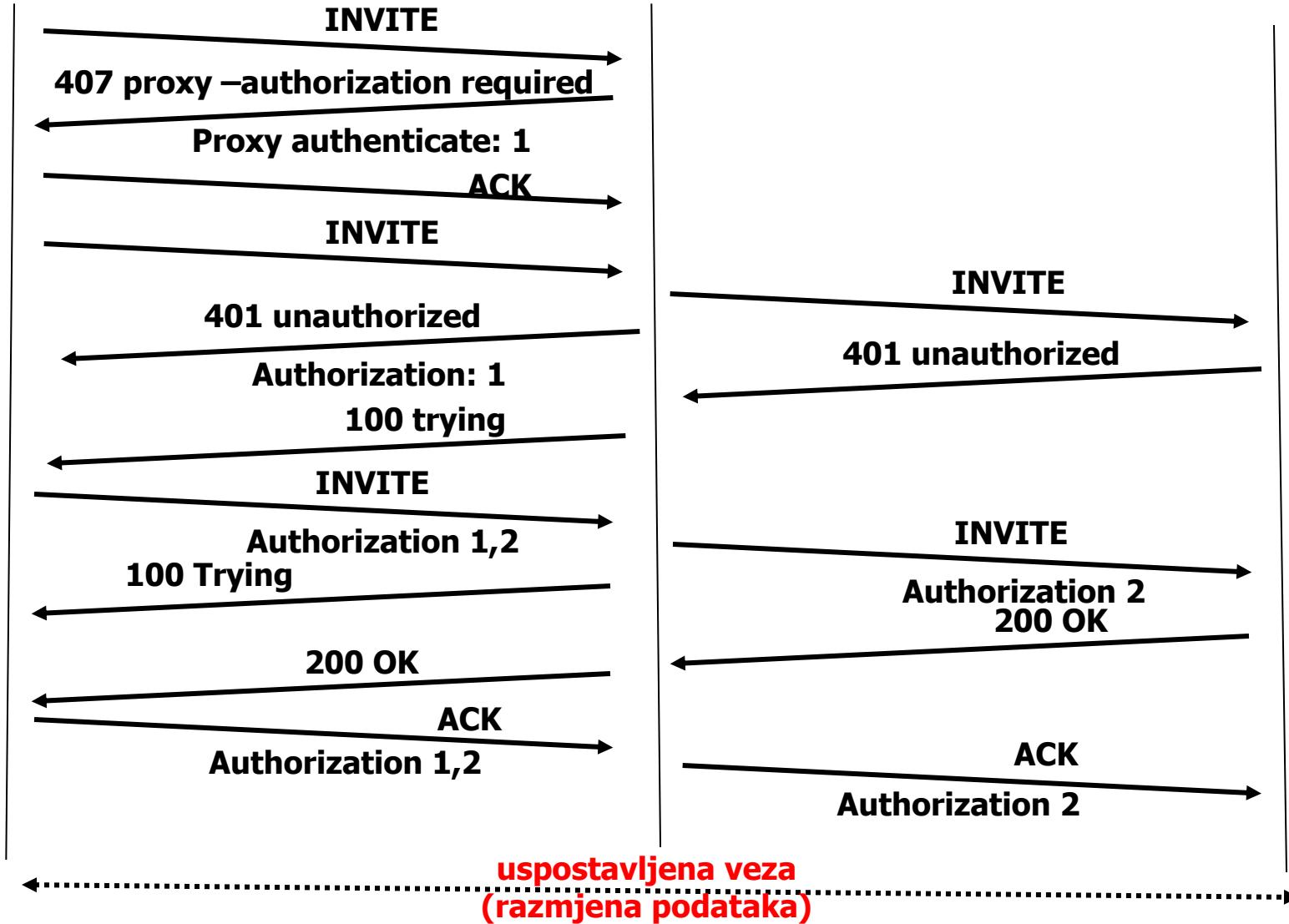
- ◆ SIP podržava mehanizme autentifikacije i šifriranja
 - Šifriranje s kraja na kraj
 - Šifriranje od skoka do skoka
- ◆ Posrednički poslužitelj može zahtjevati autentifikaciju
 - INVITE sa 407 Proxy-Authentication Required
 - Klijent odgovara sa re-INVITE sa Proxy-Authorization zaglavljem
- ◆ SIP korisnik može zahtjevati autentifikaciju:
 - Odgovara sa INVITE sa 401 Unauthorized
 - Klijent šalje re-INVITE sa Authorization zaglavljem

Autentifikacija

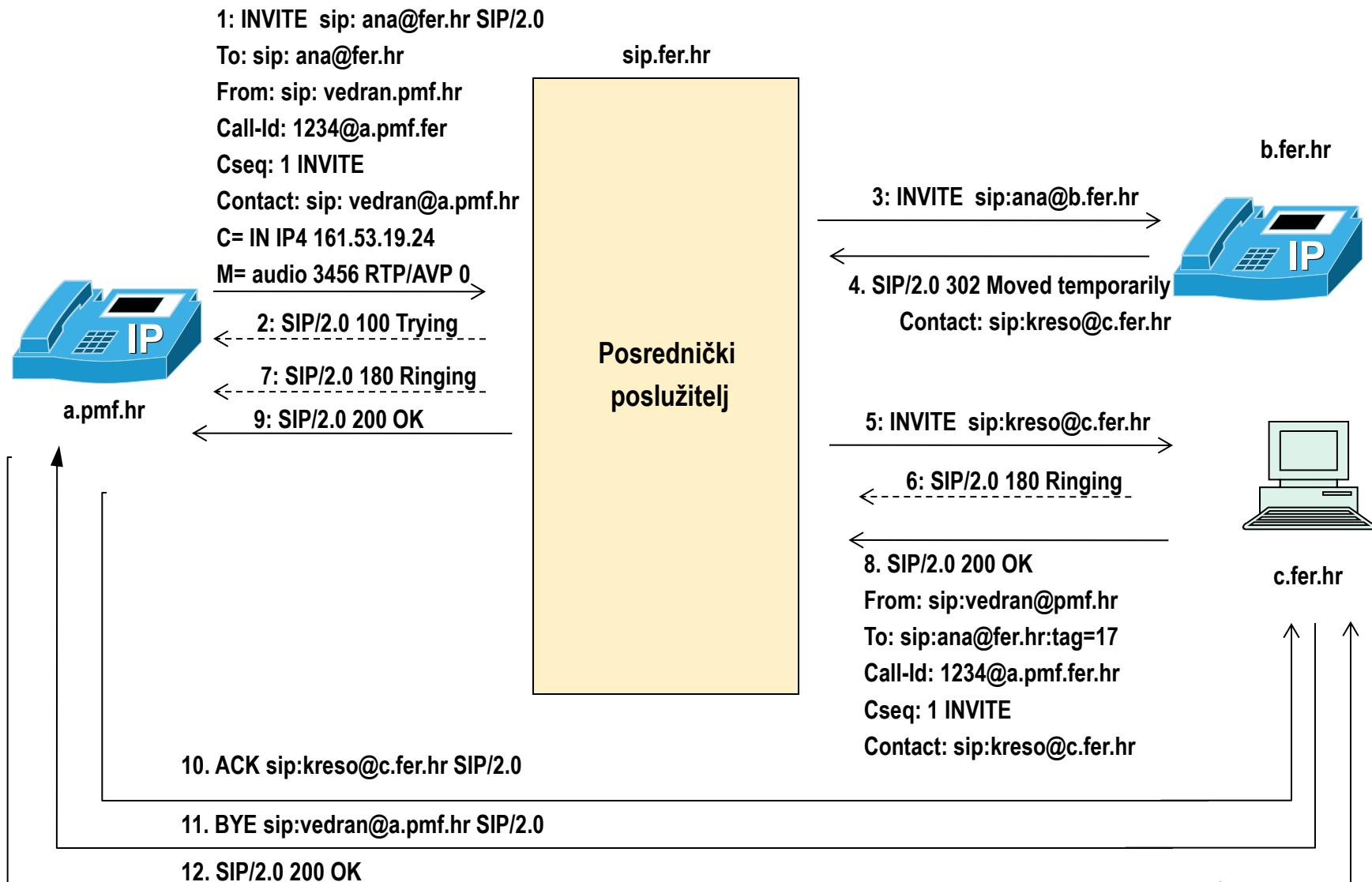
SIP kor. Agent KLIJENT

Posrednički poslužitelj

SIP kor. Agent POSLUŽITELJ



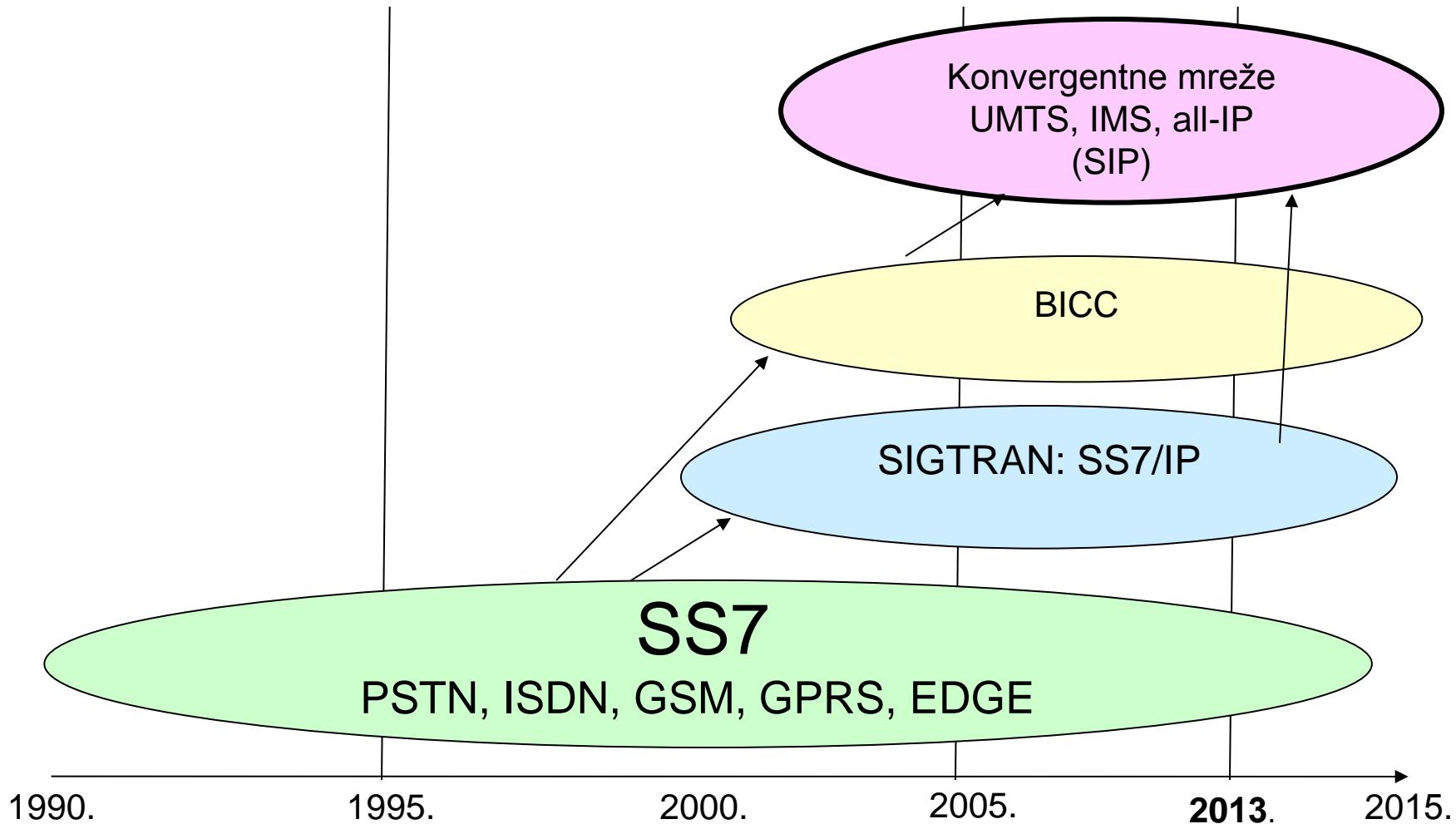
Primjer SIP poziva



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)

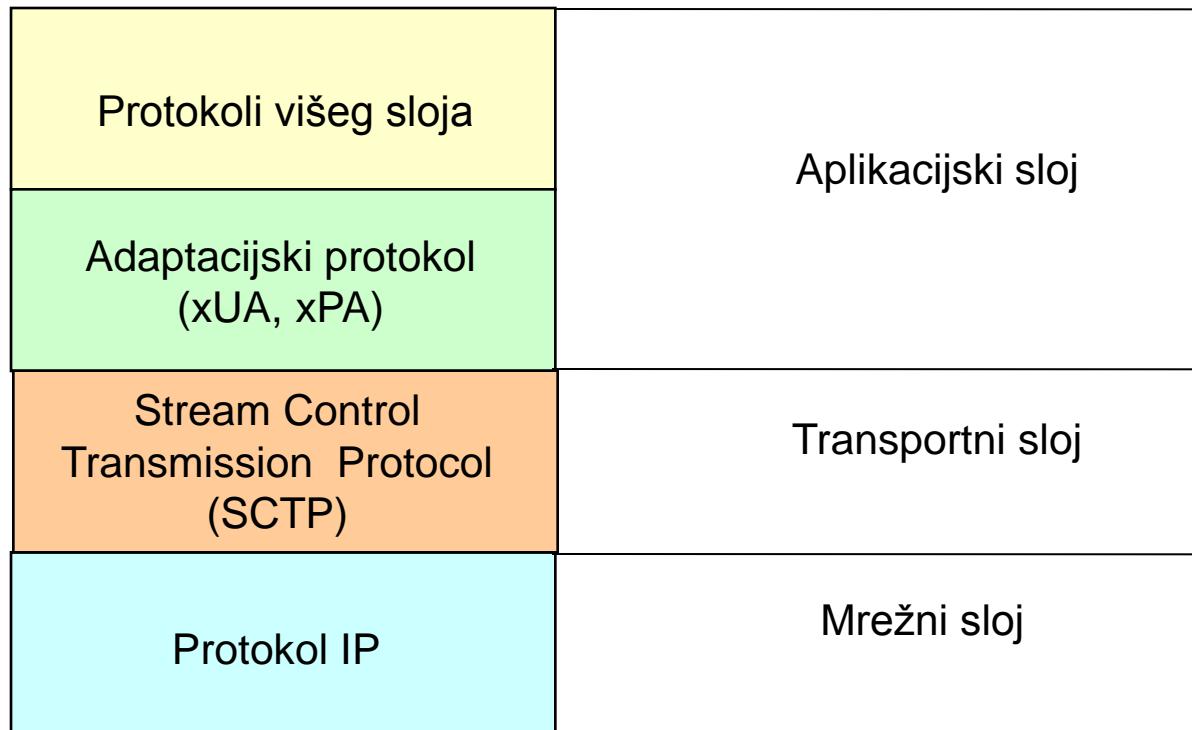
Evolucija signalizacijskih protokola



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

Protokolni složaj



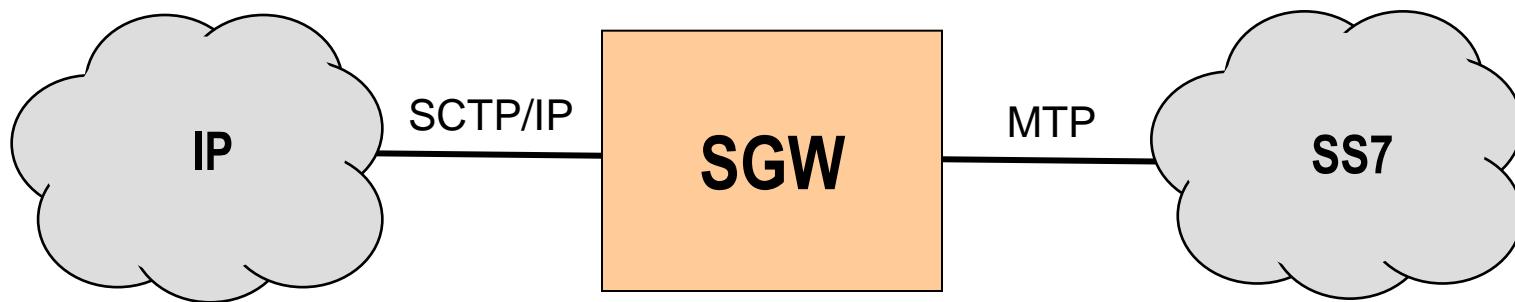
Stream Control Transmission Protocol, SCTP

- ◆ 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 retransmisiije, uz očuvani redoslijed struje okteta i upravljanje transportnom vezom, kontrola zagušenja
- ◆ **Poboljšanja u odnosu na TCP**
 - Podržava veliki broj sjednica (*high fun-out*)
 - Brzo otkrivanje pogrešaka uz kontrolu zagušenja

Konverzija protokola SS7/IP

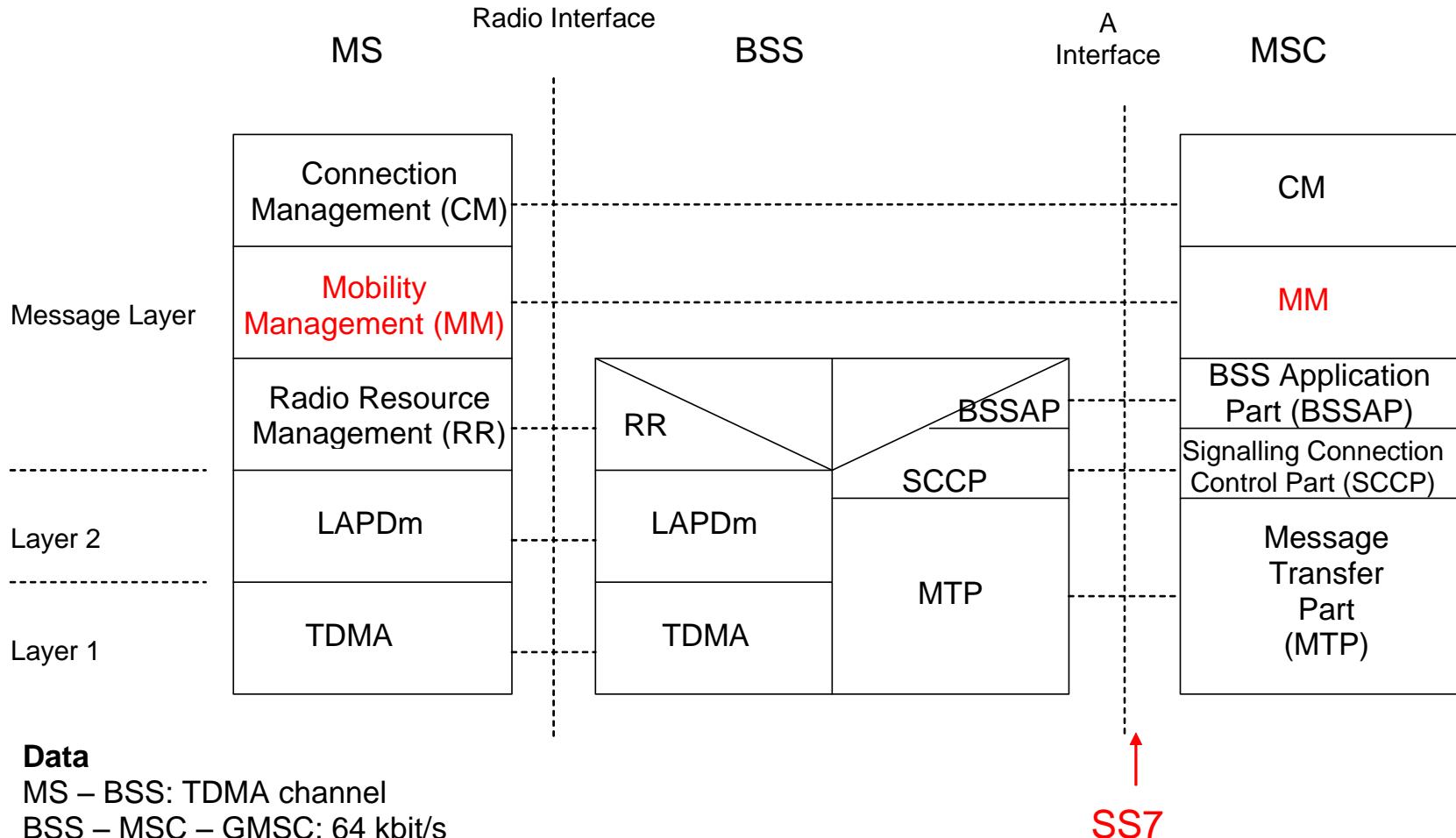
Signaling Gateway, SGW

- 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

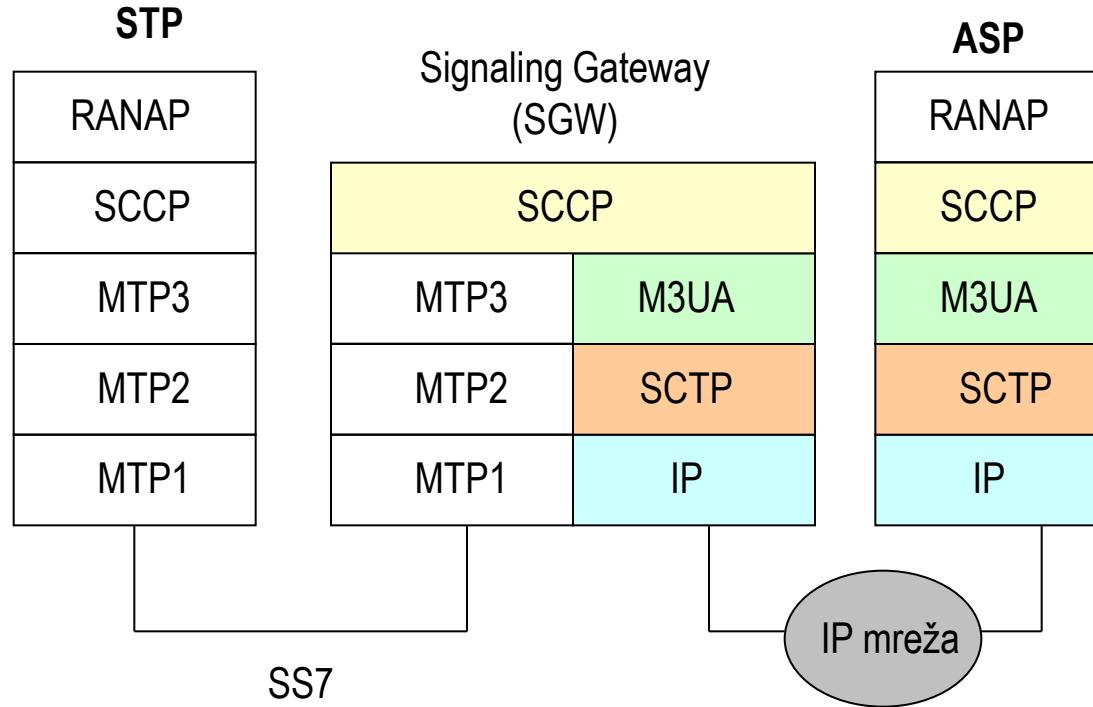


SGW – Signaling Gateway

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

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

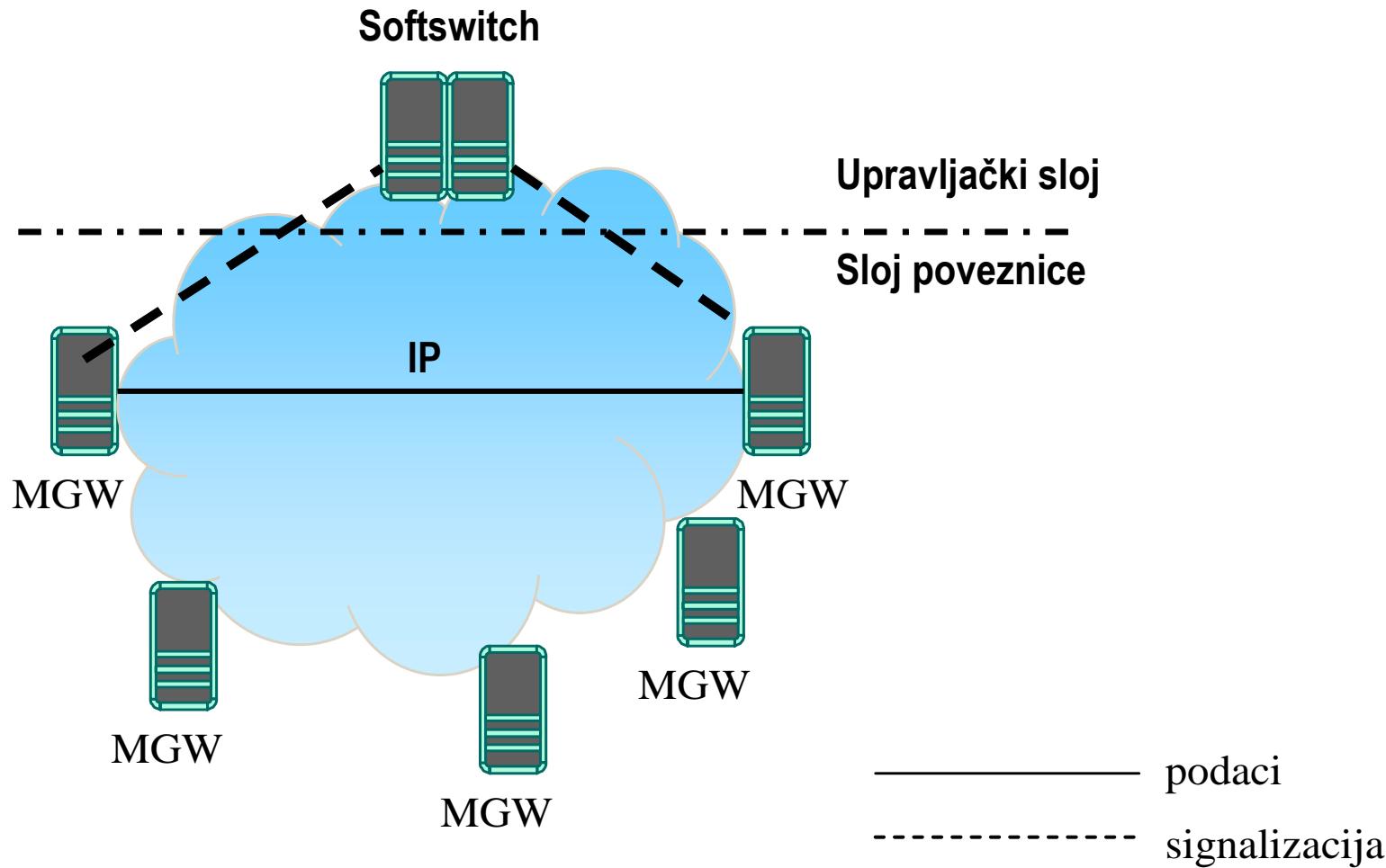
Telephone routing over IP, TRIP

- ◆ RFC 3219
- ◆ Protokol za usmjeravanje telefonskih poziva mrežom IP
- ◆ Neovisan o signalizacijskom protokolu (SIP)
- ◆ Temelji se na protokolu BGPv4
 - Oglašava attribute puta i bira putove do odredišta (korisničkih telefona) primjenom vlastite politike usmjeravanja
 - TRIP peers
 - Koristi TCP

Izvedbeno rješenje SGW-a: Softswitch

- ◆ **Softswitch: djelotvoran prijenos govora preko mreže IP**
- ◆ “Prvi korak” prema All-IP arhitekturi
- ◆ **Razdvajanje upravljanja pozivom od funkcija prijenosa podataka u IP mreži**
 - Upravljački sloj
 - Softswitch čvorovi djeluju kao poslužitelji koji upravljaju pozivom/vezom
 - Signalizacija između mrežnih čvorova (npr. SIP, SIGTRAN)
 - Sloj poveznice
 - Media Gateways (MGW) su upravljeni od strane softswitcha
 - Odgovorni za ostvarivanje veze kroz IP mrežu i za strujanje medija kroz mrežu (npr. RTP)
- ◆ **Usluga: prijenos govora mrežom IP**

Usluga prijenosa govora - Softswitch arhitektura



Prijenos govora mrežom IP

- ◆ Voice over Internet Protocol (IP), VoIP
 - Uvođenje telefonije preko IP mreže
 - IP telefonija, internetska telefonija
- ◆ IP je “problematičan” za pružanje telefonskih usluga
 - protokol IP radi na načelu *best-effort*
 - nema garancije kvalitete usluge
- ◆ Uvođenje signalizacije koja podržava telefoniju u internetskoj mreži
 - Upravljanje sjednicom
- ◆ Prilagodba zvuka
 - digitalizacija, kodiranje, kompresija,
 - paketizacija, prijenos

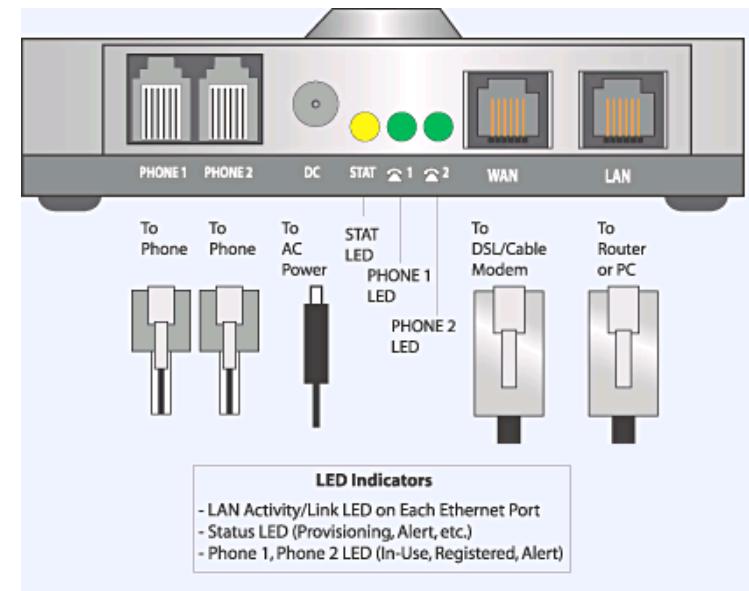


Kvaliteta usluge

- ◆ Zahtjevi:
 - zadovoljavajuća kvaliteta prenesenog govora
 - mala širina pojasa
- ◆ Jeka i poništavanje jeke
- ◆ Kompozitno kašnjenje
 - kašnjenje zbog obrade signala
 - kašnjenje zbog prijenosa računalnom mrežom
- ◆ Varijacija kašnjenja (*jitter*)
- ◆ Primjena različitih audio (manje zahtjevnih) kodeka
- ◆ Tehnike definiranja prioriteta usluga u stvarnom vremenu nad ostalim uslugama

Internetska telefonija

- ◆ U komercijalnoj upotrebi od 2004. godine uvođenjem širokopojasnog pristupa Internetu
 - Pružatelji VoIP usluga (obično ISP-ovi)
- ◆ Pristup VoIP uslugama
 - “Običnim” (PSTN) telefonom preko analognog telefonskog adaptera (ADA) koji se spaja između IP mreže i telefona
 - IP telefonom
 - Softverskim telefonom (PC)



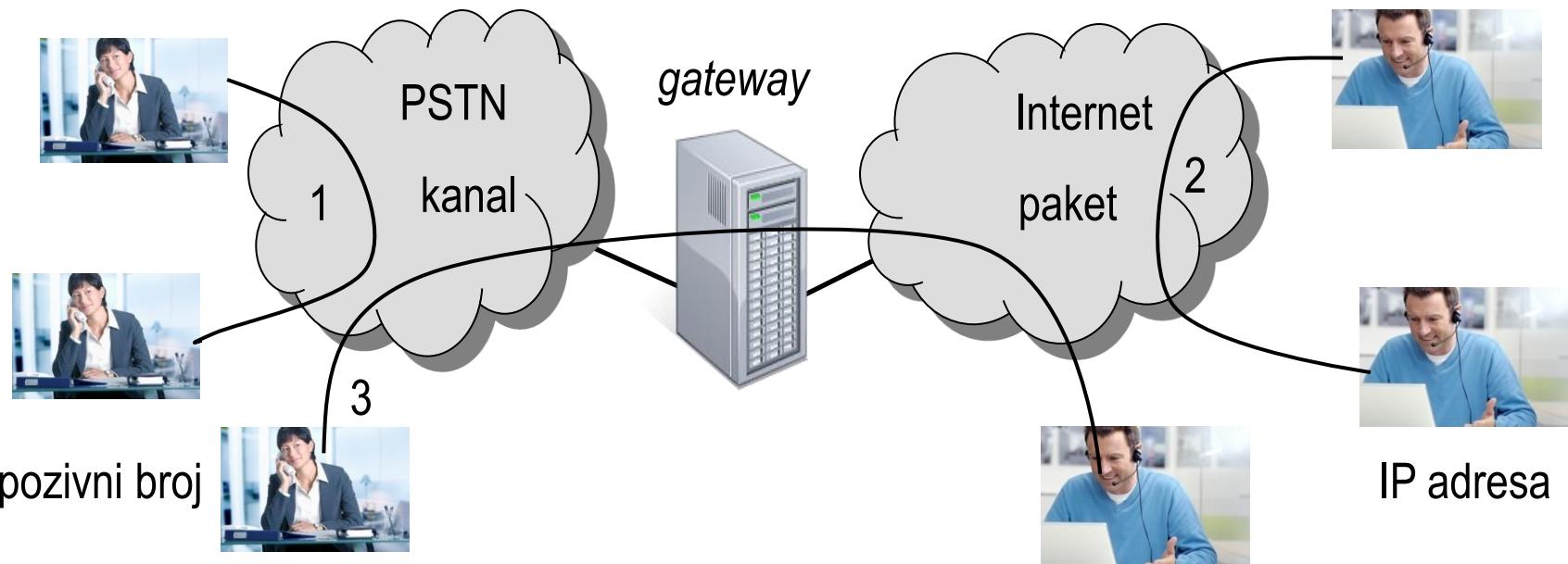
VoIP protokoli

- ◆ Protokoli za ostvarivanje telefonskih usluga u Internetu:
- ◆ Session Initiation Protocol (SIP)
 - uspostavlja, održava i raskida poziv (sjednicu)
 - signalizacijski internetski protokol
- ◆ Real-Time Transport Protocol (RTP)
 - prenosi govor UDP-paketima
- ◆ IP Multimedia Subsystem (IMS)
 - Internetski višemedijski podsustav
 - povezuje internetsku mrežu s pokretnim i fiksnim mrežama

Usporedba VoIP-a i klasične telefonije

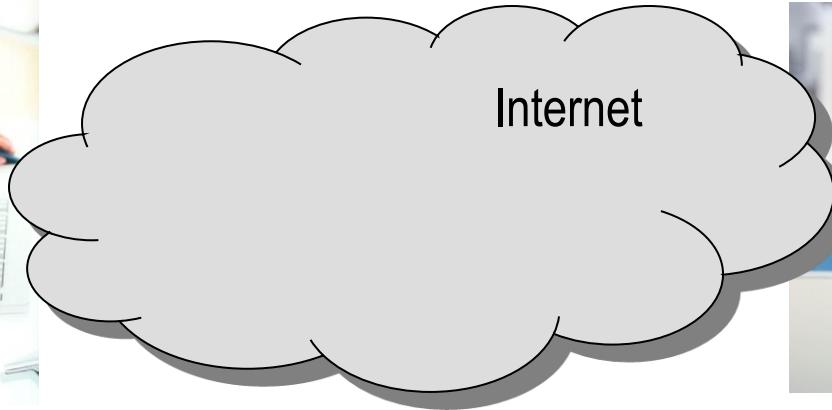
- ◆ VolP
 - koristi IP mrežu
 - resursi se ne rezerviraju unaprijed
 - bolje iskorištenje prijenosnog kapaciteta - moguće je npr. primjenom tehnike istiskivanja pauza iz govora, smanjiti potrebni prijenosni kapacitet
- ◆ Klasična telefonija
 - koristi kanalski komutiranu telefonsku mrežu
 - resursi se rezerviraju unaprijed
 - kapacitet veze u pravilu se ne mijenja tijekom trajanja poziva (obično 64kbit/s)

Telefonske usluge



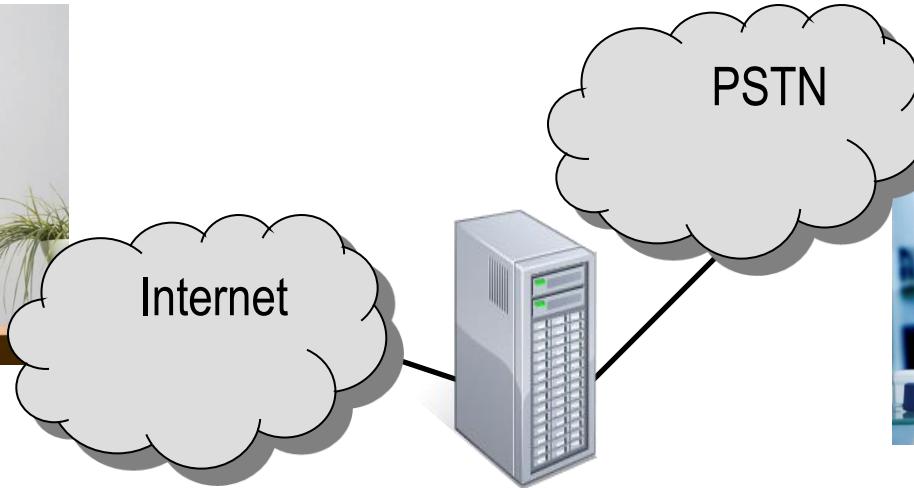
- ◆ 1 – komunikacija korisnika u PSTN mreži (pozivni broj, klasična telefonija)
- ◆ 2 – komunikacija korisnika u internetskoj mreži (VoIP komunikacija, IP adresa)
- ◆ 3 – komunikacija korisnika u PSTN i korisnika u internetskoj mreži (preko gatewaya: kanal – paket, pozivni broj – IP adresa)

Primjer 1: VoIP komunikacija PC - PC



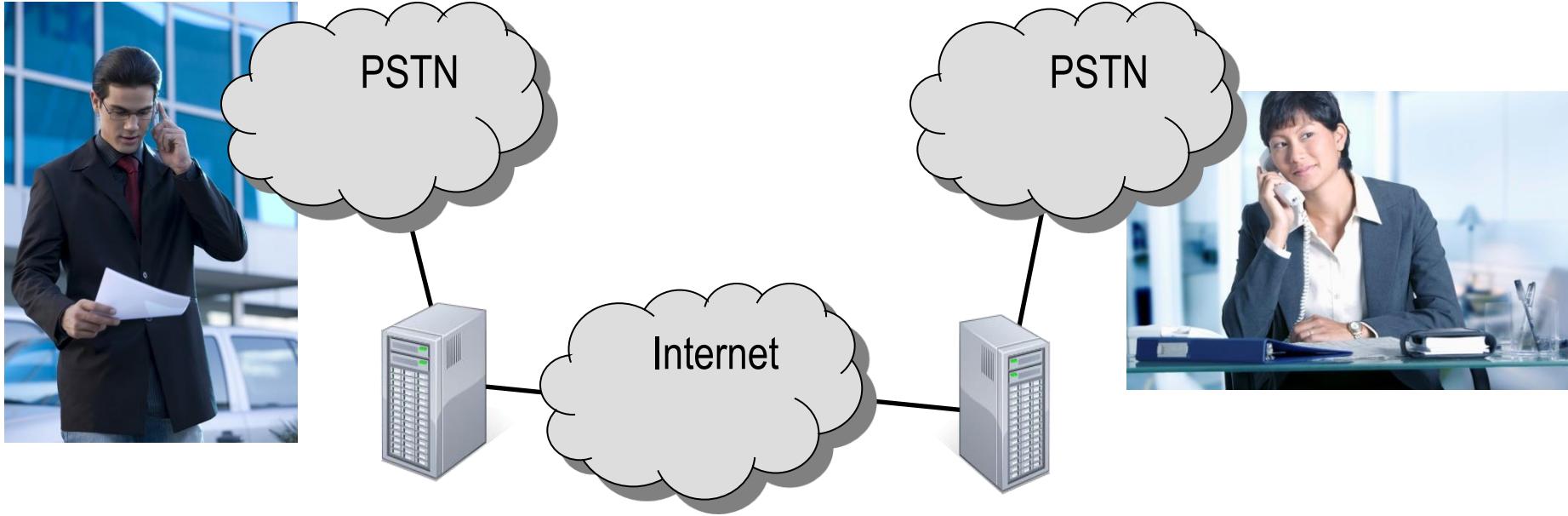
- ◆ Zahtjevi:
 - osobno računalo sa zvučnom karticom i mikrofonom
 - programska podrška (Skype, Netmeeting, Phone Dialer, HearMe,...)
- ◆ Moguće je kombinirati telefonski i video-poziv (kamera)

Primjer 2: VoIP komunikacija PC - telefon



- ◆ Zahtjevi:
 - gateway - uređaj koji "prevodi" signale iz IP mreže u PSTN i obratno
- ◆ Klijenti:
 - Klasični telefoni (POTS – Plain Old Telephone Service), pokretni telefoni, IP telefoni
 - osobno računalo (softverski telefon)
- ◆ Troškovi lokalnih impulsa - do najbližeg davaljca usluga (IP/PSTN)

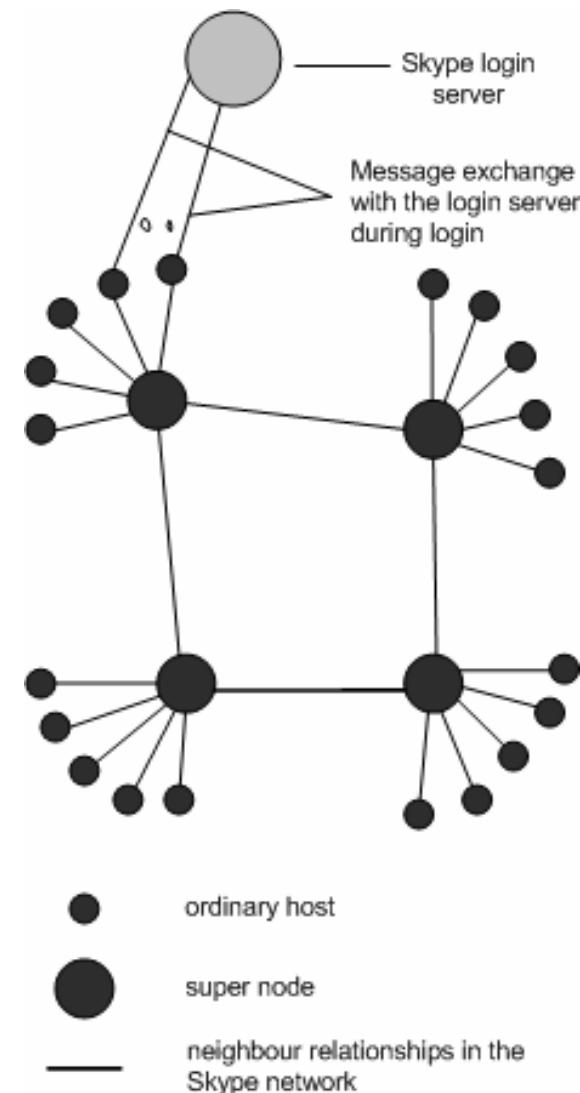
Primjer 3: VoIP komunikacija telefon – telefon



- ◆ Svojstva:
 - veza uspostavljena i odvija se preko protokola IP - IP telefonija
 - troškovi lokalnih impulsa
- ◆ Zahtjevi:
 - dva gatewaya

Primjer internetske telefonije: Skype

- ◆ Programska podrška koja omogućava telefonske pozive, komunikaciju porukama, prijenos podataka te video-konferenciju putem internetske mreže (PC – PC, PC - telefon)
- ◆ Arhitektura: sustav s ravnopravnim sudionicima u komunikaciji (peer-to-peer, P2P VoIP)
 - Tri vrste čvorova: poslužitelj za prijavu (login server), super-čvor (super node) i običan čvor (ordinary node)
 - Svaki čvor stvara svoju listu čvorova s kojima komunicira
 - Super-čvor usmjerava promet u mreži
 - Svaki čvor može postati super-čvor ukoliko ima **javnu IP adresu**, dobru vezu bez sigurnosnih ograničenja i dobre procesorske karakteristike



Primjer internetske telefonije: Asterisk

- ◆ Programska podrška za ostvarivanje telefonskih poziva, komunikacije porukama, prijenos podataka te video-konferencije putem internetske i fiksne mreže (PC – PC, PC – telefon, telefon - telefon)
- ◆ Omogućava povezivanje računala s javnom fiksnom (nepokretnom) mrežom (PSTN, telefonskom linijom) pomoći PCI kartice
 - računalo predstavlja “klasični” telefon izravno spojen na PSTN mrežu
 - Asterisk PBX (private Branch eXchange)

Sljedeća dva predavanja

- ◆ Komunikacijski protokoli u pokretnoj mreži
 - Komunikacijski protokoli i procedure za komunikaciju govorom, podacima i prijenos podataka
 - Tehnologije: GSM, GPRS, EDGE, UMTS, HSPA
 - Širokopojani pokretni pristup Internetu
- ◆ Protokoli u konvergentnoj mreži (temelji se na mreži IP)
 - ◆ Pokretna mreža (PLMN, 2G RAN, 3G RAN)
 - ◆ Fiksna mreža (PSTN, ADSL, žični BAN)
 - ◆ WLAN (WiMAX/WiFi)
 - ◆ IMS (IP Multimedia System)
 - ◆ Sve-IP koncept mreže (all-IP)



Diplomski studij

Informacijska i komunikacijska
tehnologija:

Telekomunikacije i informatika

Obradba informacija

Ak.g. 2014./2015.

Komunikacijski protokoli

10.

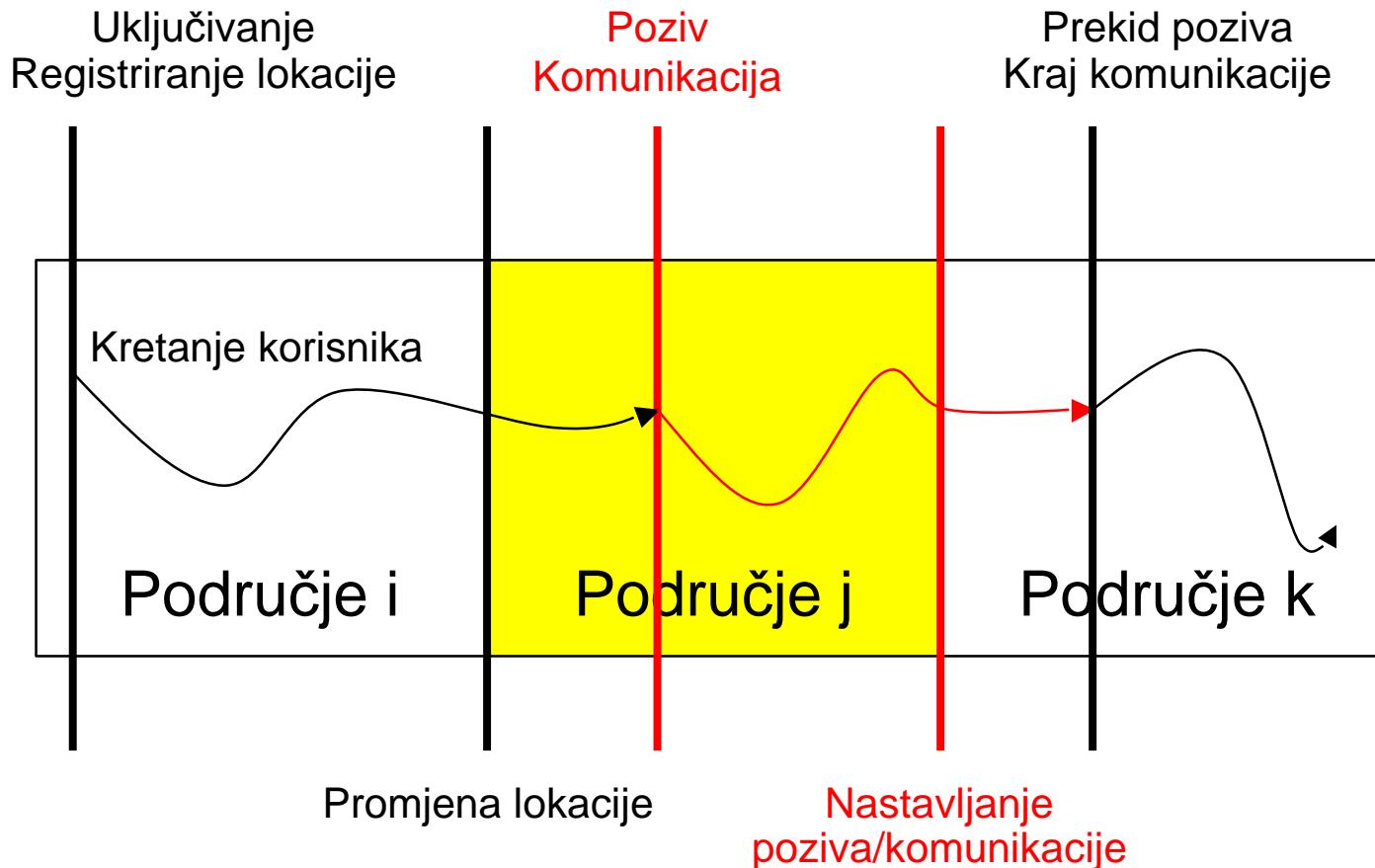
Podatkovna komunikacija i protokoli u
pokretnoj mreži

18.12.14.

Sadržaj

- ◆ Evolucija sustava pokretnih telekomunikacija
- ◆ Globalni sustav pokretnih komunikacija – GSM
- ◆ Opće paketske radijske usluge – GPRS
 - Zapis o kretanju
 - Zapis o paketskom protokolu
 - Podatak o fizikalnom kanalu
 - Protokoli SNDCP i GTP
 - Postupak pristupa Internetu
- ◆ Sustav poboljšanih brzina prijenosa podataka – EDGE
- ◆ Komunikacija porukama

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*)

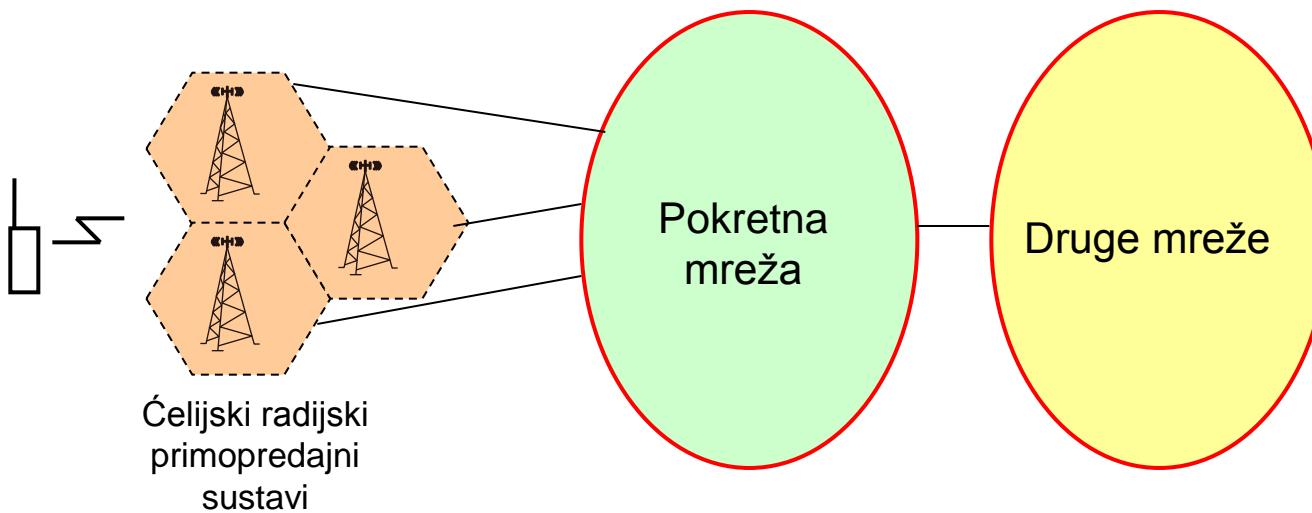
- ◆ Prebacivanje sjednice sa jednog uređaja na drugi na zahtjev korisnika
- ◆ Inteligencija mreže: određeni događaj pokreće prebacivanje poziva na temelju definiranih pravila od strane korisnika

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

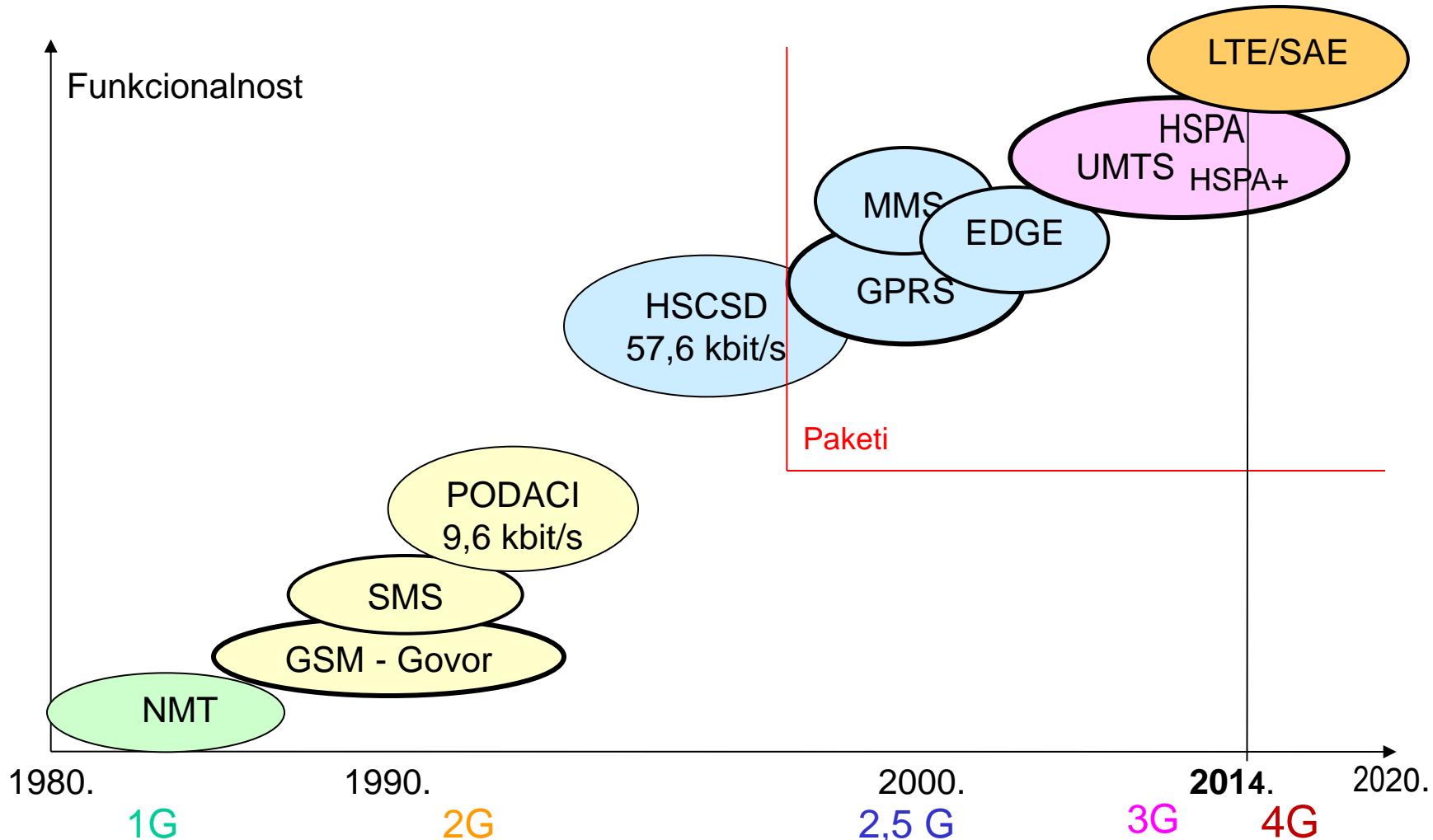
Opća arhitektura pokretne mreže

- ◆ Čelijski radijski primopredajni sustav
- ◆ Čvorovi za povezivanje unutar pokretne mreže i s drugim mrežama



- ◆ 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**
- ◆ **Treća generacija 3G**

Evolucija mreže





Diplomski studij

Informacijska i komunikacijska
tehnologija:

Telekomunikacije i informatika

Obradba informacija

Ak.g. 2014./2015.

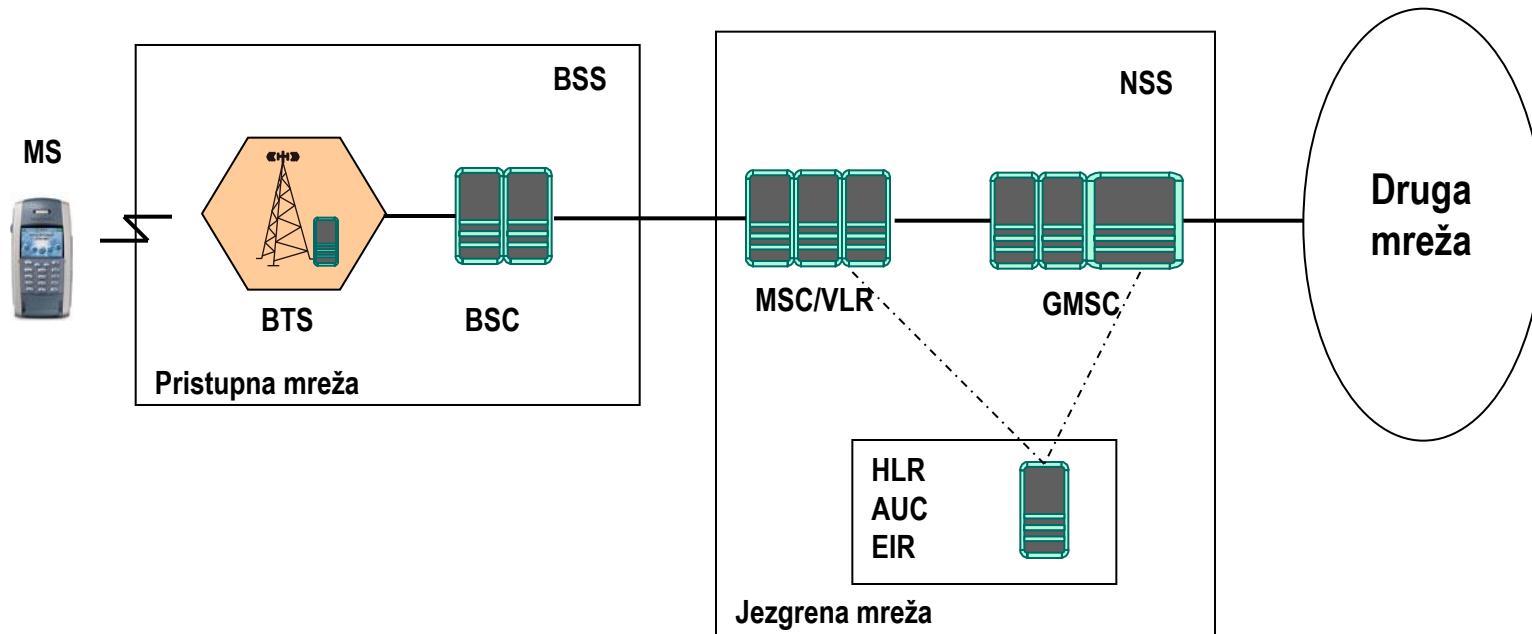
Mreža GSM

Global System for Mobile communications, GSM

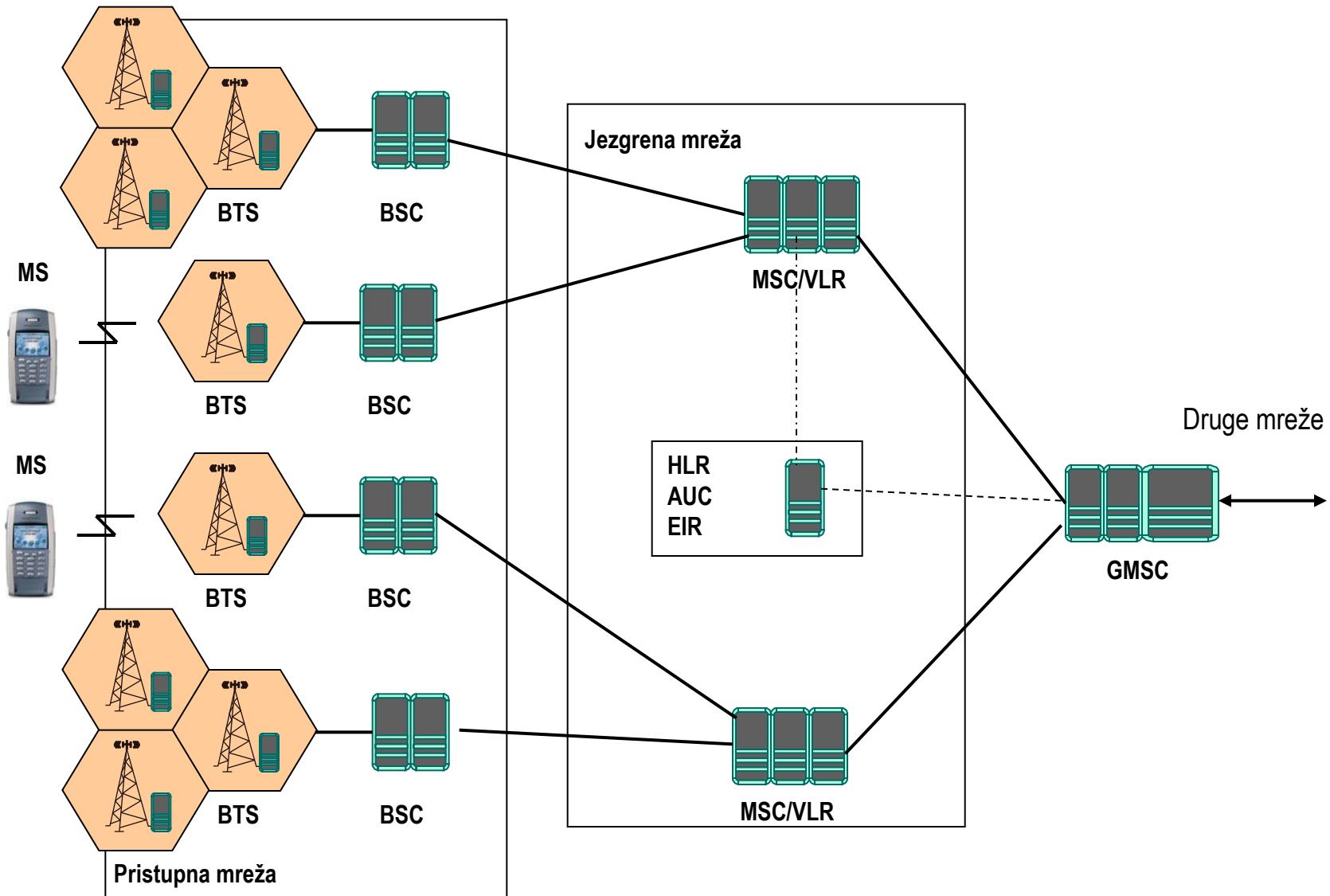
- ◆ **Mrežni sustav** (*Network System, NSS*)
 - Prilazni pokretni komutacijski centar (*Gateway Mobile Switching Centre, GMSC*)
 - Pokretni komutacijski centar (*Mobile Switching Centre, MSC*)
- ◆ **Sustav baznih postaja** (*Base Station System, BSS*)
 - Upravljač bazne postaje (*Base Station Controller,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

- ◆ 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
- ◆ Registr identifikacije opreme (*Equipment Identification Register, EIR*)
 - Provjera vlasnika pokretne postaje

Arhitektura GSM mreže (2)



GSM mreža



Domaći lokacijski registar

(HLR - *Home Location Register*)

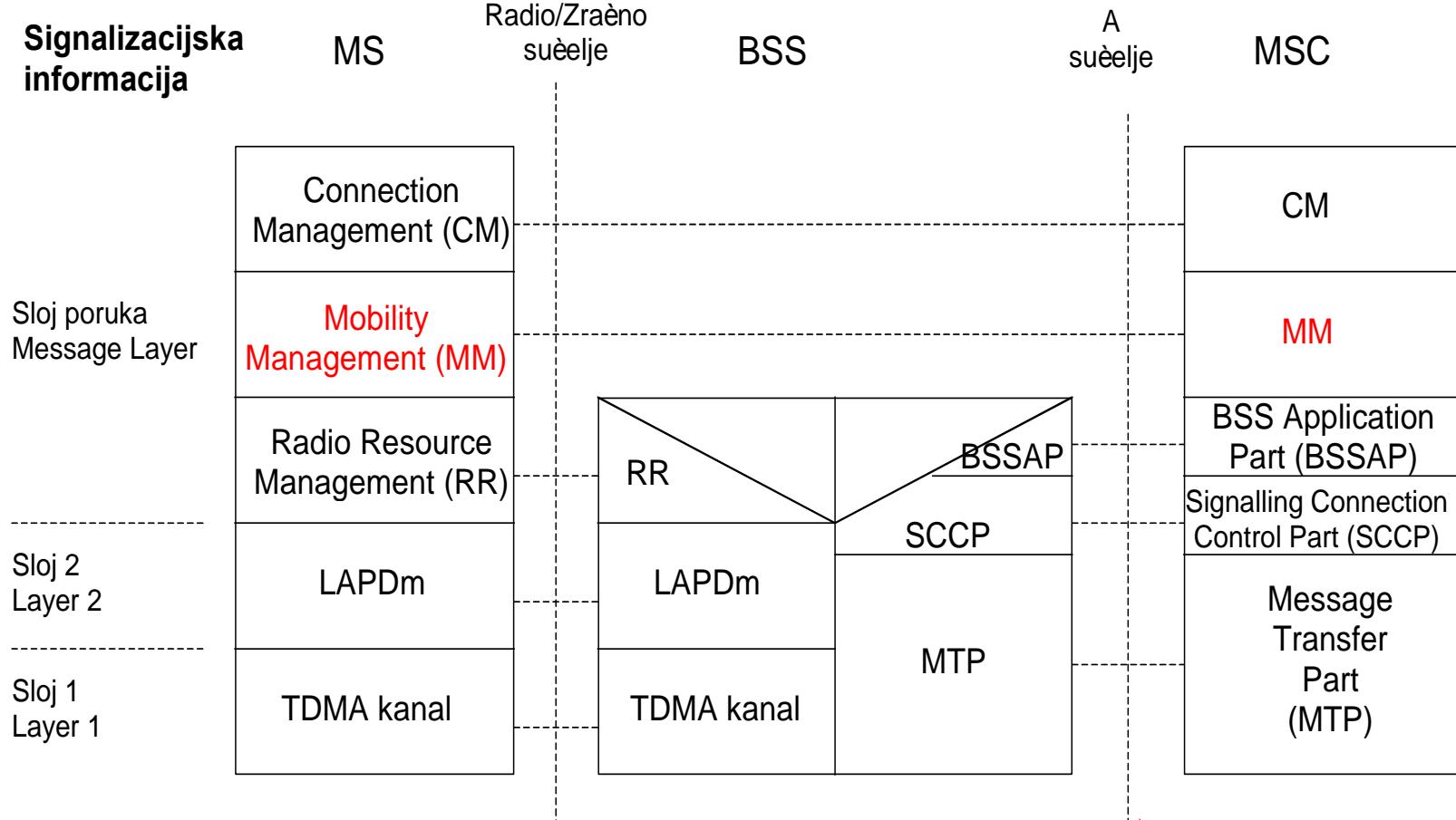
- ◆ Trajni zapis pretplatničkih podataka vlastitih pretplatnika
- ◆ Trenutna lokacija vlastitih pretplatnika

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



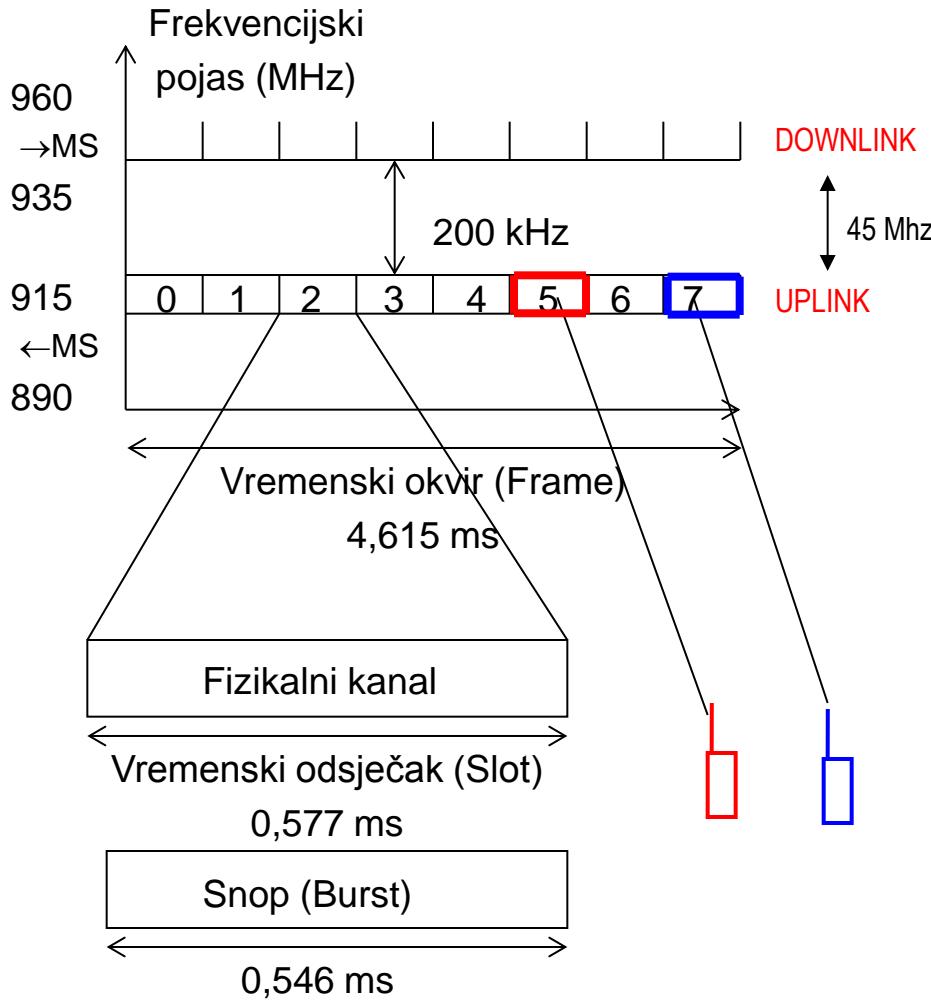
Korisnièka informacija

MS – BSS: TDMA kanal

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

Sustav signalizacije zajednièkim kanalom
SS7

Fizikalni kanal (sloj 1)



Fizikalni kanali:

$$124 \text{ frekvenčijskih} \times 8 \text{ vremenskih} = 992$$

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

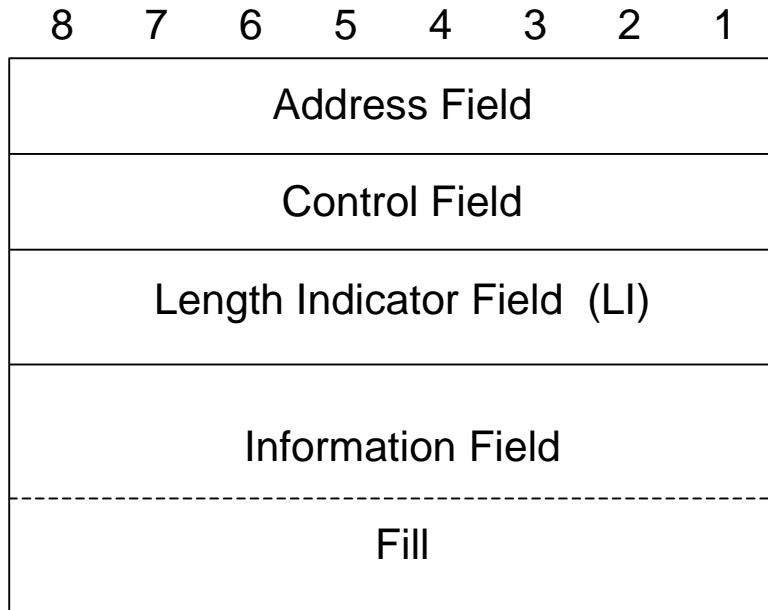
Modulacija

GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying Modulation)

Prometni i kontrolni kanali

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

Protokol sloja veze (sloj 2)



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

LAPDm (*Link Access Protocol D mobile*)

- izveden 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

Protokoli sloja poruka (sloj 3)

- ◆ **BSS aplikacijski dio** (*BSSAP - BSS Application Part*): aplikacijski dio u sustavu signalizacije br. 7 za GSM
- ◆ **Kontrolni dio za signalizacijsku vezu** (*SCCP - Signaling Connection Control Part*) i **dio za prijenos poruka** (*MTP - Message Transfer Part*)
 - standardni dio sustava signalizacije br. 7
- ◆ **BSS procesi**
 - *BSS Management Application Process (BSSMAP)*: procedure između BSS i MSC koje zahtijevaju interpretaciju/obradu informacija vezanih uz poziv te upravljanje radio resursima
 - *Direct Transfer Application Process (DTAP)*: transparentni prijenos informacija između MS i MSC za upravljanje pokretljivošću i vezom



Diplomski studij

Informacijska i komunikacijska
tehnologija:

Telekomunikacije i informatika

Obradba informacija

Ak.g. 2014./2015.

Mreža GPRS

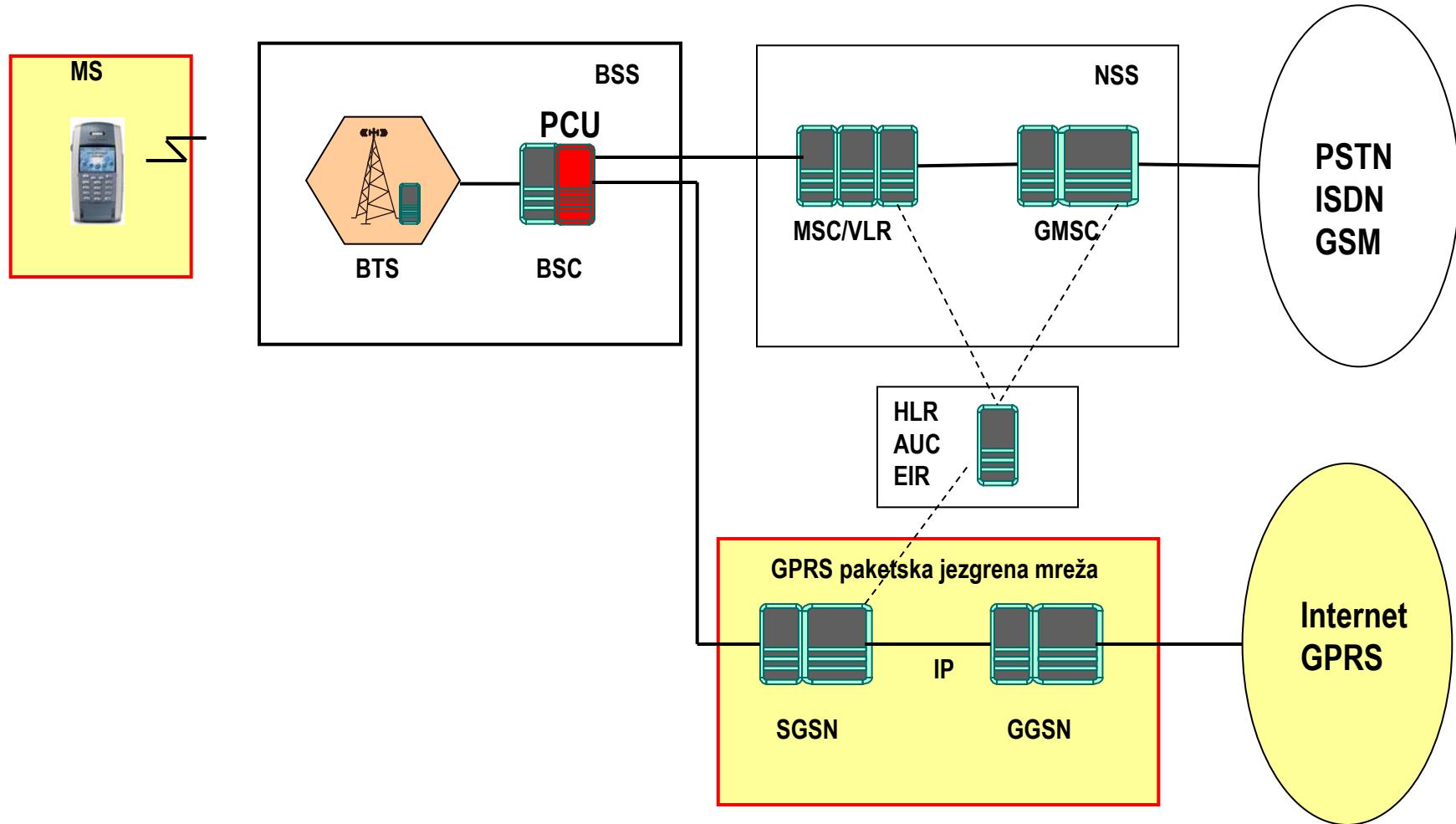
General Packet Radio Service, GPRS

- ◆ 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

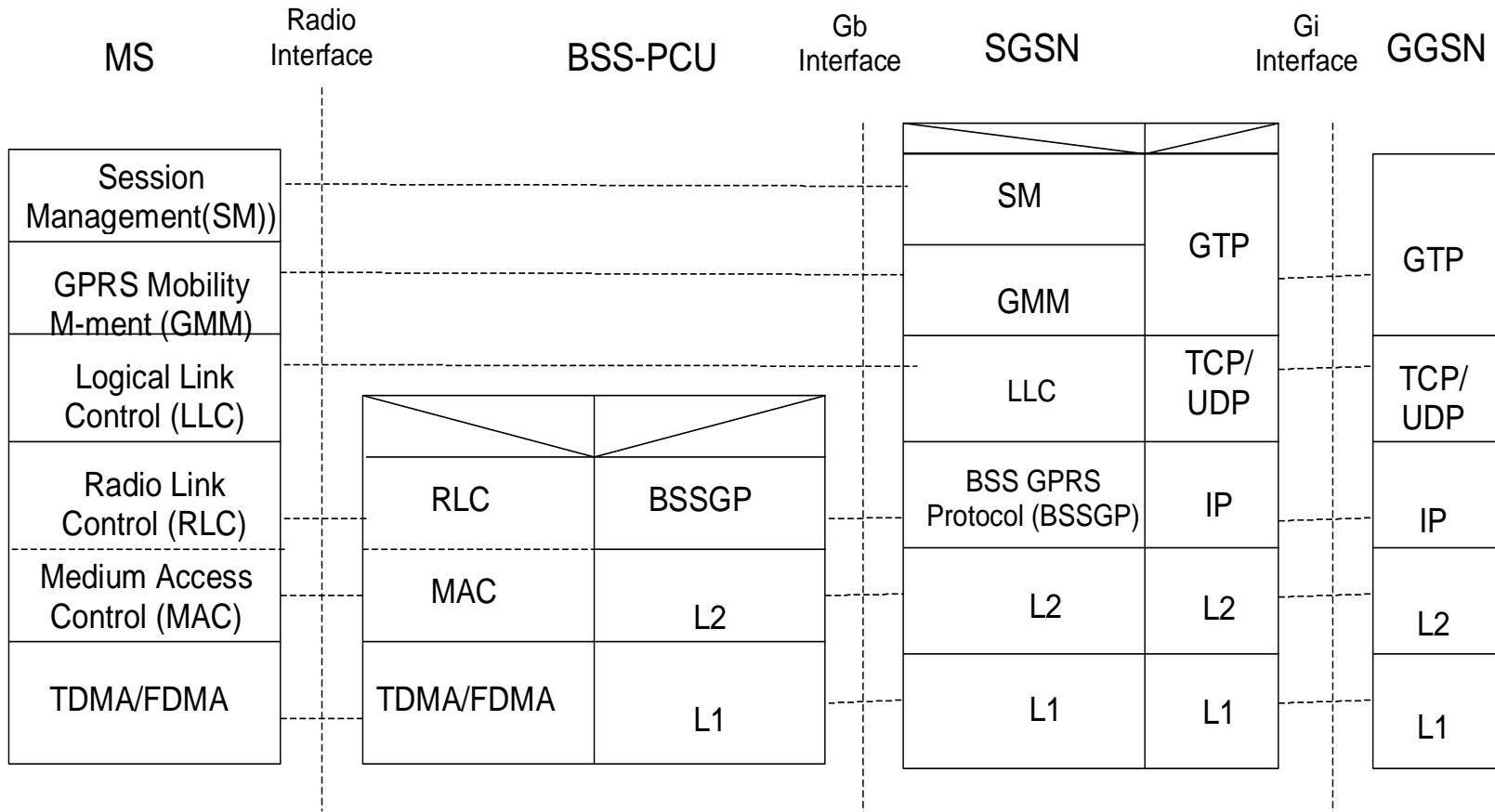


- ◆ Usmjeravanje paketa iz/u područje usmjeravanja (RA) od/prema MS
- ◆ Kriptografska zaštita i provjera autentičnosti
- ◆ Upravljanje sjednicom
- ◆ Upravljanje pokretljivošću
- ◆ Upravljanje logičkom vezom prema MS
- ◆ Prikupljanje podataka za naplatu
- ◆ Suradnja s HLR, MSC, BSC, GMSC i GGSN

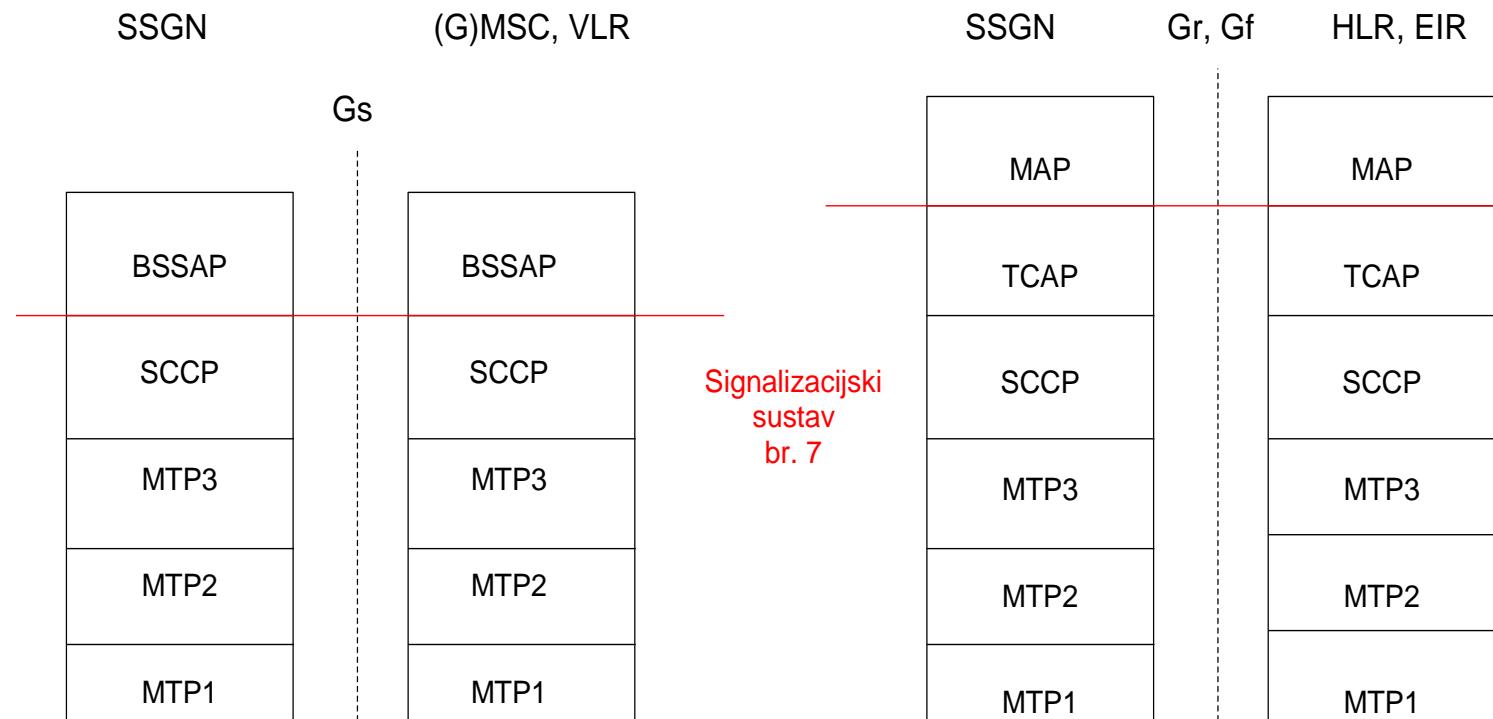
Prilazni GPRS potporni čvor (GGSN)

- ◆ 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)



MTP Message Transfer Part
SCCP Signalling Connection Control Part
BSSAP BSS Application part

TCAP Transaction Capabilty Application Part
MAP Mobile Application Part

Paketska komunikacija u pokretnoj mreži

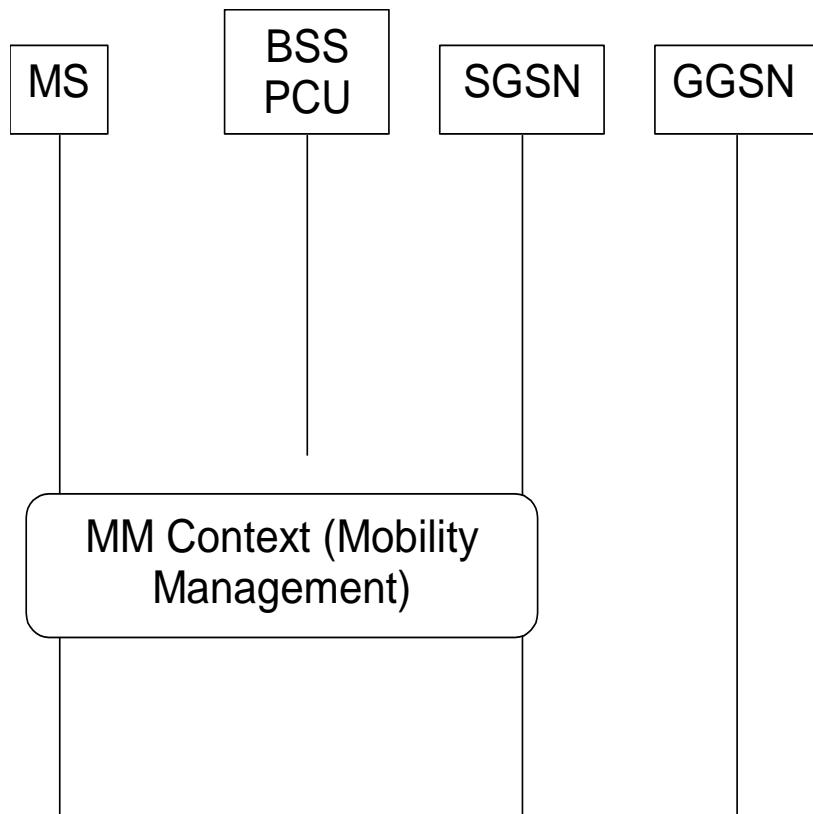
- ◆ Kanalska komunikacija: upravljanje vezom
 - GSM: Connection Management
- ◆ Paketska komunikacija: **upravljanje sjednicom**
 - GPRS: Session Management
- ◆ Pokretljivost: **zapis o kretanju**
 - GPRS: Mobility Management Context
- ◆ Protokoli: **zapis o paketskom protokolu**
(karakteristikama veze)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

Zapis o kretanju MS-a: MM Context

Stanje MS: Idle, Standby, Ready

- ◆ lociranje i praćenje kretanja MS-a
- ◆ ažuriranje područja usmjerenja u stanju Standby
- ◆ ažuriranje ćelije u stanju Ready

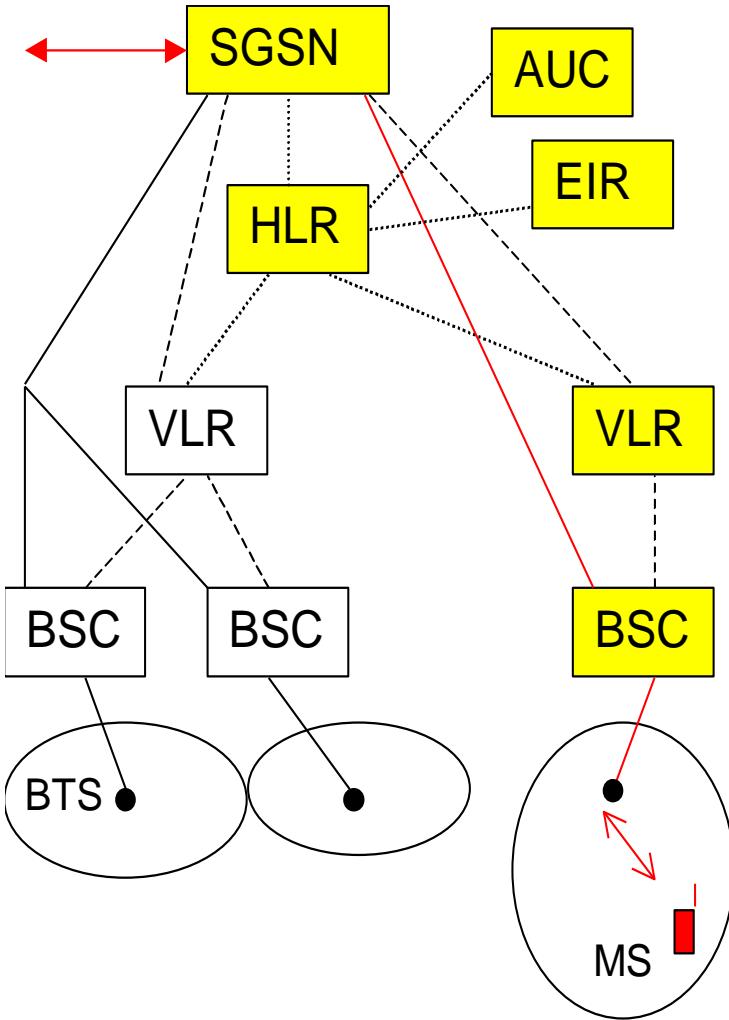
Zapis o kretanju



MM Context

- ◆ zapis o kretanju MS (MS, SGSN)

Uključivanje MS-a



Uključivanje (Attachment)

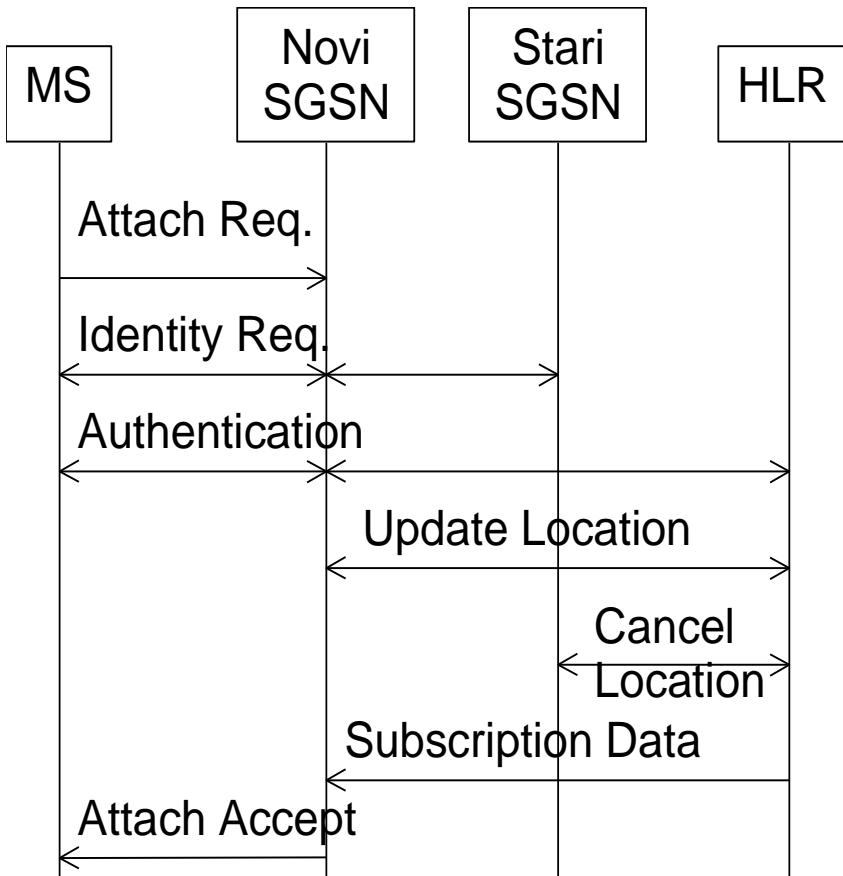
MS šalje zahtjev SGSN-u

- ◆ 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

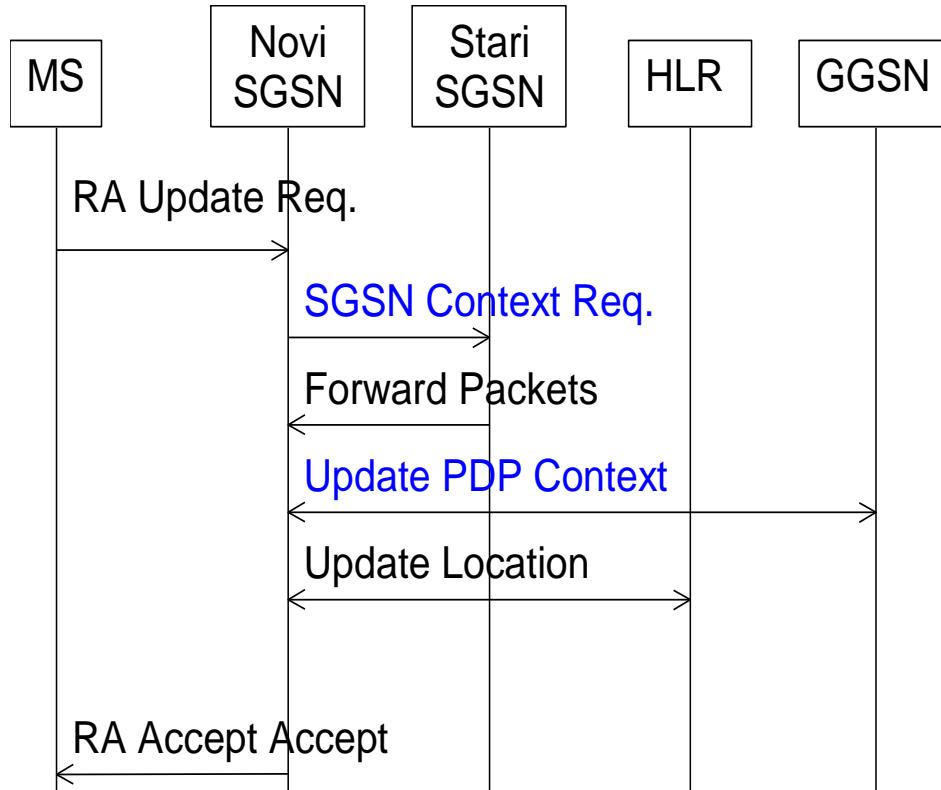


MS OFF -> ON

MS stanje Idle -> Ready

Stvara se MM Context u MS-u i
SGSN-u (zapis o kretanju)

Ažuriranje lokacije kod promjene SGSN-a



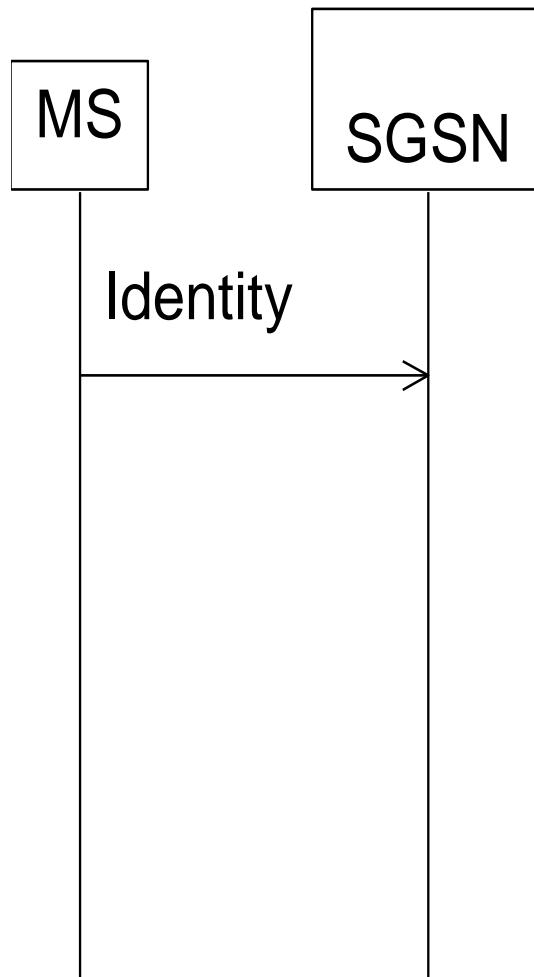
SGSN Context sadrži:

MM Context
PDP Context

PDP Packet Data Protocol

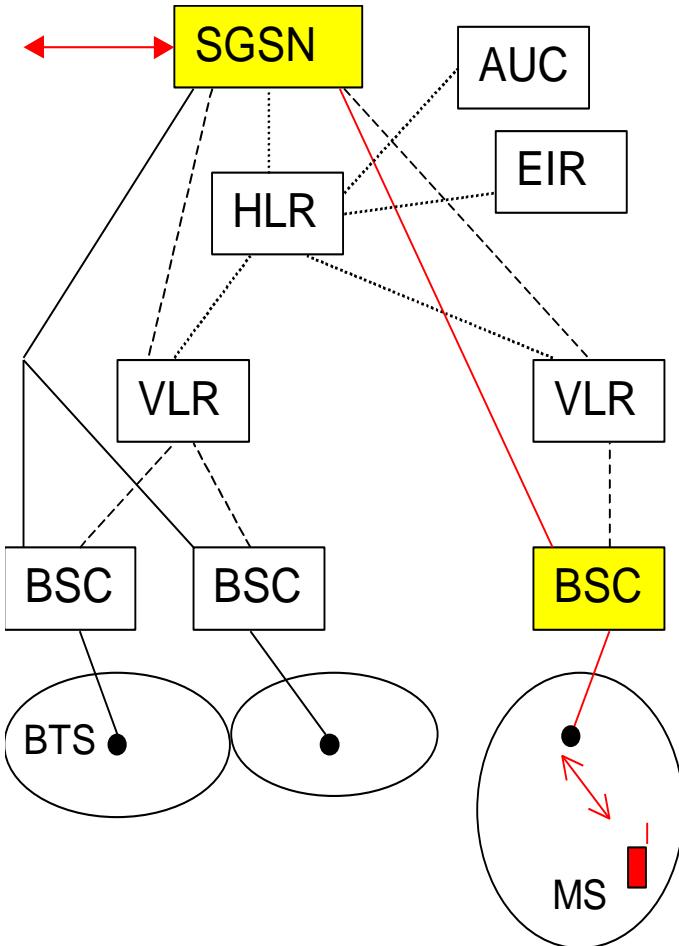
Zapis karakteristika veze

Promjena ćelije



- ◆ Promjena lokacije unutar RA

Komunikacija (1)



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

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

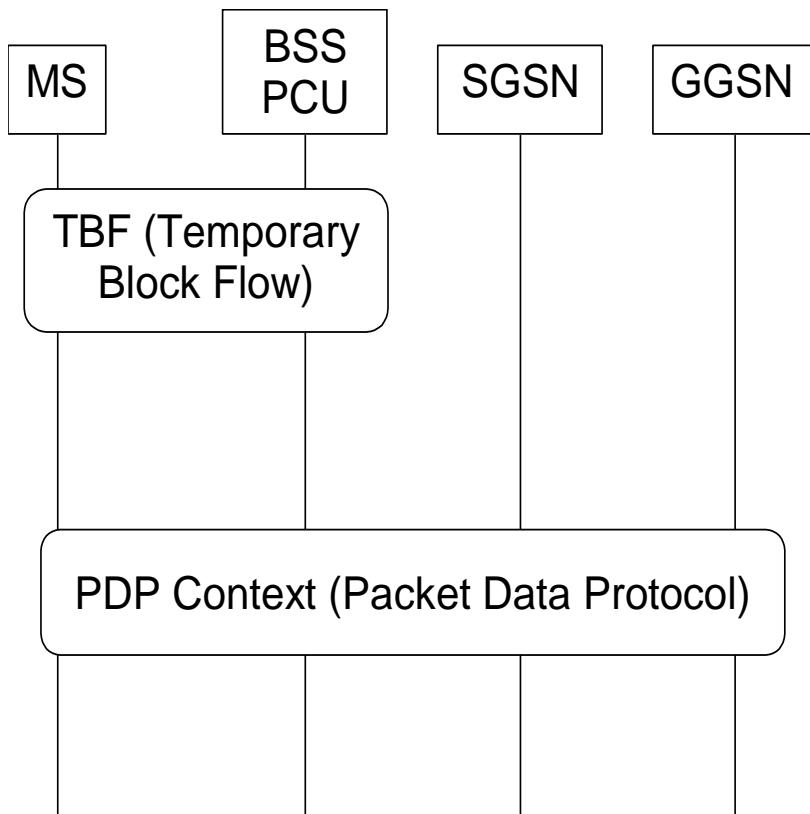
TFI (Temporary Flow Identity)

- ◆ 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



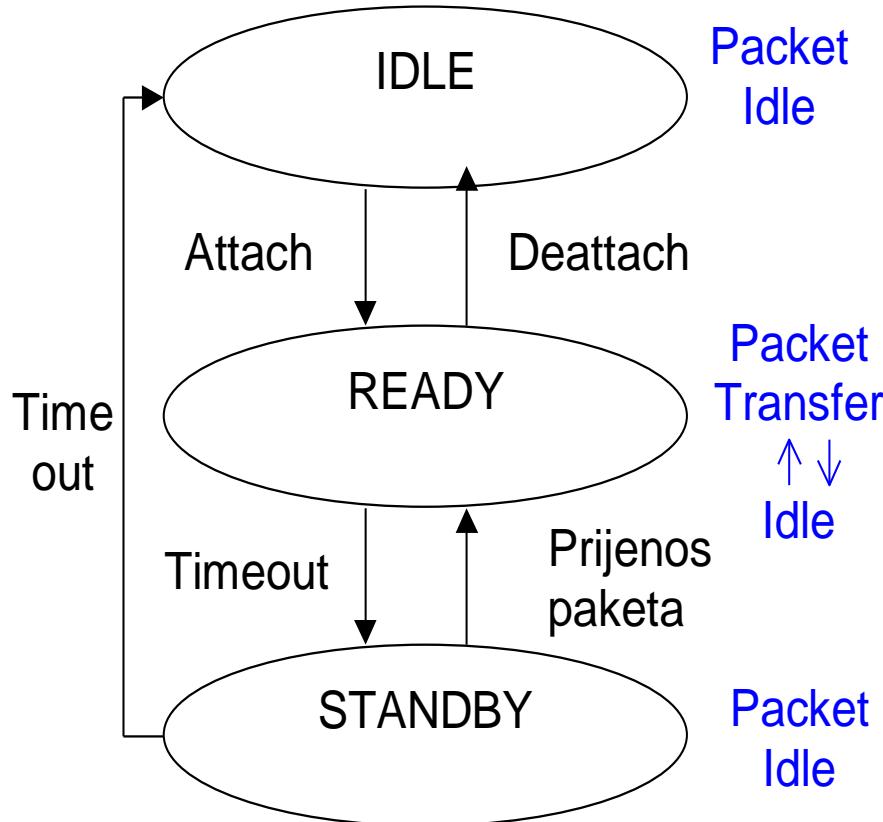
TBF

- ◆ 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)

Stanja komunikacije



Packet Idle

- ne postoji TBF

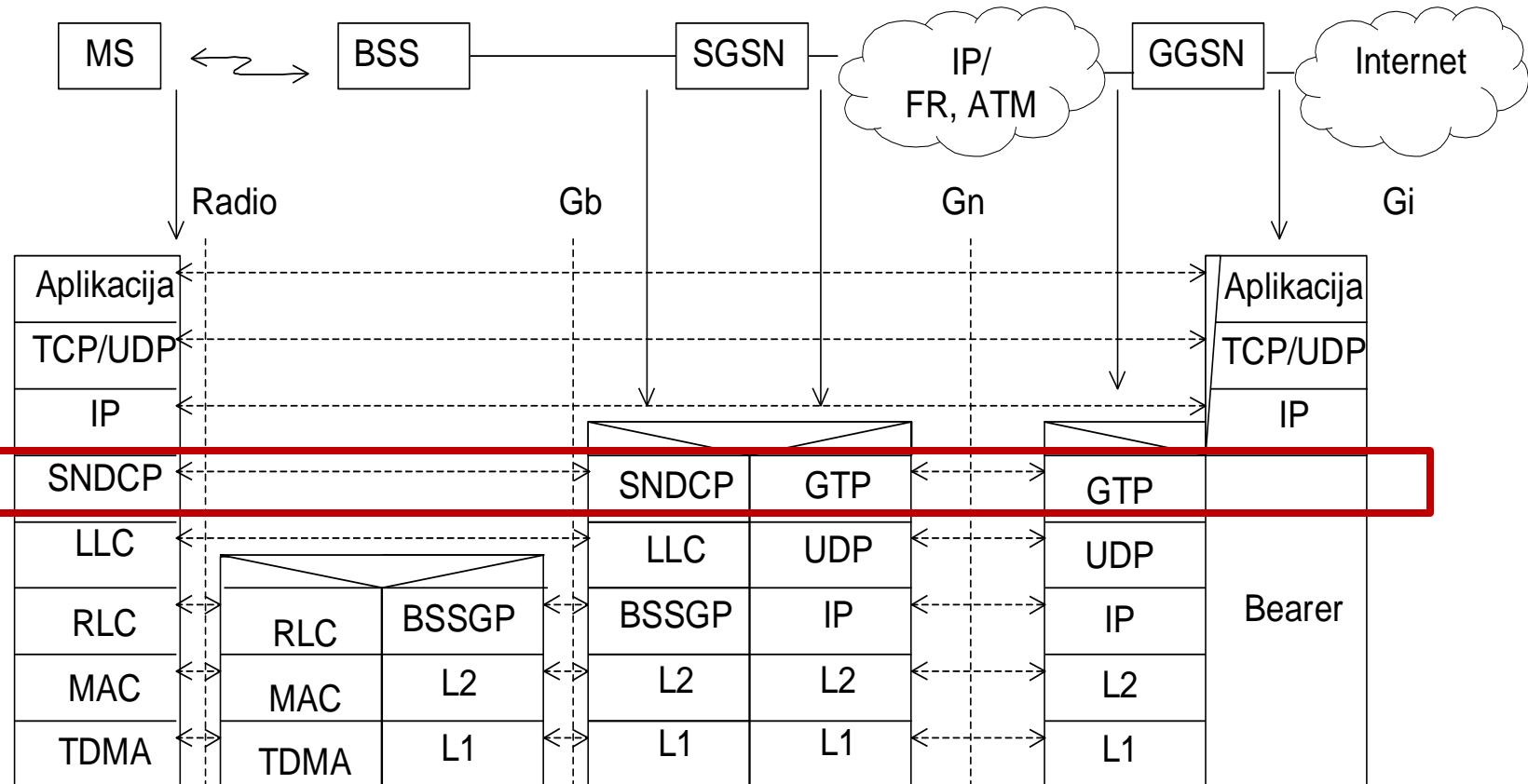
Packet Transfer

- postoji TBF s jednim ili više PDCH

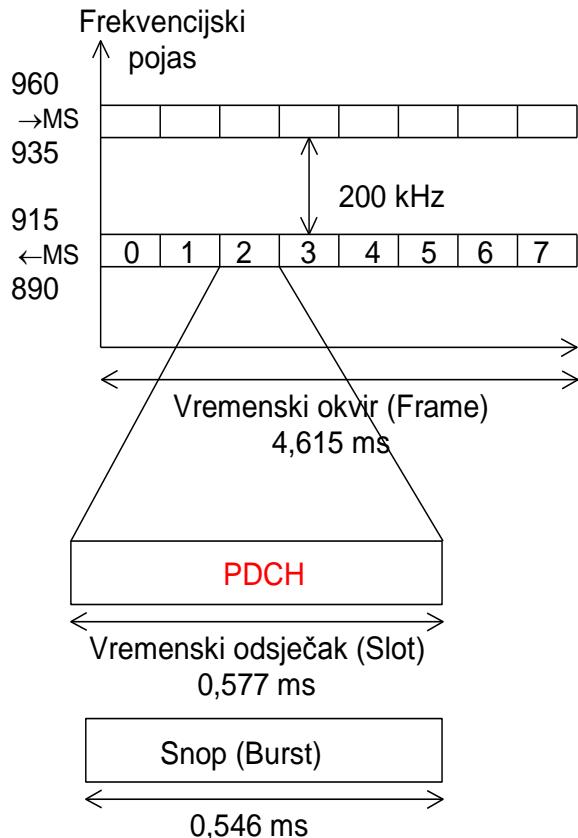
- ◆ MS u stanju **Standby**, MS inicira prijenos, šalje **Packet Channel Request** do BSS-PCU u dodijeljenom fizikalnom kanalu
- ◆ PCU odgovara s **Packet Uplink Assignment** poruku do MS (sadrži popis fizikalnih kanala i TFI) čime joj dodjeljuje TBF

- ◆ MS u stanju **Standby**, PCU inicira prijenos pozivanjem MS (SSGN šalje **BSSGP Paging Request** do BSS-PCU koji poziva MS u fizikalnom kanalu koji osluškuje MS)
- ◆ MS odgovara s **Paging Response** (poruka transparentno prolazi kroz BSS do SSGN) i prelazi u stanje **Ready**
- ◆ PCU šalje **Packet Downlink Assignment** poruku do MS (sadrži popis PDCH i TFI) čime joj dodjeljuje TBF

GPRS protokoli: korisnička/transmisijska ravnina



Fizikalni kanal (sloj 1)



Fizikalni kanali:
 $124 \text{ frekvenčijskih} \times 8 \text{ vremenskih} = 992$

PDCH (Packet Data CHannel)

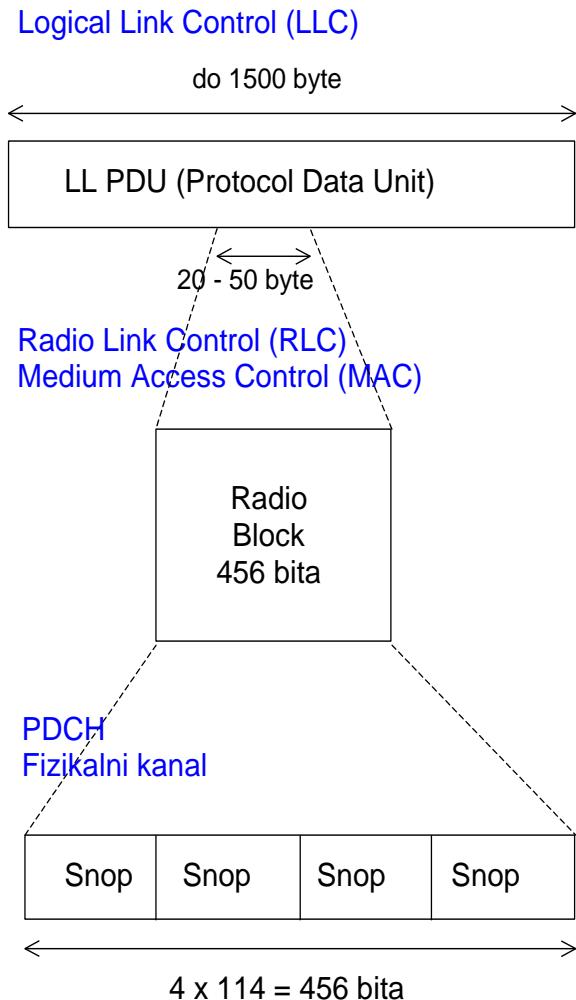
- ◆ jedan vremenski odsječak (kao GSM kanal)
- ◆ svaki PDCH mogu rabiti svi korisnici u ćeliji/više PDCH jedan korisnik
- ◆ broj PDCH u ćeliji: fiksan ili se mijenja dinamički (do 4, 8)

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)

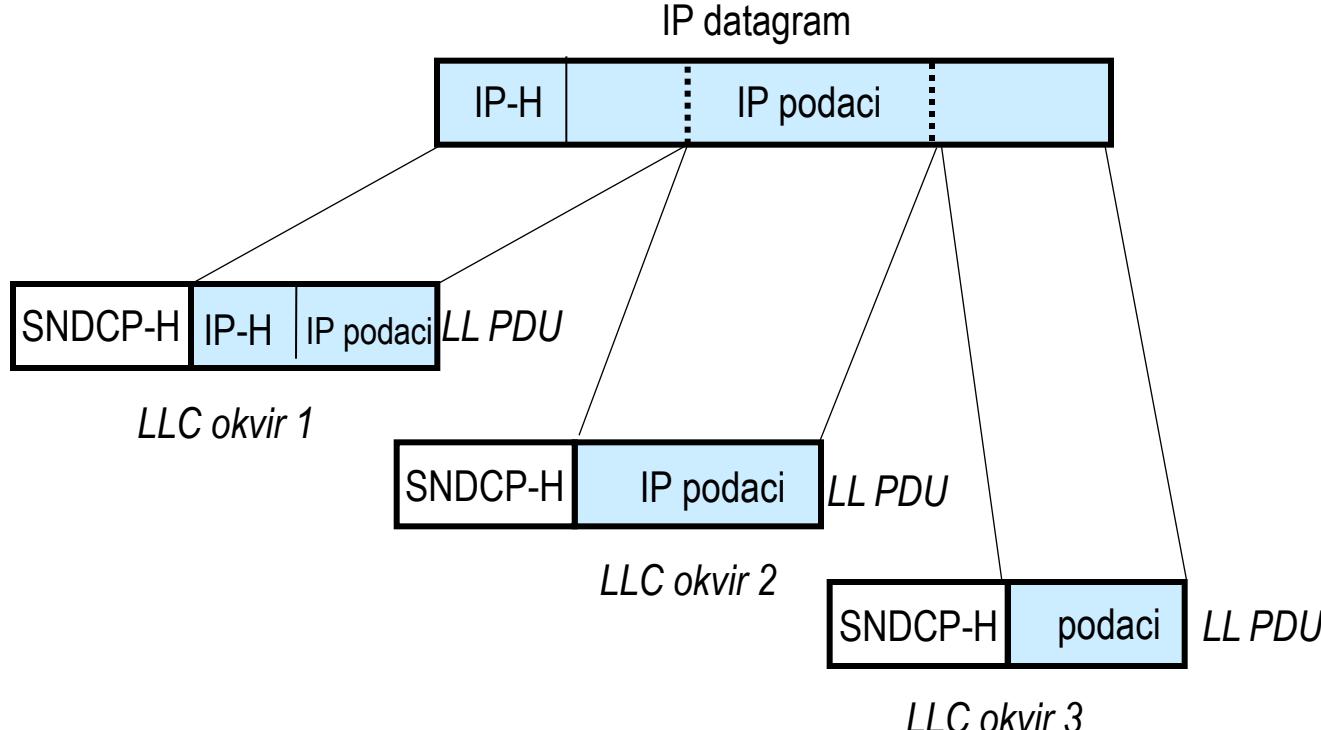
- ◆ raspoređivanje zahtjeva za kanal

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

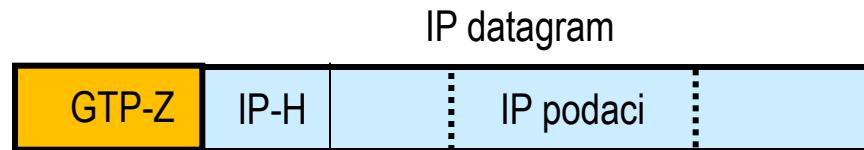
- IP datagrami se **komprimiraju** (IP zaglavlje i podaci) na izvorišnoj strani (MS ili SGSN), **fragmentiraju** na LLC okvire (LL PDU ≤ 1500 okteta) i u obliku prikladnom za radijski prijenos opet dijele na MAC/RLC blokove veličine 20-50 okteta te šalju preko BSS do SGSN (i obratno) gdje se ponovo sastavljaju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



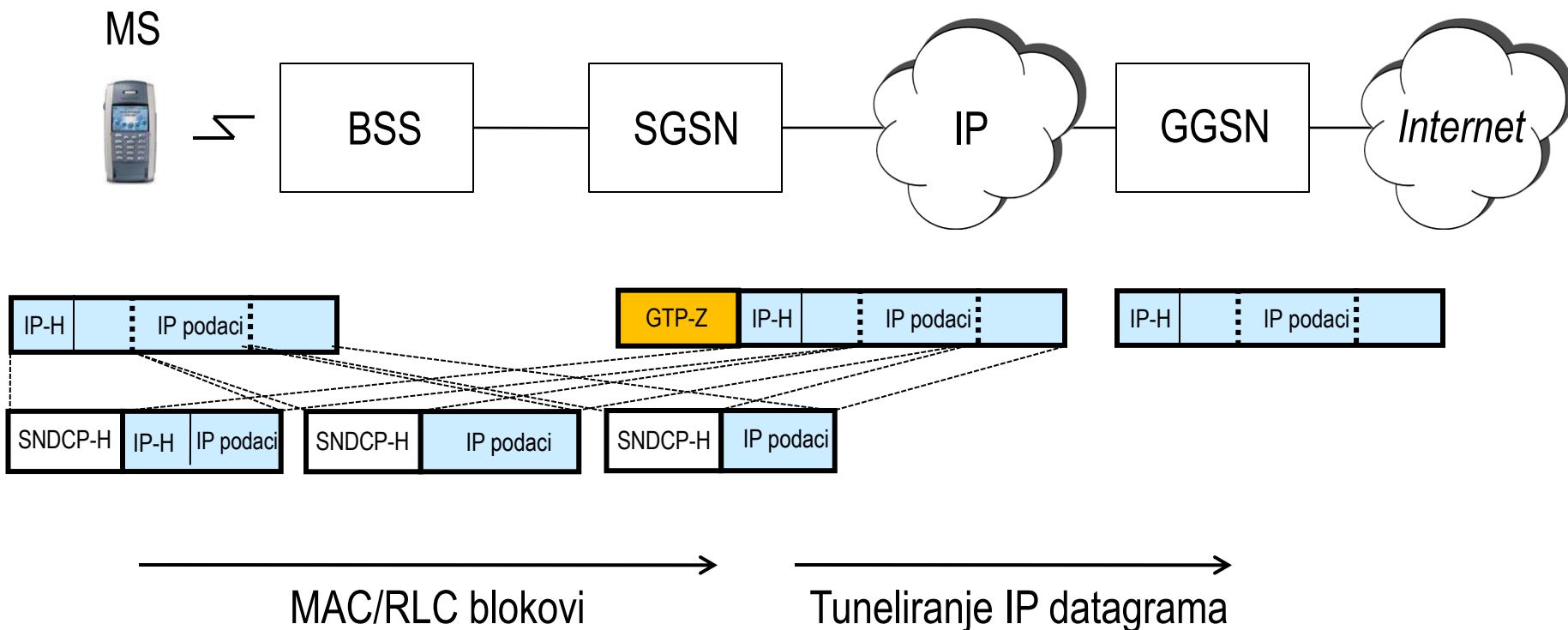
Protokol GTP

◆ GTP – GPRS Tunneling Protocol

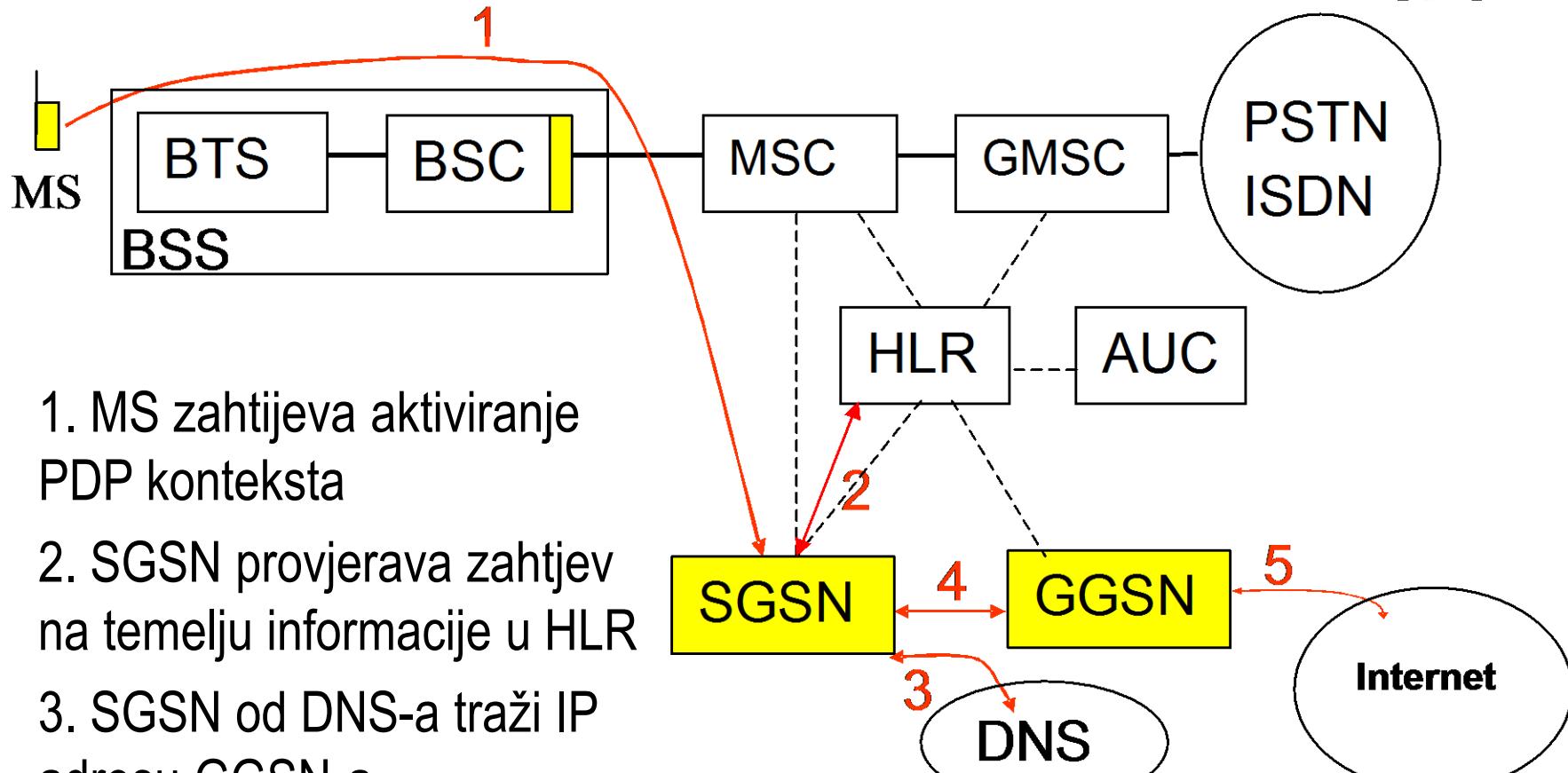
- Prijenos podataka između SGSN-a i GGSN-a
- Ovija pakete mrežnog sloja
- Tunelira korisničke podatke i odgovarajuće signalizacijske informacije između mrežnih čvorova
- Kreira, modificira i briše tunel
- IP paketima dodaje GTP zaglavlje



Podatkovna komunikacija korisnika s Internetom



Postupak pristupa Internetu



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



Diplomski studij

Informacijska i komunikacijska
tehnologija:

Telekomunikacije i informatika

Obradba informacija

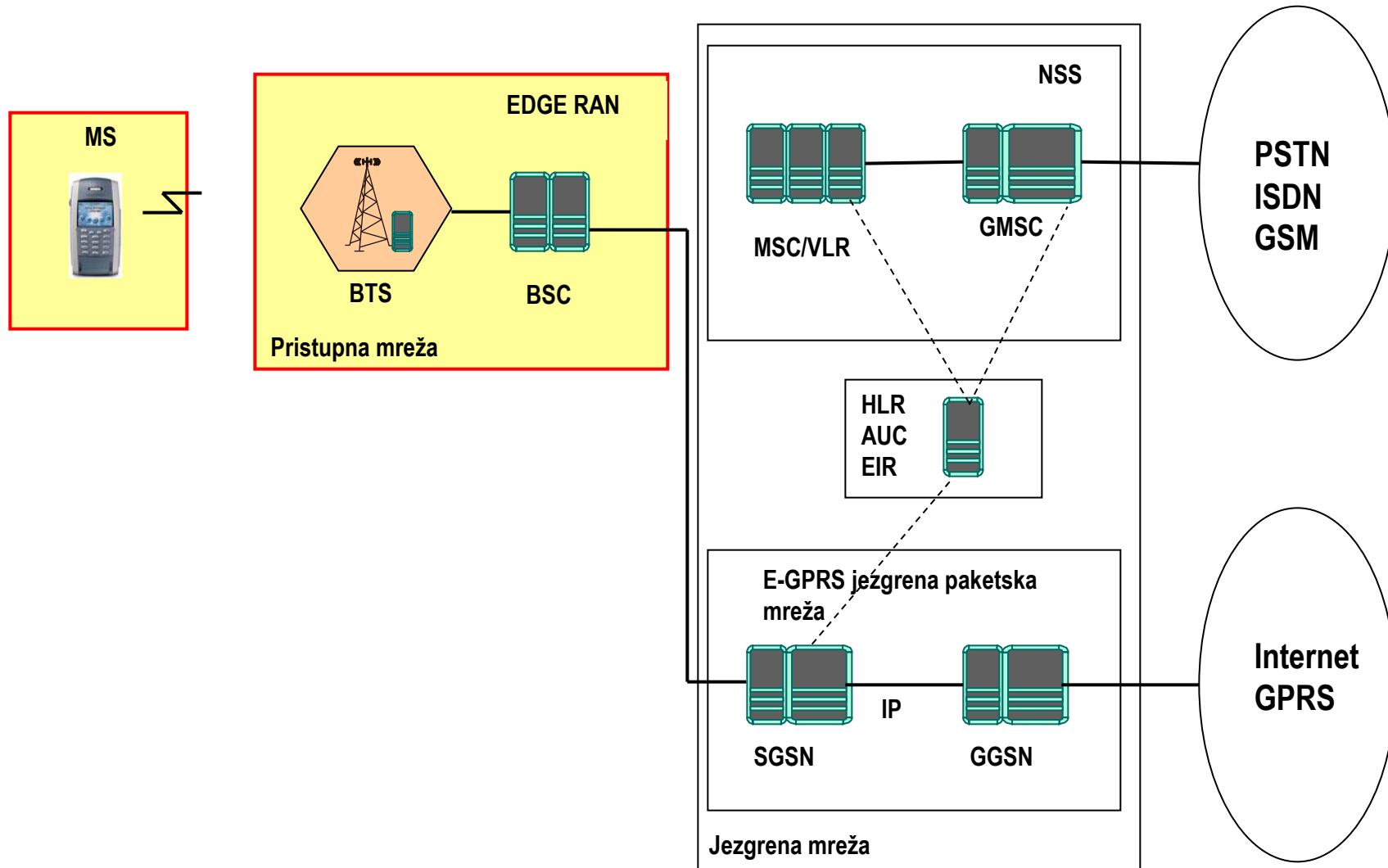
Ak.g. 2014./2015.

Mreža EDGE

Enhanced Data rates for Global Evolution, EDGE

- ◆ Zahtijeva **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, $48 \times 8 = 384$ kbit/s
- ◆ Nedostatak
 - Poboljšanu brzinu prijenosa podataka **nije moguće postići unutar cijelog područja pokrivanja ćelije**

Arhitektura EDGE mreže





Diplomski studij

Informacijska i komunikacijska
tehnologija:

Telekomunikacije i informatika

Obradba informacija

Ak.g. 2014./2015.

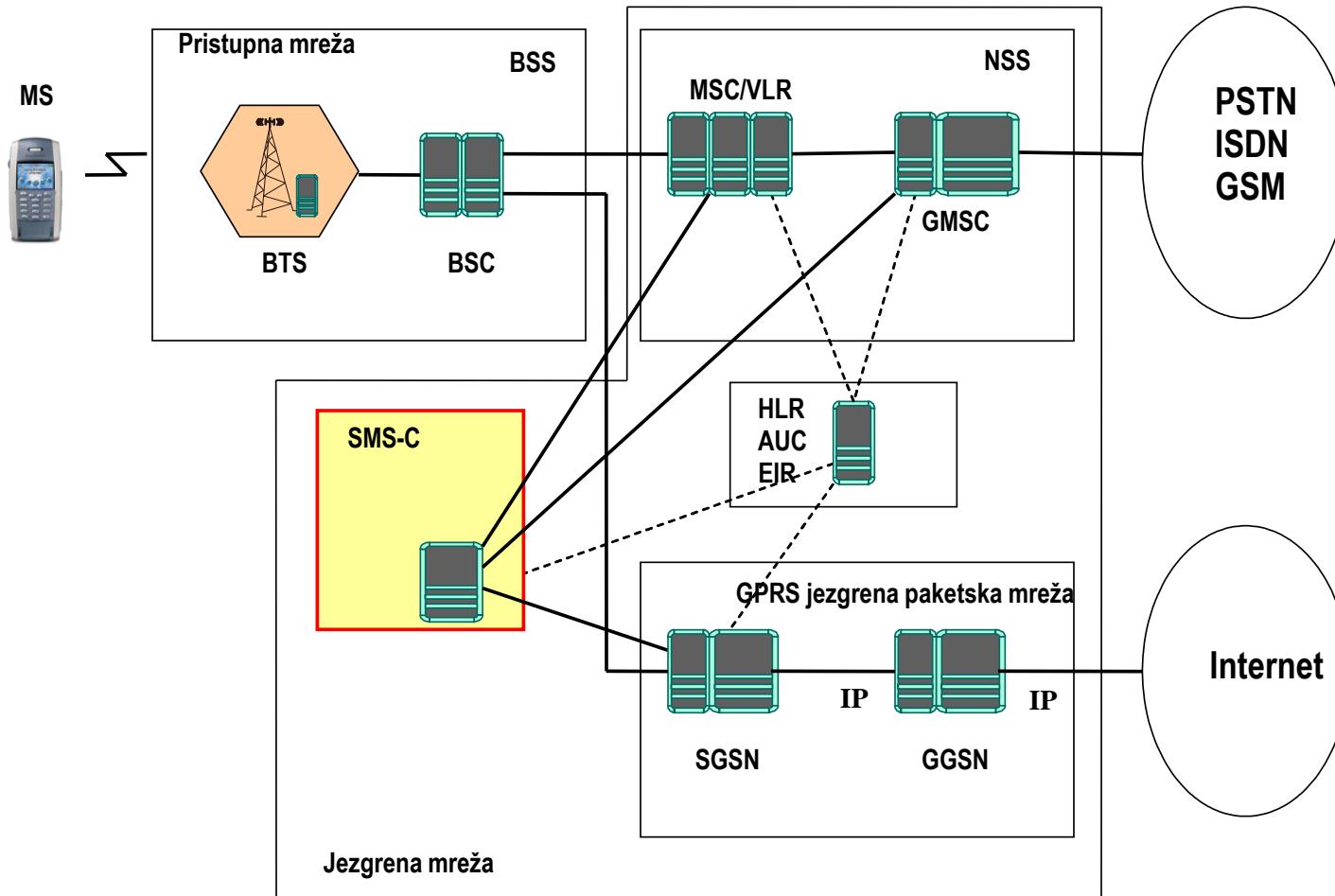
Komunikacija porukama

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

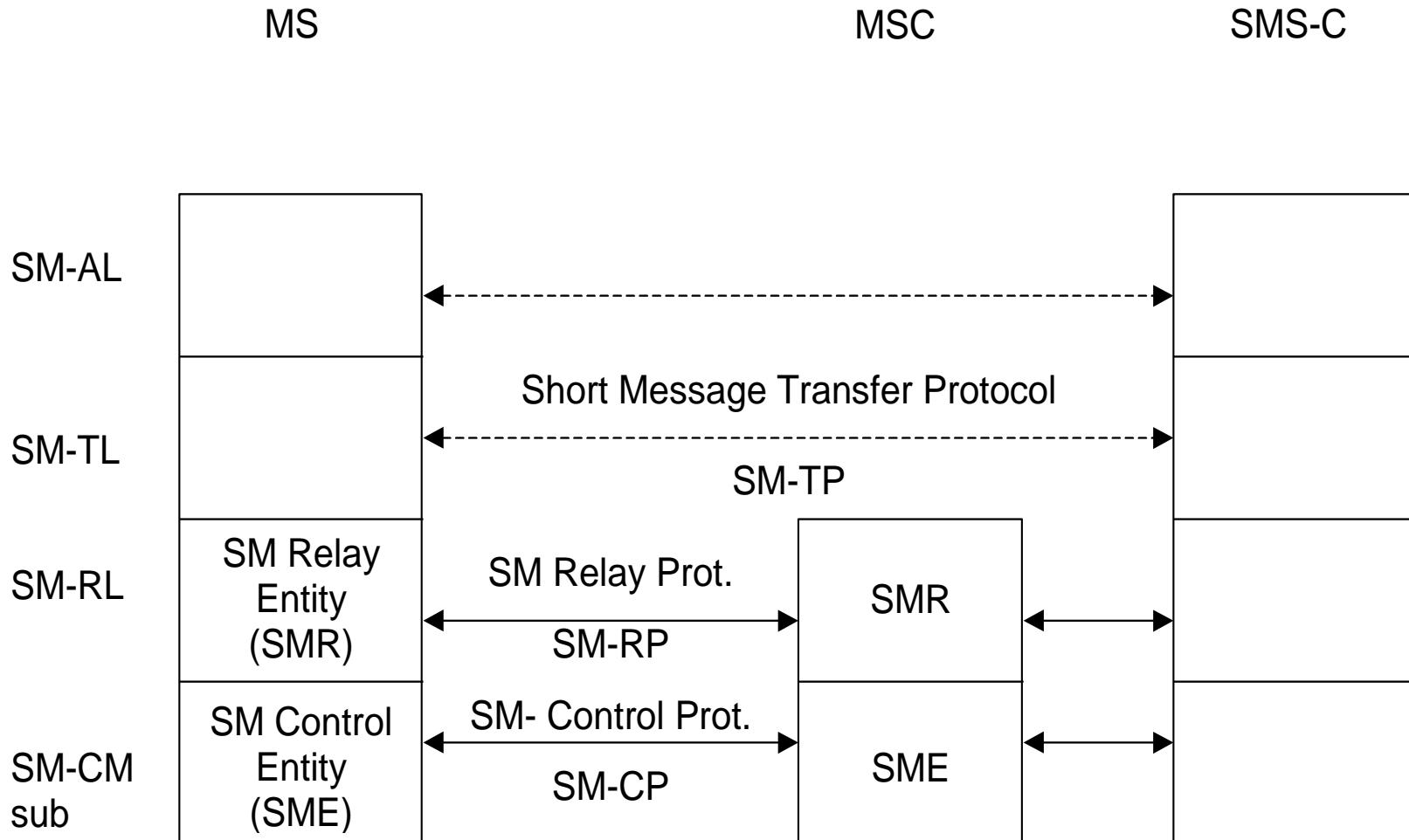
SMS usluga

- ◆ 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

Arhitektura za podršku SMS usluge



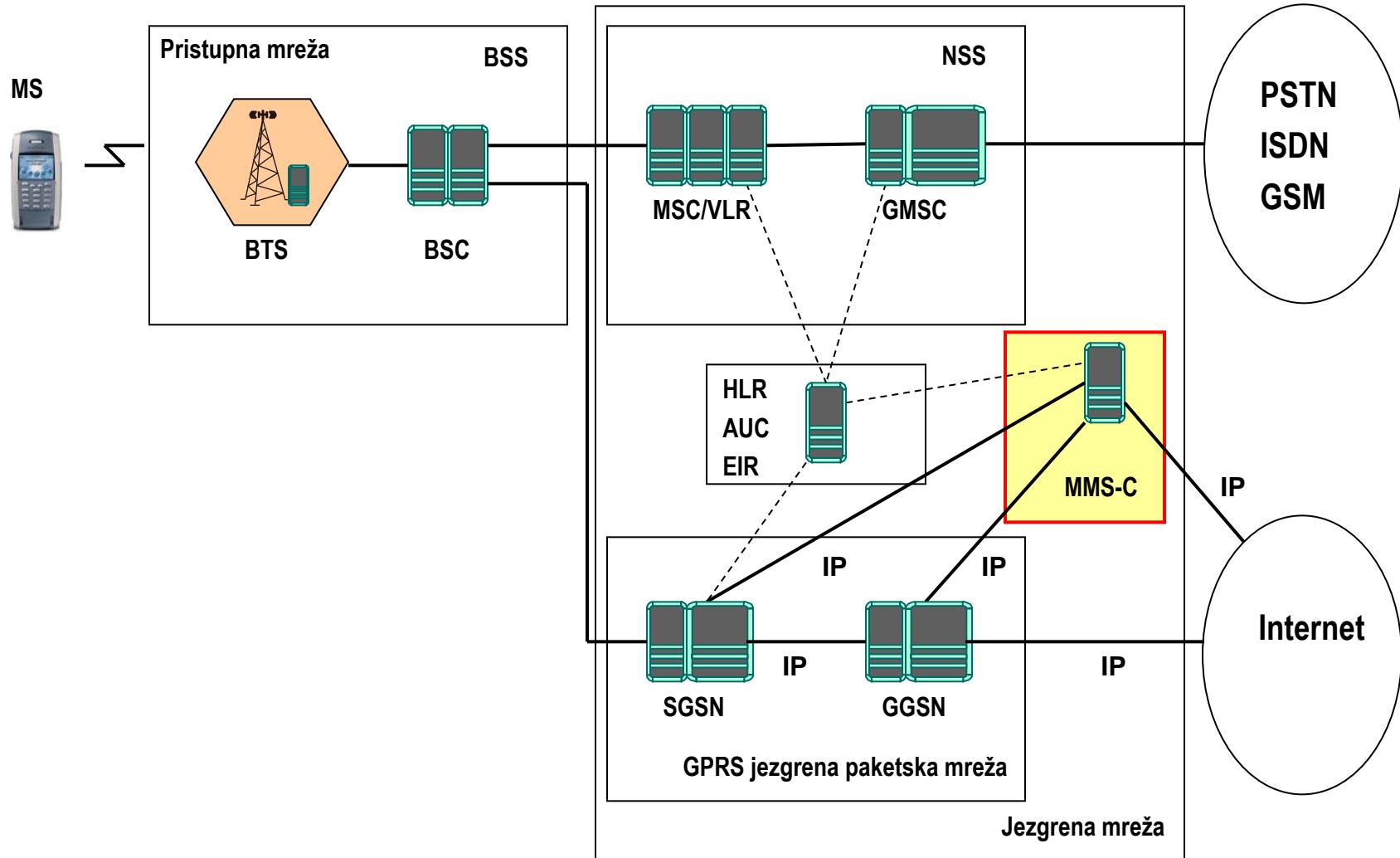
SMS protokoli



Usluga MMS

- ◆ Usluga razmjene poruka bogatog sadržaja
 - Zahtijeva veće brzine prijenosa podataka
 - Formatirani tekst, crtež, slika u boji, animacija, audio i video sadržaji
- ◆ Prijenos MMS poruka temelji se na WAP (*Wireless Application Protocol*) protokolima
- ◆ Uvodi se **centar za izmjenu višemedijskih poruka** (*Multimedia Messaging Service Center*, MMS-C)

Arhitektura za podršku usluge MMS



Dodatna literatura

A. Bažant, G. Gledec, Ž. Ilić, G. Ježić, M. Kos, M. Kunštić, I. Lovrek, M. Matijašević, B. Mikac, V. Sinković:

“Osnovne arhitekture mreža”, 8. Pokretljivost u mrežama, Element, Zagreb, 2007.

A. Bažant, Ž. Car, G. Gledec, D. Jevtić, G. Ježić, M. Kunštić, I. Lovrek, M. Matijašević, B. Mikac, Z. Skočir:

“Telekomunikacije – tehnologija i tržište”, 3. Tržište pokretne mreže i usluga, Element, Zagreb, 2007.



Diplomski studij

Informacijska i komunikacijska
tehnologija:

Telekomunikacije i informatika

Obradba informacija

Komunikacijski protokoli

11.

Protokoli i usluge pokretne mreže treće
generacije (3G)

Ak.g. 2014./2015.

8.1.15.

Sadržaj predavanja

- ◆ Pokretna mreža UMTS
 - UMTS radijska pristupna mreža
 - Sučelja i protokoli jezgrene mreže UMTS
- ◆ Adresiranje u pokretnoj mreži
- ◆ Međunarodno prelaženje
- ◆ Razvoj pristupne mreže UMTS
 - Tehnologije brzog paketskog pristupa
 - Integracija s bežičnim mrežama



Diplomski studij

Informacijska i komunikacijska
tehnologija:

Telekomunikacije i informatika

Obradba informacija

Ak.g. 2014./2015.

Pokretna mreža UMTS

Arhitektura mreže UMTS

Izdanja mreže UMTS

Međunarodno prelaženje

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 udruga operatora, proizvođača i
regulacijskih tijela

3GPP (3. Generation Partnership Project)

standardizacijska tijela i neprofitne udruge

OHG (Operators Harmonisation Group)

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

◆ 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

UMTS usluge (1)

- ◆ Zahtjevi:

- Fleksibilnost – kretanje između različitih mreža
- Pristup uslugama bez obzira na pristupnu mrežu u kojoj se nalazi (*seamless access*)
- Prilagođenje usluge s obzirom na korišteni terminal
- Dostupnost usluge s obzirom na lokaciju (lokacijski svjesne usluge)
- Upravljanje profilom usluge bez obzira na lokaciju i pristupnu mrežu

UMTS usluge (2)

◆ Kvaliteta usluge

- Od uskopojasnih (govor) do širokopojasnih (multimedija u stvarnom vremenu)
- Brza komutacija paketa
- Strujanje podataka (glazba video-sadržaj,...)
- Interaktivne elektroničke usluge (kupovina,...), pokretna trgovina
- Pokretni ured
- Rad u pozadini, elektronička pošta,...

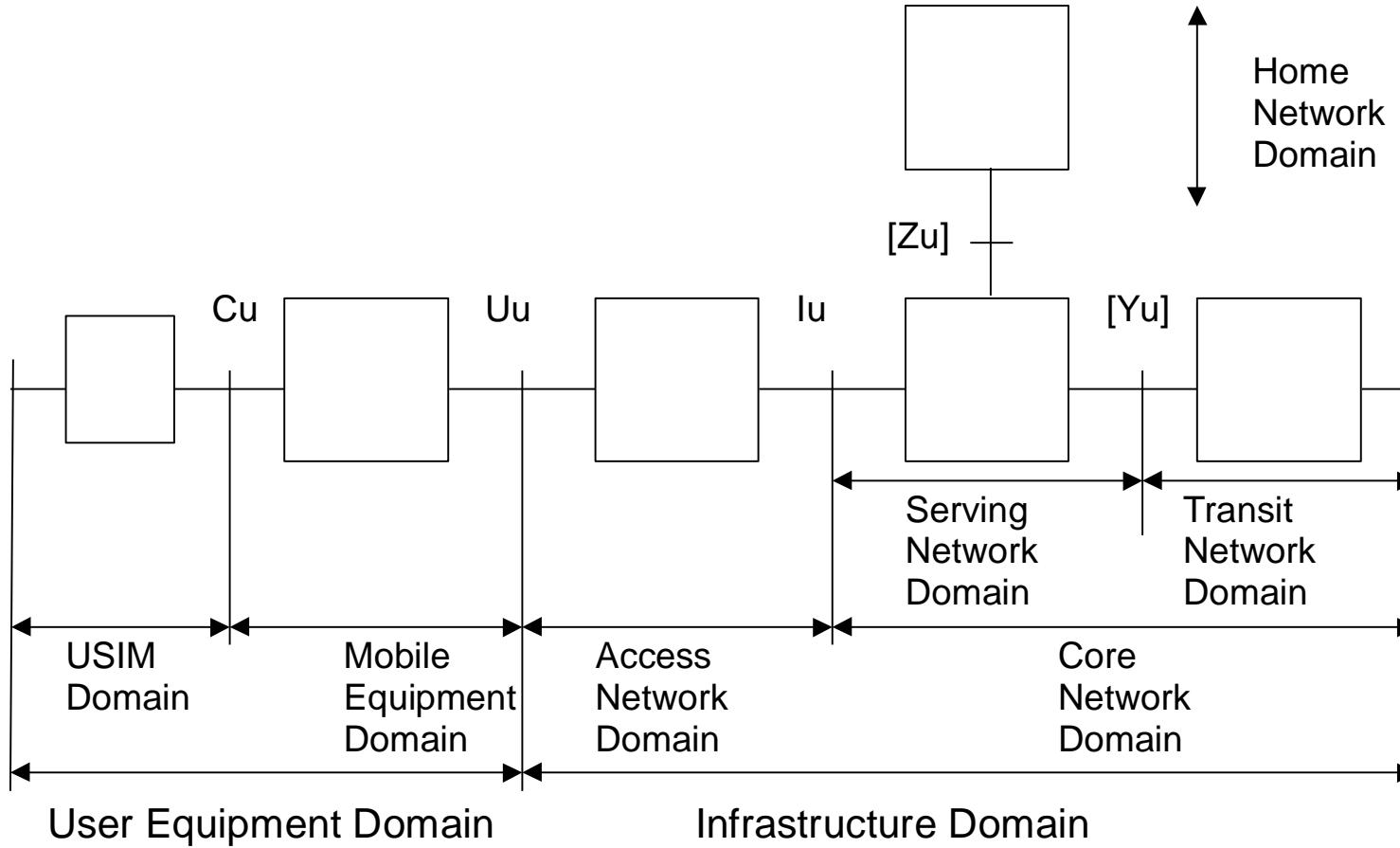
Domena

- ◆ predočuje skup funkcija
- ◆ međusobno odvojene referentnim točkama (**Reference Point**)

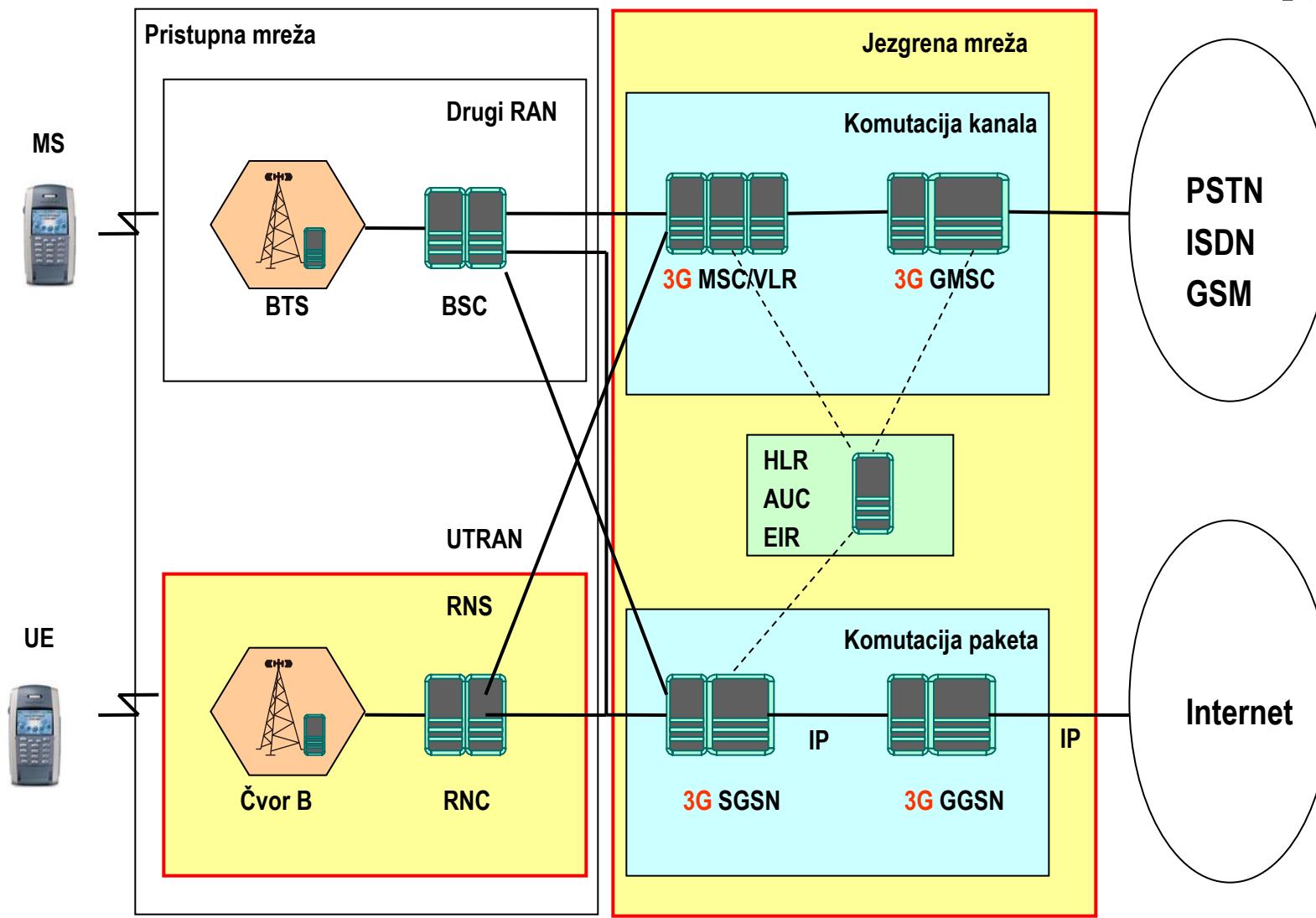
Stratum

- ◆ predočuje funkciju komunikaciju između domena

UMTS domene



Arhitektura mreže UMTS (3GPP R99)





Diplomski studij

Informacijska i komunikacijska
tehnologija:

Telekomunikacije i informatika

Obradba informacija

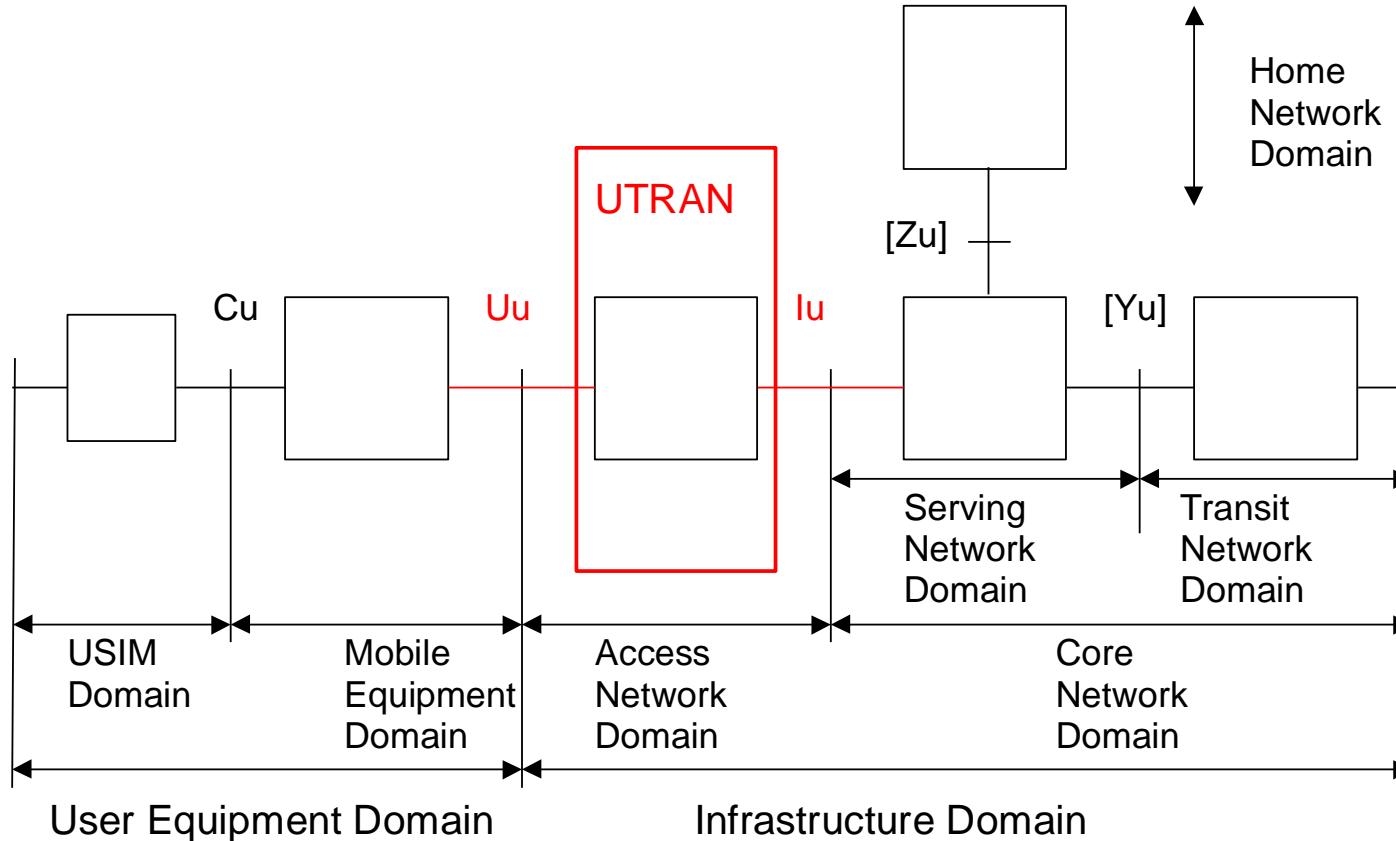
Ak.g. 2014./2015.

UMTS radijska pristupna mreža

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 UMTS Terrestrial Radio Access Network

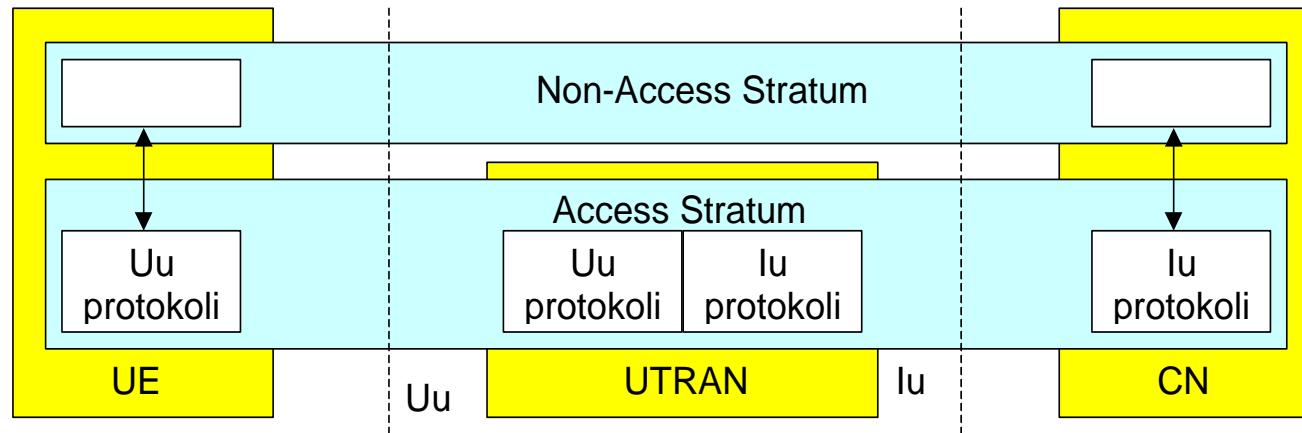


UTRAN funkcije

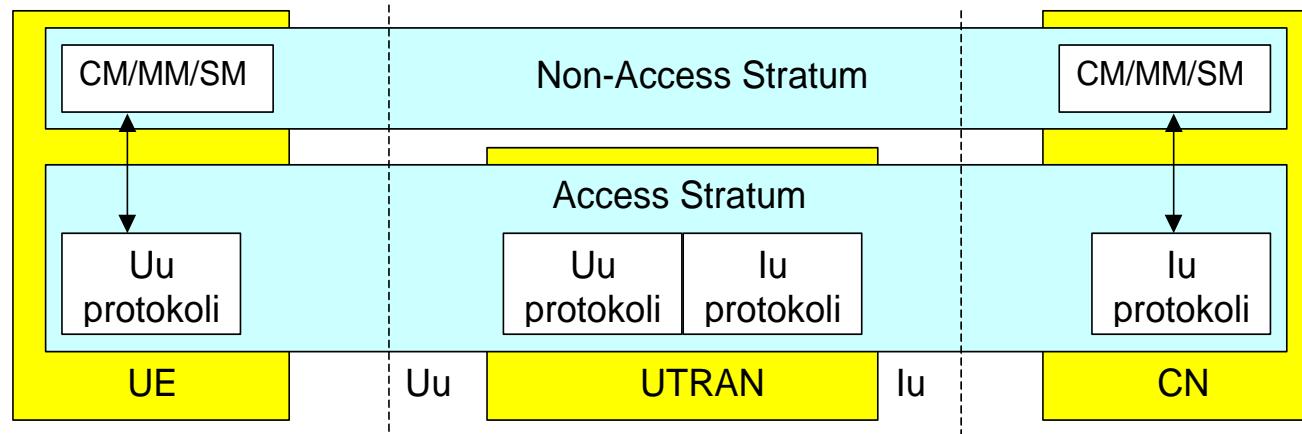
- ◆ Sustavna kontrola pristupa
- ◆ Sigurnost i privatnost
- ◆ Upravljanje i kontrola radijskih resursa
- ◆ Kontrola radijskog prijenosa i veze između korisničke opreme i mreže
- ◆ Prijenos korisničkih podataka između korisničke opreme i mreže

UTRAN arhitektura protokola

Korisnička ravnina (User Plane)



Kontrolna/signalizacijska ravnina (Control/Signalling Plane)

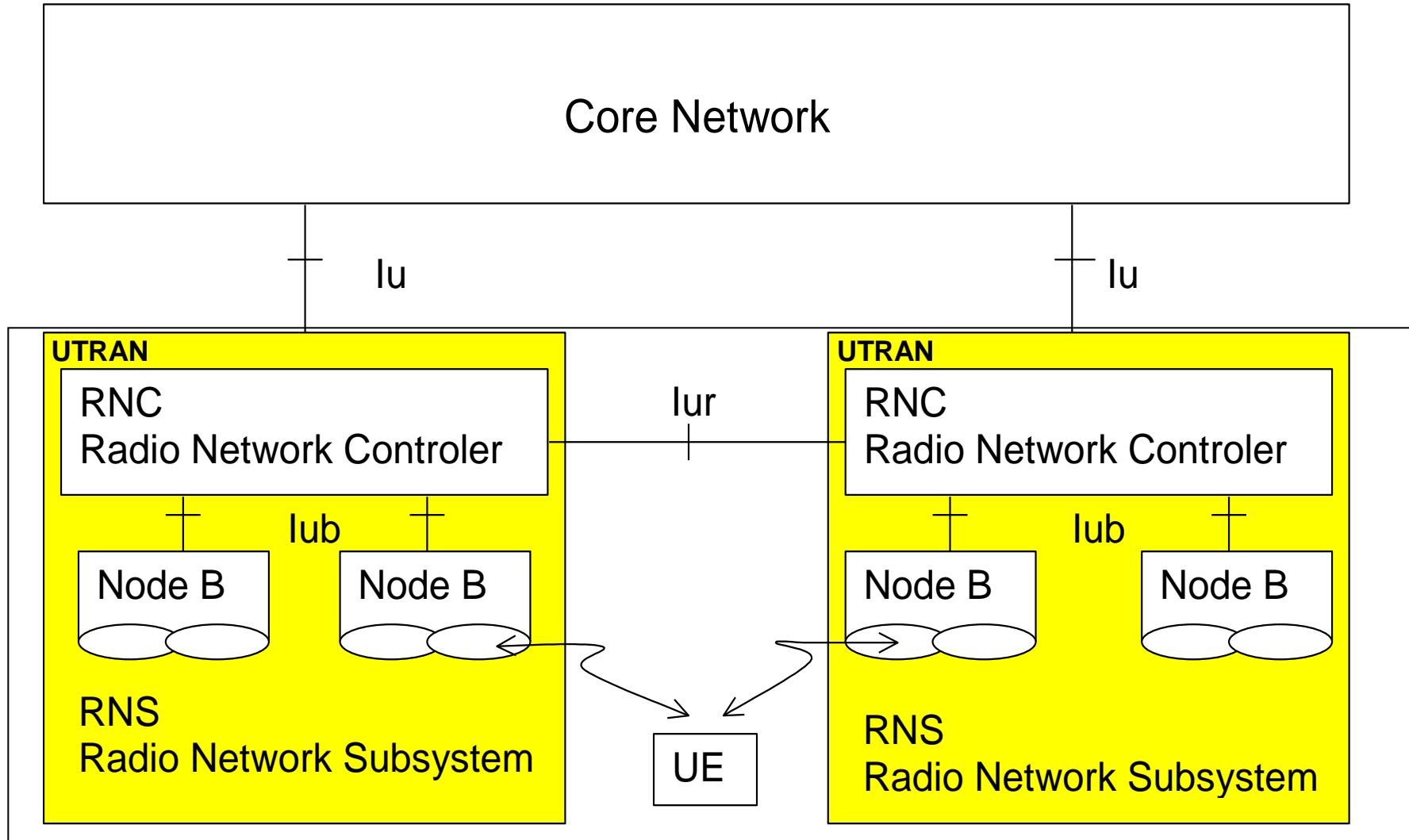


Radijski mrežni podsustav

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

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)

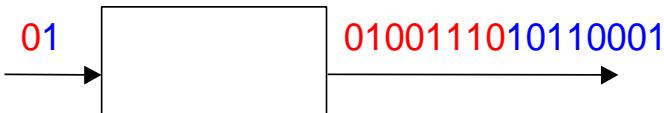
- ◆ višestruki pristup s kodnom podjelom i vremenskom podjelom
- ◆ zatvoreni prostor, uže područje, privatna mreža
- ◆ 1900 - 1920 i 2010 - 2025 MHz
- ◆ TDD (Time Division Duplex)

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

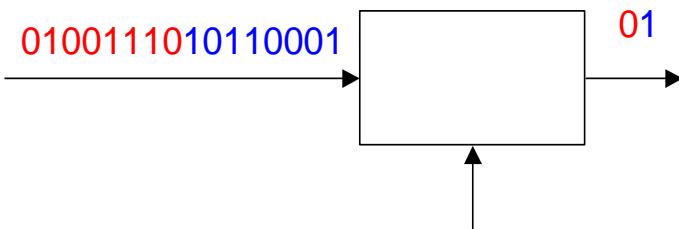
CDMA (Code Division Multiple Access)

Predaja



Chip Sequence:10110001

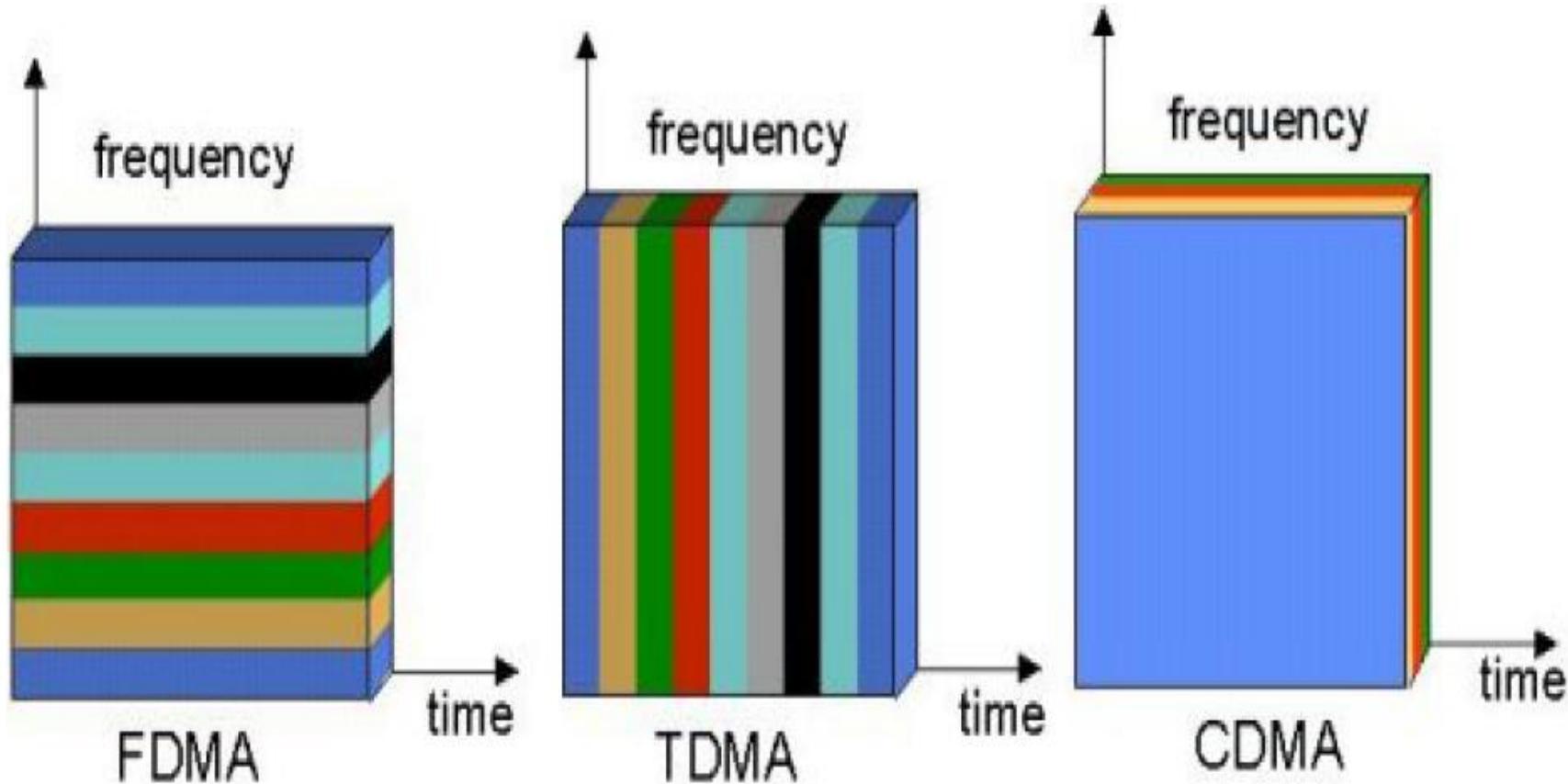
Prijam



Poznata Chip Sequence
Uumnožak dvije Chip Sequence = 0

- ◆ 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



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



Diplomski studij

Informacijska i komunikacijska
tehnologija:

Telekomunikacije i informatika

Obradba informacija

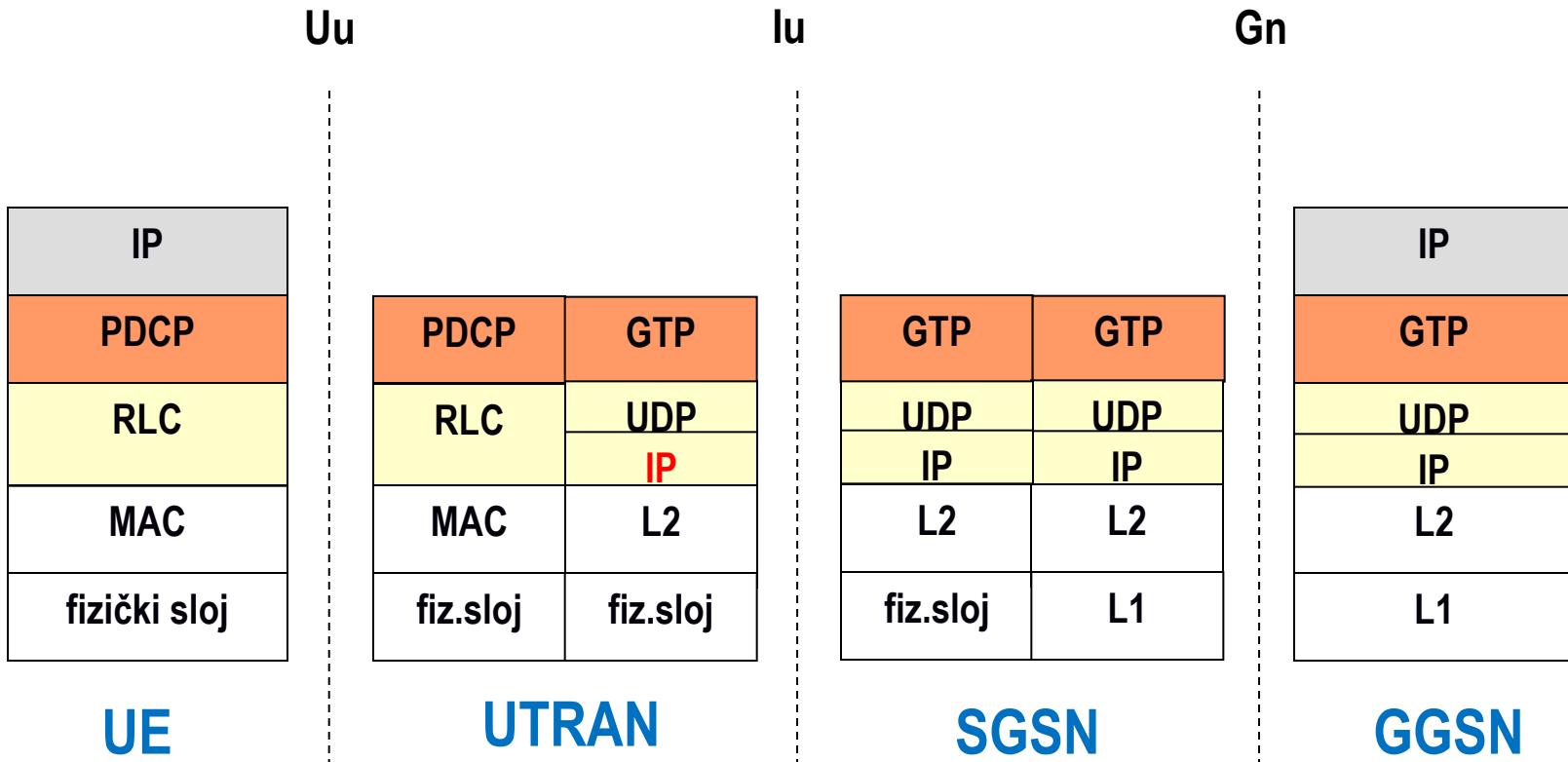
Ak.g. 2014./2015.

Sučelja i protokoli jezgrene mreže UMTS

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



◆ Packet Data Convergence Protocol – PDCP

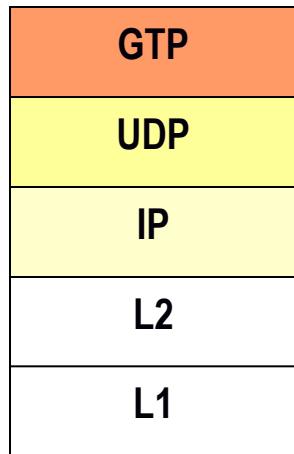
- Funkcionalnost slična protokolima SNDCP i LLC u GPRS-u
- Prijenos podataka (IP paketa) između korisničkog terminala i radijske pristupne mreže
- Sažimanje (kompresija) korisničkih podataka i zaglavlja višeg sloja
- Segmentiranje IP paketa u MAC/RLC blokove prikladne za radijski prijenos preko zračnog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

Mrežni elementi

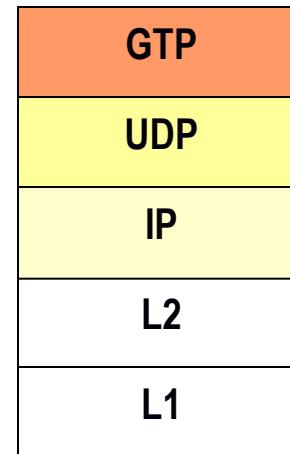
- ◆ GGSN
 - Povezan s drugim mrežama
- ◆ SGSN
 - Područje usmjeravanja
 - Obuhvaća nekoliko RNC-ova
 - Upravljanje pokretljivošću
 - Upravljanje sjednicom
 - QoS
 - tuneliranje

Protokoli paketske komunikacije

Gn, Gp



SGSN



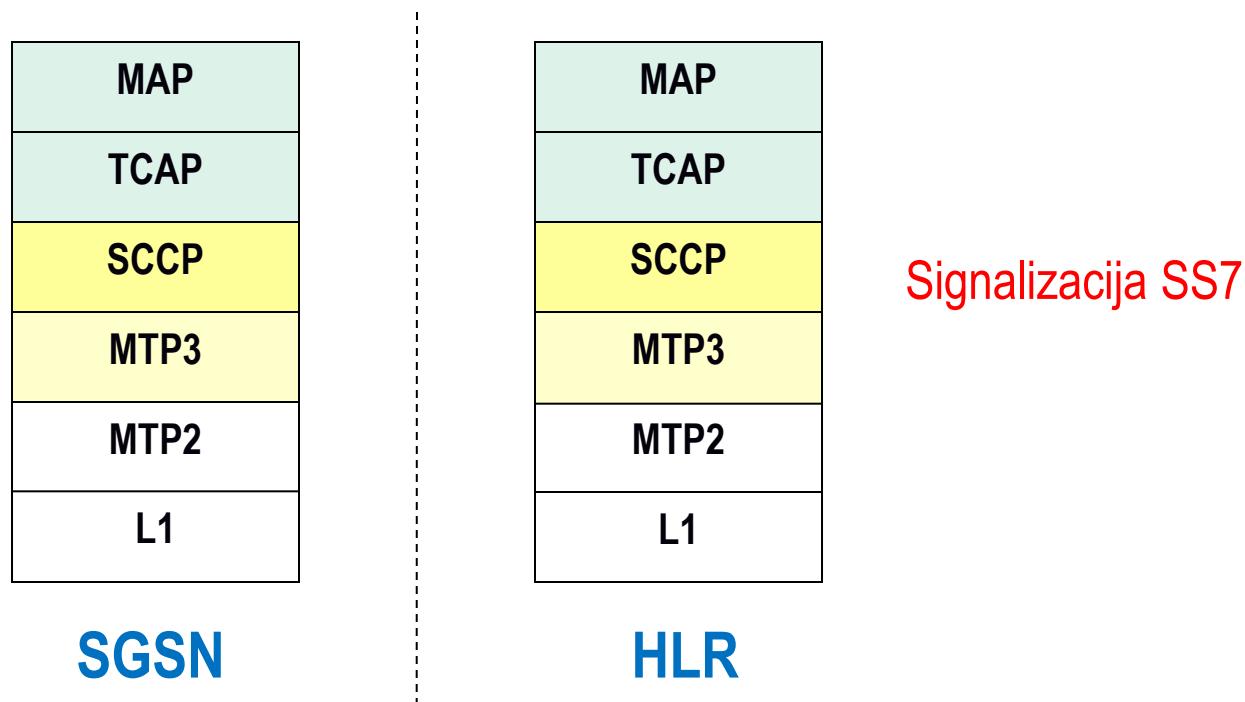
SGSN/GGSN

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

Gc, Gr, Gd, Gf



MAP – Mobile Application Part

TCAP – SS7 Transaction Capabilities Application Part

SCCP – Signaling Connection Control Part

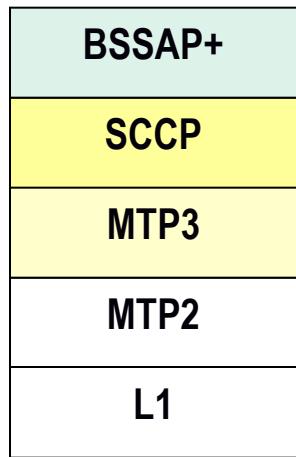
MTP – Message Transfer Part

Sučelja MAP

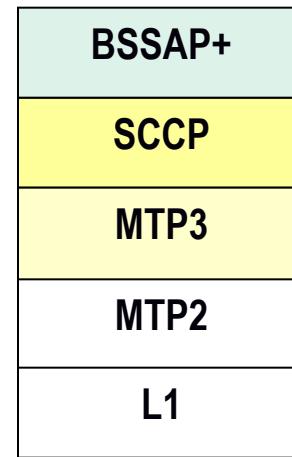
- ◆ Gc sučelje: GGSN – HLR (tuneliranje preko SGSN-a)
 - Informacije o usmjeravanju za komutaciju paketa
- ◆ Gr sučelje: SGSN – HLR
 - Lokacija korisnika
- ◆ Gd sučelje: SGSN – SMS prilaz
- ◆ Gf sučelje: SGSN - EIR

Protokoli između kanalskog i paketskog dijela mreže

G_s



MSC



SGSN

Signalizacija SS7

BSSAP – BSS Application Part

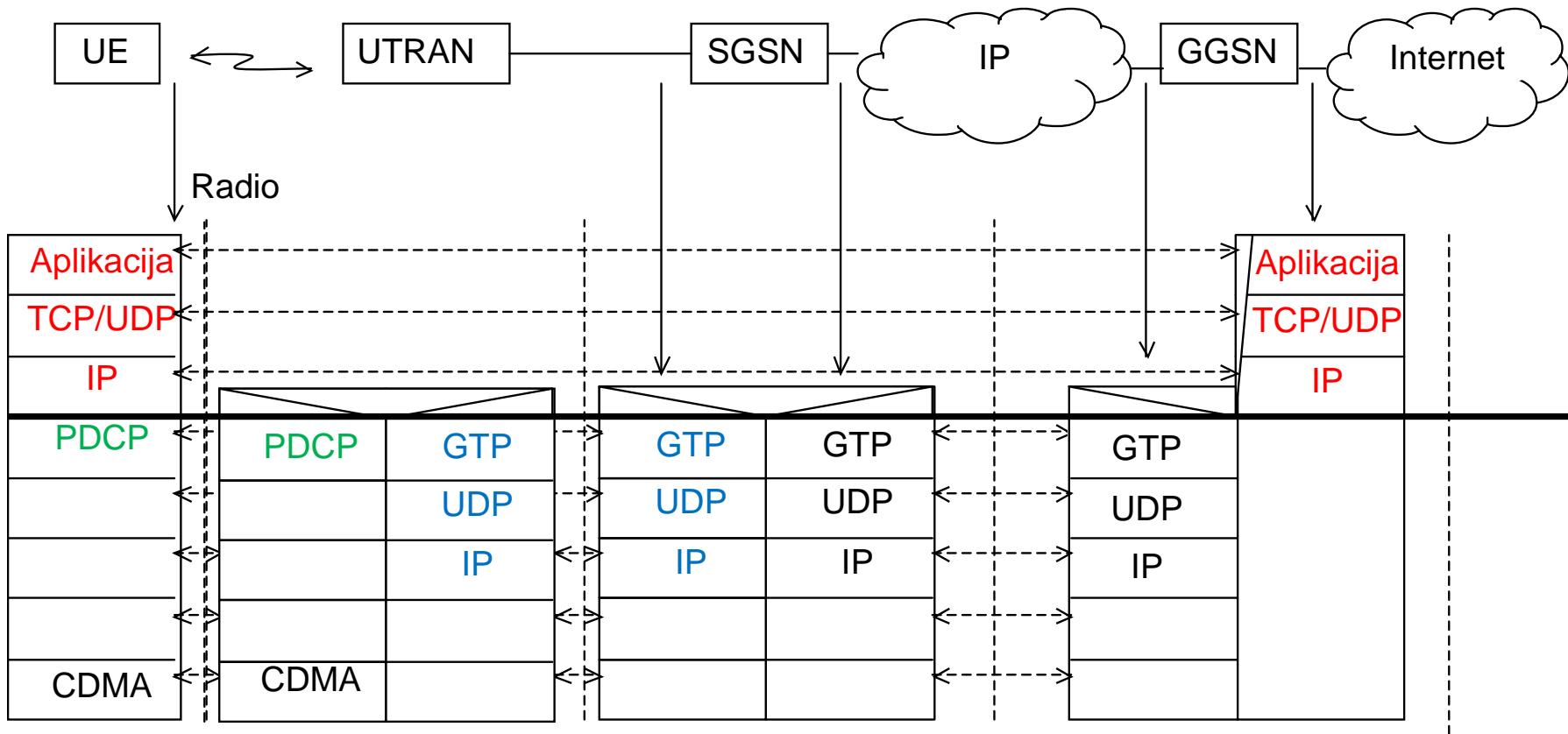
SCCP – Signaling Connection Control Part

MTP – Message Transfer Part

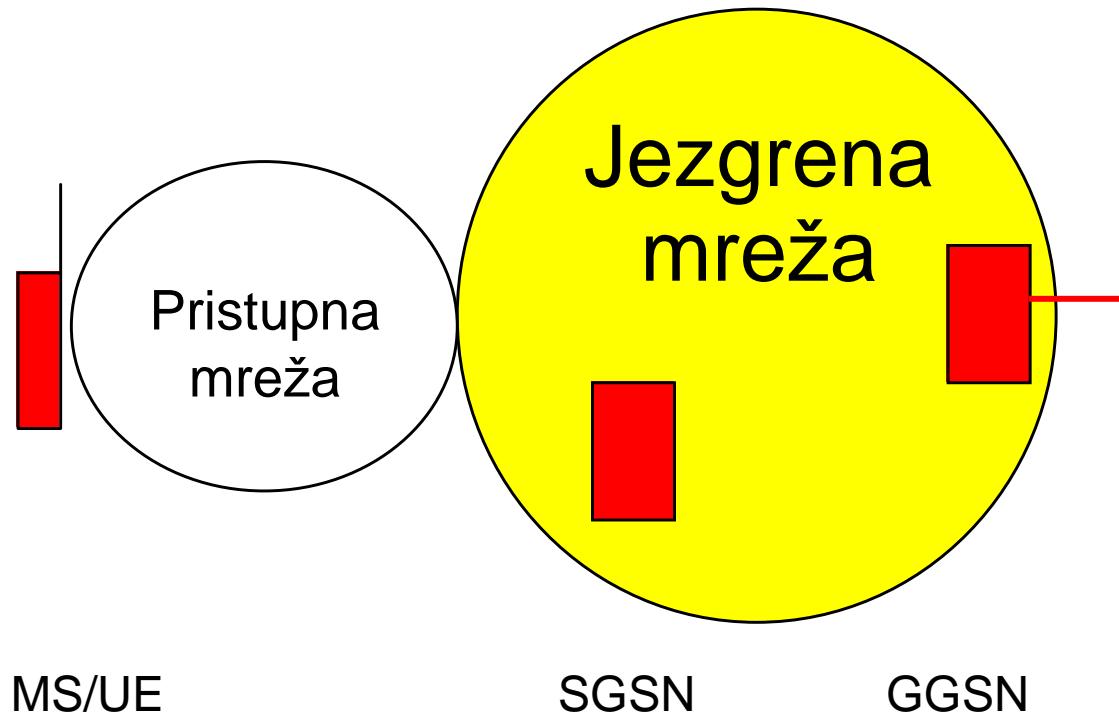
Gs sučelje

- ◆ 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



Adresiranje



IP adresiranje

- ◆ Adresiranje mrežne infrastrukture:
 - Serving GPRS Support Node (SGSN) -> radio
 - Gateway GPRS Support Node (GGSN) -> IP mreža
- ◆ Adresiranje pokretne postaje

Uslužni (SGSN)

- ◆ usmjeravanje paketa od/prema MS
- ◆ upravljanje pokretljivošću i upravljanje logičkom vezom prema MS

Prilazni (GGSN)

- ◆ sučelje prema vanjskim IP mrežama
- ◆ pridruživanje korisnika SGSN-u
- ◆ (DNS, DHCP, NAT)

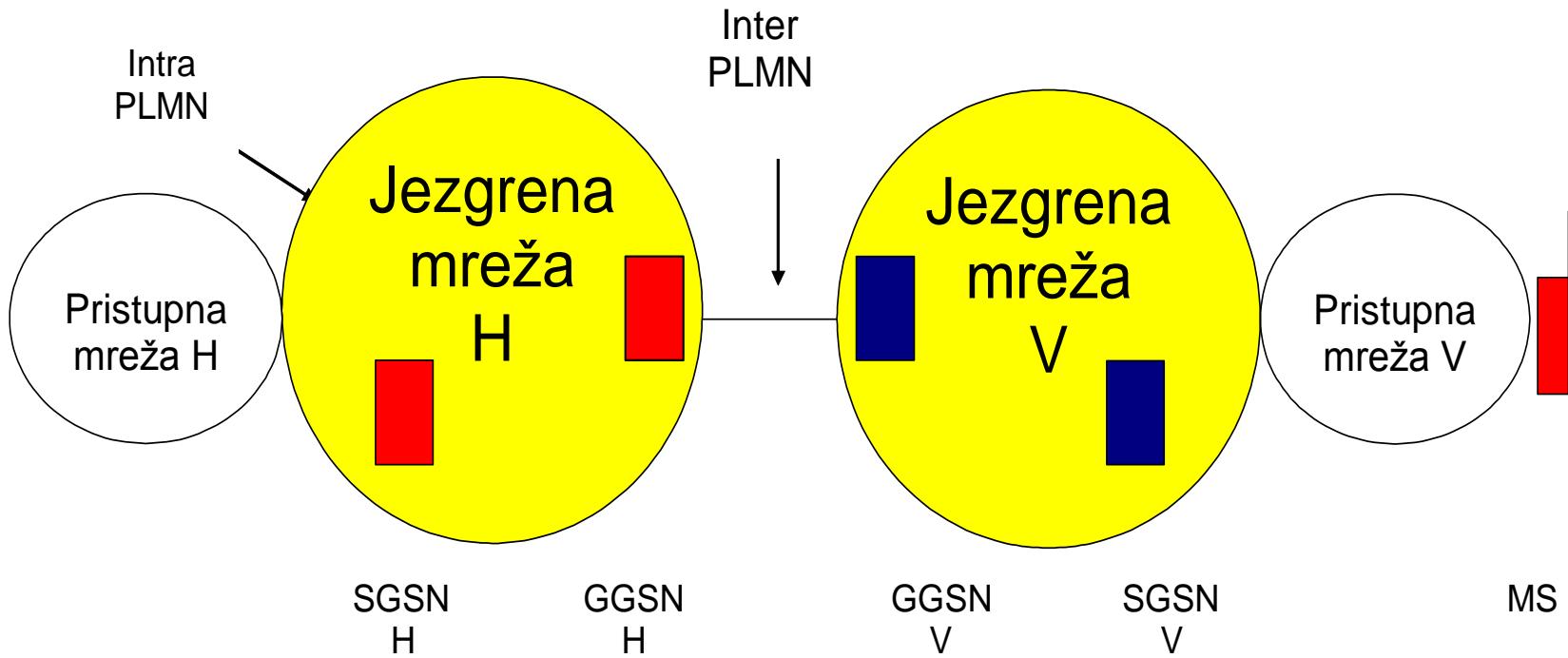
Vrste adresa

- ◆ Privatne adrese
 - ograničeni broj adresa
 - nemogućnost adresiranja i usmjeravanja preko Interneta
 - nemogućnost dobivanja jedinstvene adrese
- ◆ Javne adrese
 - posjedovanje jedinstvene adrese
 - adresiranje preko Interneta

Korištenje adresa

- ◆ Entiteti mrežne infrastrukture moraju imati jedinstvenu (javnu) adresu, na globalnoj osnovi
- ◆ Zbog ograničenog adresnog prostora IPv4, nije moguće ostvariti da svaki MS ima svoju registriranu javnu IP adresu – MS/UE dobivaju privatnu adresu
- ◆ NAT (*Network Address Translation*)
 - mehanizam prevođenja adresa (privatna - javna)
 - Pokretnoj stanici sa privatnom IP adresom dodjeljuje se javna adresa koja je raspoloživa za vrijeme trajanja veze s vanjskom IP mrežom

Prelaženje (roaming)



IP adresiranje mreže

- ◆ Prelaženje: SGSN iz jedne mreže povezuje se sa GGSN iz druge mreže
- ◆ Veza preko inter-PLMN mrežne okosnice

Postupak prelaženja

- ◆ Upravljanje pokretljivošću je odgovorno za funkcionalnost prelaženja
- ◆ Standardizirane aktivnosti prilikom odlaska korisnika u posjećenu mrežu
 - uključivanje MS/UE
 - aktivacija PDP konteksta
 - razmjena DNS podataka
 - uključivanje graničnog prilaza (BG - *Border Gateway*) radi sigurnosti

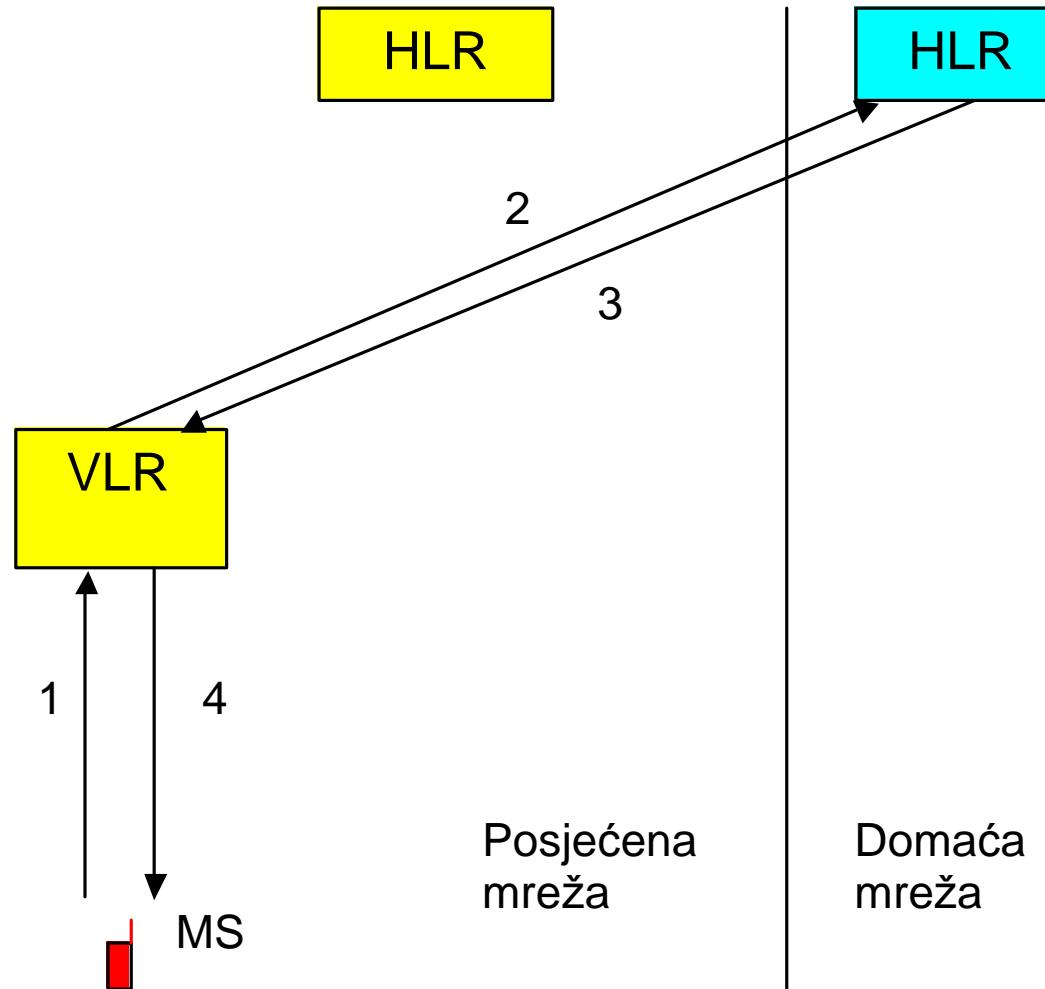
- ◆ Svrha sporazuma o prelaženju (*roaming agreement*) je:
 - da pretplatnicima operatora A omogući korištenje pokretnih usluga u drugim mrežama kao i u svojoj mreži
 - da pretplatnicima drugih operatora omogući korištenje pokretnih usluga u mreži operatora A kao i u njihovim domaćim mrežama
 - izvršiti naplatu korištenja pokretnih usluga korisnicima drugih operatora kao i svojim domaćim korisnicima

Gostujući korisnici

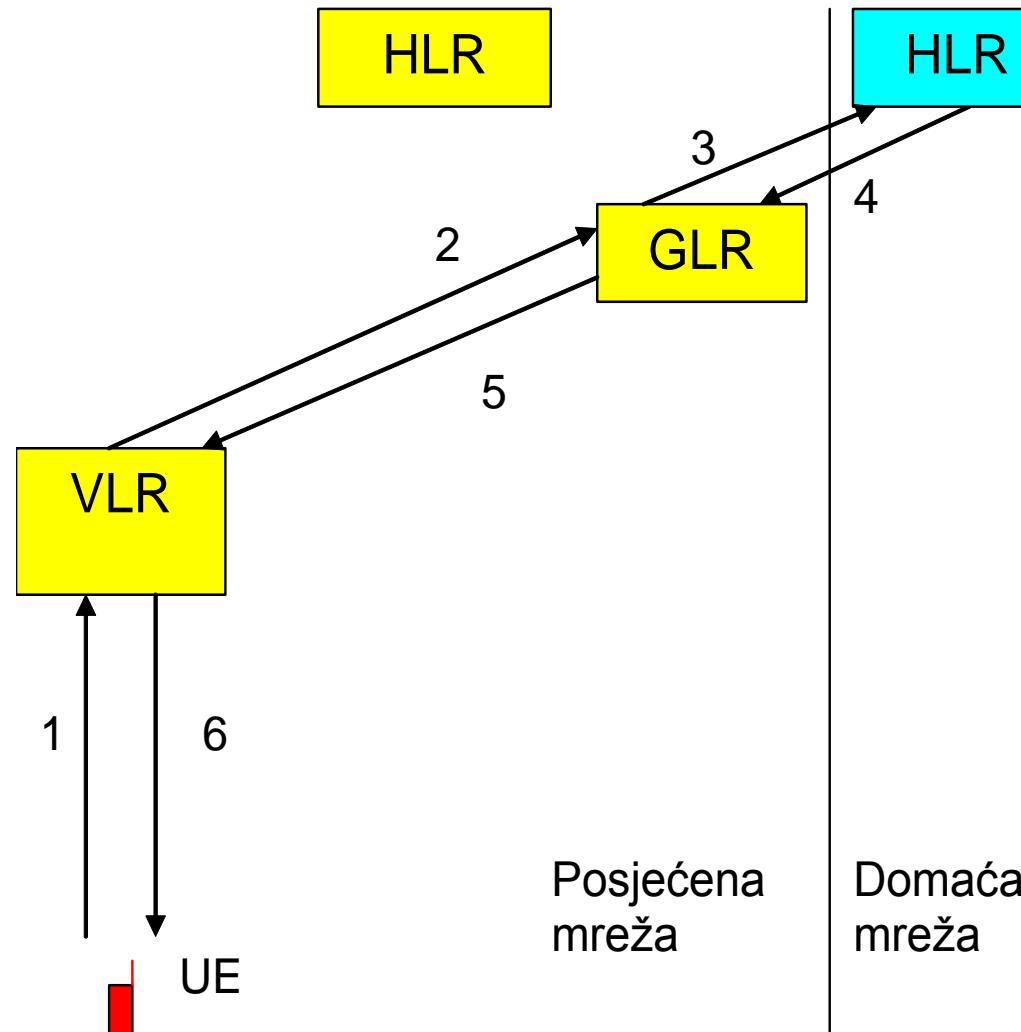
- ◆ Ako je sporazum o prelaženju zadovoljen gostujući (*roaming*) pretplatnik može koristiti:
 - radijske resurse u VPLMN (Visitor Public Land Mobile Network)
 - GGSN u HPLMN (Home Public Land Mobile Network)
- ◆ Ovisno o korisničkoj informaciji u HLR
 - roaming korisnik može koristiti entitete GGSN u VPLMN

- ◆ Optimizacija upravljanja pokretljivošću pri kretanju u posjećenoj mreži (*roaming*) da bi se smanjio signalizacijski promet između domaće i posjećene mreže
- ◆ Prenosivost usluga između različitih terminala i različitih mreža te njihova personalizacija, kako bi za korisnika usluga bila neovisna o trenutnoj pristupnoj točki

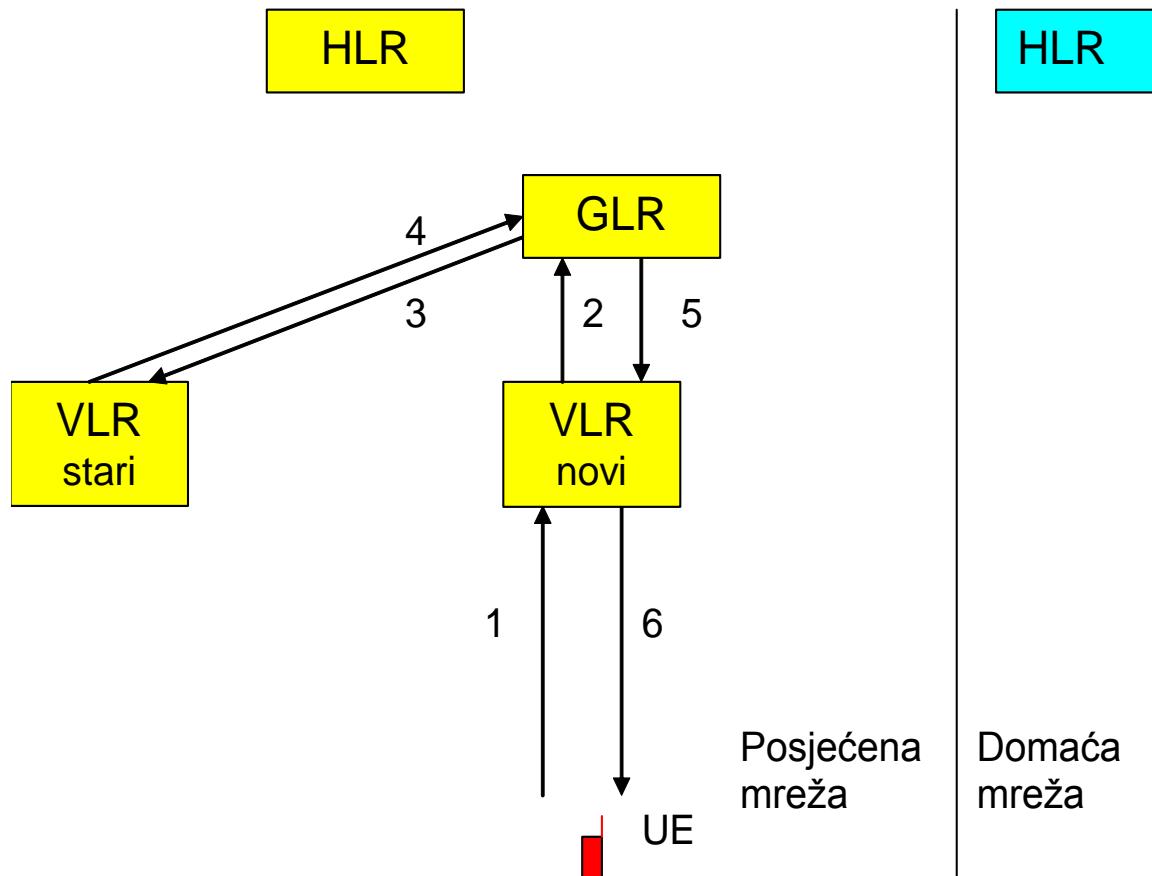
Registracija u posjećenoj mreži



Registracija s GLR



Promjena lokacije s GLR



- ◆ 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, femtoćelije, Voice over LTE (VoLTE)

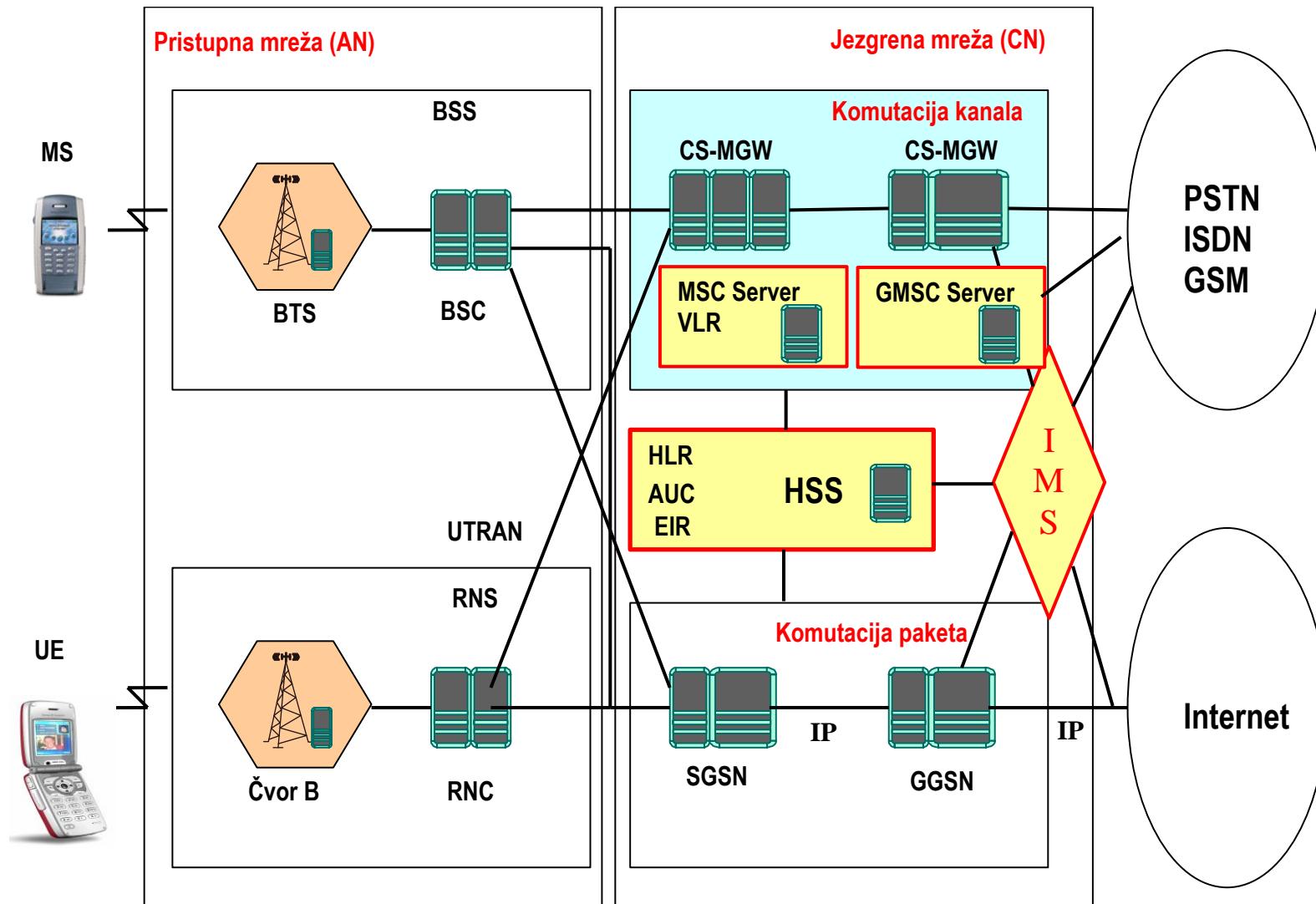
Pregled izdanja 3GPP specifikacija UMTS-a



Izdanje UMTS	Najvažnije odlike
R11, R12, R13 (2011. – 2014.)	<p>Napredni LTE (LTE-A), razvoj četvrte generacije pokretnih mreža (4G), OFDMA, prošireni MIMO, razvoj IMS-a, sigurnost, QoS, Machine-Type Communication, femtoćelije, Voice over LTE (VoLTE).</p> <p>Unapređenje pokrivenosti, kapaciteta i brzine prijenosa HET-NET: Heterogeneous Network</p>

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



Diplomski studij

Informacijska i komunikacijska
tehnologija:

Telekomunikacije i informatika

Obradba informacija

Ak.g. 2014./2015.

Razvoj pristupne mreže UMTS

Tehnologije brzog paketskog pristupa
Integracija s bežičnim mrežama

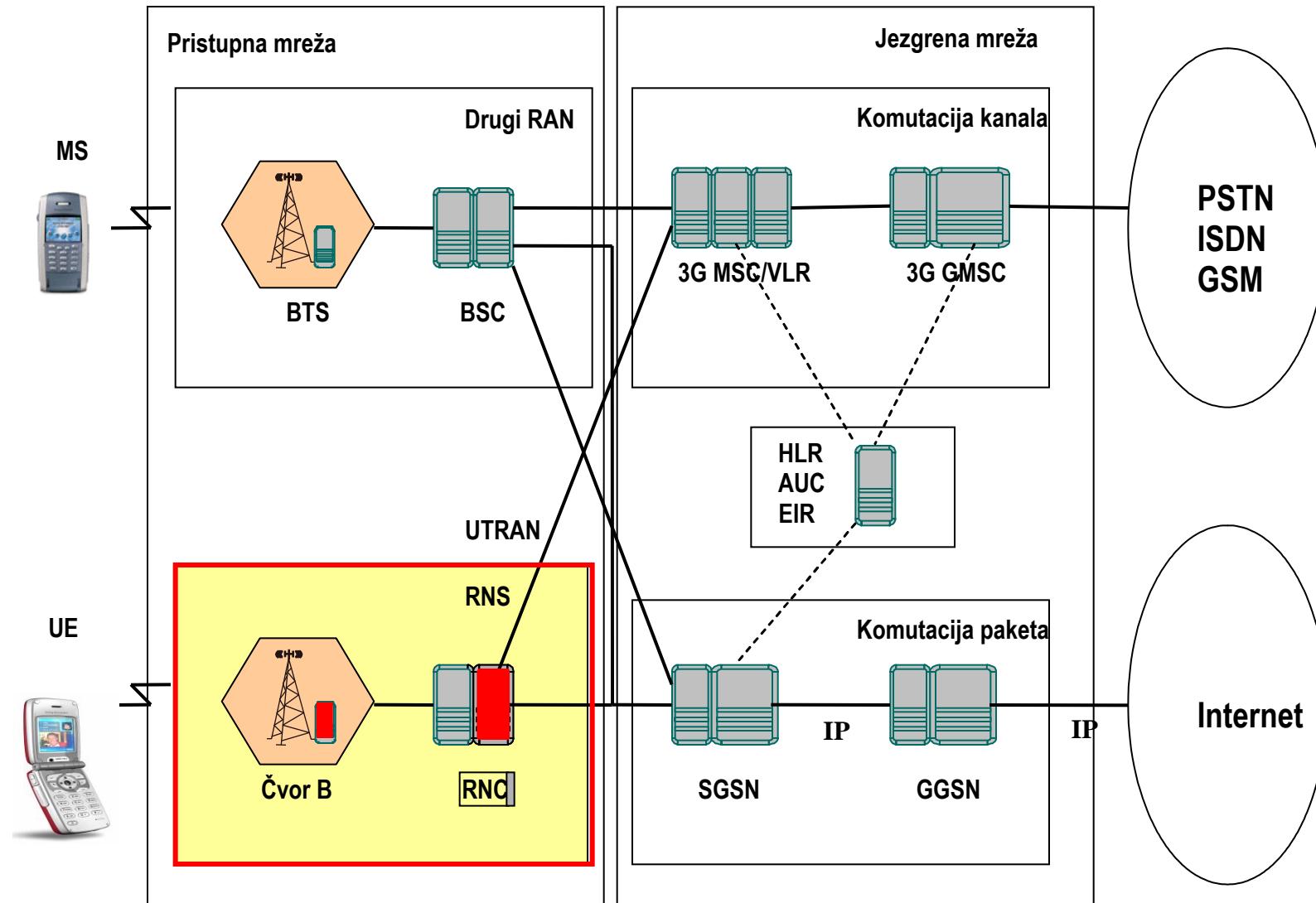
High Speed Packet Access, HSPA

- ◆ 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)**

High Speed Downlink Packet Access, HSDPA

- ◆ Nadogradnja WCDMA tehnologije
- ◆ Ne zahtijeva 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



- ◆ 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

- ◆ 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

- ◆ 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

3GPP Long Term Evolution

LTE
DL: 326 Mbit/s
UL: 86 Mbit/s
20 MHz

3GPP UMTS Radio Access Network Evolution

HSDPA
DL: 14.4 Mbit/s
UL: 384 kbit/s
5MHz

HSDPA/HSUPA
DL: 14.4 Mbit/s
UL: 5.76 Mbit/s
5MHz

HSPA Evolution
DL: 28,8 Mbit/s
UL: 11.5 Mbit/s
5MHz

3GPP GSM EDGE Radio Access Network Evolution

EDGE
DL: 474 kbit/s
UL: 474 kbit/s

Enhanced EDGE
DL: 1.3 Mbit/s
UL: 653 kbit/s

2006

2007

2008

2009

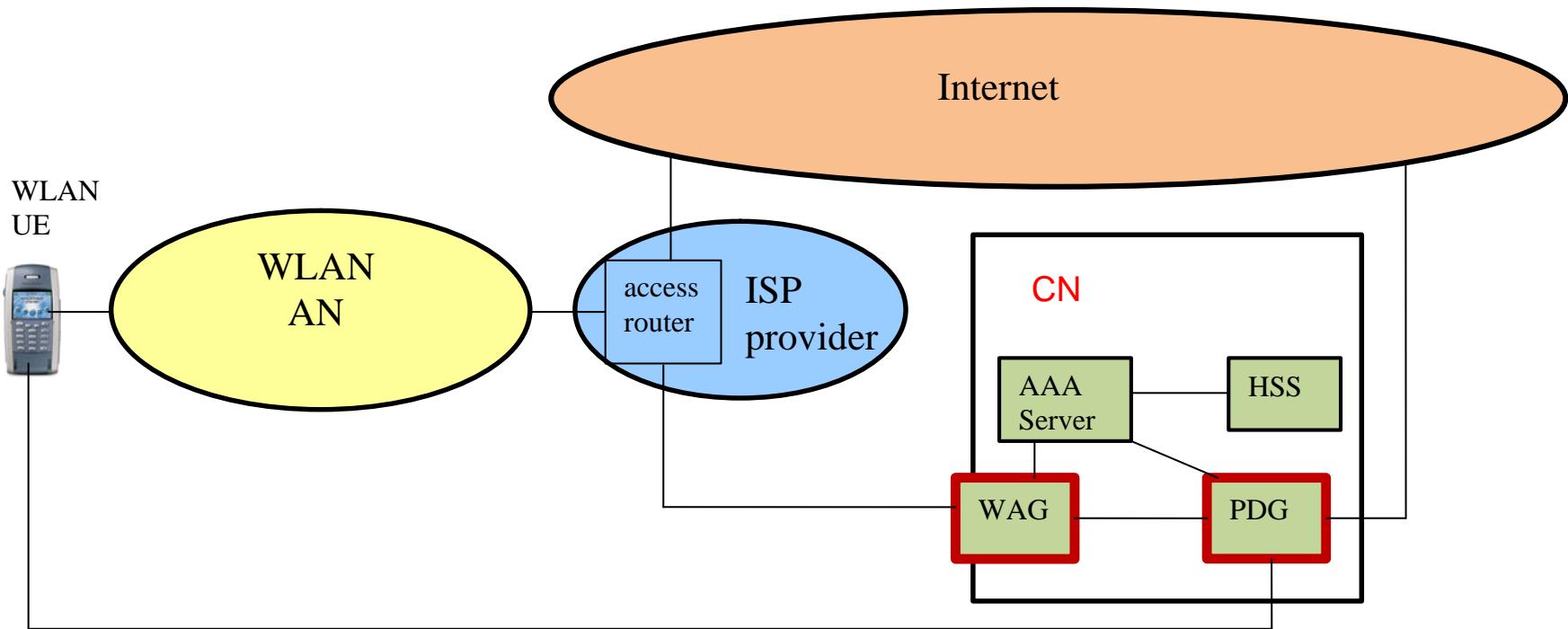
2011

2014

Povezivanje s WLAN mrežama

- ◆ **WLAN tehnologije**
 - Pristup Internetu velikim brzinama (širokopojasni pristup)
 - WiFi
 - WiMAX (urbana i ruralna područja)
 - Ne omogućavaju pokretljivost korisnika
 - Mobile WiMAX (IEEE 802.16m) – uvođenje pokretljivosti korisnika
- ◆ Integracija WLAN pristupnih točaka s UMTS pristupnom mrežom
 - Integracija ćelijskih i nećelijskih pristupnih mreža
- ◆ Kombinacija s fiksnim pristupom (žičnim)

Integracija s WLAN (I-WLAN)



Packet Data Gateway (PDG)

- ◆ Provodi registraciju korisnika spojenih na WLAN (WLAN UE)
- ◆ Lokalnoj IP adresi korisničkog terminala spojenog na WLAN (WLAN UE) pridružuje javnu (remote) IP adresu kojom se WLAN UE spaja na javnu internetsku mrežu
- ◆ Omogućava pristup paketskim uslugama
- ◆ Sadrži informacije o usmjeravanju podataka za korisnike spojene preko mreže WLAN na Internet (WLAN-3G-Internet)
- ◆ Prihvata/odbija zahtjeve od W-APN na temelju odluka AAA poslužitelja

WLAN Access Gateway (WAG)

- ◆ Usmjerava pakete od/prema WLAN pristupne mreže preko PDG do/iz internetske mreže radi pružanja usluga pokretnim korisnicima (WLAN UE) spojenih na Internet preko WLAN mreže
- ◆ Osigurava vezu s Internetom preko odgovarajućeg PDG
- ◆ Sadrži funkcionalnosti vatrozida
- ◆ Generira informacije o naplati za korisnike u prelaženju koji pristupaju Internetu preko WLAN pristupne mreže (WLAN AN)

Protokolni složaj I-WLAN

WLAN
UE

WLAN AN

WAG

PDG

Remote IP
Tunneling layer
Transport IP
L2/L1

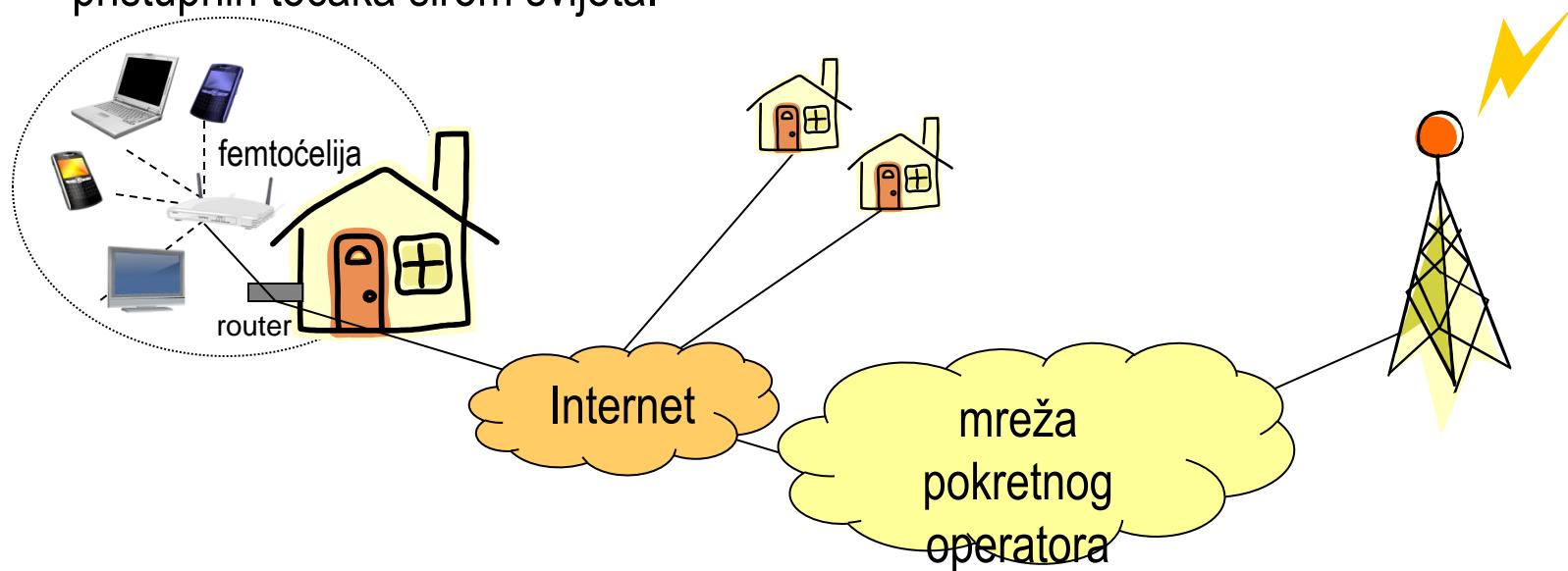
Transport IP	Transport IP
L2/L1	L2/L1

Transport IP	Transport IP
L2/L1	L2/L1

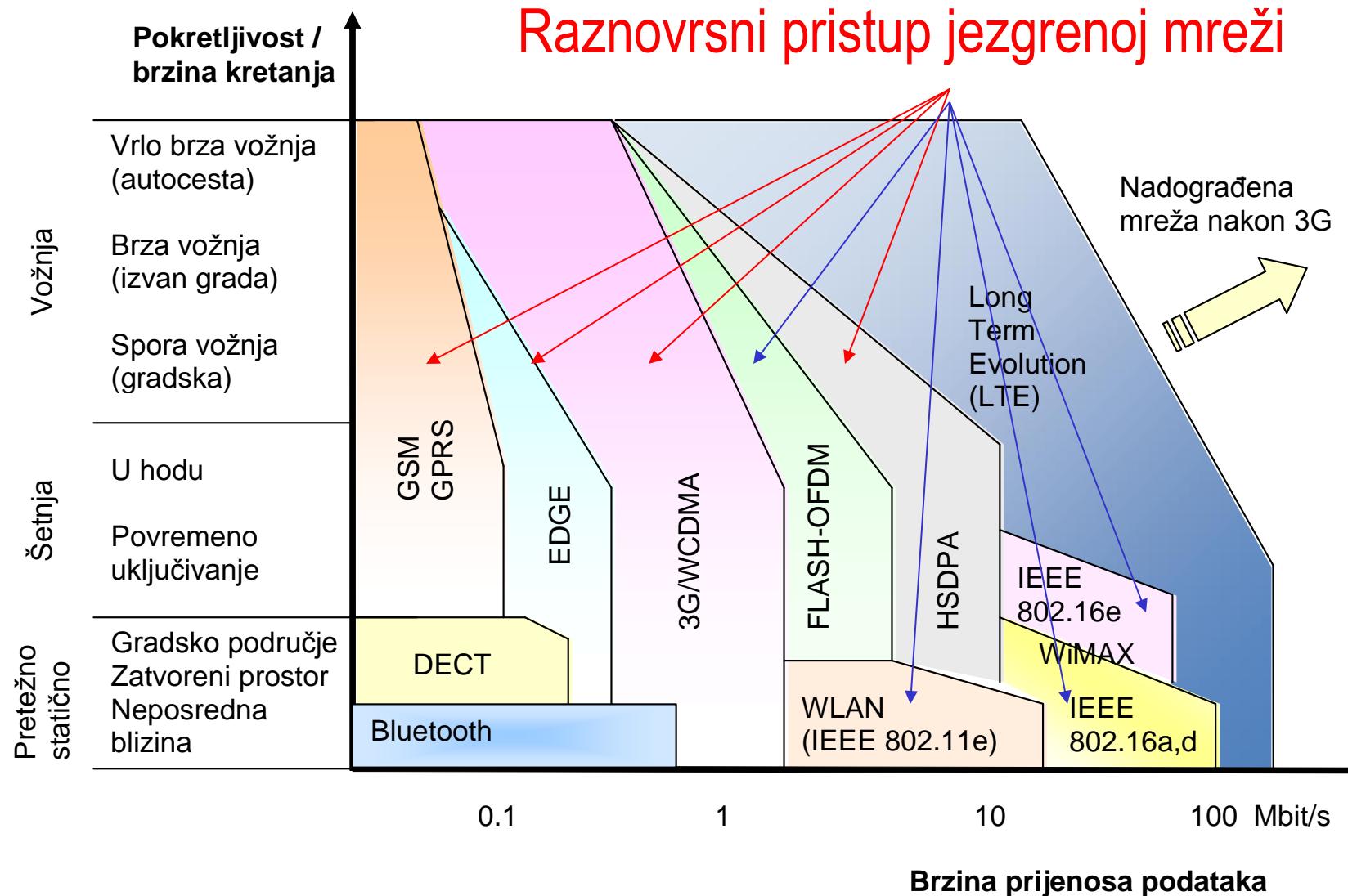
Remote IP	
Tunneling layer	
Transport IP	L2/L1
L2/L1	

Femtoćelije

- ◆ bežične pristupne točke male snage, rade u licenciranom dijelu spektra (Home NodeB/eNodeB)
- ◆ služe za spajanje standardnih pokretnih uređaja na mrežu pokretnog operatora preko DSL-a ili širokopojasnog kabelskog pristupa
- ◆ odgovor operatora pokretnе mreže na konkureniju od WiFi i VoIP operatora
- ◆ nove usluge: neka predviđanja idu do oko 100 milijuna korisnika proizvoda koji koriste femtoćelije (komunikacijski uređaji ali i usluge za e-zdravstvo i sl.), na 32 milijuna pristupnih točaka širom svijeta.



Usporedba tehnologija u bežičnim mrežama





Diplomski studij

Informacijska i komunikacijska
tehnologija:

Telekomunikacije i informatika

Obradba informacija

Ak.g. 2014./2015.

Komunikacijski protokoli

12.

Četvrta generacija pokretne mreže (4G)

Sigurnost pokretne mreže

Konvergencija mreža

15.1.15.

Sadržaj predavanja

- ◆ Komunikacijski protokoli mreže 4G
 - Evoluirana paketska jezgrena mreža
- ◆ Internetski višemedijski sustav IMS
- ◆ Protokoli sigurnosti u mreži
 - GSM, GPRS, UMTS i LTE
- ◆ Konvergencija mreža



Diplomski studij

Informacijska i komunikacijska
tehnologija:

Telekomunikacije i informatika

Obradba informacija

Ak.g. 2014./2015.

Četvrta generacija pokretnih mreža

Evoluirana paketska jezgrena mreža

IP višemedijski sustav

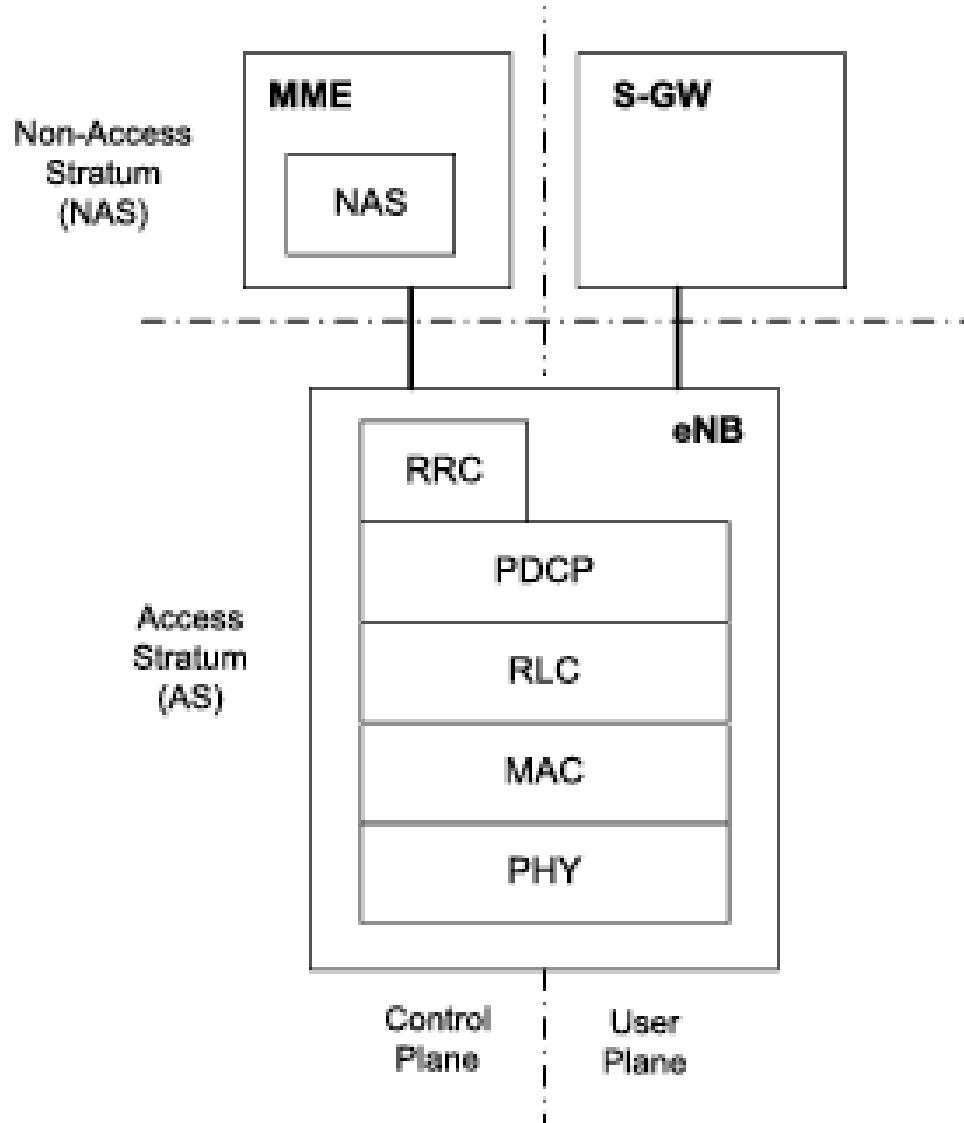
Long Term Evolution, LTE

- ◆ 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
- ◆ Smanjena potrošnja snage u terminalima
- ◆ Pojednostavljena arhitektura
- ◆ FDD i TDD, WCDMA
- ◆ OFDMA

- ◆ Uključuje samo čvorove eNode B (eNB)
 - Upravljanje ćelijama
 - 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

- ◆ 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 neusmjерeno 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 zaglavlja
- ◆ 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)

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 signalizacijskim 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.

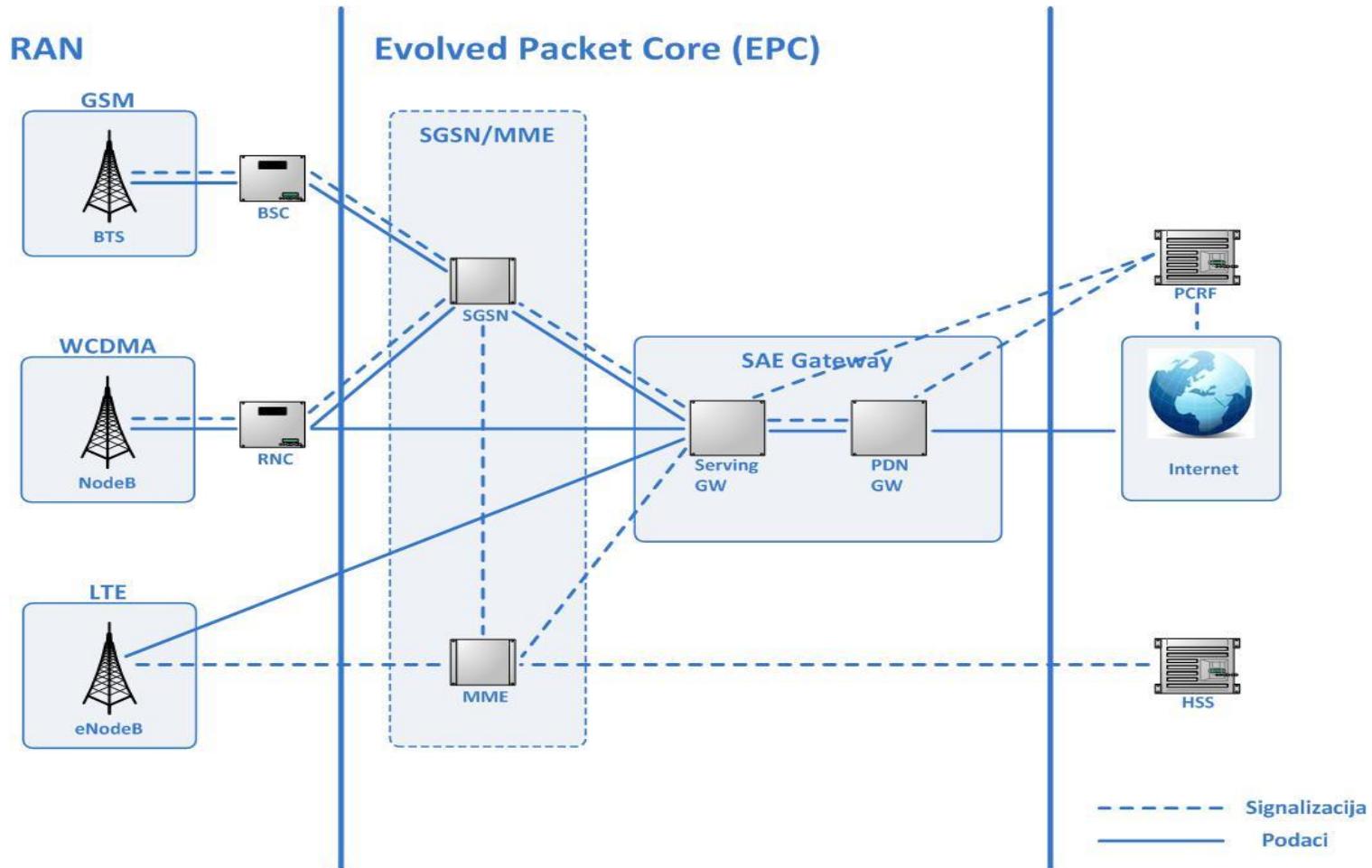
Čvorovi prilaza

- ◆ 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).

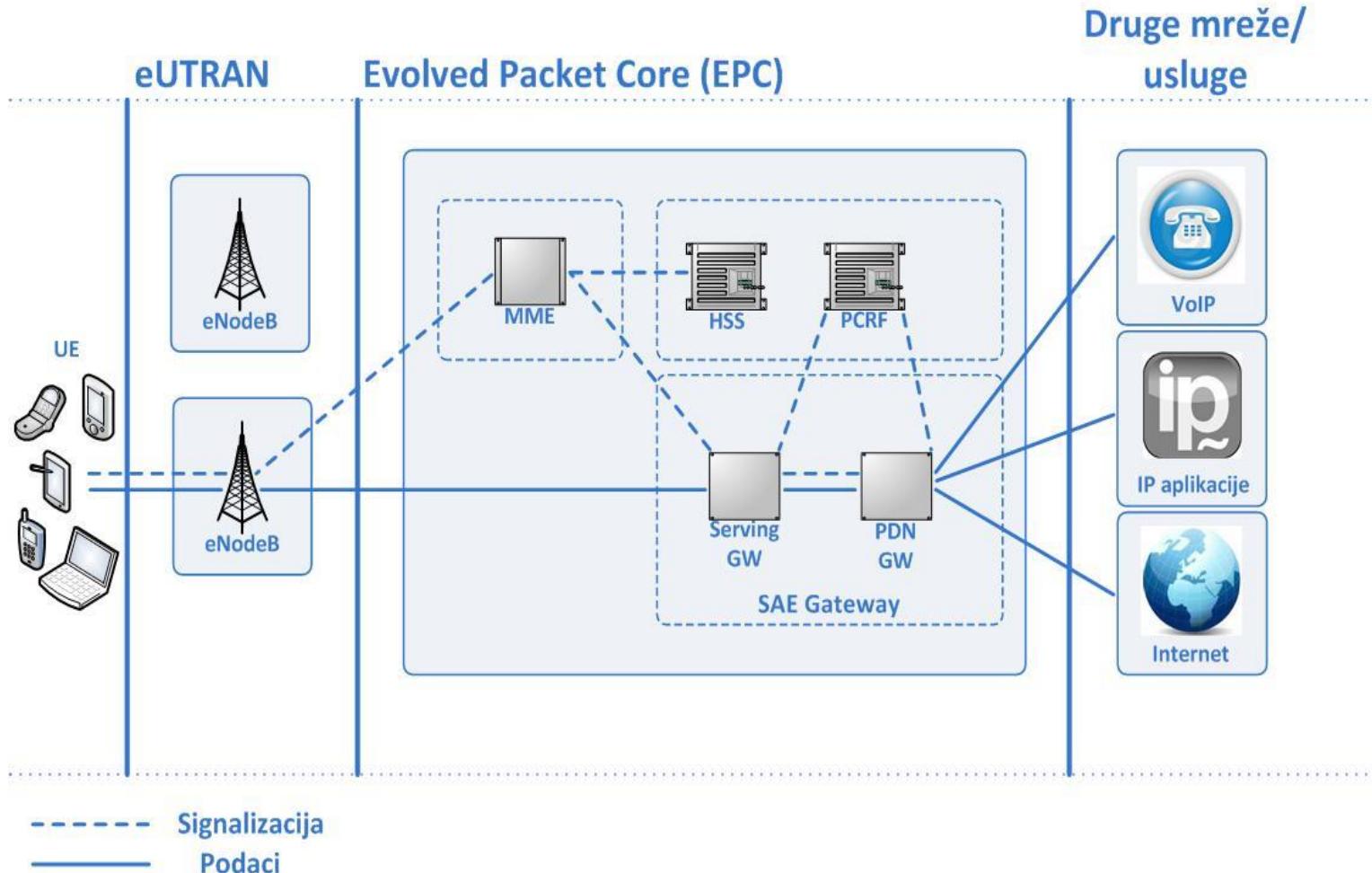
- ◆ **Uslužni prilazni čvor S-GW**
 - tunelira podatke prema P-GW
 - prati kretanje korisničkog terminala između čvorova eNodeB pristupne mreže
 - sadrži ostale funkcije za upravljanje pokretljivošću
 - brine o uspostavi veze s korisnicima drugih mreža kao što su GPRS i UMTS.

Arhitektura LTE/SAE

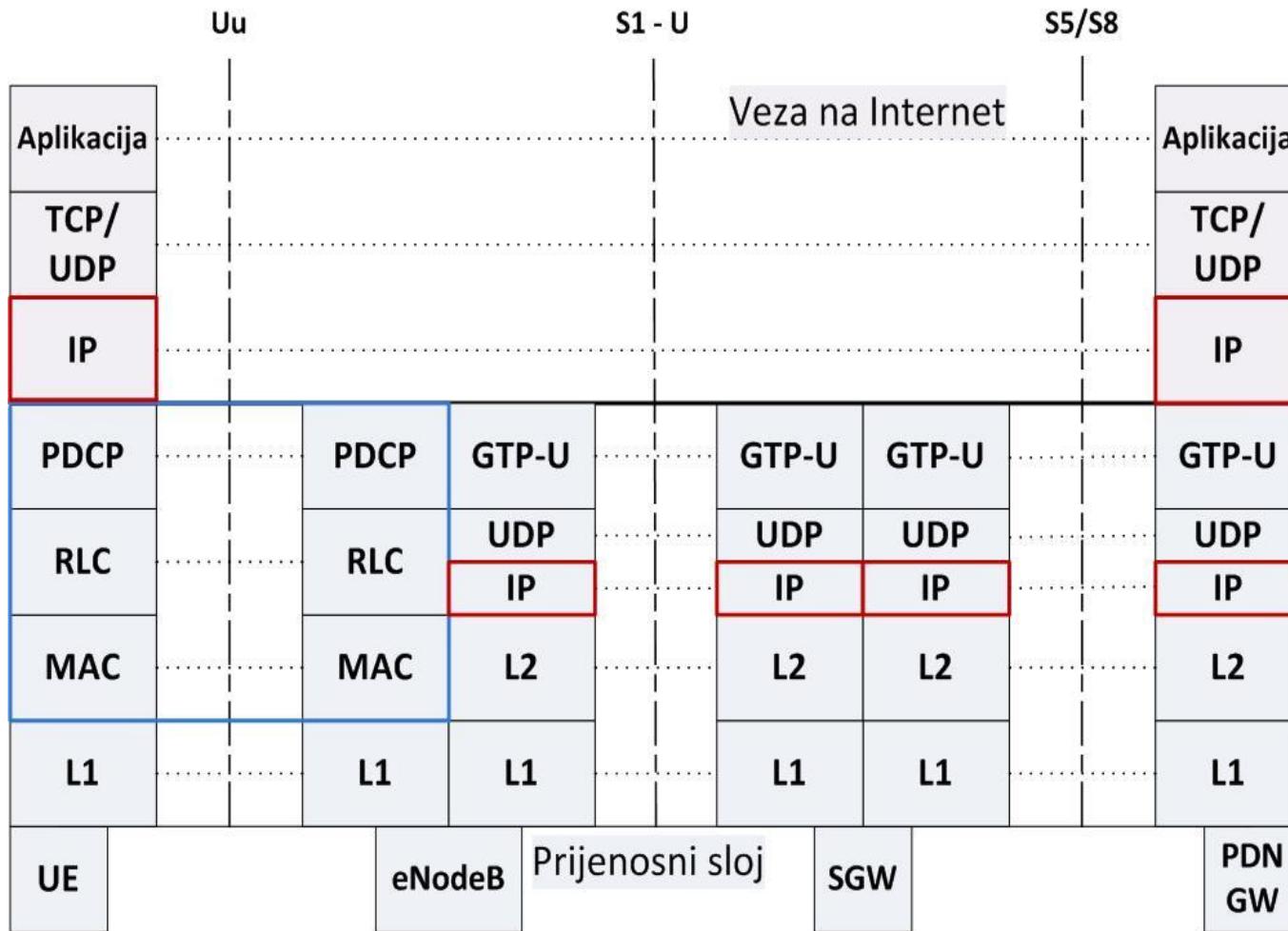


- ◆ **Poslužitelj domaćih pretplatnika (HSS)**
 - predstavlja bazu podataka koja sadrži podatke o pretplatnicima, njihovim profilima, uslugama, ograničenjima i ostalim parametrima bitnim za pružanje usluga
- ◆ **Čvor za upravljanje resursima i terećenjem (engl. *Policy Control and Charging Rules Function*,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

Napredni LTE (LTE-A)

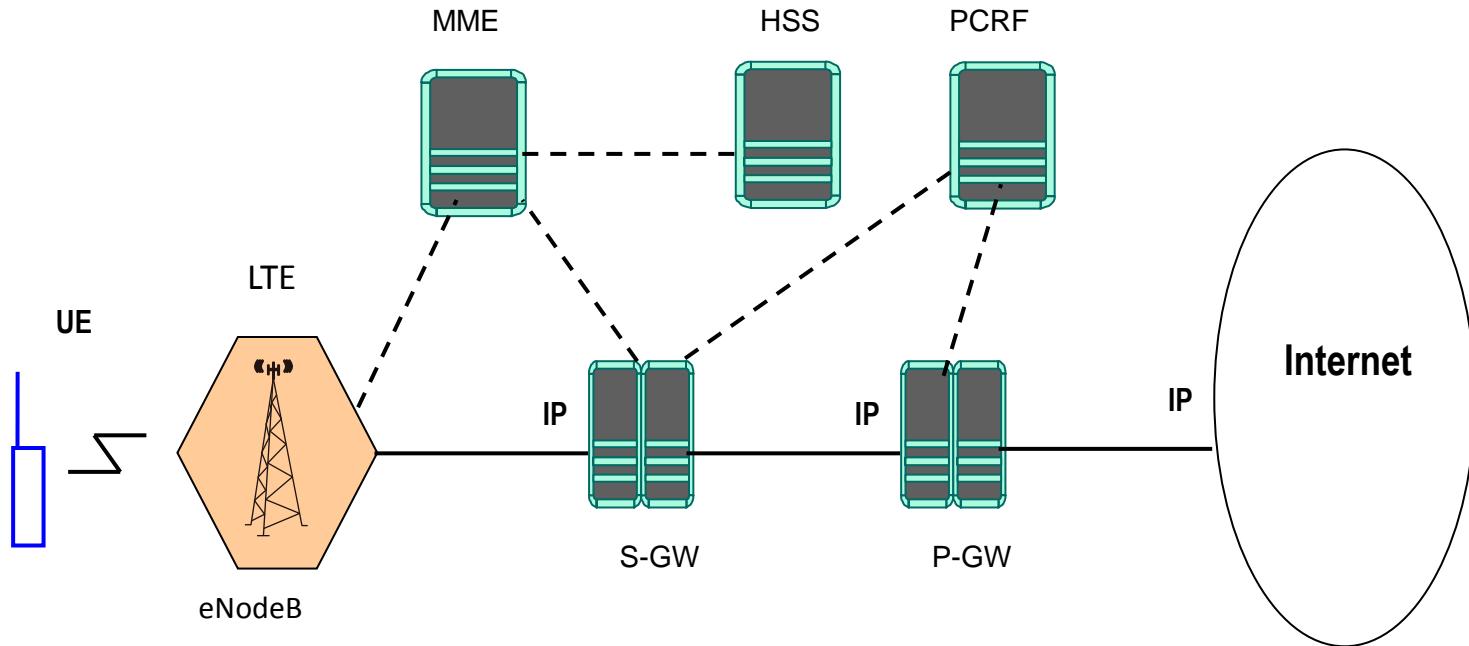


Korisnički protokolni složaj



- ◆ 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)



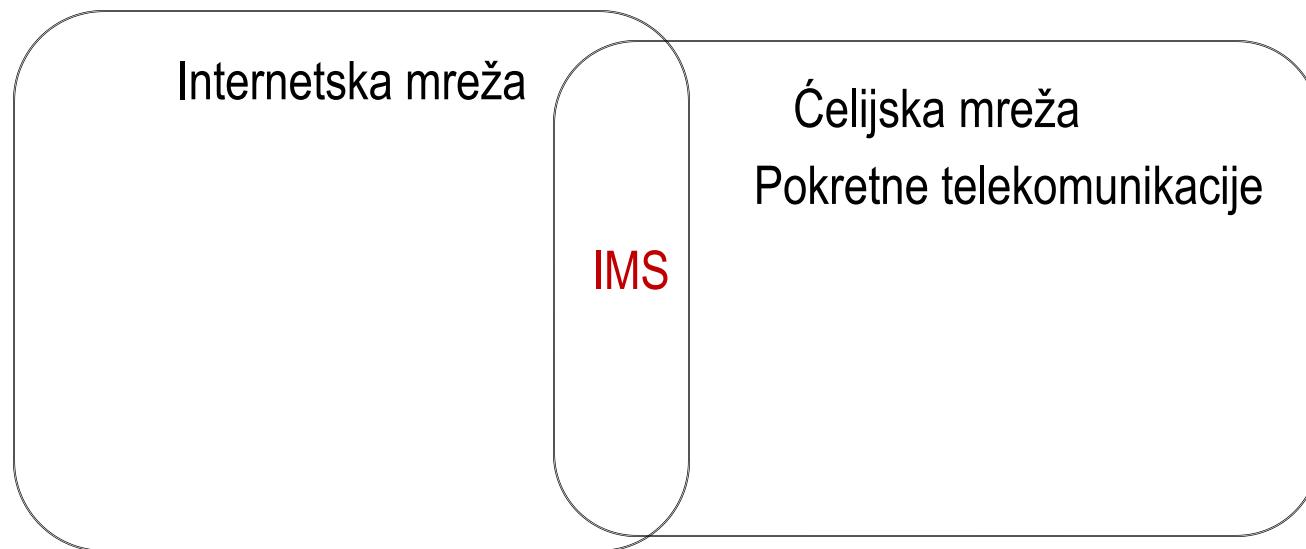
- ◆ UE inicira i uspostavlja vezu s eNodeB na radijskom sučelju
- ◆ Nakon uspostavljenе veze u radijskom dijelu mreže, UE šalje zahtjev za uspostavom IP-veze s čvorom P-GW koristeći uspostavljenу vezu na radijskom sučelju. Pritom, eNodeB uspostavlja logičku vezu s čvorom MME za dotični UE
- ◆ Ako mreža ne može identificirati dotični UE, pokreće se proces autentifikacije
- ◆ MME ažurira lokaciju UE-a u HSS-u i zahtijeva od HSS-a korisnikov pretplatnički profil. HSS ažurira podatak o trenutnoj lokaciji UE-a te šalje čvoru MME informaciju o pretplatničkom profilu.

Postupak pristupa Internetu putem LTE/SAE (2)

- ◆ MME inicira uspostavu tunela između S-GW i P-GW
- ◆ S-GW uspostavlja vezu (tunel) s čvorom P-GW za dotični UE te o uspostavljenoj vezi obaviještava MME. Nakon uspostavljenih veza, P-GW dodijeljuje IP-adresu dotičnom UE
- ◆ MME uspostavlja vezu (tunel) između čvorova eNodeB i S-GW te šalje čvoru eNodeB zahtjev za aktiviranjem UE-konteksta koji uključuje zapise o karakteristikama i sigurnosnim postavkama veze. Time je ostvarena veza (tunel) od čvora eNodeB do čvora P-GW za prijenos korisničkih podataka.

- ◆ 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

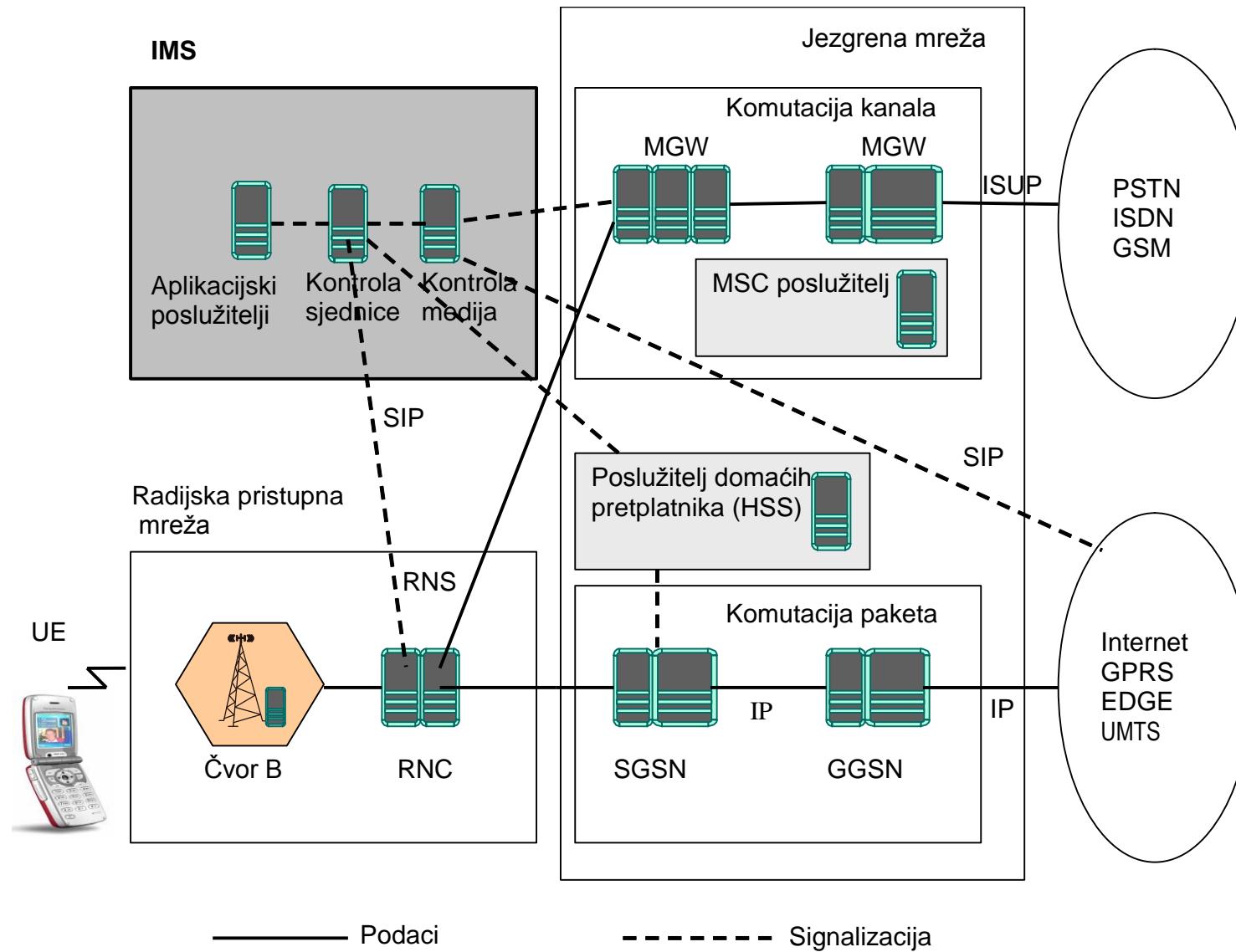
- ◆ IP višemedijski sustav, *IP Multimedia Subsystem*, IMS
- ◆ Integracija Interneta i pokretnih mreža

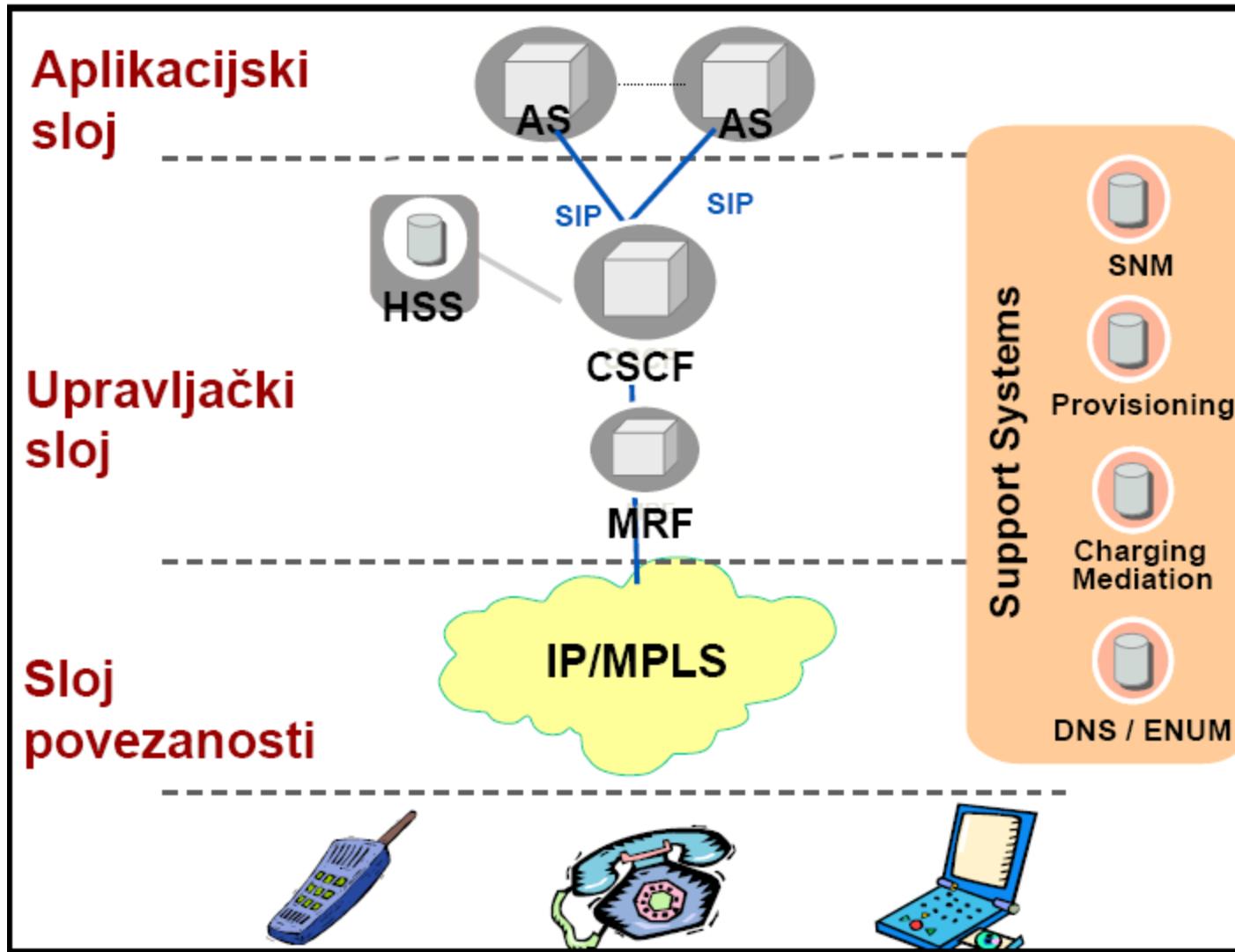


Internetski višemedijski sustav

- ◆ 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





- ◆ 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)
 - IMS AS: prisutnost, poruke, grupe
 - SIP AS: usluge temeljene na protokolu SIP
- ◆ Elementi usluga drugih mreža
 - Open Service Access – Service Capability Server (OS CS)
 - OSA AS, pruža uslugama pristup mrežnoj funkcionalnosti putem standardnog aplikacijskog programskog sučelja
- ◆ IP Multimedia – Service Switching Function (IM SSF)
 - poslužitelj za povezivanje IMS-a s uslugama koje su bile razvijene za GSM mrežu
 - gsmSCF

Upravljački sloj (1)

- ◆ Element baze podataka
 - Domaći pretplatnički poslužitelj HSS (Home Subscriber Server)
 - Glavna baza s korisničkim podacima
 - Sadrži korisničke profile (*user profile*)
 - Autorizacija i autentifikacija korisnika
 - Informacija o fizičkoj lokaciji korisnika
 - Nadležni S-CSCF
- ◆ Elementi upravljanja
 - Funkcija za upravljanje sjednicom poziva CSCF (Call Session Control Function)
 - SIP poslužitelji

Upravljački sloj (2)

◆ P-CSCF (Proxy CSCF)

- Posrednički SIP poslužitelj
- Prva dodirna točka između terminala i IMS mreže
- Granični SIP posrednik, prosljeđuje sve SIP zahtjeve/odgovore
- Registracija i autentifikacija korisnika
- Uspostavlja sigurnu asocijaciju s UE
- QoS
- Naplata

Upravljački sloj (3)

◆ S-CSCF (Serving CSCF)

- Središnji upravljački čvor
- SIP poslužitelj, obavlja funkcije za upravljanje sjednicom
- Osluškuje AS-ove koji sudjeluju u komunikaciji
- Usmjerava SIP poruke
- Više S-CSCF-ova u mreži

◆ I-CSCF (Interrogating CSCF)

- Upitni CSCF
- Definira domenu, njegova IP adresa se nalazi u DNS-u
- Prva točka u vlastitoj mreži, za kontakte iz gostujuće ili vanjske mreže
- Kontaktira HSS, saznaće lokaciju UE i usmjerava SIP zahtjeve na nadležni S-CSCF

Upravljački sloj (4)

- ◆ Elementi sučelja s upravljačkom razinom
 - Funkcija upravljanja medijskim pristupnikom MGCF (Media Gateway Control Function)
 - Upravlja pozivom između SIP i ISUP
 - Sučelje između SGW i SCTP
 - Funkcija upravljanja pristupnikom za prebacivanje veze BGCF (Breakout Gateway Control Function)
 - SIP poslužitelj
 - Usmjerava na temelju telefonskog pozivnog broja
 - Upravlja i usmjerava pozive od IMS prema CS (PSTN, PLMN)
 - Signalizacijski pristupnik (SGW, Signaling Gateway)
 - Konverzija SCTP u MPT (transport signalizacije)
 - IMS MGW
 - Konverzija strujanja podataka RTP u PCM

Upravljački sloj (5)

◆ Elementi resursa

- Funkcija medijskih resursa MRF (Media Resources Function)
 - Manipulacije medijskim tokovima
 - Multimedia Resource Function Controller MRFC
 - ▶▶ obavlja upravljanje vezama s više sudionika
 - Multimedia Resource Function Processor MRFP
 - ▶▶ distributer medija prema mreži

◆ Element sučelja na razini mreže

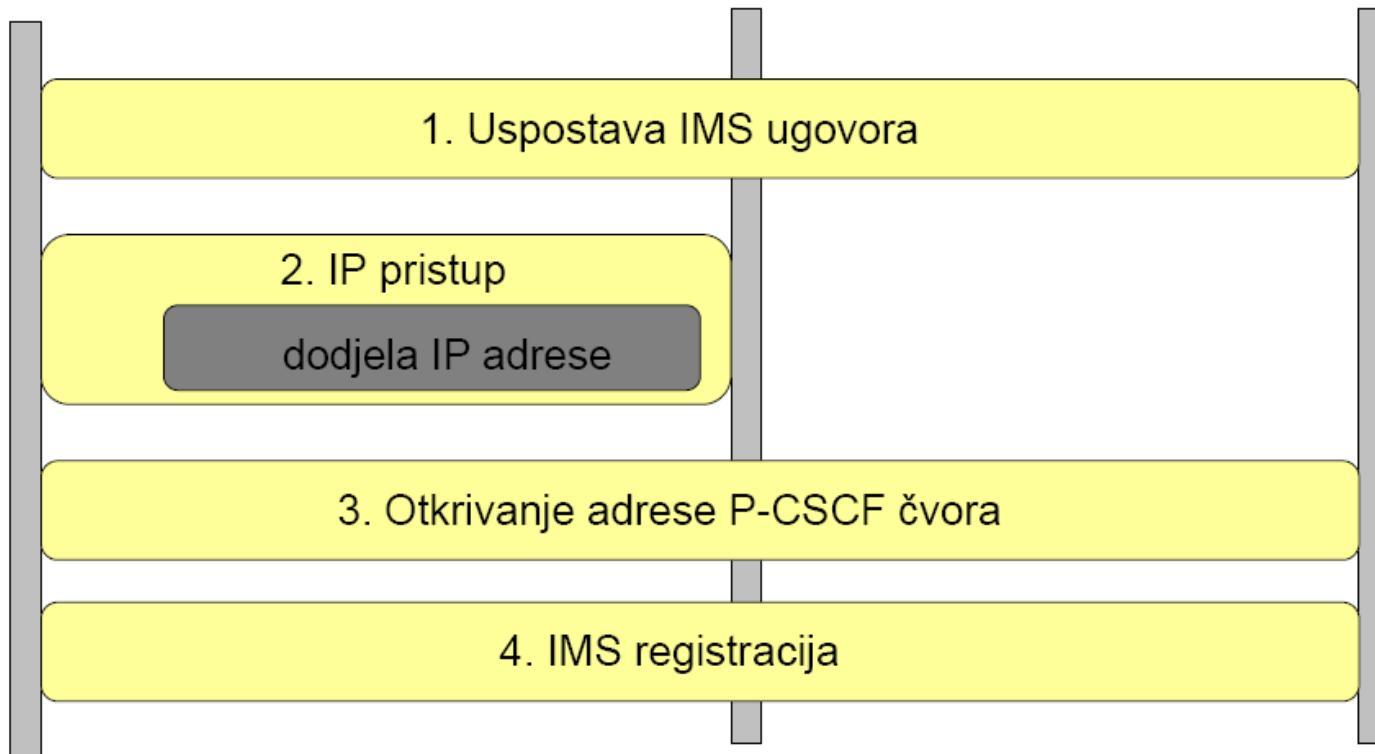
- Medijski pristupnik MGW (Media Gateway)

Uspostava poziva u IMS-u

IMS terminal

IP pristupna mreža

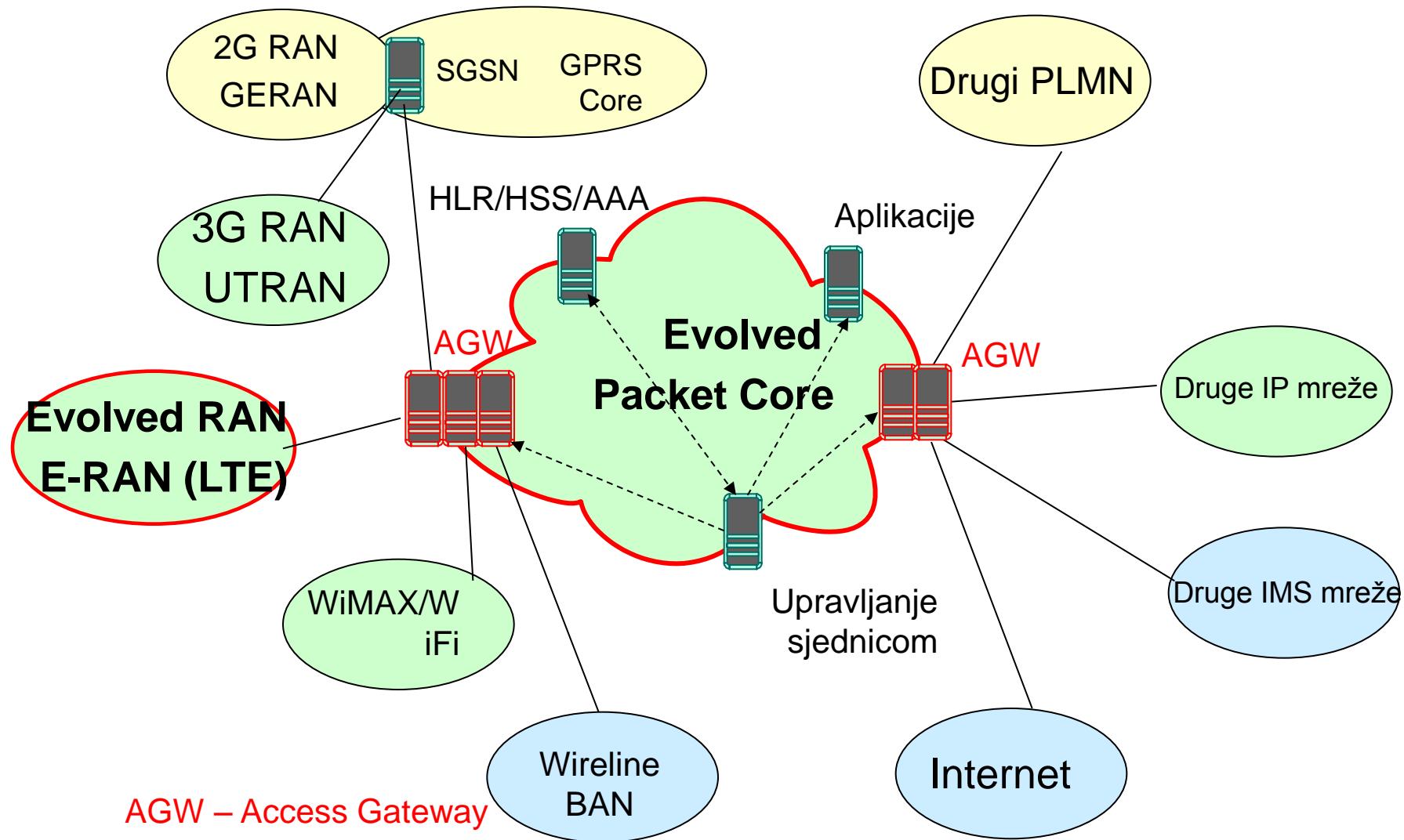
IMS mrežni poslužitelj



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

Evoluirana paketska jezgrena mreža





Diplomski studij

Informacijska i komunikacijska
tehnologija:

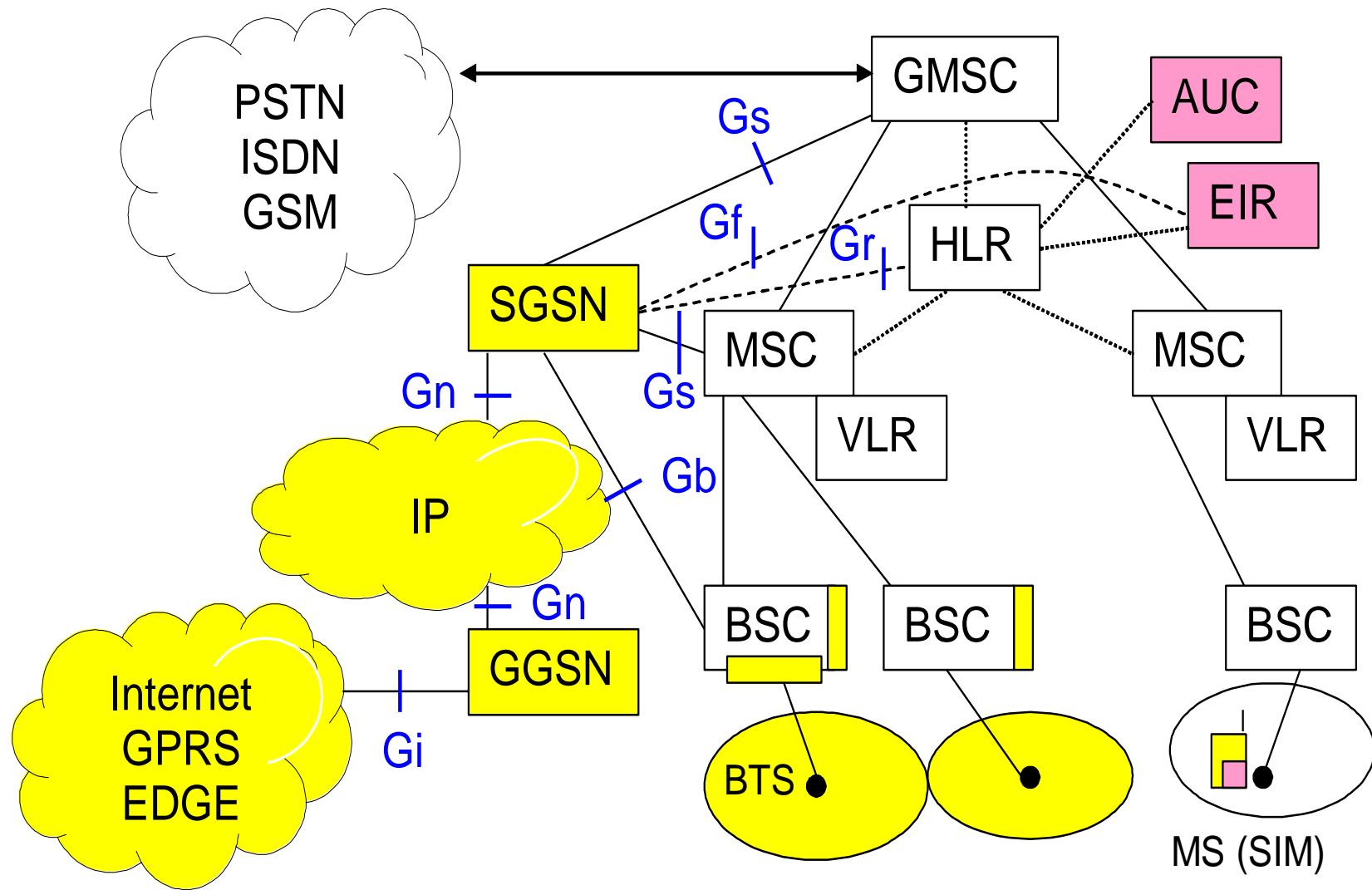
Telekomunikacije i informatika

Obradba informacija

Ak.g. 2014./2015.

Sigurnost pokretnе mreže

Sigurnost u mreži GSM



MSISDN (*Mobile Subscriber ISDN*) number

- ◆ pozivni broj pokretnog pretplatnika
- ◆ dodjeljuje mrežni operator

IMSI (*International Mobile Subscriber Identity*)

- ◆ međunarodni identitet pokretnog pretplatnika
- ◆ dodjeljuje mrežni operator

IMEI (*International Mobile Equipment Identity*)

- ◆ međunarodni identitet pokretne opreme
- ◆ dodjeljuje proizvođač opreme

K_i

- ◆ jedinstven, 128 bita
- ◆ osiguranje komunikacije na zračnom sučelju (MS-BTS)
- ◆ ne izmjenjuje se kroz mrežu, već se izravno upisuje u SIM i AUC
- ◆ algoritmi A3 (SRES) i A8 (Kc) za sigurnosni vektor

Pohrana identifikacije i ključa

SIM (*Subscriber Identity Module*)

- ◆ MSISDN, IMSI
- ◆ Ki, algoritmi A3 i A8



HLR (*Home Location Register*)

- ◆ MSISDN, IMSI

AUC (*Authentication Centre*)

- ◆ Ki

EIR (*Equipment Identity Register*)

- ◆ IMEI

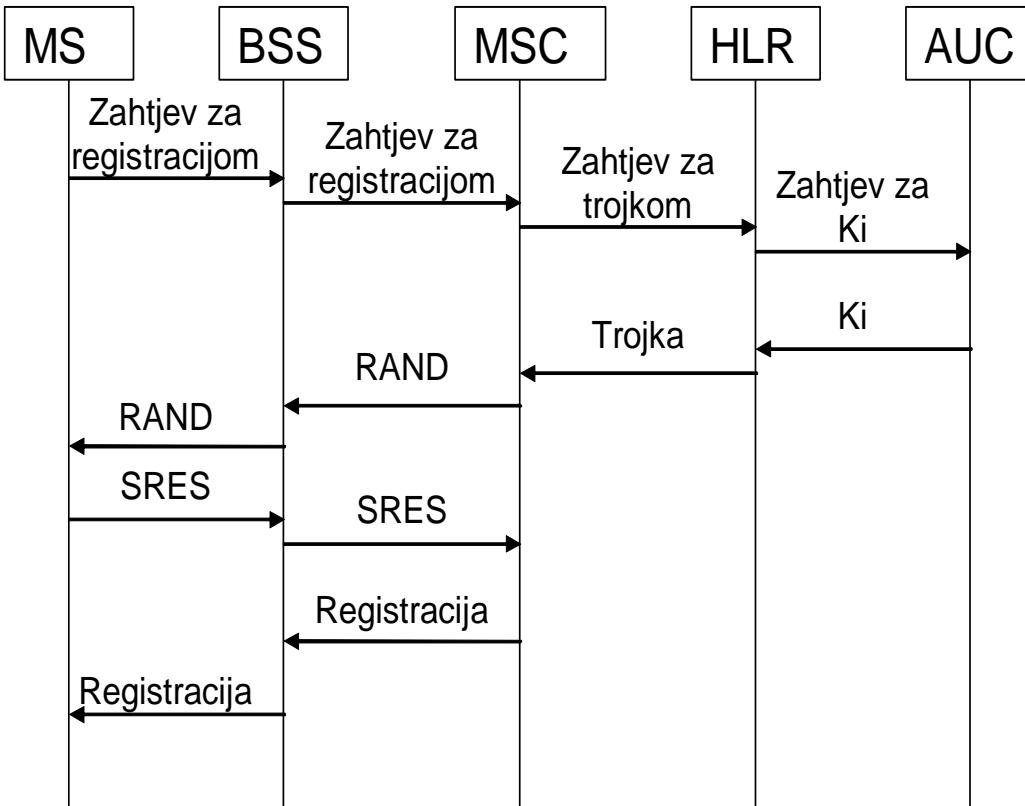
Sigurnosna prijetnja

- ◆ poznavanje IMSI omogućuje lažno predstavljanje i neovlašteni pristup mreži, jer IMSI je jednoznačno povezan s MSISDN

Zaštita

- ◆ provjera autentičnosti SIM-a prigodom zahtjeva za registracijom
- ◆ pretpostavke:
 - sigurni BSS, MSC, VLR i AUC
 - povjerenje između BTS i BSC, BSC i MSC, MSC i HLR te HLR i AUC

Autentičnost pretplatnika (2)



(RAND, SRES, Kc)

RAND – slučajni broj, 128 bita

**SRES – odgovor na RAND generiran s Ki, 32 bita,
($SRES = A3(RAND, Ki)$)**

Kc – sjednički ključ (tajnost), generiran s Ki, 64 bita

HLR generira 5 trojki

MSC odabire jednu trojku

MSC uspoređuje SRES-ove

Sigurnosna prijetnja

- ◆ gubitak ili krađa pokretne opreme

Zaštita

- ◆ prijava gubitka ili krađe opreme mrežnom operatoru
zapisuje se u EIR:
 - kompromitiranom MS ne omogućuje se autentifikacija
- ◆ i HLR:
 - kompromitiranom SIM-u zabranjuje se pristup mreži

Sigurnosna prijetnja

- ◆ mreža upotrebljava IMSI za obradu poziva i usluga
- ◆ IMSI je jednoznačno povezan s MSISDN
- ◆ dohvaćanjem IMSI na zračnom sučelju može se ustanoviti pretplatnikova lokacija i pratiti kretanje

Zaštita

- ◆ nakon provjere autentičnosti pretplatnika, mreža mu dodjeljuje privremeni identitet TMSI (*Temporary Mobile Subscriber Identity*), čime se smanjuje upotreba IMSI na zračnom sučelju
- ◆ preslikavanje IMSI-TMSI provode VLR i MSC

Sigurnosna prijetnja

- ◆ prisluškivanje na zračnom sučelju

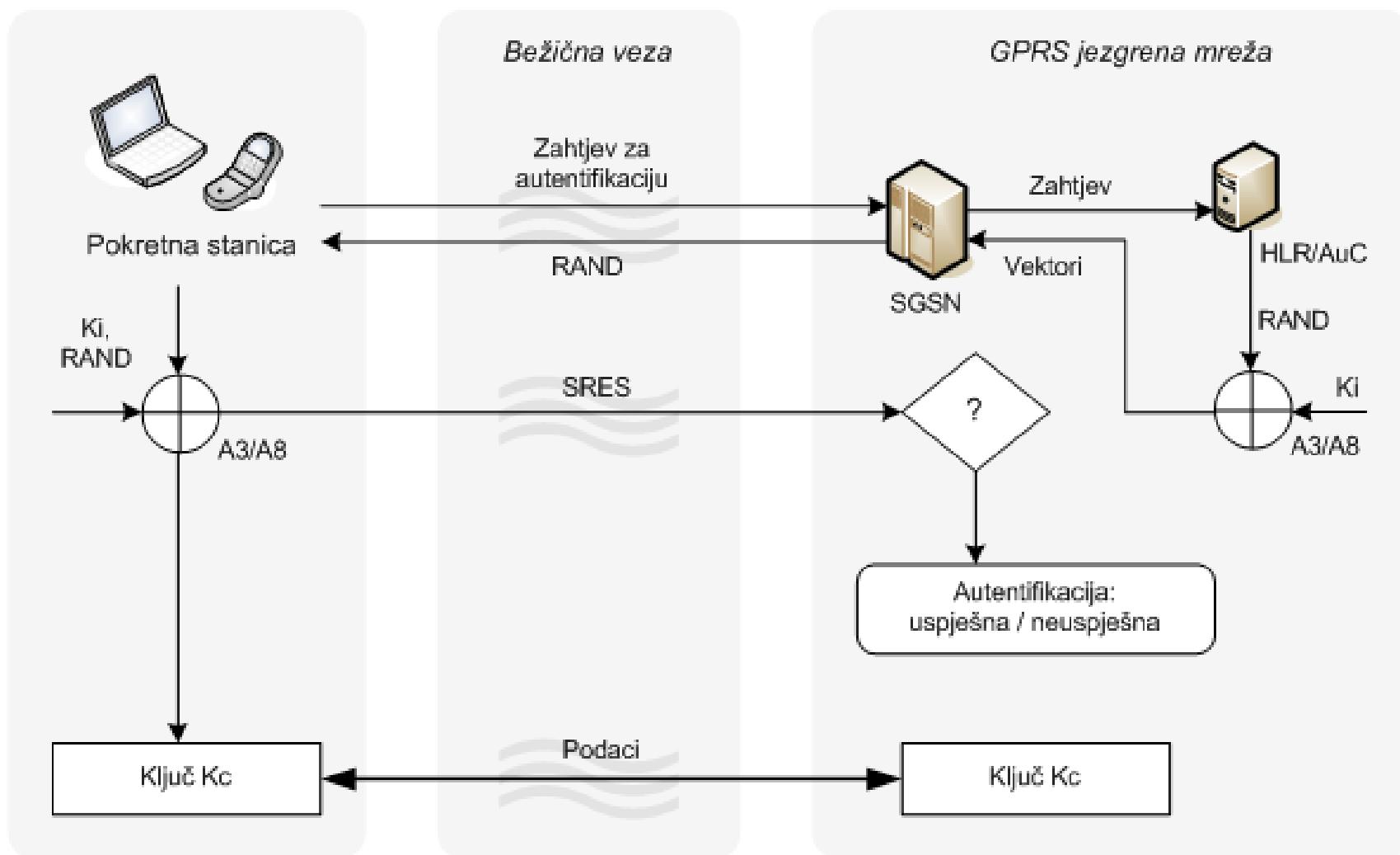
Zaštita

- ◆ šifriranje podataka na zračnom sučelju:
 - algoritam A5 (u MS)
 - sjednički ključ Kc (svaka komunikacija novi Kc)

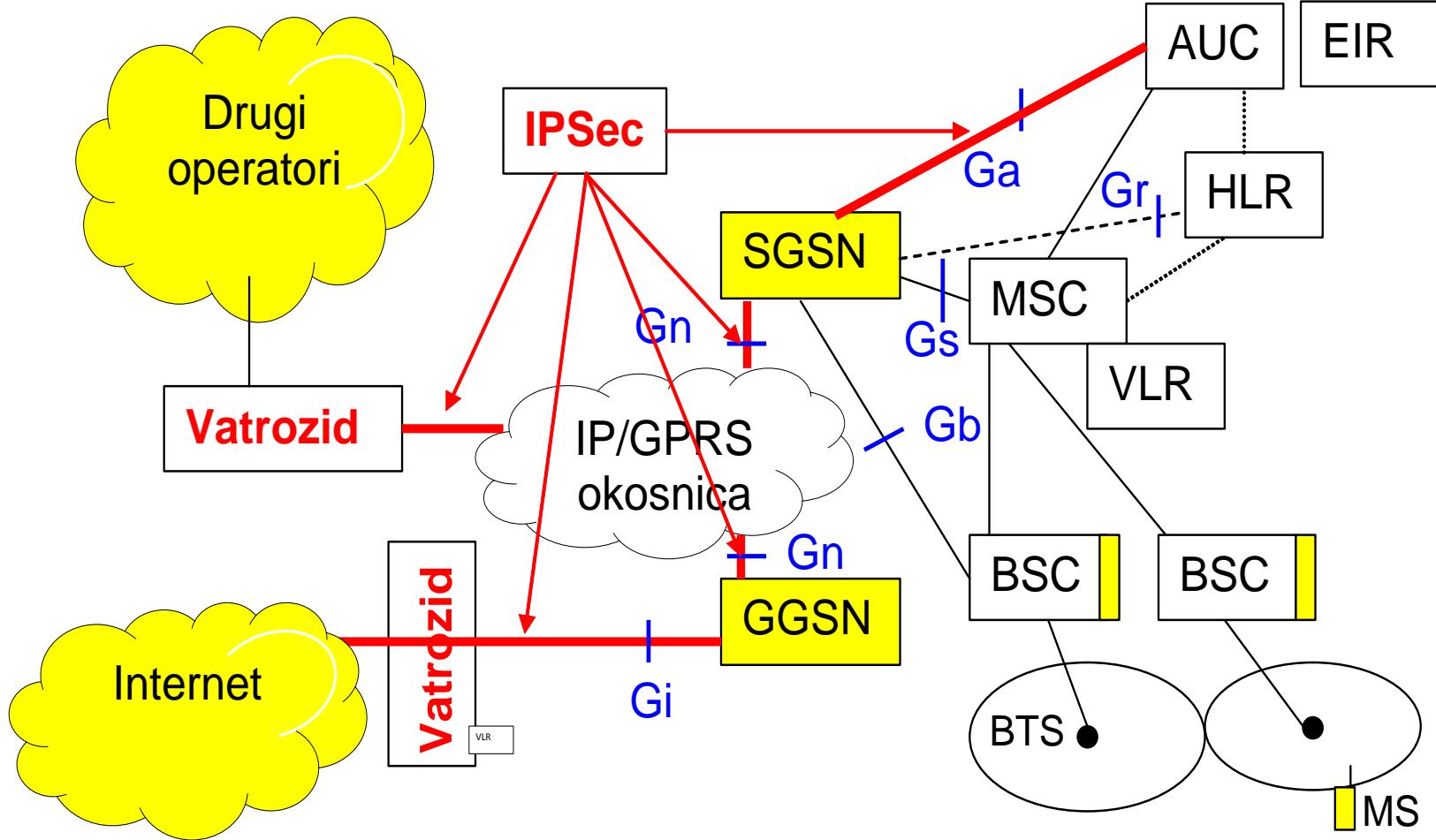
Sigurnost u mreži GPRS

- ◆ Identifikacija i autentifikacija slične sigurnosnom sustavu GSM
 - SGSN vrši autentifikaciju i šifriranje podataka pomoću sigurnosnih algoritama i ključeva koji su prilagođeni paketskom prijenosu podataka
 - Umjesto TMSI koriste se **TLLI** (Temporary Logical Link Identity) i **RAI** (Routing Area Identity)
 - Autentifikaciju obavlja SGSN

Autentifikacija u GPRS-u



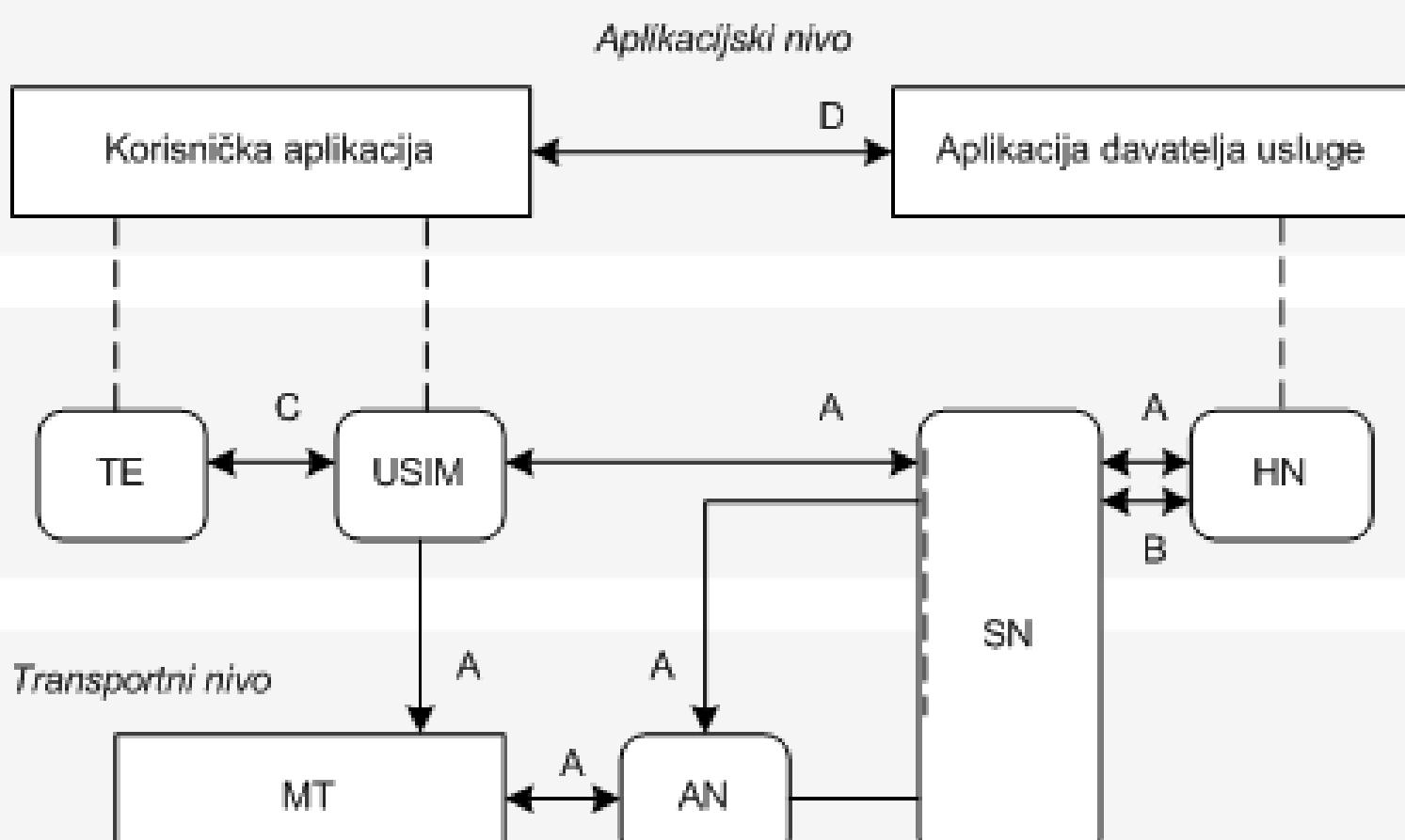
Mrežna sigurnost u GPRS-u



Sigurnosne skupine u mreži UMTS

- ◆ Sigurnost mrežnog pristupa
 - kontrola pristupa uslugama UMTS-a i zaštita od napada preko radijske mreže
- ◆ Sigurnost domene operatora
 - Zaštita od napada preko žične mreže, sigurna izmjena podataka između domena operatora
- ◆ Sigurnost korisničke domene
 - Siguran pristup korisničkim terminalima
- ◆ Sigurnost aplikacija
 - Sigurna izmjena poruka između aplikacija u korisničkoj domeni i domeni operatora

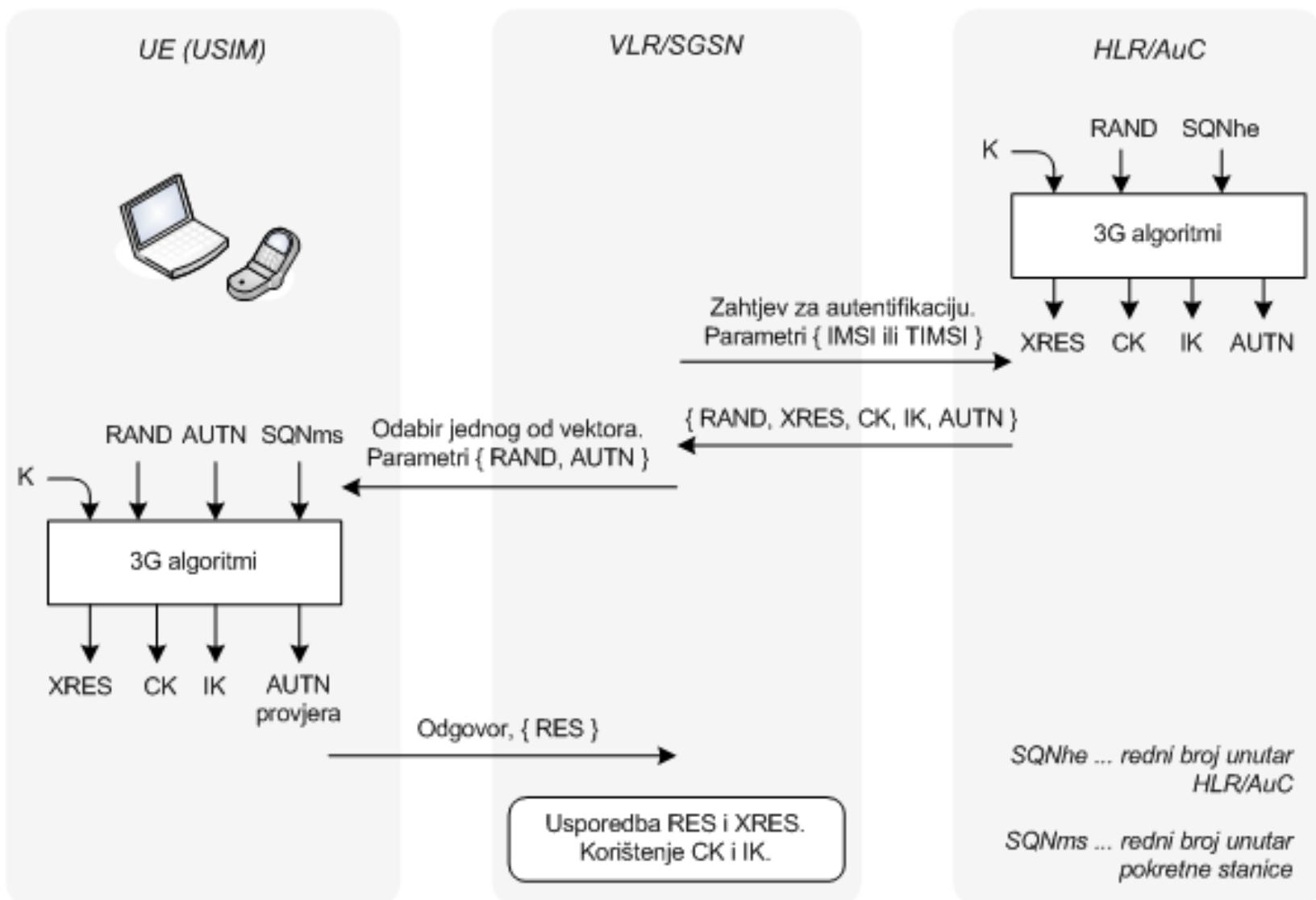
Sigurnosni sustav UMTS



Identifikacija i autentifikacija

- ◆ UMTS mreža pruža nove mogućnosti za zaštitu korisničkog identiteta i lokacije pokretne stanice
 - GSM -> autentifikacija korisnika samo prema mreži
 - UMTS -> korisnički terminal i mreža se uzajamno autentificiraju
 - Postupak autentifikacije uključuje
 - Korisnički zahtjev (RAND)
 - Odgovor XRES
 - Ključ šifriranja CK
 - Ključ integriteta IK
 - Autentifikacijski *token* za mrežnu autentifikaciju (AUTN)

Postupak autentifikacije



Tajnost komunikacije

- ◆ Poboljšani mehanizmi za zaštitu u odnosu na GSM
- ◆ Provjera cjelovitosti i poboljšani postupak autentifikacije povećavaju sigurnost protiv mogućih napada preko radijskog sučelja
 - Provjera cjelovitosti podataka provjerava se između UE i RNC-a
 - Ključevi za šifriranje su duži u odnosu na GSM
 - UMTS Integrity Algorithm – UIA, f9 algoritam za provjeru cjelovitosti
 - Poboljšana metoda šifriranja, namijenjena zaštiti signalizacijskih informacija i korisničkih podataka, koristi algoritam f8

- ◆ Komunikacija čvorova u jezgrenoj mreži GSM i UMTS obavlja se preko sigurnosne inačice MAP (Mobile Application Part) protokola - MAPsec
 - Zaštita na aplikacijskom sloju pomoću posebnih sigurnosnih zaglavlja koja štite poruke
- ◆ Za čvorove kod kojih se komunikacija zasniva na protokolu IP koristi se IPsec
 - Sigurnosni prilazi (security gateway, SEG)
 - Komunikacija između SEG-ova - IPsec ESP tunel
 - Algoritam za šifriranje AES (Advance Encryption Standard)

Sigurnost u mreži 4G LTE

- ◆ Sudjeluju UE, eNB, MME/HSS/Auc
- ◆ Unaprijeđeni mehanizmi sigurnosti u odnosu na 3G
 - Sigurniji USIM – 4G SIM
 - Ključ K je pohranjen u USIM i HSS/HLR/AuC
 - Autentifikacija i autorizacija korisnika (AKA)
 - Uzajamna autentifikacija između UE i mreže
 - Glavni sigurnosni ključ Kasme (master key)
 - Između UE i MME (NAS sigurnosni protokoli: integritet, zaštita i šifriranje signalizacije) te
 - UE i eNB (AS sigurnosni protokoli: zaštita integriteta i šifriranje korisničkih podataka – protokol PDCP) te
 - Duljina ključa je povećana na 128 bita



Diplomski studij

Informacijska i komunikacijska
tehnologija:

Telekomunikacije i informatika

Obradba informacija

Ak.g. 2014./2015.

Konvergencija mreža

All-IP mrežni koncept (3GPP)

Konvergencija fiksne i pokretne mreže (FMC)

All-IP koncept (R7)

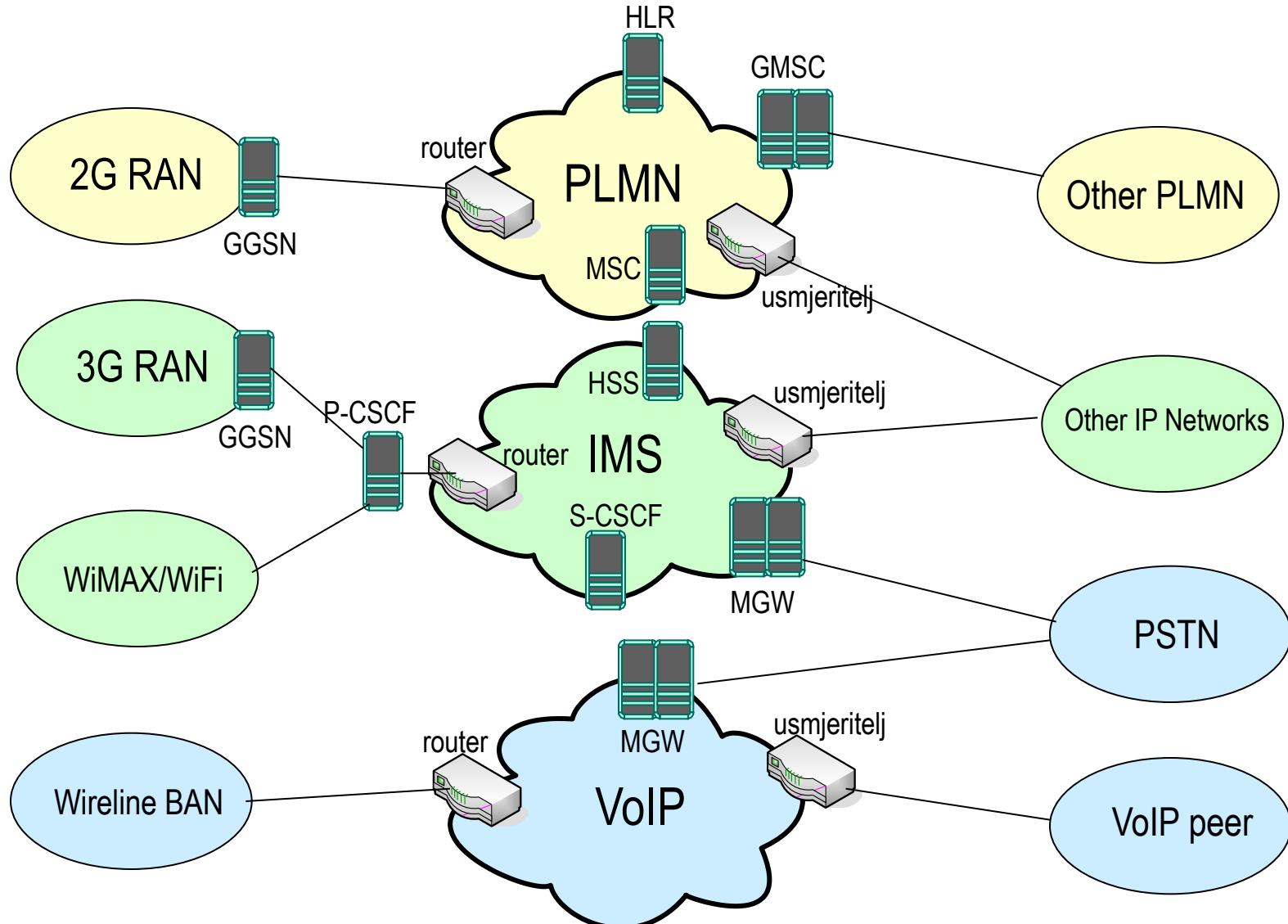
- ◆ GERAN i UTRAN pristupne mreže u zajedništvu sa CS i PS domenama te IMS-om
- ◆ Veliki porast IP podatkovnog prometa
- ◆ Komutacija paketa u 3G mrežama zahtijeva daljnja proširenja
- ◆ Daljnja evolucija i optimizacija mreže
- ◆ Povezivanje pokretnih mreža s ostalima uz osiguranje pokretljivosti, sigurnosti kvalitetom usluga te upravljanja naplatom

- ◆ 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
 - Napredne usluge
 - Dodatne funkcionalnosti sigurnosti i privatnosti
 - QoS, terminalska i korisnička identifikacija
 - fiksno/pokretne konvergirane usluge
 - MVNO podrška
 - Uvođenje LTE

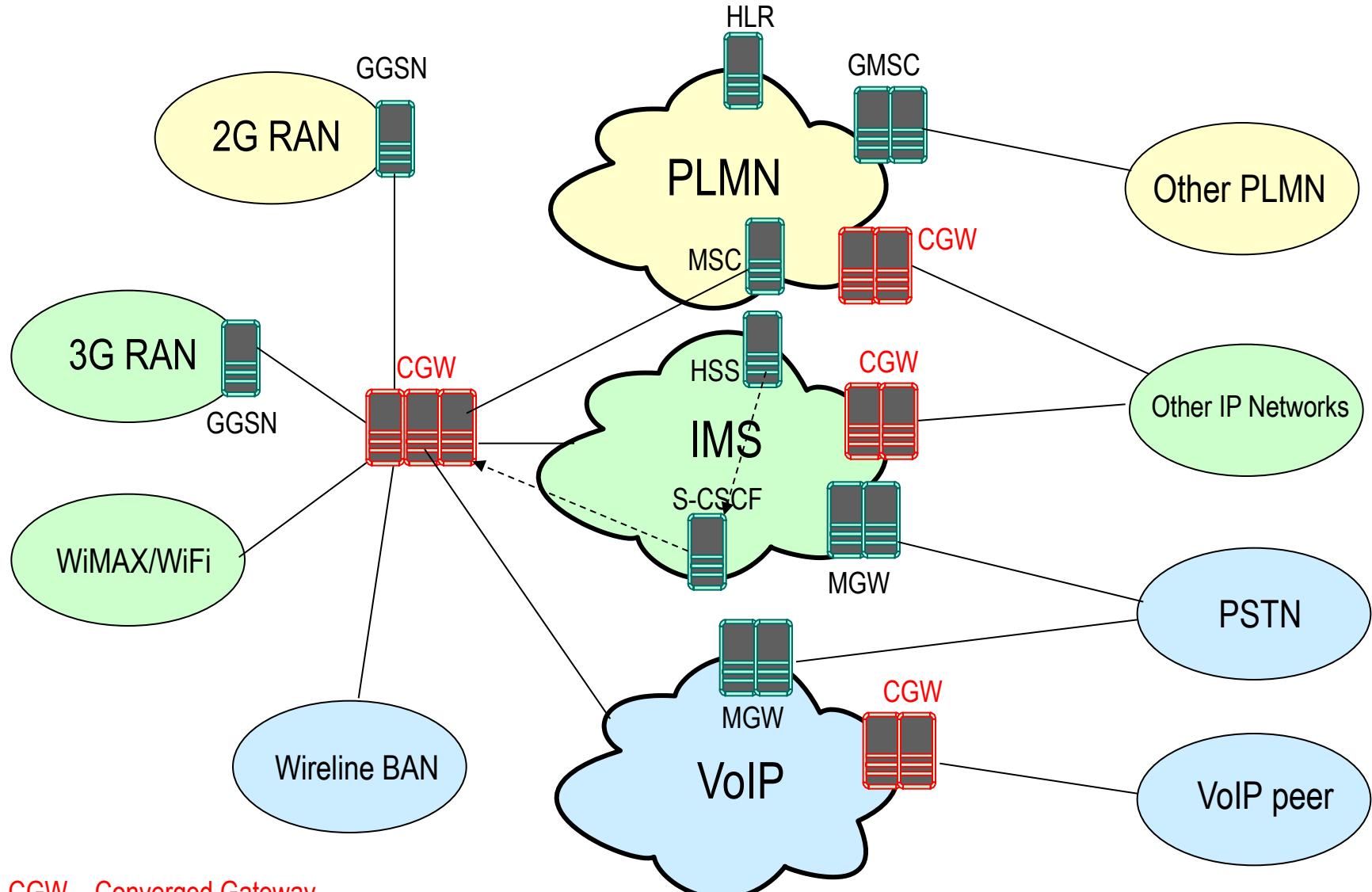
FMC mreža

- ◆ Pristupni dio mreže
 - Pokretni RAN
 - WiMAX/WiFi
 - Fixed-Line BAN
- ◆ Jezgreni dio mreže
 - Različiti autentifikacijski mehanizmi
 - Različite sigurnosne metode pristupa
 - Različiti zahtjevi QoS
 - Različiti sigurnosni modeli
 - Nema definiranih standarda
 - Cijena, složenost

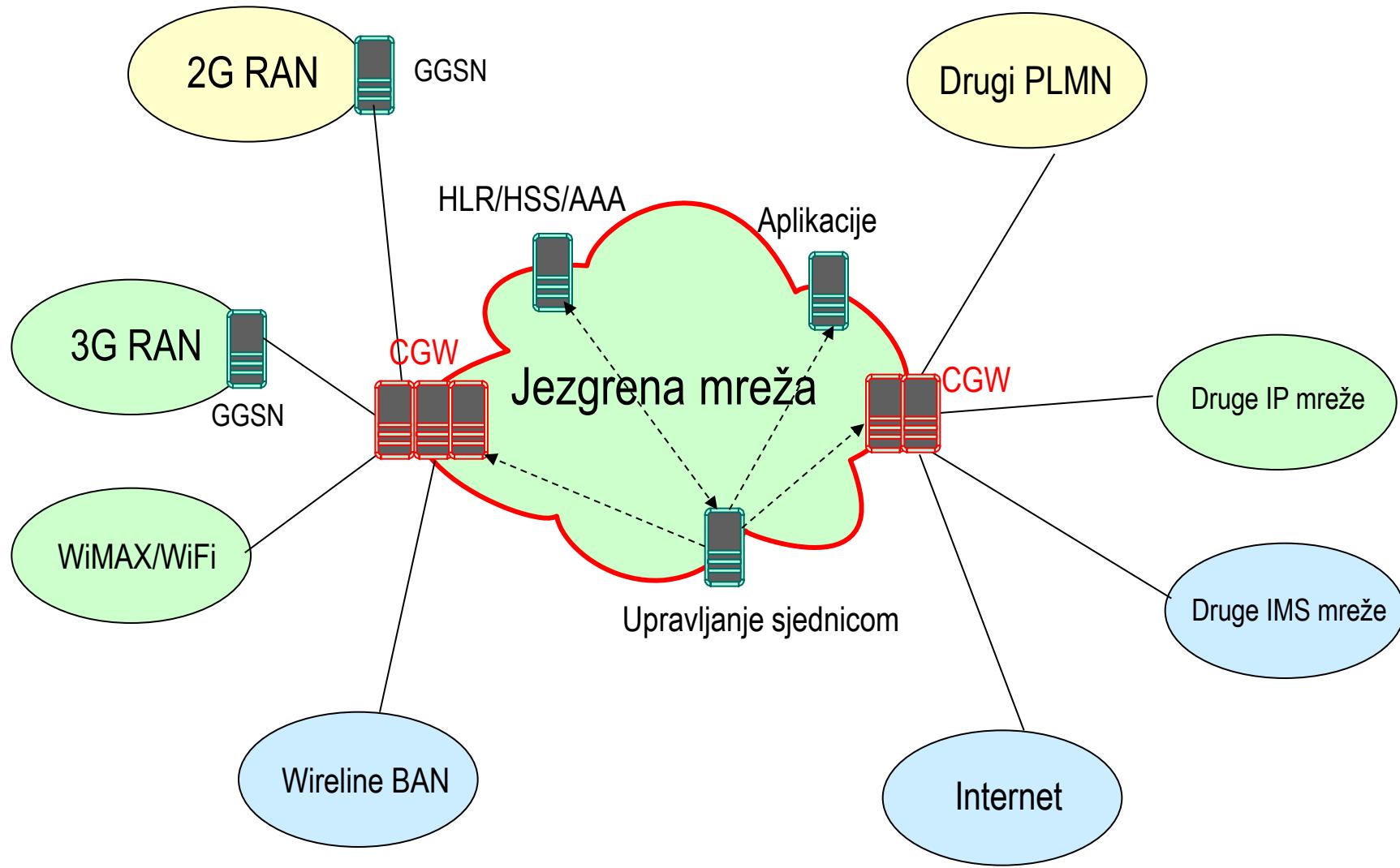
Evolucija prema FMC – prvi korak



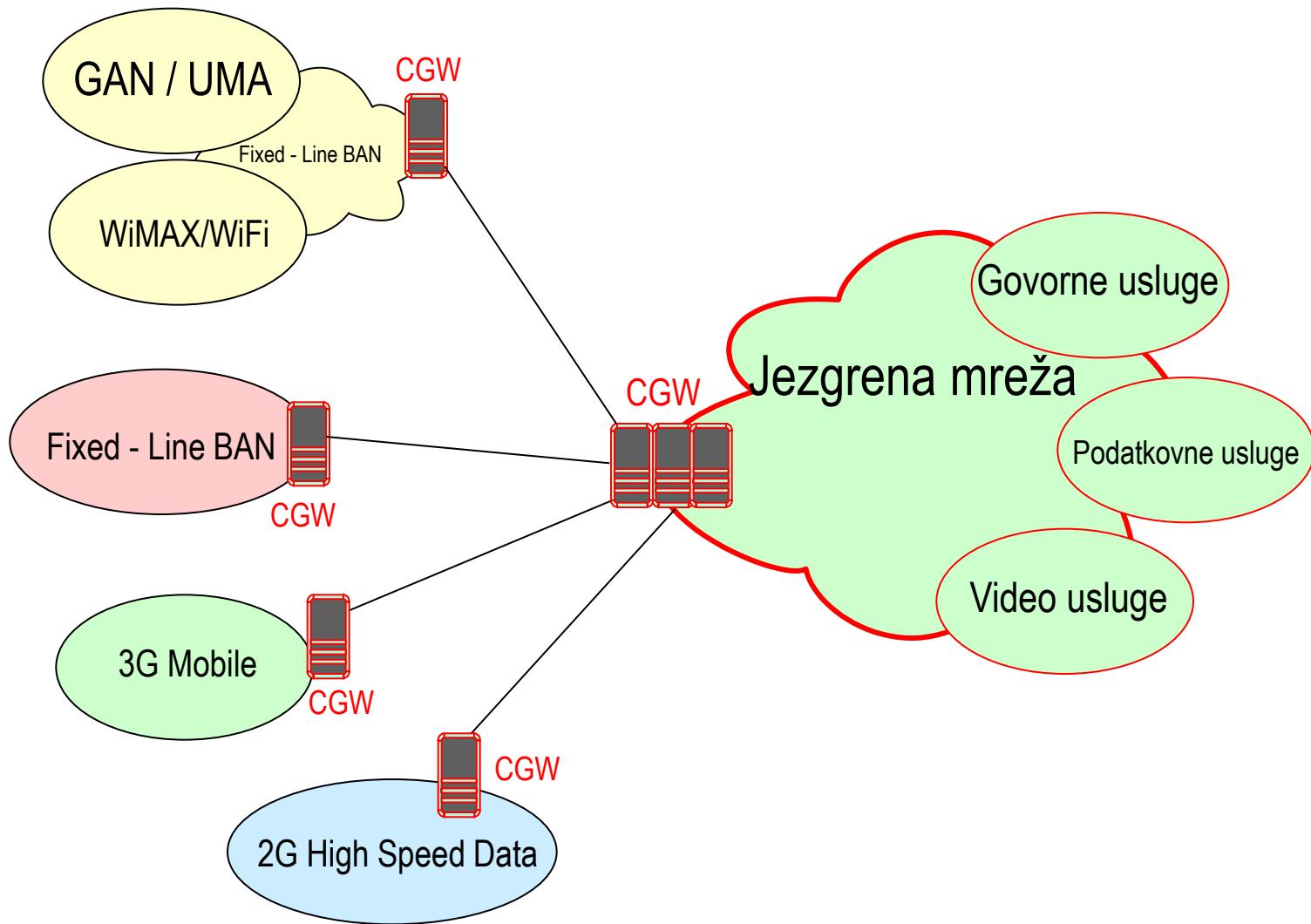
Evolucija prema FMC - više jezgrenih mreža



Evolucija prema FMC – konvergentna jezgrena mreža



Evolucija prema FMC – zadnji korak





Diplomski studij

Informacijska i komunikacijska
tehnologija:

Telekomunikacije i informatika

Obradba informacija

Ak.g. 2014./2015.

Komunikacijski protokoli

12.

Četvrta generacija pokretne mreže (4G)

Sigurnost pokretne mreže

Konvergencija mreža

15.1.15.

Sadržaj predavanja



- ◆ Komunikacijski protokoli mreže 4G
 - Evoluirana paketska jezgrena mreža
- ◆ Internetski višemedijski sustav IMS
- ◆ Protokoli sigurnosti u mreži
 - GSM, GPRS, UMTS i LTE
- ◆ Konvergencija mreža



Diplomski studij
Informacijska i komunikacijska
tehnologija:
Telekomunikacije i informatika
Obradba informacija

Četvrta generacija pokretnih mreža

Evoluirana paketska jezgrena mreža
IP višemedijski sustav

Ak.g. 2014./2015.

15.1.15.

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
- ◆ Smanjena potrošnja snage u terminalima
- ◆ Pojednostavljena arhitektura
- ◆ FDD i TDD, WCDMA
- ◆ OFDMA

E-UTRAN

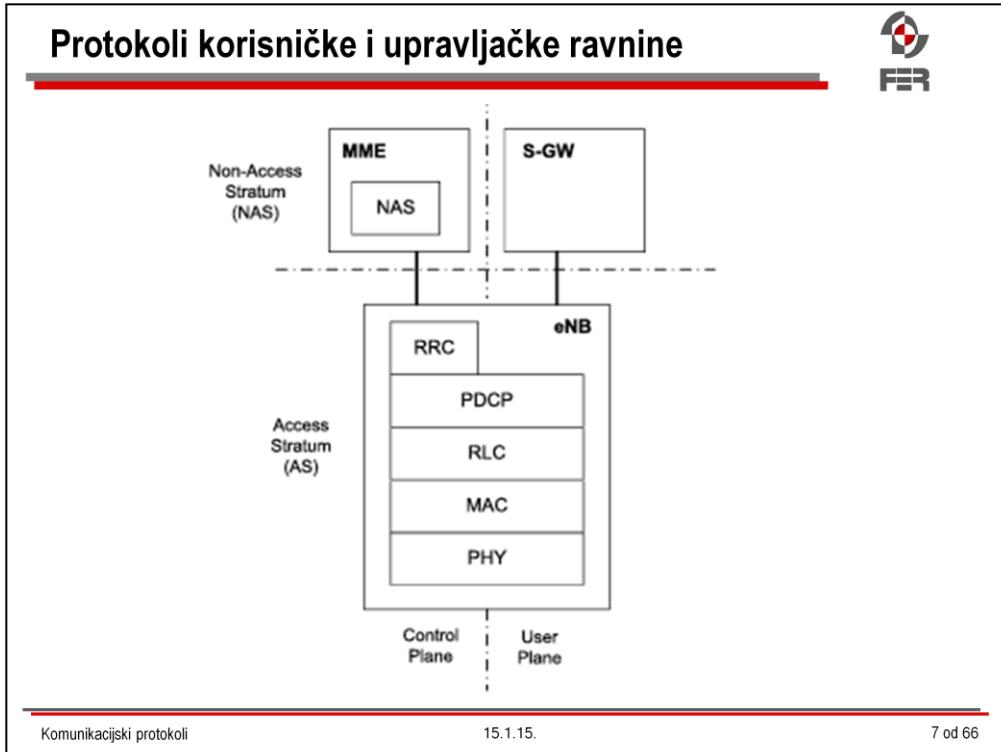


- ◆ Uključuje samo čvorove eNode B (eNB)
 - Upravljanje ćelijama
 - Upravljanje pokretljivošću, prekapčanje
 - Šifiranje
 - Upravljanje dijeljenim kanalom (protokol MAC)
 - segmentiranje i spajanje (protokol RLC)
 - Retransmisija (protokol HARQ)
 - Raspoređivanje korisnika za kanal (uz podršku QoS)
 - 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





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 mjerenjima na radijskom sučelju (UE)
- ◆ Prijenos podataka između UE i NAS
- ◆ Informacije o razasiljanju

Protokol PDCP



- ◆ Packet Data Covergence Protocol (PDCP)
- ◆ Kompresija zaglavja
- ◆ 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)

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 signalizacijskim 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).

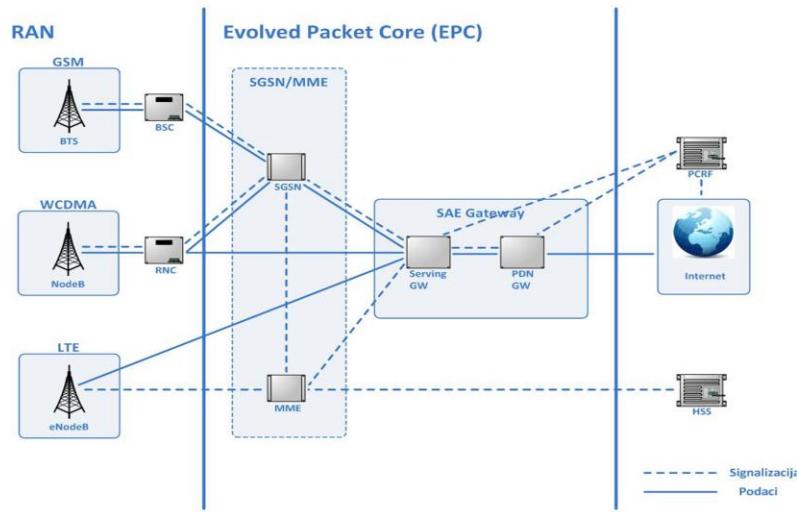
- ◆ Paketski mrežni prilazni čvor P-GW
 - usmjerava podatke od jezgrenog dijela mreže prema ostalim paketskim mrežama,
 - predstavlja krajnju točku pokretne mreže te ostvaruje vezu s ostalim mrežama,
 - odgovoran za dodjelu IP-adrese korisničkim uređajima, naplatu te za pružanje usluga s određenom kvalitetom (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.

Arhitektura LTE/SAE



Komunikacijski protokoli

15.1.15.

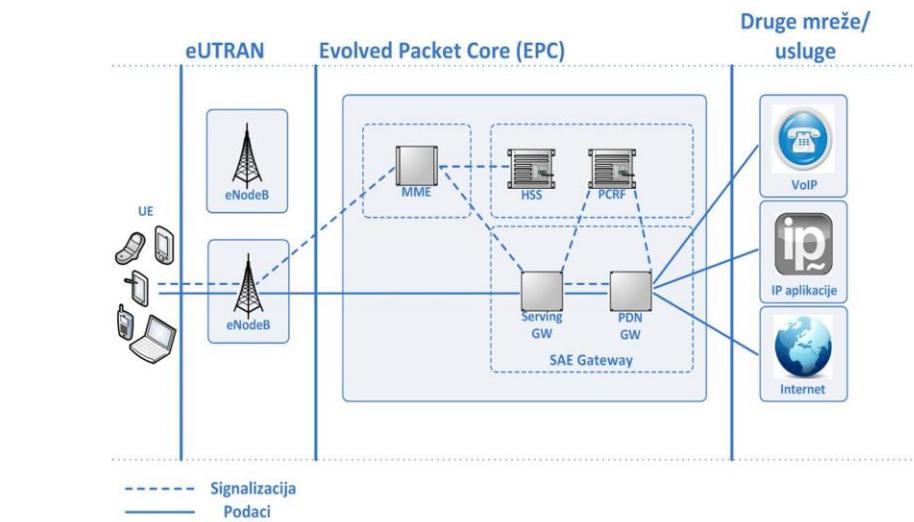
16 od 66

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)

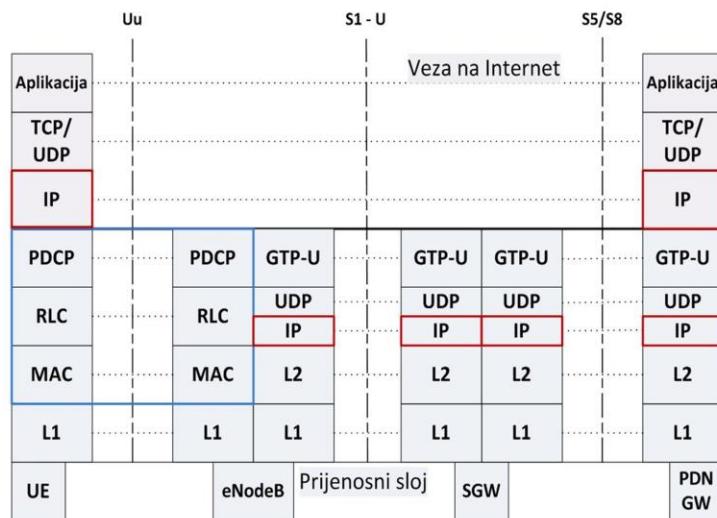


Komunikacijski protokoli

15.1.15.

18 od 66

Korisnički protokolni složaj

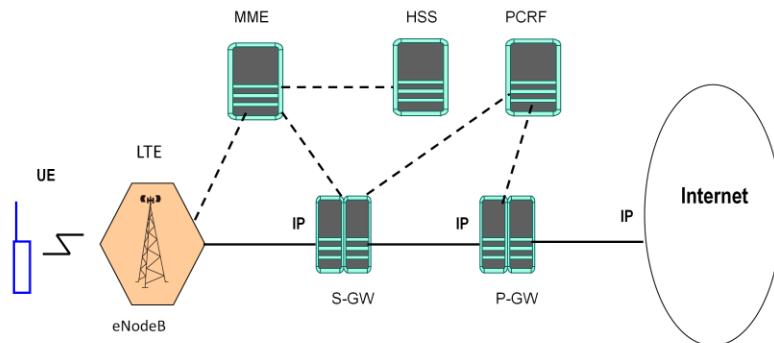


Pristup Internetu putem LTE/SAE



- ◆ 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)



Postupak pristupa Internetu putem LTE/SAE



- ◆ UE inicira i uspostavlja vezu s eNodeB na radijskom sučelju
- ◆ Nakon uspostavljene veze u radijskom dijelu mreže, UE šalje zahtjev za uspostavom IP-veze s čvorom P-GW koristeći uspostavljenu vezu na radijskom sučelju. Pritom, eNodeB uspostavlja logičku vezu s čvorom MME za dotični UE
- ◆ Ako mreža ne može identificirati dotični UE, pokreće se proces autentifikacije
- ◆ MME ažurira lokaciju UE-a u HSS-u i zahtijeva od HSS-a korisnikov pretplatnički profil. HSS ažurira podatak o trenutnoj lokaciji UE-a te šalje čvoru MME informaciju o pretplatničkom profilu.



Postupak pristupa Internetu putem LTE/SAE (2)

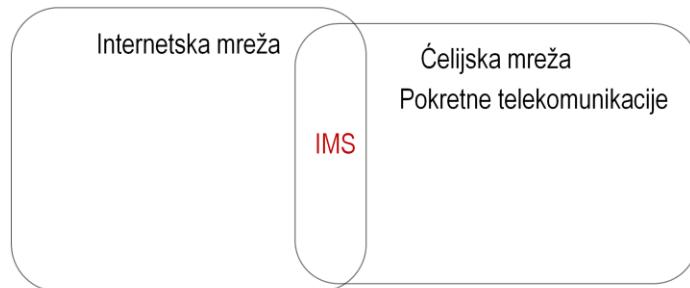
- ◆ MME inicira uspostavu tunela između S-GW i P-GW
- ◆ S-GW uspostavlja vezu (tunel) s čvorom P-GW za dotični UE te o uspostavljenoj vezi obaviještava MME. Nakon uspostavljenih veza, P-GW dodijeljuje IP-adresu dotičnom UE
- ◆ MME uspostavlja vezu (tunel) između čvorova eNodeB i S-GW te šalje čvoru eNodeB zahtjev za aktiviranjem UE-konteksta koji uključuje zapise o karakteristikama i sigurnosnim postavkama veze. Time je ostvarena veza (tunel) od čvora eNodeB do čvora P-GW za prijenos korisničkih podataka.

Prijenos govora mrežom LTE



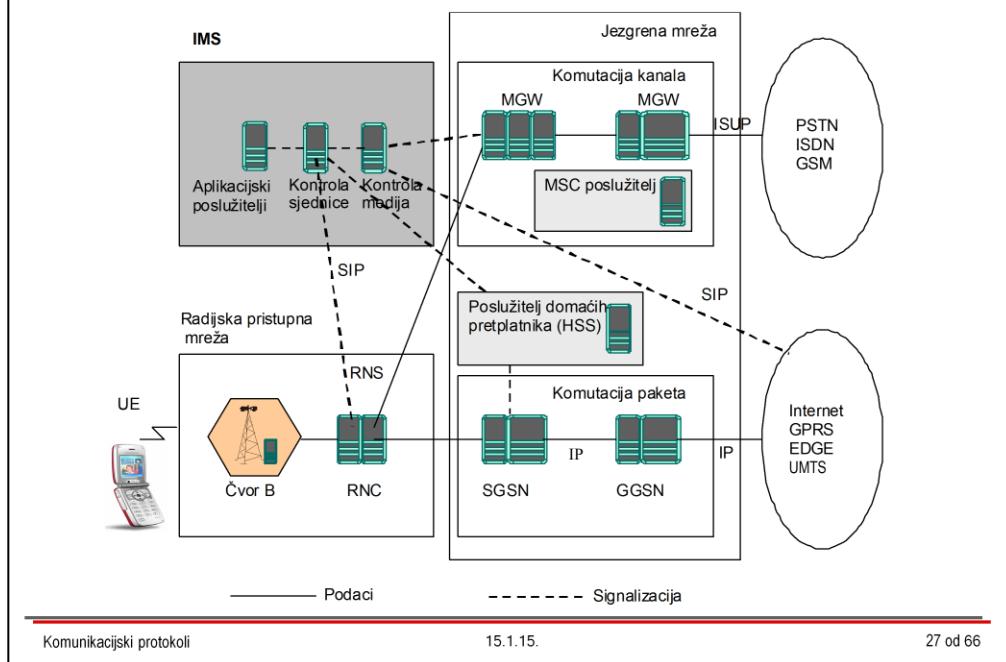
- ◆ Voice over LTE (VoLTE)
- ◆ Prijenos govora putem pokretne mreže temeljenoj na IP protokolu - VoIP (Voice over IP)
- ◆ Arhitektura se temelji na višemedijskom sustavu IP (IMS – IP Multimedia Subsystem)
- ◆ Problem: veliki broj signalizacijskih poruka kod prijenosa govora

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



- ◆ 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

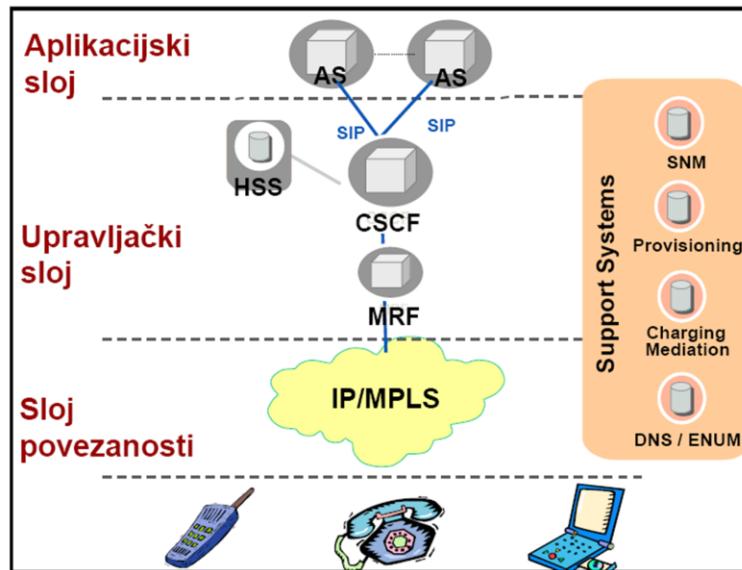


Komunikacijski protokoli

15.1.15.

27 od 66

Arhitektura IMS-a (1)



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

- ◆ Elementi IMS mreže i usluga
 - Aplikacijski poslužitelji AS (Application Server)
 - IMS AS: prisutnost, poruke, grupe
 - SIP AS: usluge temeljene na protokolu SIP
- ◆ Elementi usluga drugih mreža
 - Open Service Access – Service Capability Server (OS CS)
 - OSA AS, pruža uslugama pristup mrežnoj funkcionalnosti putem standardnog aplikacijskog programskog sučelja
- ◆ IP Multimedia – Service Switching Function (IM SSF)
 - poslužitelj za povezivanje IMS-a s uslugama koje su bile razvijene za GSM mrežu
 - gsmSCF

Upravljački sloj (1)



◆ Element baze podataka

- Domaći pretplatnički poslužitelj HSS (Home Subscriber Server)
 - Glavna baza s korisničkim podacima
 - Sadrži korisničke profile (*user profile*)
 - Autorizacija i autentifikacija korisnika
 - Informacija o fizičkoj lokaciji korisnika
 - Nadležni S-CSCF

◆ Elementi upravljanja

- Funkcija za upravljanje sjednicom poziva CSCF (Call Session Control Function)
 - SIP poslužitelji

Upravljački sloj (2)



- ◆ P-CSCF (Proxy CSCF)
 - Posrednički SIP poslužitelj
 - Prva dodirna točka između terminala i IMS mreže
 - Granični SIP posrednik, prosljeđuje sve SIP zahtjeve/odgovore
 - Registracija i autentifikacija korisnika
 - Uspostavlja sigurnu asocijaciju s UE
 - QoS
 - Naplata

Upravljački sloj (3)



- ◆ S-CSCF (Serving CSCF)
 - Središnji upravljački čvor
 - SIP poslužitelj, obavlja funkcije za upravljanje sjednicom
 - Osluškuje AS-ove koji sudjeluju u komunikaciji
 - Usmjerava SIP poruke
 - Više S-CSCF-ova u mreži
- ◆ I-CSCF (Interrogating CSCF)
 - Upitni CSCF
 - Definira domenu, njegova IP adresa se nalazi u DNS-u
 - Prva točka u vlastitoj mreži, za kontakte iz gostujuće ili vanjske mreže
 - Kontaktira HSS, saznaće lokaciju UE i usmjerava SIP zahtjeve na nadležni S-CSCF

Upravljački sloj (4)



- ◆ Elementi sučelja s upravljačkom razinom
 - Funkcija upravljanja medijskim pristupnikom MGCF (Media Gateway Control Function)
 - Upravlja pozivom između SIP i ISUP
 - Sučelje između SGW i SCTP
 - Funkcija upravljanja pristupnikom za prebacivanje veze BGCF (Breakout Gateway Control Function)
 - SIP poslužitelj
 - Usmjerava na temelju telefonskog pozivnog broja
 - Upravlja i usmjerava pozive od IMS prema CS (PSTN, PLMN)
 - Signalizacijski pristupnik (SGW, Signaling Gateway)
 - Konverzija SCTP u MPT (transport signalizacije)
 - IMS MGW
 - Konverzija strujanja podataka RTP u PCM

Upravljački sloj (5)



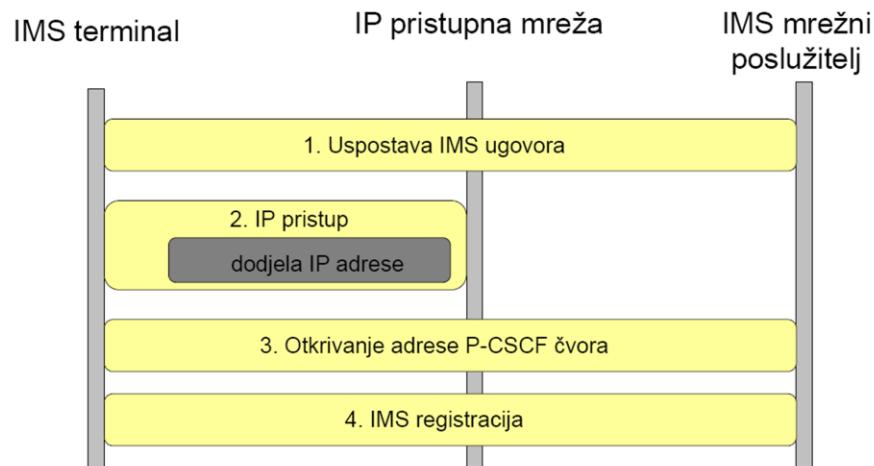
- ◆ Elementi resursa

- Funkcija medijskih resursa MRF (Media Resources Function)
 - Manipulacije medijskim tokovima
 - Multimedia Resource Function Controller MRFC
 - » obavlja upravljanje vezama s više sudionika
 - Multimedia Resource Function Processor MRFP
 - » distributer medija prema mreži

- ◆ Element sučelja na razini mreže

- Medijski pristupnik MGW (Media Gateway)

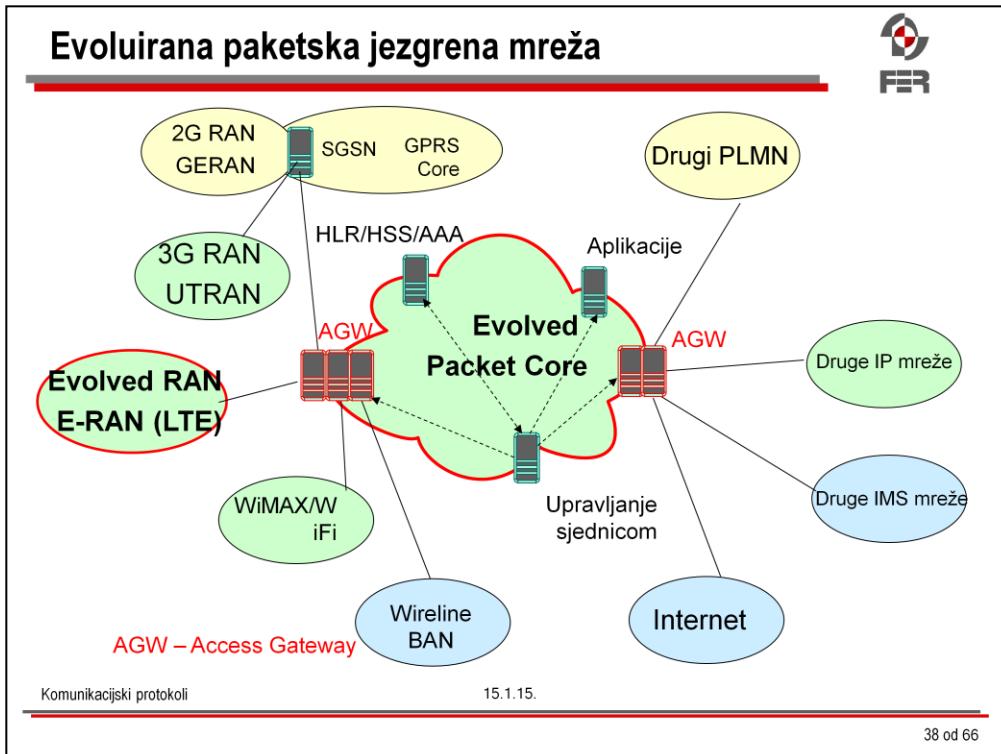
Uspostava poziva u IMS-u



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





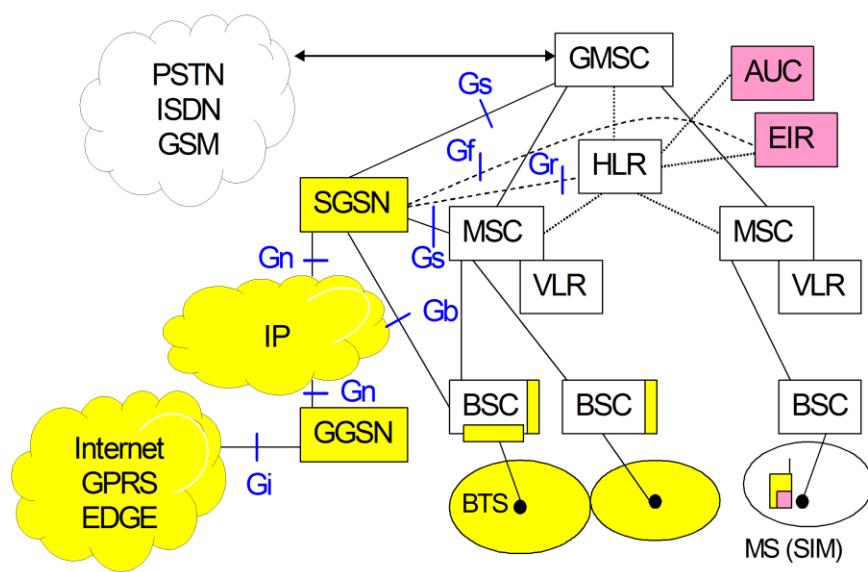
Diplomski studij
Informacijska i komunikacijska
tehnologija:
Telekomunikacije i informatika
Obradba informacija

Ak.g. 2014./2015.

Sigurnost pokretne mreže

15.1.15.

Sigurnost u mreži GSM



Komunikacijski protokoli

15.1.15.

40 od 66

MSISDN (*Mobile Subscriber ISDN*) number

- ◆ pozivni broj pokretnog pretplatnika
- ◆ dodjeljuje mrežni operator

IMSI (*International Mobile Subscriber Identity*)

- ◆ međunarodni identitet pokretnog pretplatnika
- ◆ dodjeljuje mrežni operator

IMEI (*International Mobile Equipment Identity*)

- ◆ međunarodni identitet pokretne opreme
- ◆ dodjeljuje proizvođač opreme

Uloga pokretnog uređaja je ostvarivanje komunikacijskog kanala između pokretne i bazne stanice, odnosno prijenos podataka radijskim signalom i kodiranje/dekodiranje govora. Svaki pokretni uređaj identificira se pomoću jedinstvenog broja IMEI (International Mobile Equipment Identity) koji obično služi za zaštitu samog uređaja.

Identifikacija korisnika obavlja se pomoću njegovog jedinstvenog korisničkog broja IMSI (International Mobile Subscriber Identification) koji je zapisan na SIM kartici, a dobiva se od operatora.

IMSI se obično koristi samo prilikom prijave korisnika na mrežu, dok se u dalnjoj proceduri koristi privremeni broj TMSI (Temporary Mobile Security Identity). TMSI je dodijeljen od strane VLR-a, a omogućava zaštitu identiteta. Osim IMSI-a, korisnik posjeduje i svoj telefonski broj MSISDN (Mobile Station ISDN Number) maksimalne dužine od 15 znamenki. Informacija o telefonskom broju je također zapisana na SIM kartici, što omogućuje korisniku korištenje različitih uređaja sa istom SIM karticom. MSISDN i IMSI brojevi su međusobno odvojeni čime je ostvarena bolja sigurnost i tajnost korisnika.

K_i

- ◆ jedinstven, 128 bita
- ◆ osiguranje komunikacije na zračnom sučelju (MS-BTS)
- ◆ ne izmjenjuje se kroz mrežu, već se izravno upisuje u SIM i AUC
- ◆ algoritmi A3 (SRES) i A8 (Kc) za sigurnosni vektor

Uz to što se koristi za pohranu IMSI i MSISDN brojeva, SIM kartica uključuje i sigurnosne algoritme, **autentifikacijski tajni ključ Ki**, mjesto za pohranu SMS poruka, mjesto za pohranu privremenih informacija o mreži, informacije o dozvoljenim i/ili nedozvoljenim mrežama, informacije o pravima pristupa. S obzirom da SIM kartica predstavlja korisnički identitet, ona je zaštićena pomoću PIN-a (Personal Identification Number). Kako bi korisnik mogao koristiti SIM karticu na pokretnom uređaju, mora upisati ispravan PIN. U slučaju višestrukog unosa pogrešnog PIN-a, pristup SIM kartici je onemogućen, no pristup kartici je moguće vratiti unošenjem ispravnog PUK-a (PIN Unblocking Key).

SIM (*Subscriber Identity Module*)

- ◆ MSISDN, IMSI
- ◆ Ki, algoritmi A3 i A8



HLR (*Home Location Register*)

- ◆ MSISDN, IMSI

AUC (*Authentication Centre*)

- ◆ Ki

EIR (*Equipment Identity Register*)

- ◆ IMEI

Identitet korisnika nalazi se zapisan na SIM kartici, dok je SIM zaštićen pomoću PIN koda. Bez obzira na to, moguće su krađe identiteta, **SIM kloniranje, napad na radijski signal, krađa Ki ključa, SMS napadi**. Važno je spomenuti i nedostatke unutar algoritama za šifriranje, kao i male dužine ključeva koji se koriste unutar istih.

Sigurnosna prijetnja

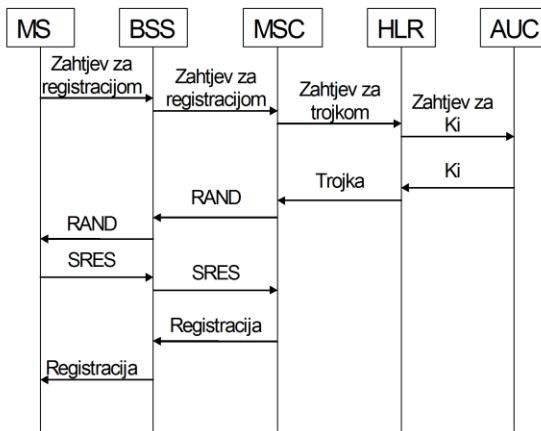
- ◆ poznavanje IMSI omogućuje lažno predstavljanje i neovlašteni pristup mreži, jer IMSI je jednoznačno povezan s MSISDN

Zaštita

- ◆ provjera autentičnosti SIM-a prigodom zahtjeva za registracijom
- ◆ prepostavke:
 - sigurni BSS, MSC, VLR i AUC
 - povjerenje između BTS i BSC, BSC i MSC, MSC i HLR te HLR i AUC

Autentifikacija korisnika obavlja se pomoću provjere njegovog identiteta. Proces autentifikacije započinje generiranjem slučajnog (RAND) 128-bitnog broja. RAND se šalje pokretnoj stanici koja pomoći A3 autentifikacijskog algoritma i tajnog 128-bitnog ključa Ki vrši šifriranje istog, a zatim potpisani odgovor (SRES, 32-bit) šalje natrag. Ki svakog pretplatnika je također pohranjen i u registru AUC. Da bi autentifikacija bila uspješna, MSC mora obaviti sličan SRES proces i usporediti vrijednost odgovora od pokretnе stanice. Proces autentifikacije vidljiv je sljedećem slajdu.

Autentičnost pretplatnika (2)



(RAND, SRES, Kc)

RAND – slučajni broj, 128 bita

SRES – odgovor na RAND
generiran s Ki, 32 bita,
($SRES = A3(RAND, Ki)$)

Kc – sjednički ključ (tajnost),
generiran s Ki, 64 bita

HLR generira 5 trojki

MSC odabire jednu trojku

MSC uspoređuje SRES-ove

Sigurnosna prijetnja

- ◆ gubitak ili krađa pokretne opreme

Zaštita

- ◆ prijava gubitka ili krađe opreme mrežnom operatoru zapisuje se u EIR:
 - kompromitiranom MS ne omoguće se autentifikacija
- ◆ i HLR:
 - kompromitiranom SIM-u zabranjuje se pristup mreži

Zaštita pokretne opreme vrši se pomoću IMEI (International Mobile Equipment Identity) broja. To je jedinstven broj od 15 znamenki koji služi za identifikaciju svake pokretne stanice na GSM ili nekoj drugoj pokretnoj mreži (npr. UMTS mreži). U slučaju da je pokretni uređaj ukraden, pokretna mreža može istom zabraniti pristup mreži. Kako je IMEI zapisan na samom pokretnom uređaju, u slučaju da je uređaju zabranjen pristup, neće pomoći ni zamjena SIM kartice. Osim za zaštitu od krađe pokretnog uređaja, IMEI može se koristiti i za identifikaciju pokretnih stanica koje mogu prouzročiti neki oblik tehničkih problema na pokretnoj mreži. IMEI je trajno zapisan u memoriju pokretne stanice i ne može se promijeniti

Sigurnosna prijetnja

- ◆ mreža upotrebljava IMSI za obradu poziva i usluga
- ◆ IMSI je jednoznačno povezan s MSISDN
- ◆ dohvaćanjem IMSI na zračnom sučelju može se ustanoviti pretplatnikova lokacija i pratiti kretanje

Zaštita

- ◆ nakon provjere autentičnosti pretplatnika, mreža mu dodjeljuje privremeni identitet TMSI (*Temporary Mobile Subscriber Identity*), čime se smanjuje upotreba IMSI na zračnom sučelju
- ◆ preslikavanje IMSI-TMSI provode VLR i MSC

Sigurnosna prijetnja

- ◆ prislушкиvanje na zračnom sučelju

Zaštita

- ◆ šifriranje podataka na zračnom sučelju:
 - algoritam A5 (u MS)
 - sjednički ključ Kc (svaka komunikacija novi Kc)

Osim zaštite identiteta korisnika, te zaštite mrežnog pristupa, potrebno je vršiti i zaštitu komunikacijskog kanala. Sigurnosni algoritmi koji se koriste za zaštitu su: A3 autentifikacijski algoritam, A8 algoritam za generiranje ključa i A5 algoritam za šifriranje.

A3 autentifikacijski algoritam je već objašnjen kod opisa procesa autentifikacije korisnika na mrežu. A3 je jednostavan algoritam osmišljen kao jednosmjerna funkcija – prima RAND i Ki, a kao izlaz se dobiva potpisani odgovor SRES. Zbog jednosmjernosti funkcije, RAND i Ki su zaštićeni, znači ne mogu se otkriti iz SRES-a.

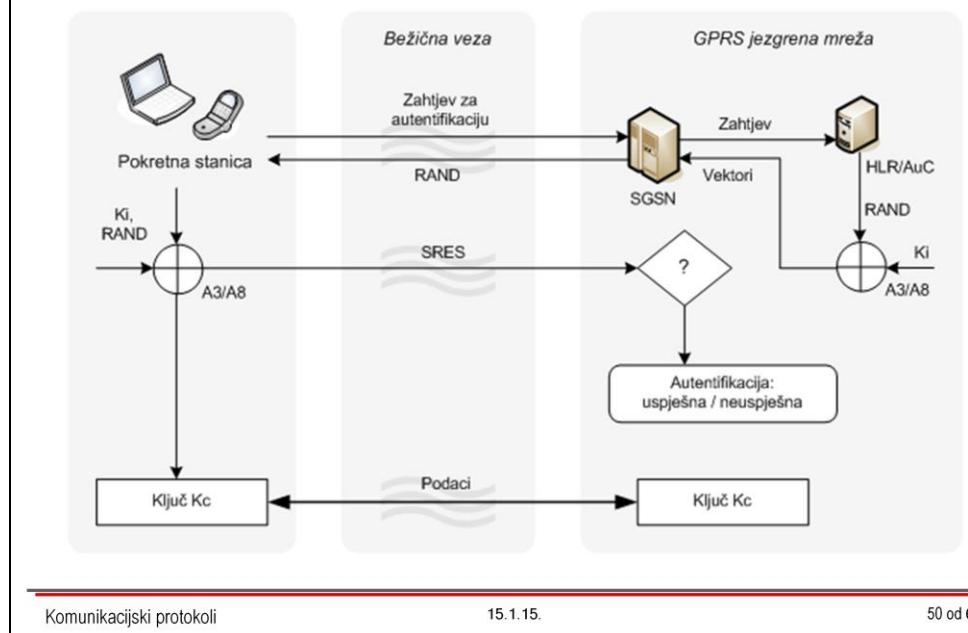
Algoritam A8 nalazi se na SIM-u, a riječ je o algoritmu za generiranje 64-bitnog ključa (Kc). Ključ za šifriranje Kc se računa pomoću slučajnog broja RAND koji se koristio u autentifikacijskom procesu i ključa Ki. Zadaća ključa Kc je šifriranje i dešifriranje podataka između MS i BS. Kako bi se dodatno povećala sigurnost, ključ Kc se može na novo generirati u pravilnim vremenskim intervalima, ovisno o potrebi.

Algoritam A5 se koristi za šifriranje podataka na zračnom sučelju između pokretne stanice MS i mreže. Šifriranje započinje nakon što pokretna stanica primi zahtjev za šifriranje od GSM mreže. Šifriranje i dešifriranje podataka obavlja se koristeći A5 algoritam i ključ za šifriranje Kc.

- ◆ Identifikacija i autentifikacija slične sigurnosnom sustavu GSM
 - SGSN vrši autentifikaciju i šifriranje podataka pomoću sigurnosnih algoritama i ključeva koji su prilagođeni paketskom prijenosu podataka
 - Umjesto IMSI koriste se **TLLI** (Temporary Logical Link Identity) i **RAI** (Routing Area Identity)
 - Autentifikaciju obavlja SGSN

Budući da mreža GPRS ostvaruje paketski prijenos podataka, javljaju se isti problemi kao i u ostalim paketskim mrežama (Internet). Kako bi se zaštitilo od napada, potrebno je zaštititi bitne dijelove infrastrukture kao što su ključevi za šifriranje te identiteti i podaci vezani uz naplatu korištenja pojedinih usluga. Kao i kod GSM mreže, posebno je važno zaštititi korisničke tajne ključeve Ki. Krađom Ki ključeva, napadač može izvršiti krađu identiteta, a samim time i obaviti kloniranje pokretne stanice ili nekog drugog servisa.

Autentifikacija u GPRS-u

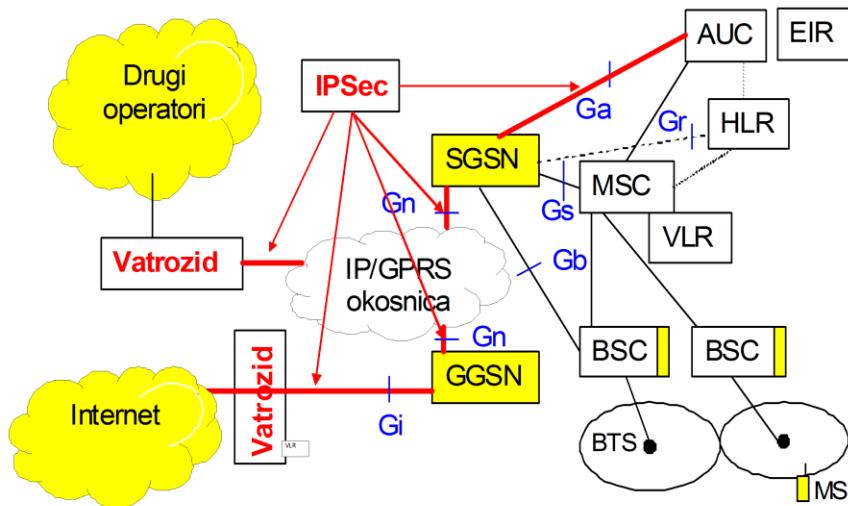


Proces atutentifikacije u GPRS-u je sljedeći:

Pokretna stanica preko zračnog sučelja šalje zahtjev za autentifikaciju. Zahtjev za autentifikaciju kroz pristupnu mrežu stiže do SGSN-a. Pristigli zahtjev proslijeduje na HLR/AUC-u koji generira sigurnosne vektore unutar kojih se nalaze parametri RAND, SRES i GPRS-Kc. Sjednički ključ Kc se koristi za šifriranje podataka (tajnost komunikacije) između pokretne stanice i SGSN-a. GPRS-Kc i SRES se računaju pomoću algoritama A3 i A8. Nakon što su parametri spremni, oni se šalju natrag SGSN-u koji zatim pokretnoj stanici šalje RAND. Pokretna stanica će pomoći algoritama A3 i A8 obaviti proračun SRES i GPRS-Kc parametara. SRES se zatim uspoređuje s onim unutar SGSN-a. U slučaju da su SRES parametri identični i pokretna stanica ima odgovarajući tajni ključ Ki, autentifikacija je uspješna. Kako bi se mogao obavljati prijenos podataka između pokretne stanice i SGSN-a, oba moraju imati identičan ključ GPRS-Kc, odnosno Kc.

Osim algoritama A3 i A8, u mreži GPRS koristi se još sedam GPRS algoritama (GEA). GEA algoritmi koriste se između pokretne stanice i mreže prilikom incijalizacije komunikacijskog kanala. GEA algoritmi se koriste u sličnu svrhu kao A5 algoritam u GSM mreži, a to je zaštita komunikacijskog kanala, odnosno podataka.

Mrežna sigurnost u GPRS-u



Komunikacijski protokoli

15.1.15.

51 od 66

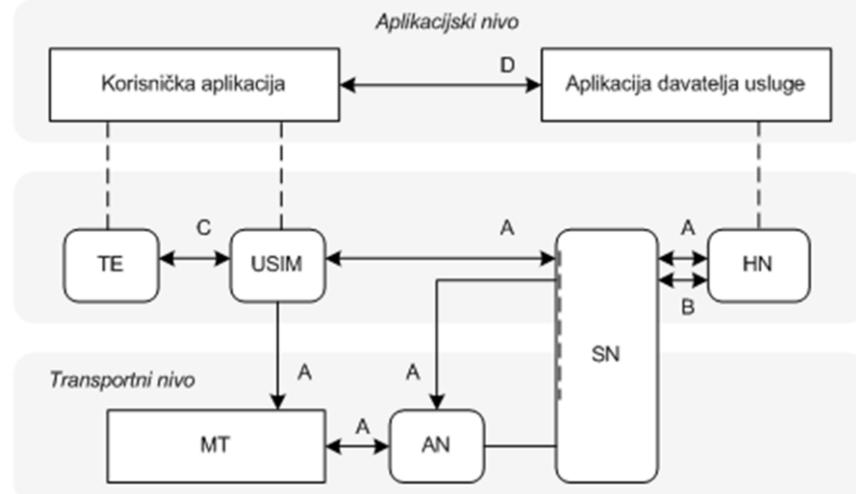
Mrežna sigurnost se ostvaruje vatrozidom kojim se ostvaruje nadzor nad pristupom mreži te sigurnosnom inaćicom protokola IP (IPsec) koji ostvaruje sigurnu komunikaciju na relacijama AUC-SGSN-GGSN- Internet (ostale mreže). Potrebno je zaštititi komunikaciju protokolom GTP koja je nesigurna korištenjem IPsec.

Osnovna zadaća GPRS mreže je povezati korisnika s Internetom, što podrazumijeva da usluge i korisnički terminali unutar GPRS sustava imaju IP adrese. Zaštita bitnih usluga i kontrola prometa može se vršiti kroz umjeritelje i vatrozide (firewall). Osim mrežne sigurnosti, važna je i zaštita od virusa. Korisnik u svakom trenutku može preuzeti neku aplikaciju ili datoteku koja je zaražena. Kao zaštita mogu se koristiti razni antivirusni alati uz kombinaciju sa proxy poslužiteljima koji vrše filtriranje prometa.

- ◆ Sigurnost mrežnog pristupa
 - kontrola pristupa uslugama UMTS-a i zaštita od napada preko radijske mreže
- ◆ Sigurnost domene operatora
 - Zaštita od napada preko žične mreže, sigurna izmjena podataka između domena operatora
- ◆ Sigurnost korisničke domene
 - Siguran pristup korisničkim terminalima
- ◆ Sigurnost aplikacija
 - Sigurna izmjena poruka između aplikacija u korisničkoj domeni i domeni operatora

UMTS sigurnosni sustav temelji se na sigurnosnim uslugama koje postoje u mreži GSM. Time se postiže najviša kompatibilnost između GSM i UMTS sustava, što je posebno korisno u slučaju kad se GSM korisnici nađu u području UMTS mreže. Osim toga, UMTS pruža rješenja za sigurnosne nedostatke unutar GSM sustava i dodatna sigurnosna rješenja za nove 3G korisničke terminale. Spajanje GSM i UMTS (3G) arhitekture, te poboljšanje sigurnosnih rješenja unutar istih provodi se kroz 3rd Generation Partnership Project, skraćeno 3GPP.

Sigurnosni sustav UMTS



Komunikacijski protokoli

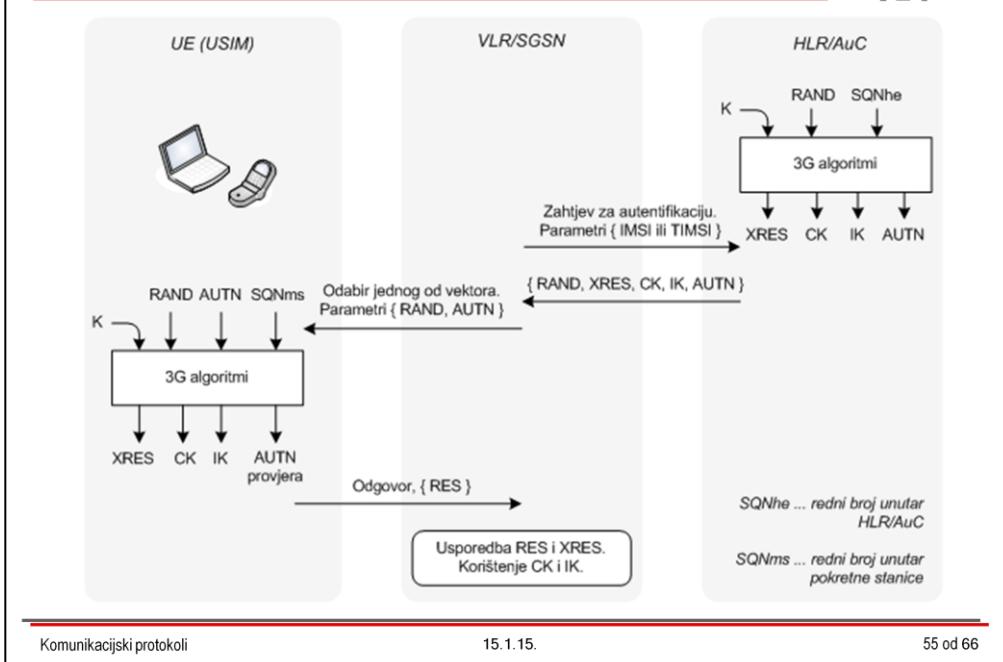
15.1.15.

53 od 66

- kontrola mrežnog pristupa - oznaka A,
- kontrola domene operatora - oznaka B,
- kontrola korisničke domene – oznaka C,
- kontrola aplikacija – oznaka D.

- ◆ UMTS mreža pruža nove mogućnosti za zaštitu korisničkog identiteta i lokacije pokretne stanice
 - GSM -> autentifikacija korisnika samo prema mreži
 - UMTS -> korisnički terminal i mreža se uzajamno autentificiraju
 - Postupak autentifikacije uključuje
 - Korisnički zahtjev (RAND)
 - Odgovor XRES
 - Ključ šifriranja CK
 - Ključ integriteta IK
 - Autentifikacijski token za mrežnu autentifikaciju (AUTN)

Postupak autentifikacije



Komunikacijski protokoli

15.1.15.

55 od 66

Nakon što dobije zahtjev za autentifikaciju od VLR/SGSN s parametrima IMSI ili TMSI, HLR/AuC vrši generiranje polja autentifikacijskih vektora AV[1...n] koristeći preplatnički autentifikacijski ključ K i RAND. Redoslijed pojedinog autentifikacijskog vektora određen je pomoću generiranog slijednog broja SQNhe. Svaki od autentifikacijskih vektora sadrži sljedeće komponente: RAND, odgovor XRES, ključ za šifriranje CK, ključ integriteta IK i *authentication token* AUTN. Osim toga, svaki AV upotrebljiv je samo za jedno odobravanje i dogovaranje o ključevima između VLR/SGSN i USIM-a. Nakon što primi parametre natrag, VLR/SGSN pojedinačno odabire autentifikacijske vektore i šalje zahtjev za autentifikaciju prema UE s parametrima RAND i AUTN koji su dobiveni od HLR/AuC. Unutar UE se također vrši provjera CK i IK. U slučaju da je AUTN prihvaćen sa strane UE i slijedni broj SQNms odgovara primljenom slijednom broju, VLR/SGSN dobiva odgovor sa parametrom RES. Nakon što je dobio odgovor od UE, VLR/SGSN vrši usporedbu RES i XRES. Ukoliko primljene vrijednosti RES i XRES međusobno odgovaraju, autentifikacija je uspješna. Kada se generiraju novi autentifikacijski vektori AV, AuC čita prethodno spremljene sekvencijalne brojeve SQNhe, a zatim kreira nove.

- ◆ Poboljšani mehanizmi za zaštitu u odnosu na GSM
- ◆ Provjera cjevitosti i poboljšani postupak autentifikacije povećavaju sigurnost protiv mogućih napada preko radijskog sučelja
 - Provjera cjevitosti podataka provjerava se između UE i RNC-a
 - Ključevi za šifriranje su duži u odnosu na GSM
 - UMTS Integrity Algorithm – UIA, f9 algoritam za provjeru cjevitosti
 - Poboljšana metoda šifriranja, namijenjena zaštiti signalizacijskih informacija i korisničkih podataka, koristi algoritam f8

Određivanje cjevitosti podataka provodi se na sljedeći način: na pokretnoj stanici na temelju ulaznih parametara obavlja izračun 32-bitnog MAC-I (Message Authentication Code) parametra, MAC-I se spaja sa signalizacijskom informacijom, a zatim šalje preko radijskog sučelja pokretne stanice do RNC, nakon što primi signalizacijsku informaciju i MAC-I, RNC vrši izračun XMAC-I na isti način kao što je to učinila pokretna stanica za MAC-I, cjevitost informacije određuje se usporedbom MAC-I i XMAC-i.

Poboljšana metoda šifriranja, namijenjena zaštiti signalnih informacija i korisničke podataka, koristi f8 algoritam. Postupak korištenja f8 algoritma je sljedeći: na pokretnoj stanici se pomoću ključa za šifriranje CK i ostalih ulaznih parametara (Count-C, Bearer, Direction, Length) vrši proračun izlaznog slijeda bitova, provodi se XOR operacija nad svakim bitom izračunatog slijeda i svakog bita čistog teksta podataka – dobije se šifrirani tekst, pokretna stanica šalje šifrirani tekst na RNC, nakon što primi šifrirani tekst, f8 algoritam na RNC vrši proračun izlaznog slijeda bitova, sličan postupak kao na pokretnoj stanici, provodi se XOR operacija nad svakim bitom izračunatog slijeda i svakog bita primljenog šifriranog teksta – dobije se čisti tekst.

- ◆ Komunikacija čvorova u jezgrenoj mreži GSM i UMTS obavlja se preko sigurnosne inačice MAP (Mobile Application Part) protokola - MAPsec
 - Zaštita na aplikacijskom sloju pomoću posebnih sigurnosnih zaglavja koja štite poruke
- ◆ Za čvorove kod kojih se komunikacija zasniva na protokolu IP koristi se IPsec
 - Sigurnosni prilazi (security gateway, SEG)
 - Komunikacija između SEG-ova - IPsec ESP tunel
 - Algoritam za šifriranje AES (Advance Encryption Standard)

Komunikacija između glavnih mrežnih segmenta GSM jezgrene mreže i UMTS jezgrene mreže obavlja se koristeći MAP (Mobile Application Part) protokol. Kako bi se što bolje zaštite MAP poruke, 3GPP je razvio poseban sigurnosni mehanizam koji je specifičan za MAP – MAPsec. MAPsec pruža zaštitu na aplikacijskom nivou pomoću dodavanja posebnih sigurnosnih zaglavja koja štite poruke, slično kao što IPsec ESP štiti IP pakete. S obzirom da pokretne mreže sve više koriste rješenja koja se zasnivaju na IP protokolu (kao što je SIP), MAP protokol će se s vremenom prestati koristiti.

Za dijelove 3GPP arhitekture kod kojih se komunikacija zasniva na IP protokolu mogu se iskoristiti već standardizirani sigurnosni mehanizmi kao što je IPsec. Koristeći IPsec, napadaču se otežava izvođenje napada kao što su ometanje komunikacije, lažno predstavljanje, neovlašteno prisluškivanje komunikacijskog kanala ili pak izvođenje napada preusmjeravanjem veze (*Man-in-the-middle* napadi). Kada se komunikacija obavlja preko IP mreže, zaštita se ostvaruje korištenjem specifičnih sigurnosnih poveznika (Security Gateway - SEG) i IPsec ESP tunela između njih. Kao algoritam za šifriranje koristi se AES (Advance Encryption Standard).

Slično kao i kod GPRS mreže, zaštita bitnih servisa i kontrola prometa koji se zasniva na IP protokolu može se vršiti i kroz usmjerivače i vatrozide, kao i pomoću posredničkih poslužitelja koji služe za filtriranje prometa.

- ◆ Sudjeluju UE, eNB, MME/HSS/Auc
- ◆ Unaprijeđeni mehanizmi sigurnosti u odnosu na 3G
 - Sigurniji USIM – 4G SIM
 - Ključ K je pohranjen u USIM i HSS/HLR/AuC
 - Autentifikacija i autorizacija korisnika (AKA)
 - Uzajamna autentifikacija između UE i mreže
 - Glavni sigurnosni ključ Kasme (master key)
 - Između UE i MME (NAS sigurnosni protokoli: integritet, zaštita i šifriranje signalizacije) te
 - UE i eNB (AS sigurnosni protokoli: zaštita integriteta i šifriranje korisničkih podataka – protokol PDCP) te
 - Duljina ključa je povećana na 128 bita



Diplomski studij
Informacijska i komunikacijska
tehnologija:
Telekomunikacije i informatika
Obradba informacija

Konvergencija mreža

All-IP mrežni koncept (3GPP)
Konvergencija fiksne i pokretne mreže (FMC)

Ak.g. 2014./2015.

15.1.15.

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
- ◆ Daljnja evolucija i optimizacija mreže
- ◆ Povezivanje pokretnih mreža s ostalima uz osiguranje pokretljivosti, sigurnosti kvalitetom usluga te upravljanja naplatom

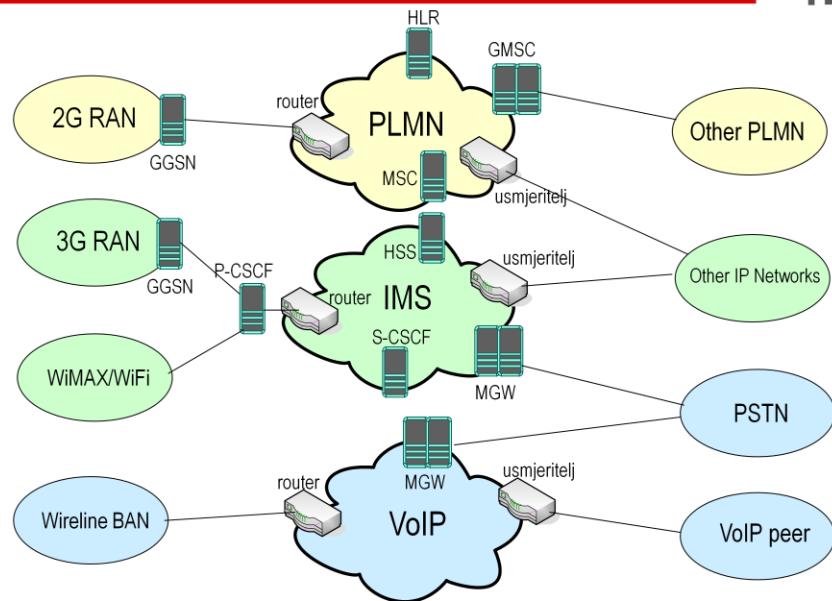
AIPN evolucija (R8)



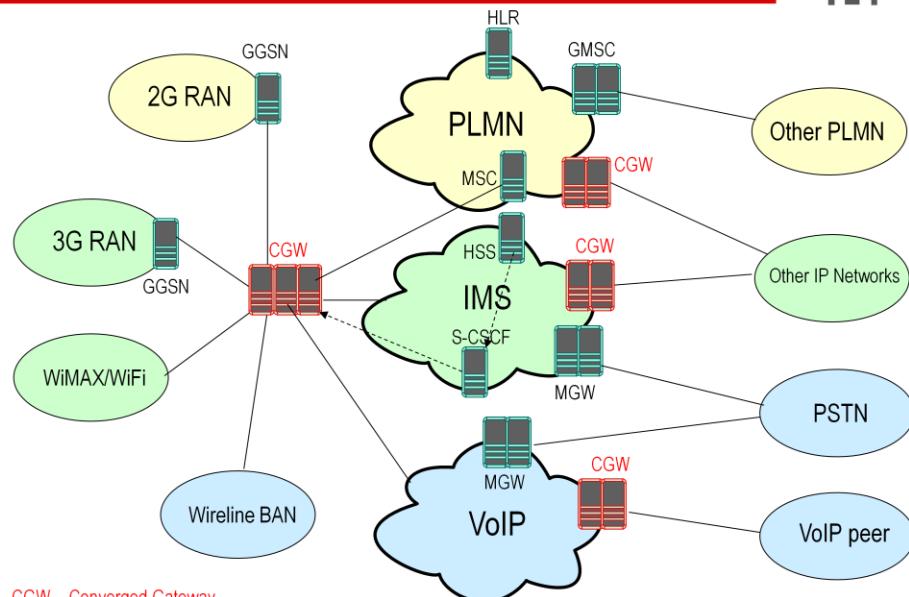
- ◆ Uobičajena IP mreža koja osigurava upravljanje mrežom temeljeno na IP protokolu te transport podataka temeljen na IP mreži putem različitih pristupnih mreža
 - Proširenje upravljanja pokretljivosti
 - Napredne usluge
 - Dodatne funkcionalnosti sigurnosti i privatnosti
 - QoS, terminalska i korisnička identifikacija
 - fiksno/pokretne konvergirane usluge
 - MVNO podrška
 - Uvođenje LTE

- ◆ Pristupni dio mreže
 - Pokretni RAN
 - WiMAX/WiFi
 - Fixed-Line BAN
- ◆ Jezgreni dio mreže
 - Različiti autentifikacijski mehanizmi
 - Različite sigurnosne metode pristupa
 - Različiti zahtjevi QoS
 - Različiti sigurnosni modeli
 - Nema definiranih standarda
 - Cijena, složenost

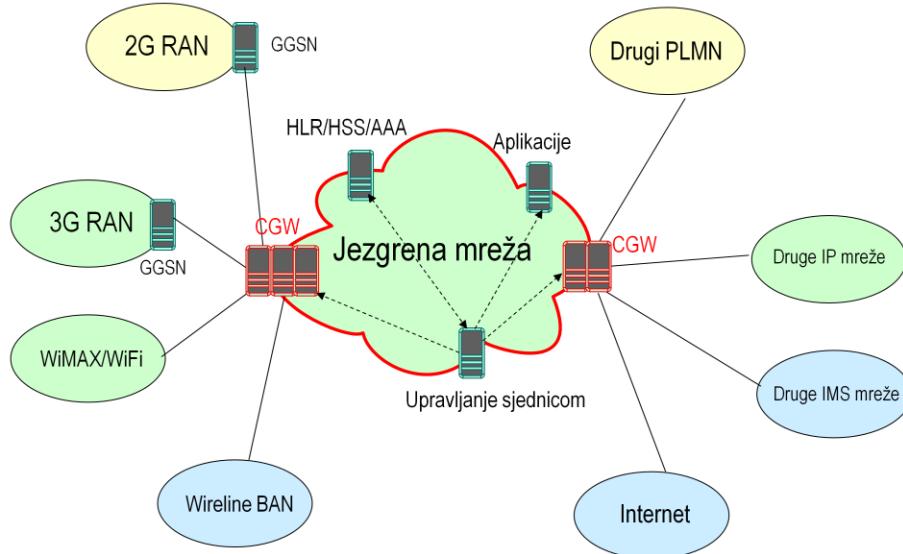
Evolucija prema FMC – prvi korak



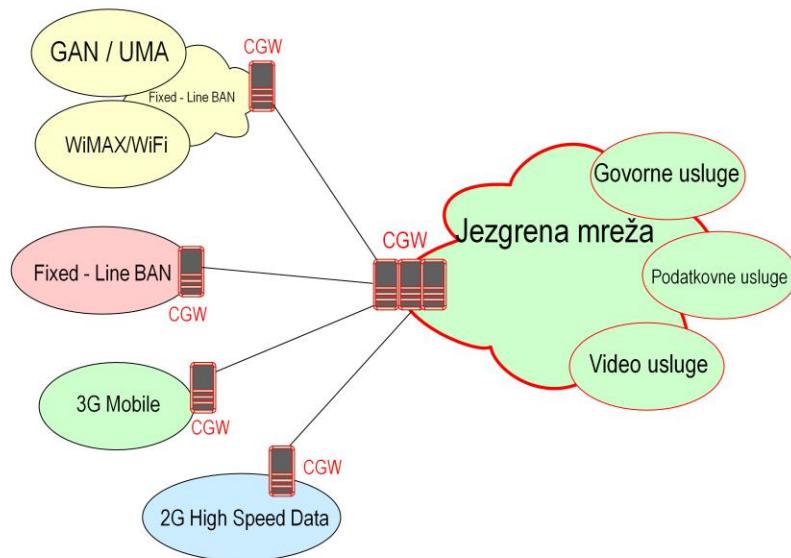
Evolucija prema FMC - više jezgrenih mreža



Evolucija prema FMC – konvergentna jezgrena mreža



Evolucija prema FMC – zadnji korak





Diplomski studij

Informacijska i komunikacijska
tehnologija:

Telekomunikacije i informatika

Obradba informacija

Ak.g. 2014./2015.

Komunikacijski protokoli

13.

Virtualni operator pokretne mreže
Tržišni aspekt pokretne mreže

22.1.15.

Sadržaj predavanja

- ◆ Virtualni operator pokretne mreže
 - Uloga i međusobni odnosi na tržištu
 - Tipovi MVNO-a
 - Virtualni omogućitelj pokretne mreže, MVNE
- ◆ Tržišni aspekti pokretne mreže



Diplomski studij

Informacijska i komunikacijska
tehnologija:

Telekomunikacije i informatika

Obradba informacija

Ak.g. 2014./2015.

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
- ◆ Otkupljuje “impulse” od operadora “na veliko” te ih “preprodaje” svojim korisnicima

Prednosti i nedostaci

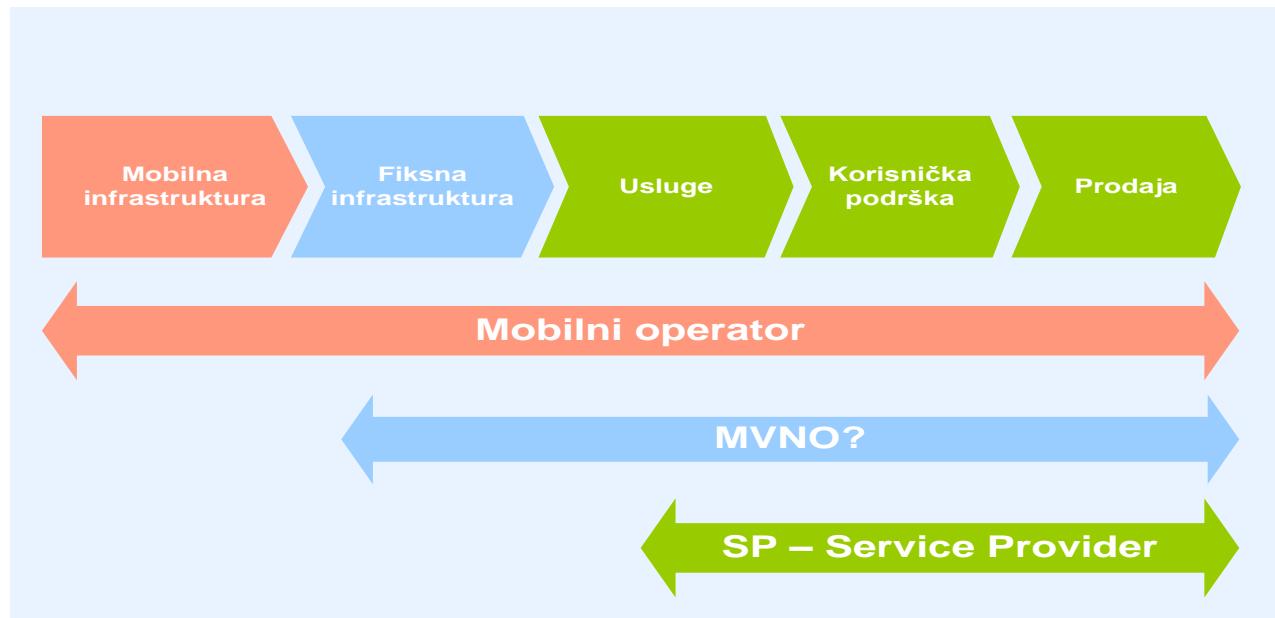
- ◆ **Prednosti**
 - Minimalno ulaganje
 - Nema vlastitu infrastrukturu
 - Konkurentnost

- ◆ **Nedostaci**
 - Vezanost za mrežnog operatora

Odnos pokretnog operatora, MVNO-a, davaljelja usluge

♦ Davaljelj usluge (service provider)

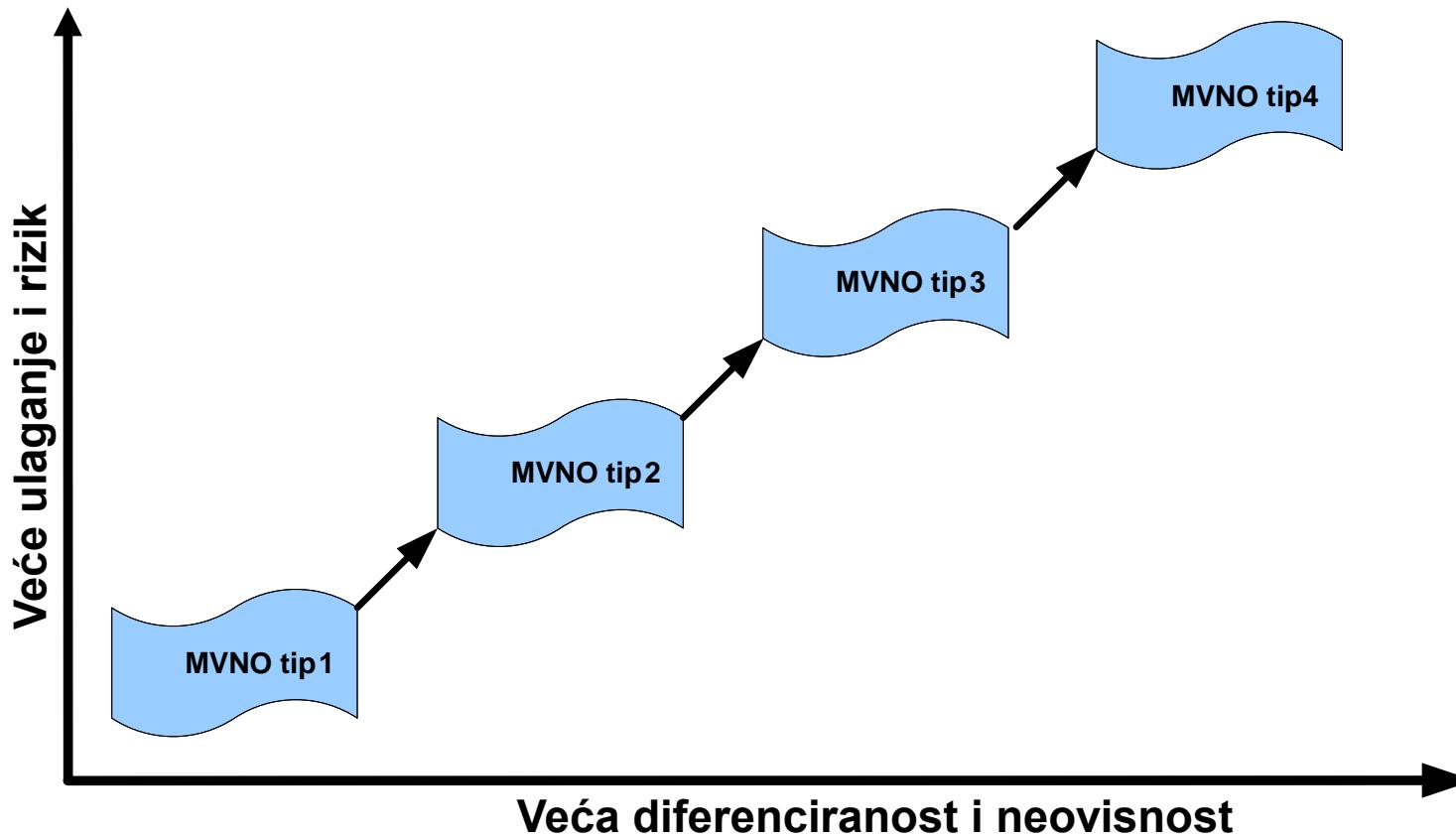
- nudi određene usluge,
- nema mrežnu infrastrukturu,
- posjeduje potrebnu opremu (poslužitelje).



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)
- Vlastite SIM kartice za korisnike
- Nudi neke dodatne usluge

Tipovi MVNO (2)

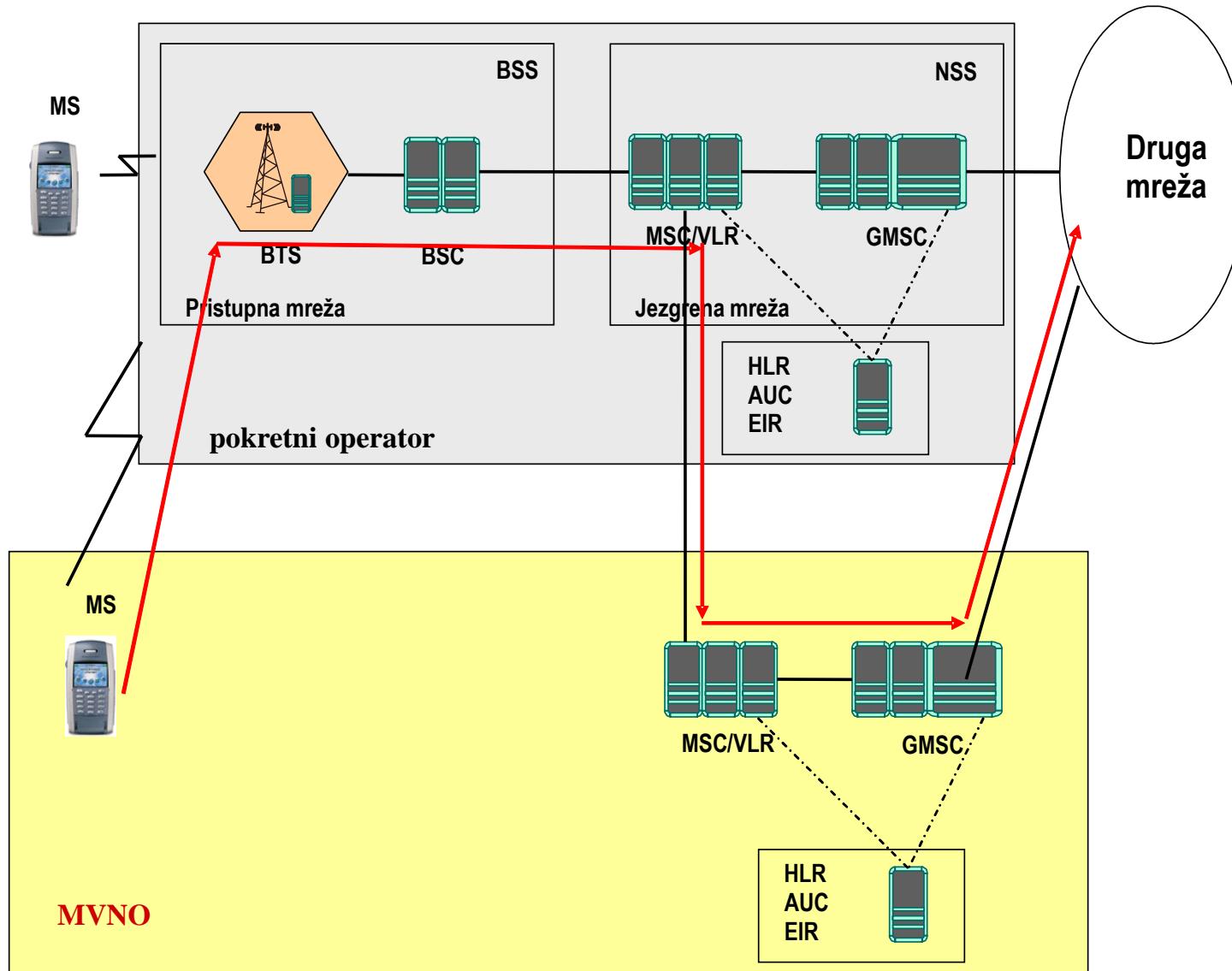
◆ MVNO tip 3

- Posjeduje djelomično vlastitu infrastrukturu (HLR, MSC)
- Nudi niz dodatnih naprednih usluga
- Vlastita podrška za intelligentnu mrežu
- Vlastite usluge

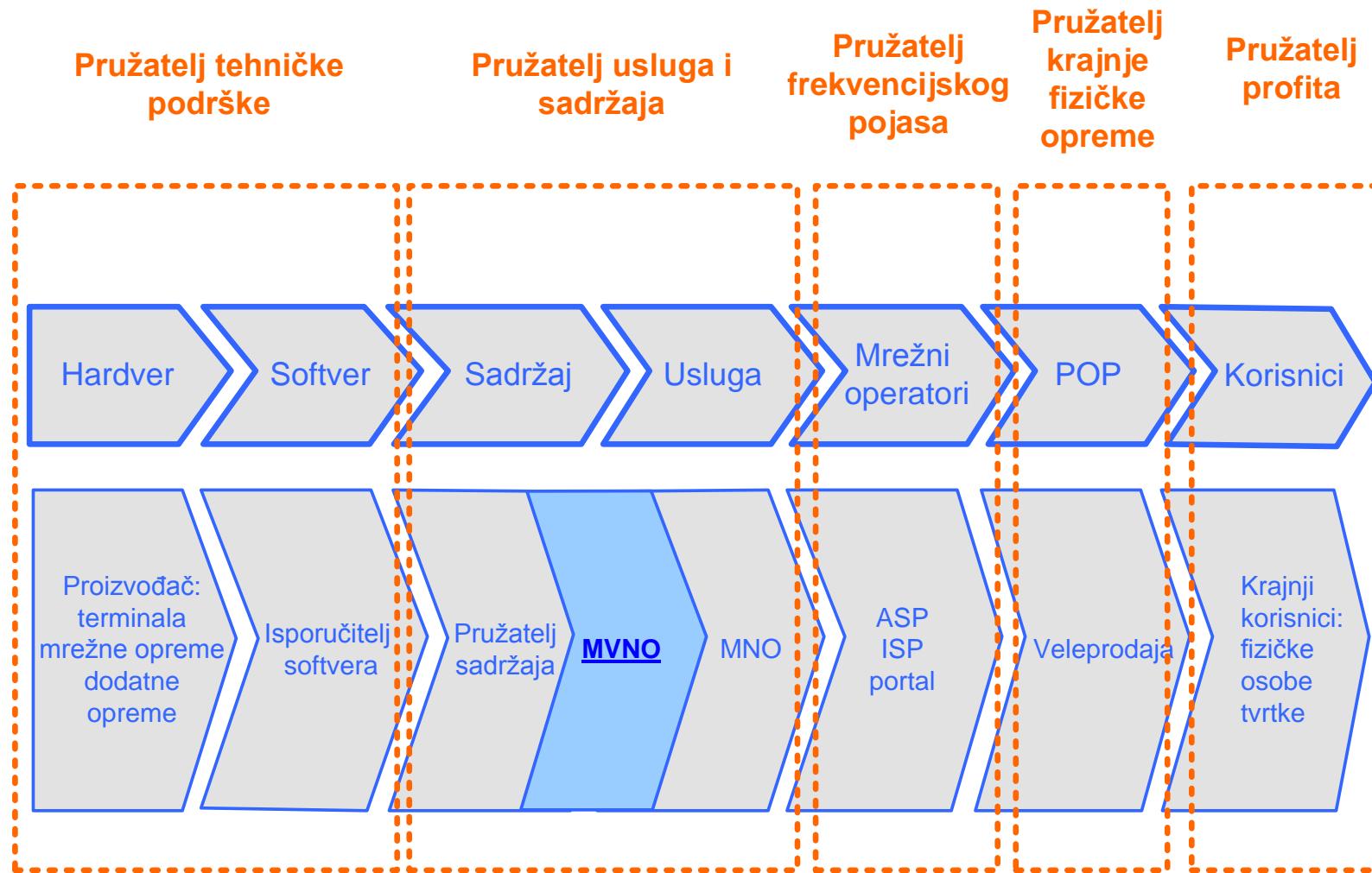
◆ MVNO tip 4

- Posjeduje vlastitu infrastrukturu (HLR, MSC, GMSC)
- Podržava vlastito usmjeravanje prometa (vlastiti GMSC)

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



Lanac vrijednosti u pokretnoj mreži



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

Mobile Virtual Network Enabler, MVNE

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

Primjeri suradnje

- ◆ Virgin Mobile – T- Mobile (UK)
 - Osnovan 1999. g., više od 4 milijuna pretplatnika
- ◆ Carphone - Tesco Mobile (UK)
- ◆ mBank (Poljska) – virtualna banka
 - mBank mobile - MVNO
- ◆ Telmore (Danska)
 - Osnovan 2000.g., 600.000 pretplatnika
- ...
- ◆ HR – 5 MVNO-a
 - T-mobile: Bonbon, Multiplus, Telco Grupa, ZABA
 - VIPnet: Tomato
- ◆ HR MVNE:
 - Aspider Solutions



Diplomski studij

Informacijska i komunikacijska
tehnologija:

Telekomunikacije i informatika

Obradba informacija

Ak.g. 2014./2015.

Tržišni aspekti pokretne mreže

- ◆ Telekomunikacijski pokazatelji (metodologija ITU-T)
 - Broj pretplanika ćelijске mreže
 - Omjer na 100 stanovnika (gustoća)
 - Postotak digitalnih korisnika
 - Broj pretplatnika s plaćanjem unaprijed (*prepaid*)
 - Prekrivenost stanovništva signalom
 - Postotak pokretnih u odnosu na ukupni broj telefonskih pretplatnika (uključujući i fiksne i pokretne mreže)

Slijede podaci za period od 2012. - 2014. g.

◆ Mreža 3G

- Najrasprostranjenija pokretna mreža
- UMTS/[HSPA](#)
- Uvođenje 4G (LTE)

◆ Govorna usluga

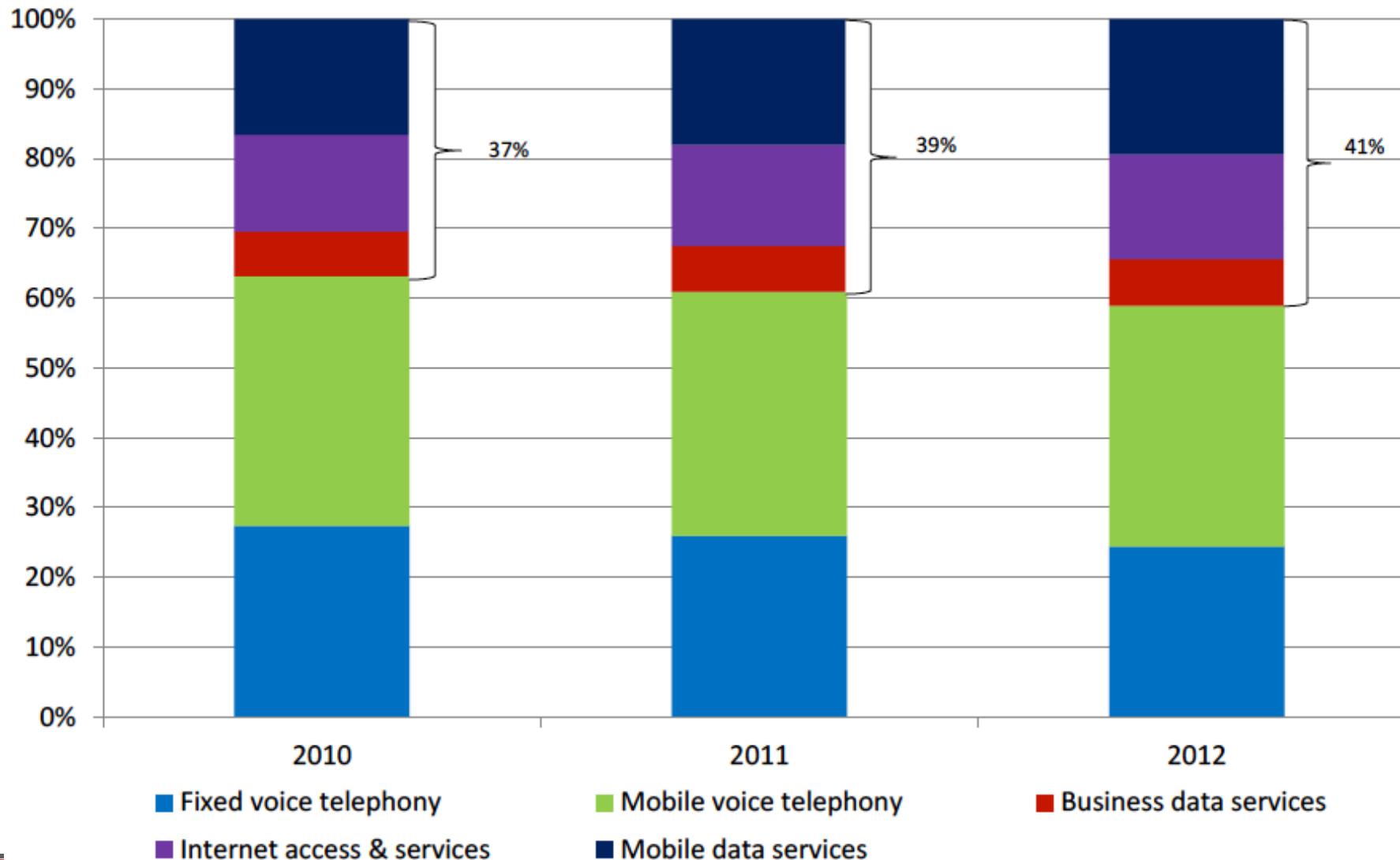
- Dominantna

◆ Podatkovne usluge

- Broj pokretnih podatkovnih pretplatnika se povećao za 17,3%, penetracija je 62%, najveći porast u Finskoj, Švedskoj i Danskoj

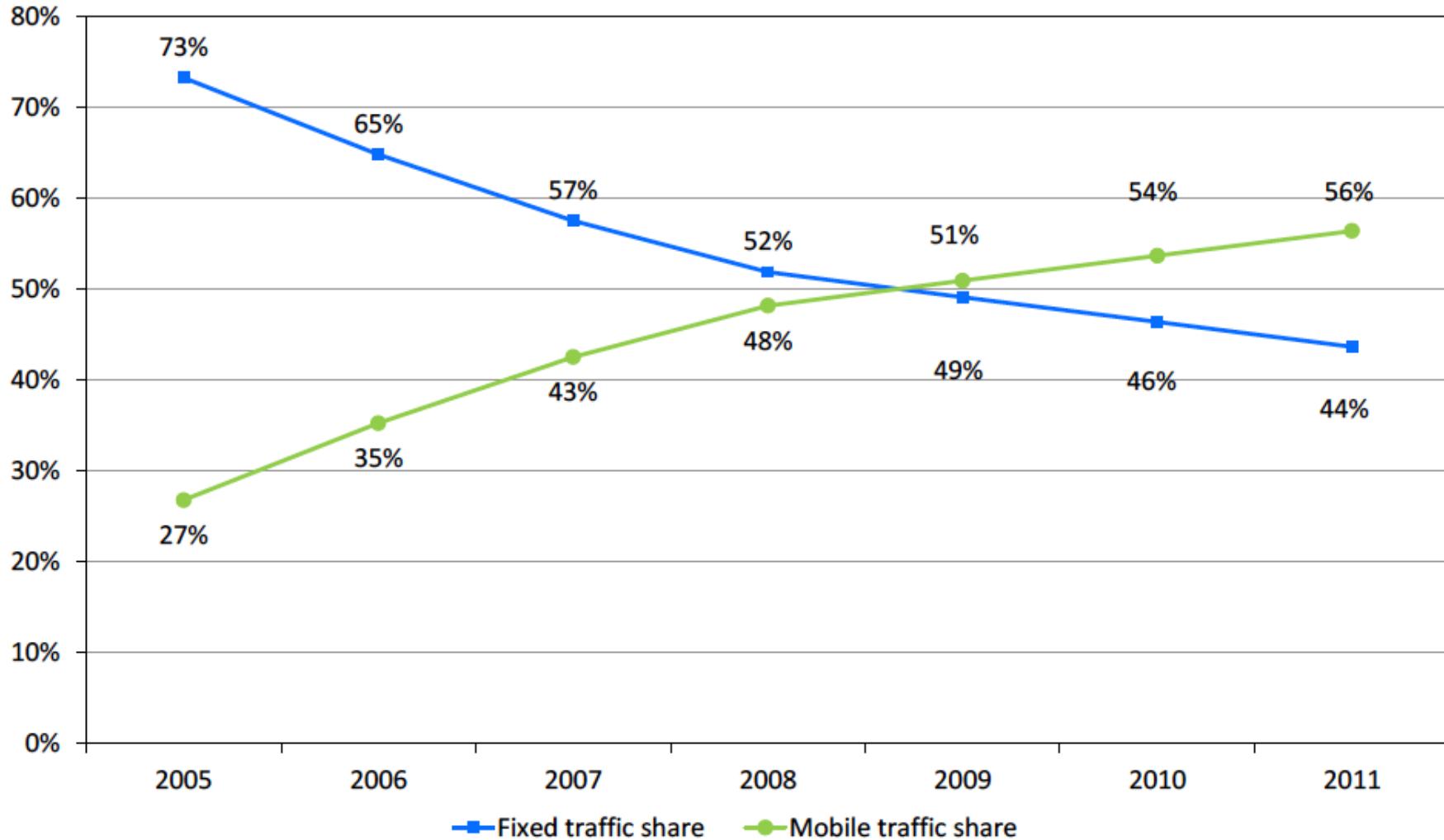
Prihodi po segmentima

Telecommunications revenues by segment



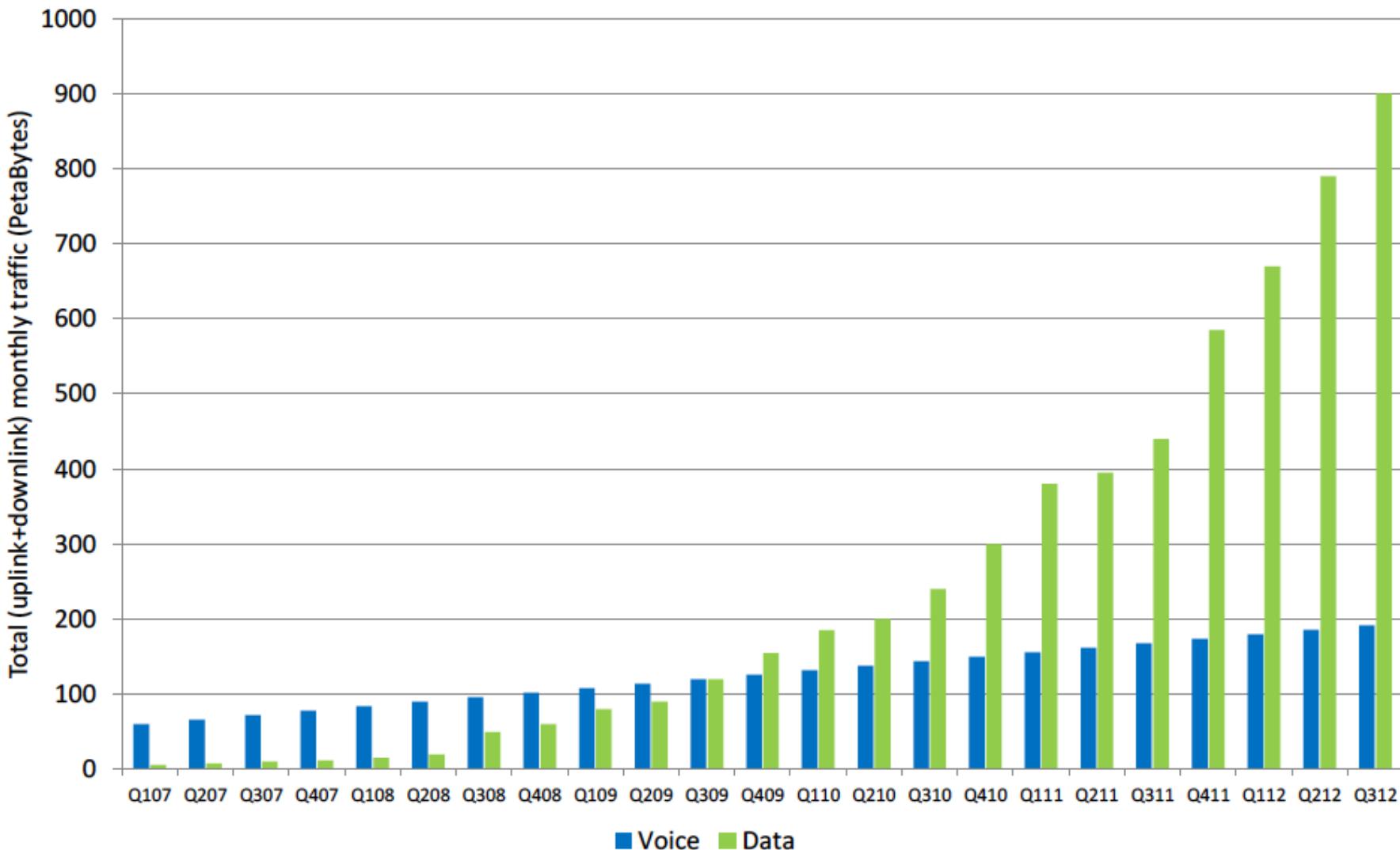
Tržište pokretnih i fiksnih mreža

Voice traffic on fixed and mobile networks at EU level, 2005-2011



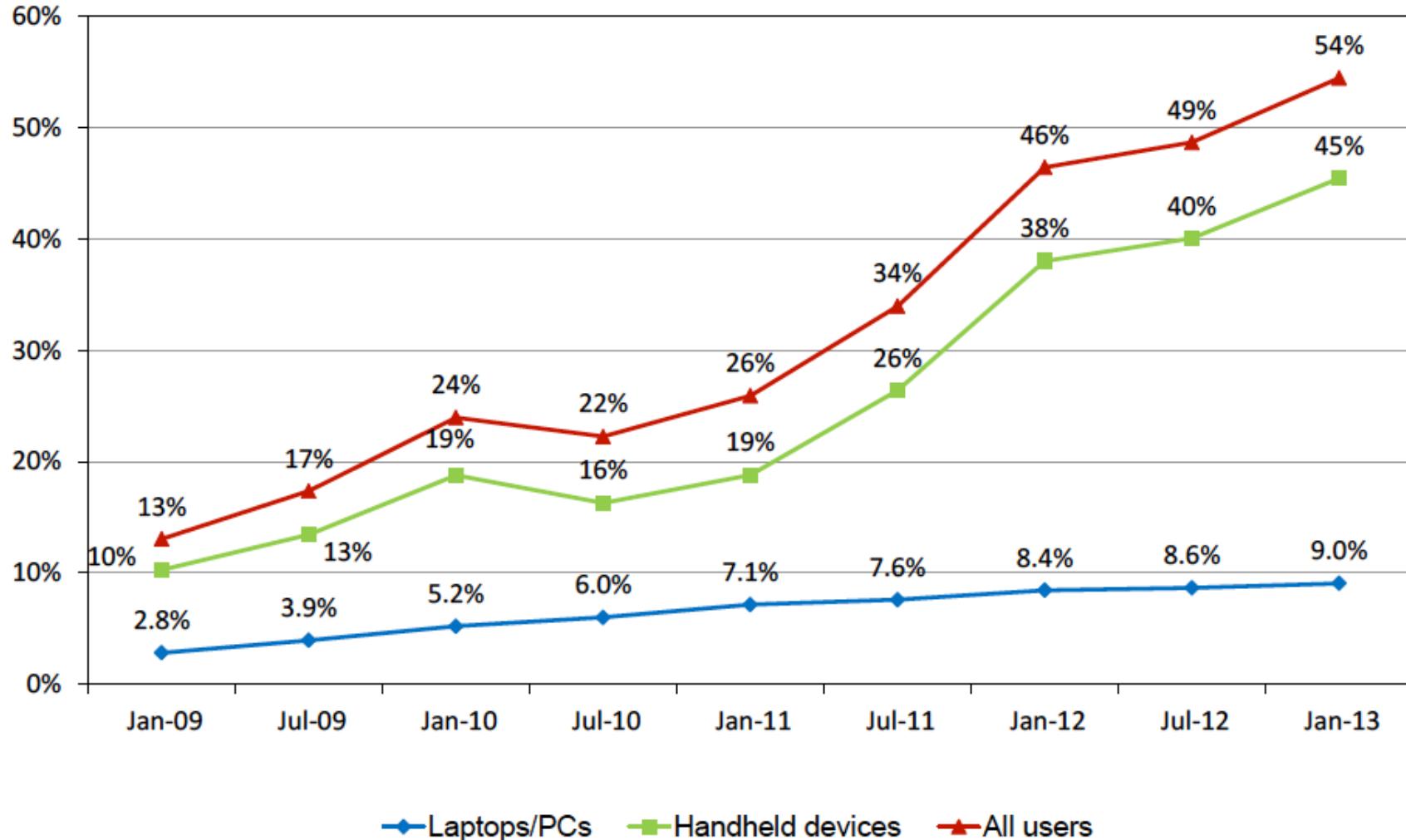
Promet pokretnom mrežom (EU)

Global mobile traffic: voice and data 2007-2012



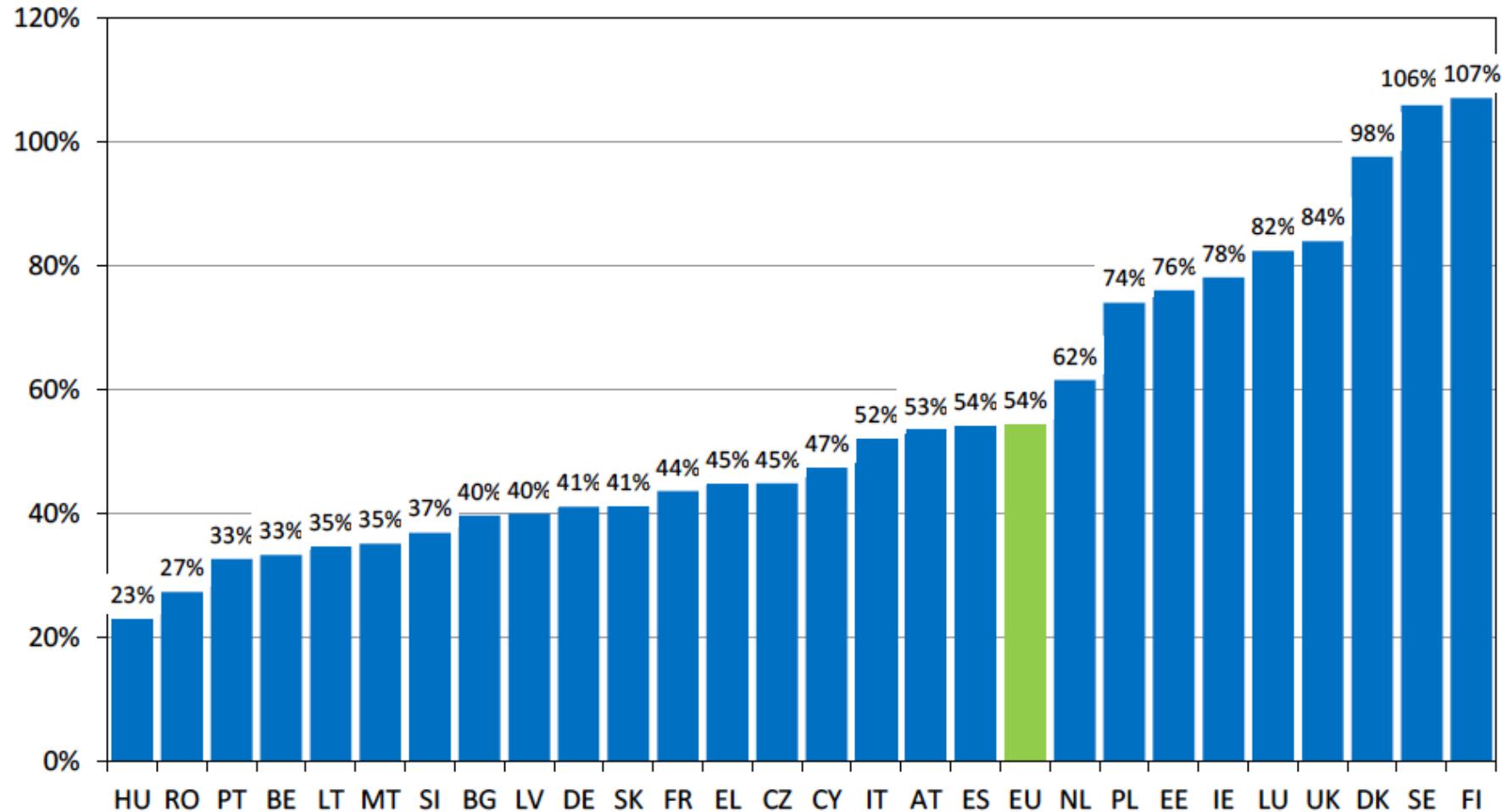
Penetracija pokretnog podatkovnog prometa

Mobile broadband penetration at EU level, 2009-2013



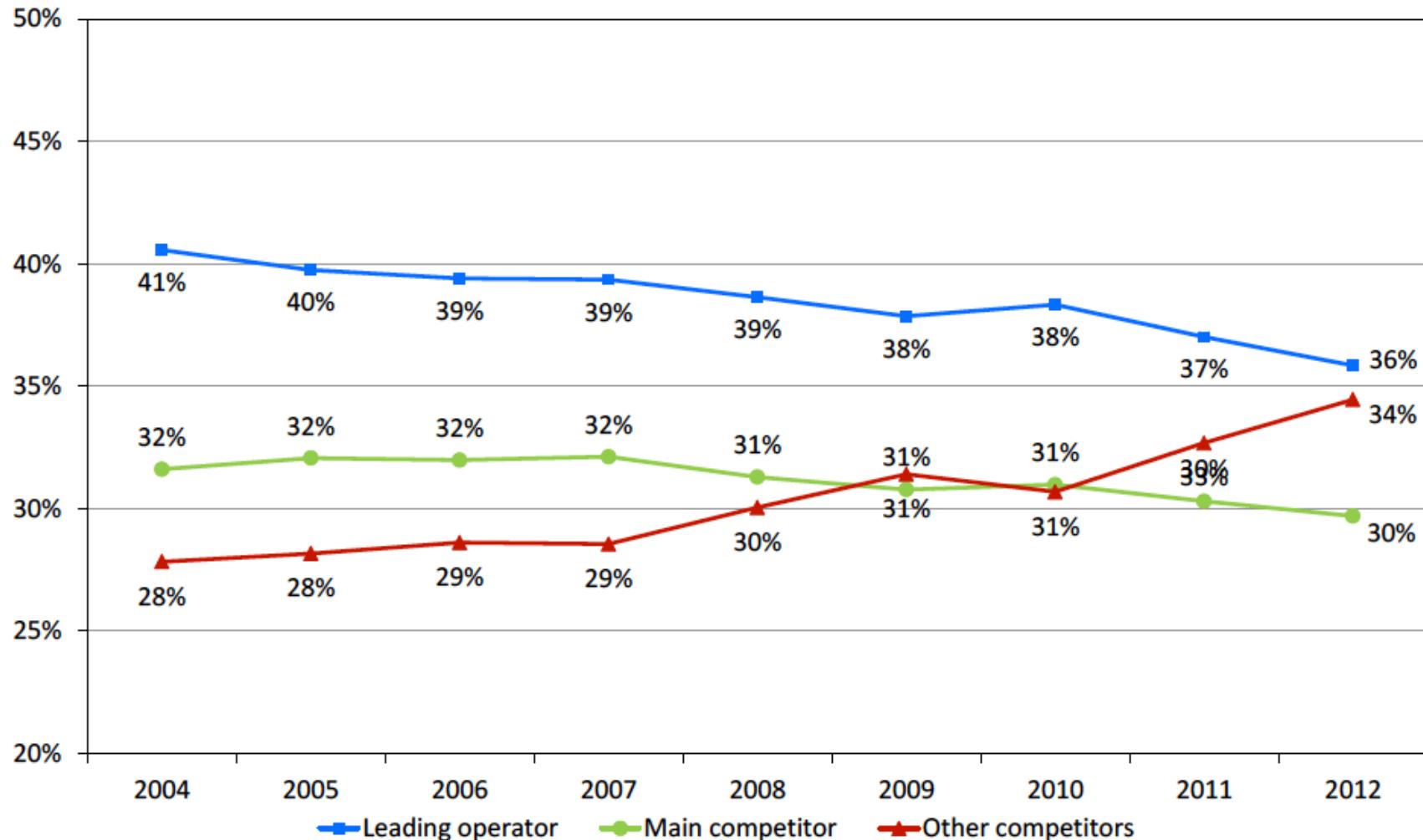
Penetracija podatkovnog prometa po zamljama EU

Mobile Broadband penetration - all active users, January 2013



Tržište pokretnih operatora

Mobile subscribers: operator market shares at EU level, 2004-2012



Broj preplatnika i penetracija

- ◆ Penetracija 62% (siječanj 2014.)
 - Skandinavske zemlje iznad 100%
 - Najmanja penetracija u Mađarskoj, Grčkoj i Portugalu
- ◆ Pokretne mreže pokrivaju 98 % stanovništva u EU (2014.)

Literatura: Digital agenda for Europe – A Europe 2020 Initiative: Digital single market – analysis and data

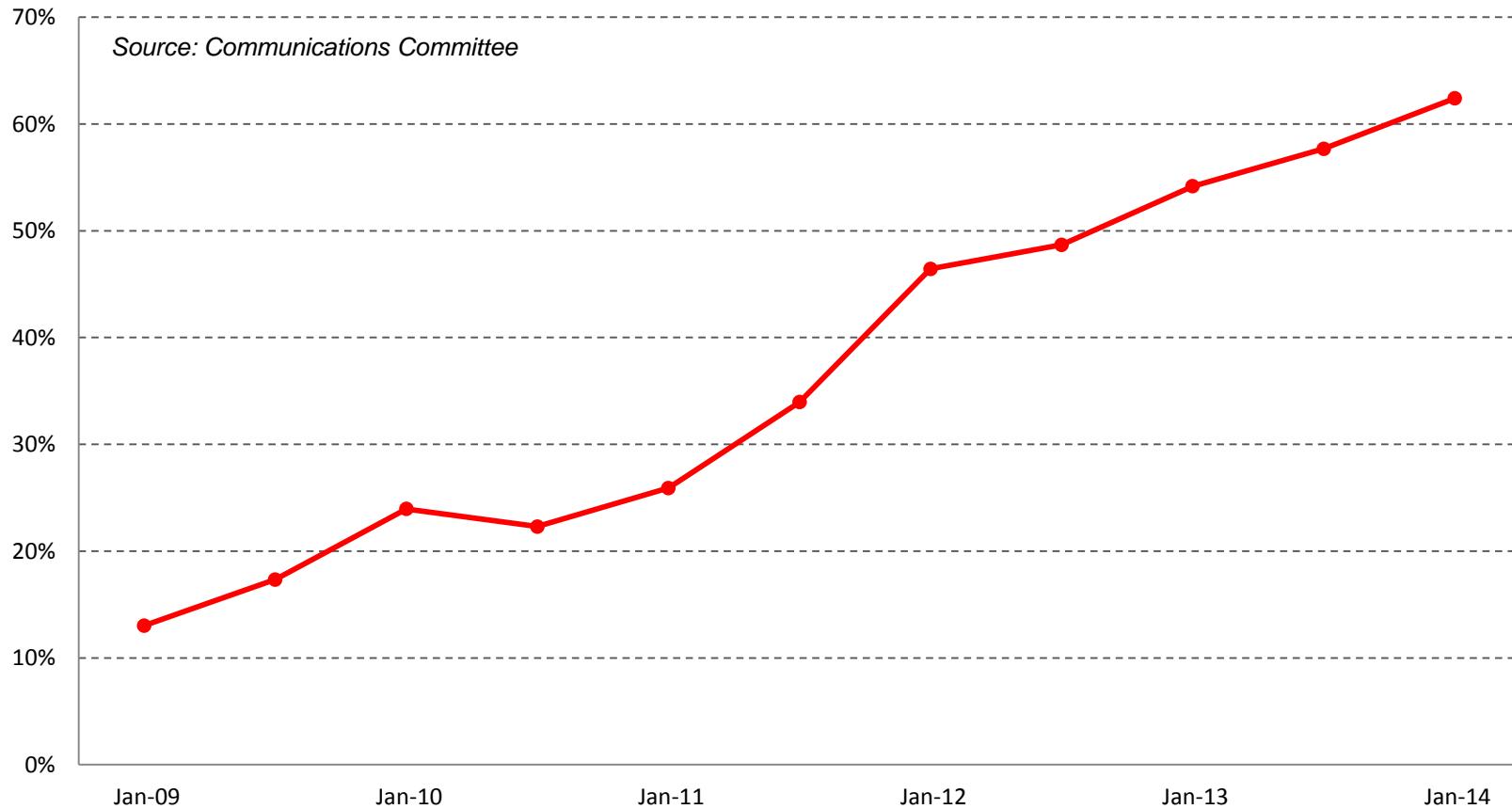
<https://ec.europa.eu/digital-agenda/digital-single-market-analysis-and-data>

State of the telecoms services sector in Europe

<http://https://ec.europa.eu/digital-agenda/sites/digital-agenda/files/DAE%20SCOREBOARD%202013%20-%201-THE%20eCOMM%20SECTOR.pdf>

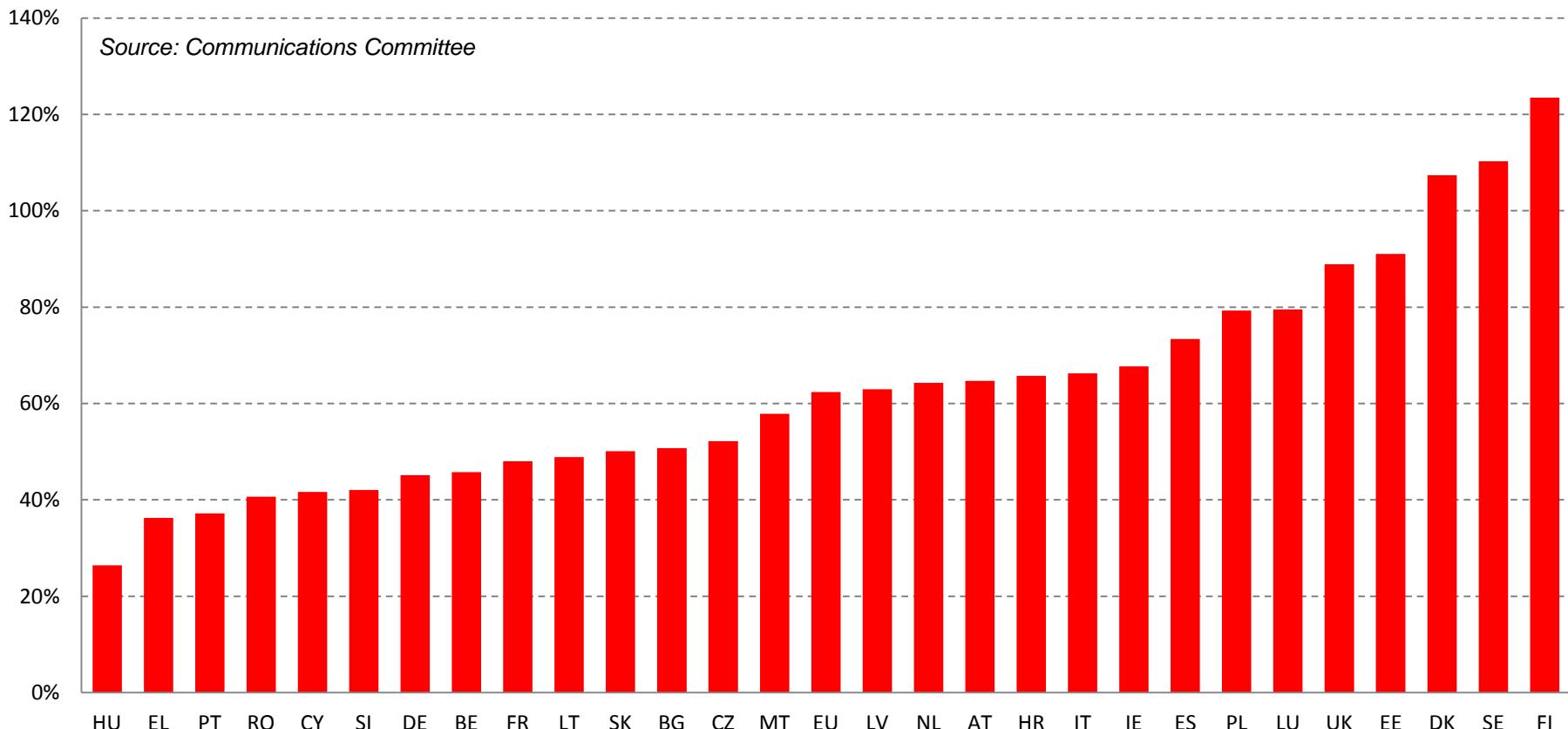
Penetracija pokretnih pretplatnika u EU (1)

Mobile broadband penetration at EU level, January 2009 - January 2014



Penetracija pokretnih pretplatnika u EU (2)

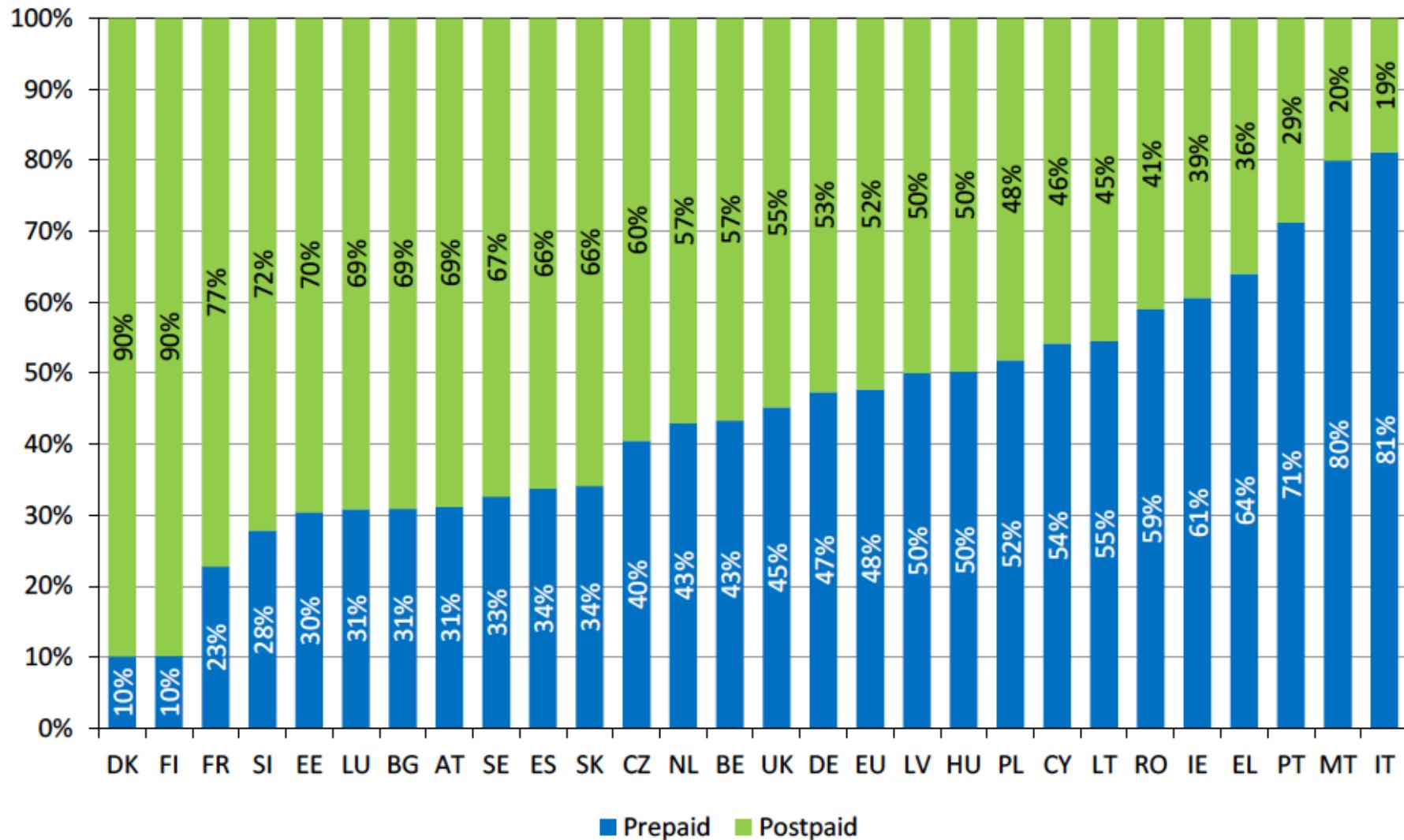
Mobile broadband penetration - all active users, January 2014



- ◆ Postotak digitalnih korisnika
 - 100%
- ◆ Analiza pretplatnika prema načinu plaćanja
- ◆ Pokrivenost stanovništva signalom
 - Razlikuje se za 2G, 3G i 4G mrežu

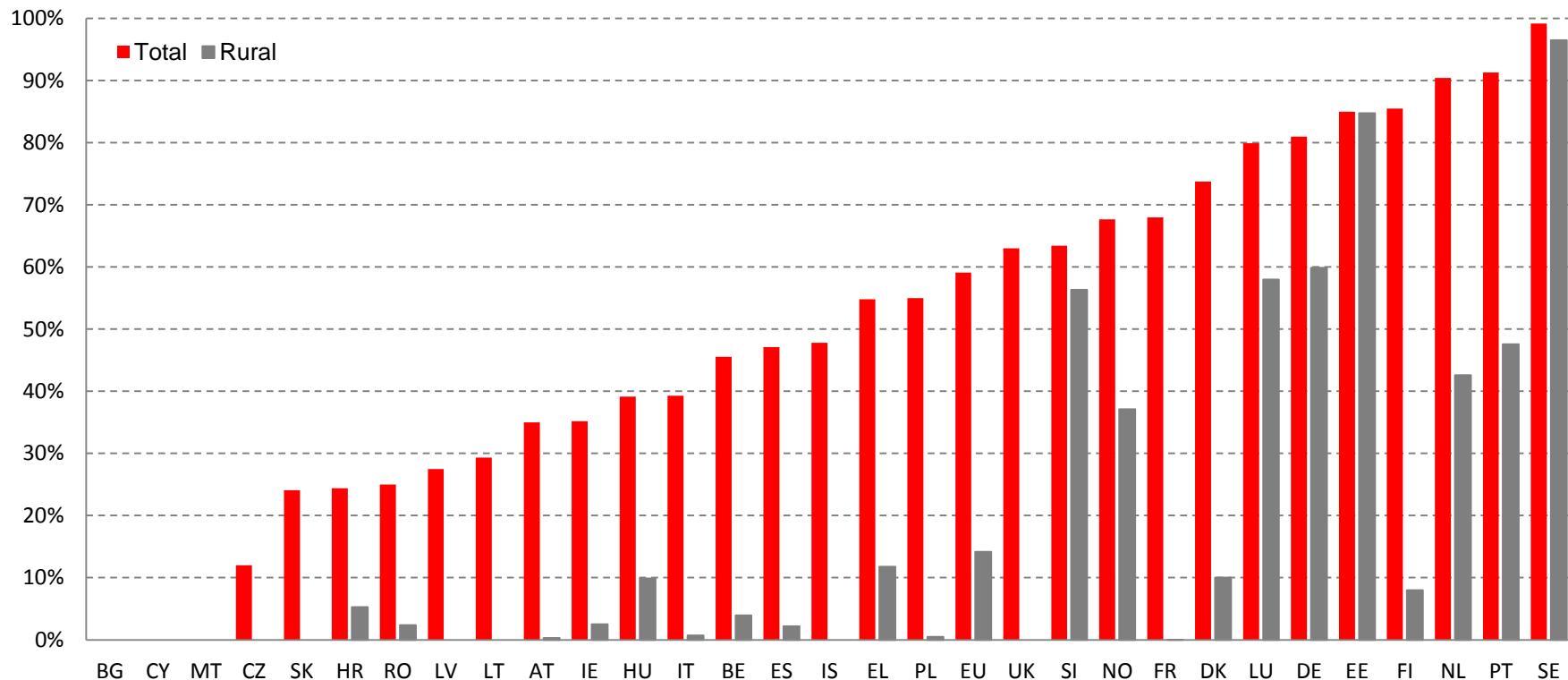
Prema načinu plaćanja

Mobile subscribers: prepaid and monthly paid, October 2012



Pokrivanje mrežom 4G (LTE)

4G (LTE) coverage, 2013

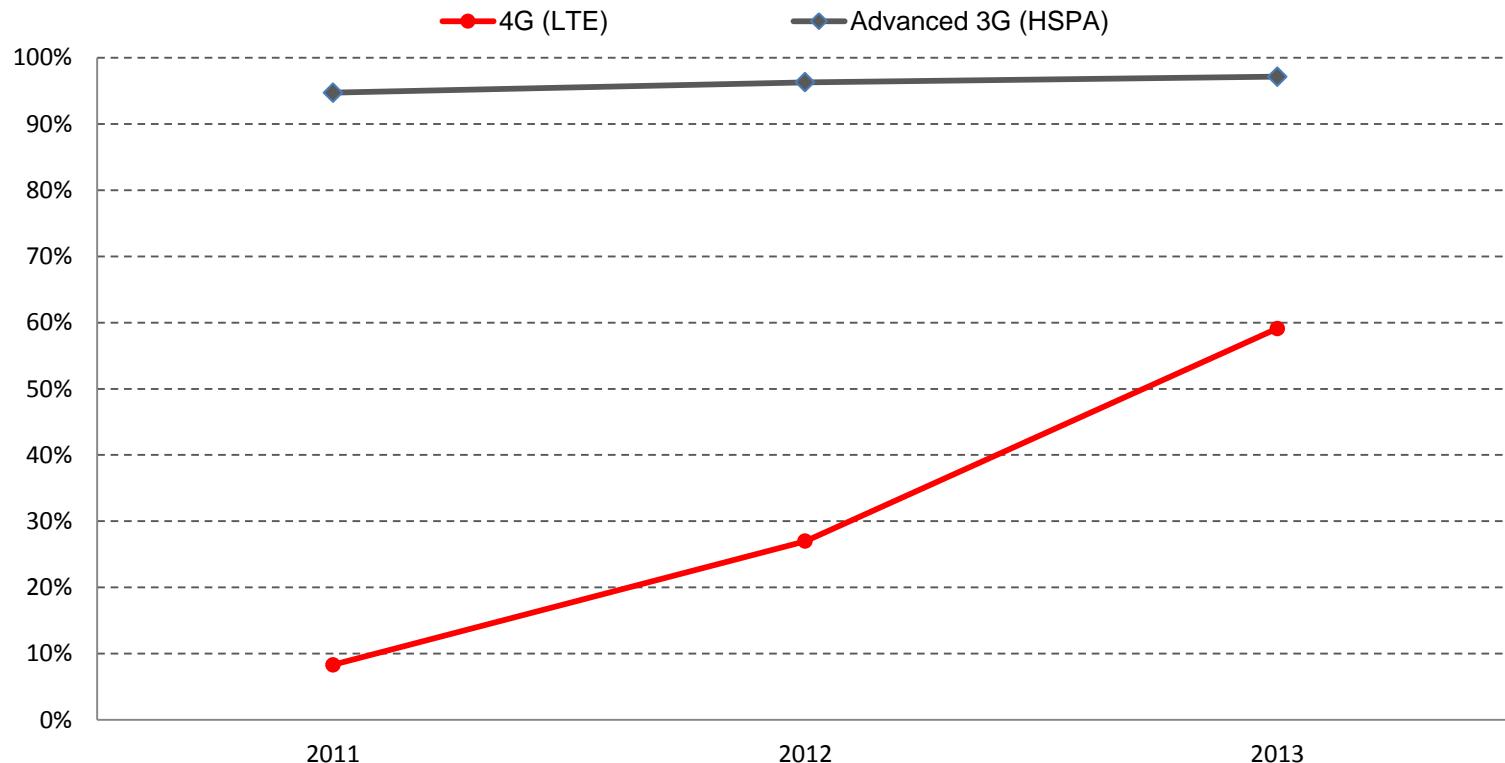


Source: IHS and VVA

- Većinom u urbanim područjima osim u Švedskoj, Estoniji, Njemačkoj, Luksemburgu i Sloveniji

Pokrivenost pokretnim širokopojasnim pristupom

Mobile broadband coverage in the EU, 2011-2013



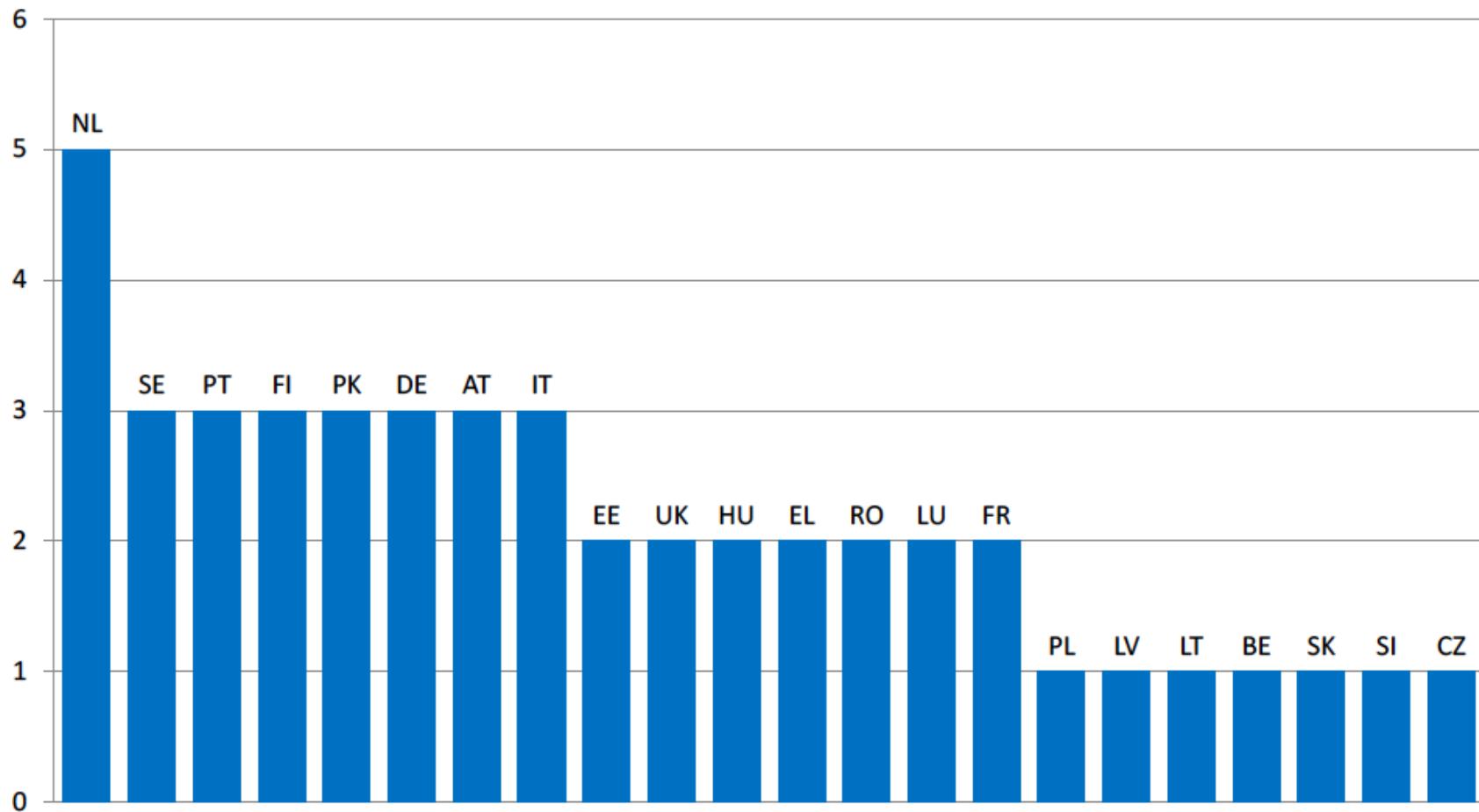
Source: IHS, VVA and Point Topic

Broj operatora

- ◆ Operator pokretne mreže
 - Ukupni broj 3G i 4G operatora veći od broja 2G operatora
- ◆ Davatelj pokretne usluge (*mobile service provider*)
 - Tvrte autorizirane za pružanje pokretnih usluga pod svojim vlastitim nazivom/brandom uz uporabu mreže nekog operatora pokretne mreže
 - Stalni porast broja davatelja pokretnih usluga
- ◆ Najčešće 2-4 operatora po državi

Broj pokretnih operatora

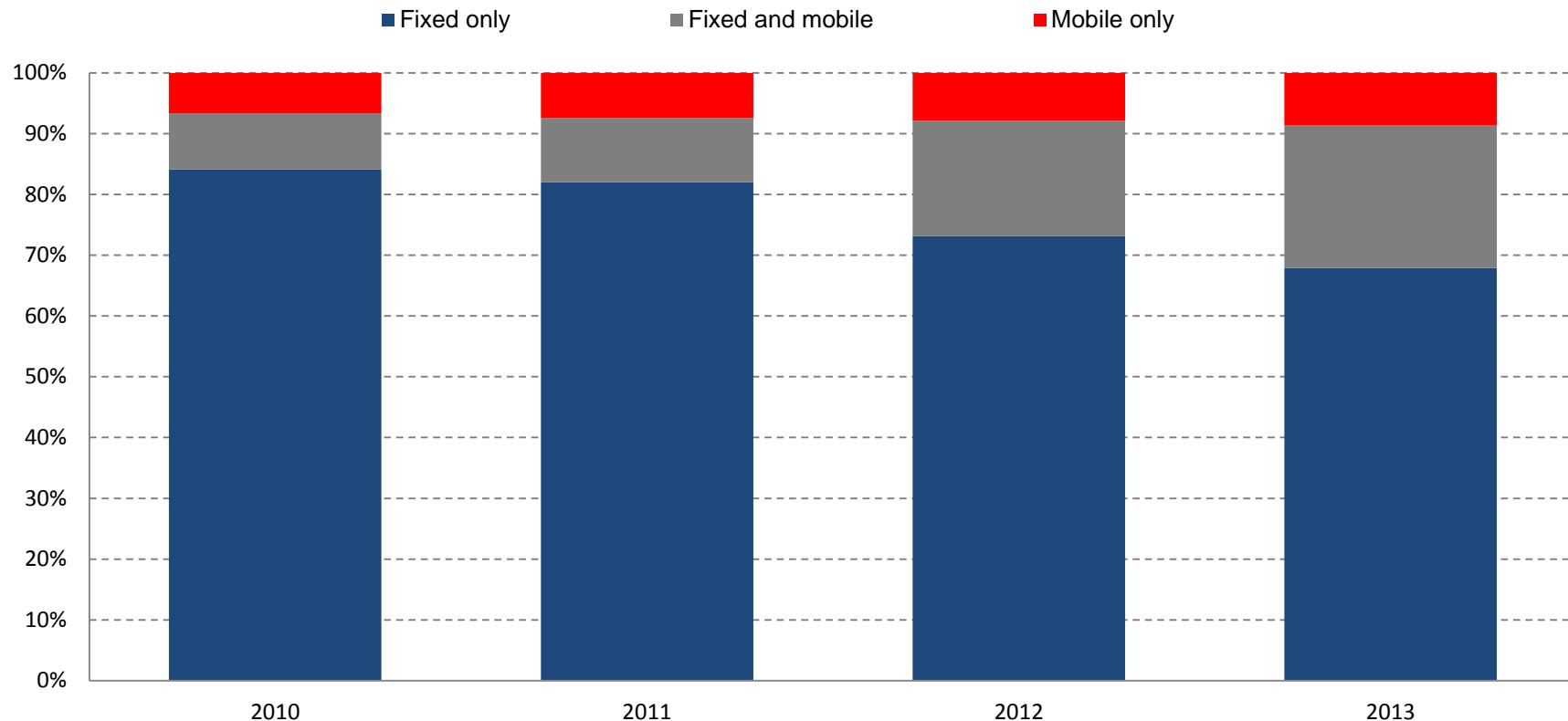
Number of mobile network operators in Member States with an active LTE network



- ◆ **4G mreže i usluge**
 - Svi 3G operatori podržavaju HSDPA tehnologiju i uvode 4G tehnologiju
 - UMTS/HSPA – pokrivenost 96,3%
 - 4G (LTE) – pokrivenost od 27% (2011.) do 59% (2014.)
- ◆ **Postotak pokretnih u odnosu na ukupni broj telefonskih pretplatnika (uključujući i fiksne i pokretne mreže)**

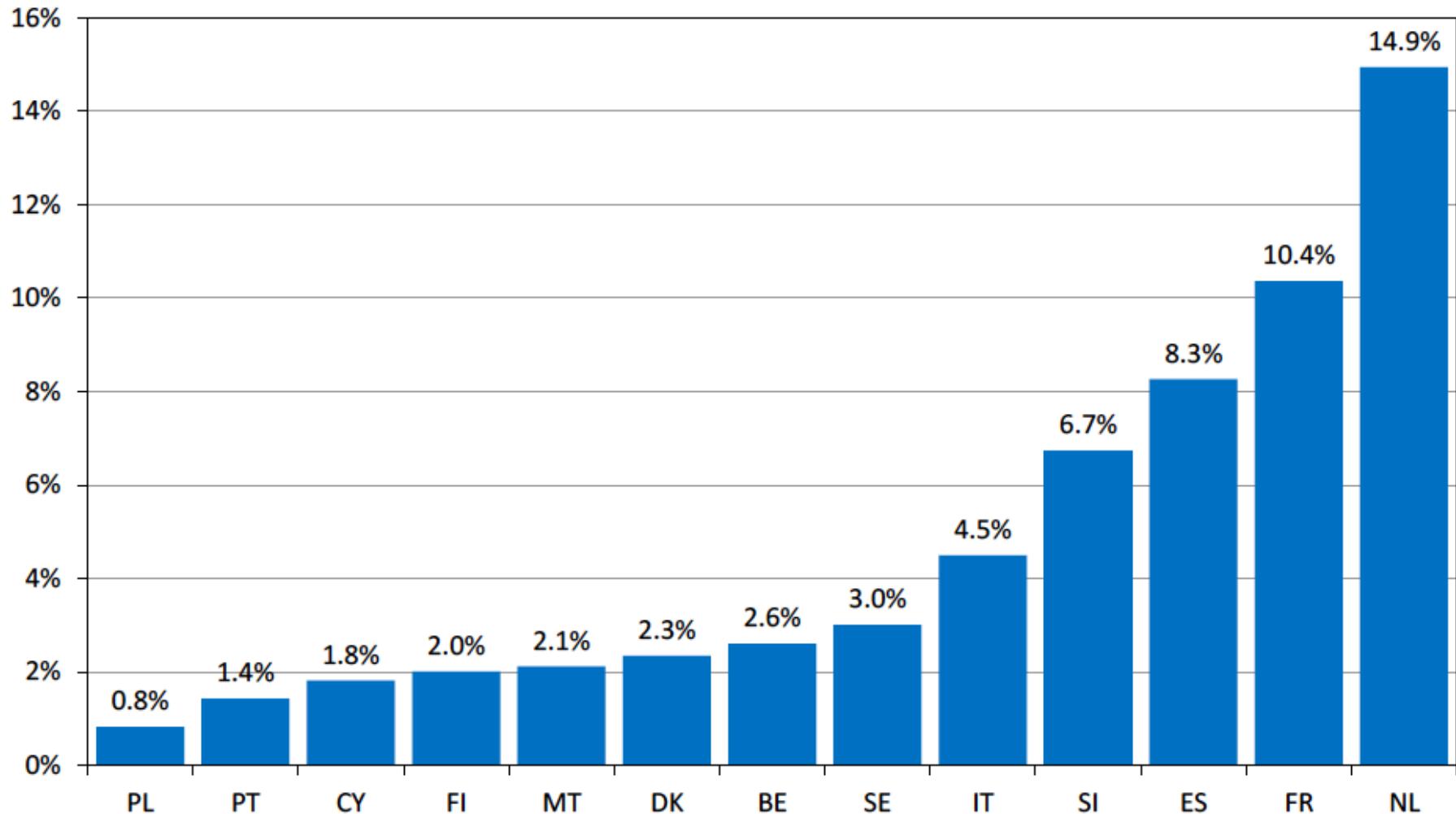
Pružatelji širokopojasnog pristupa Intenetu

Distribution of households by means of access to Broadband



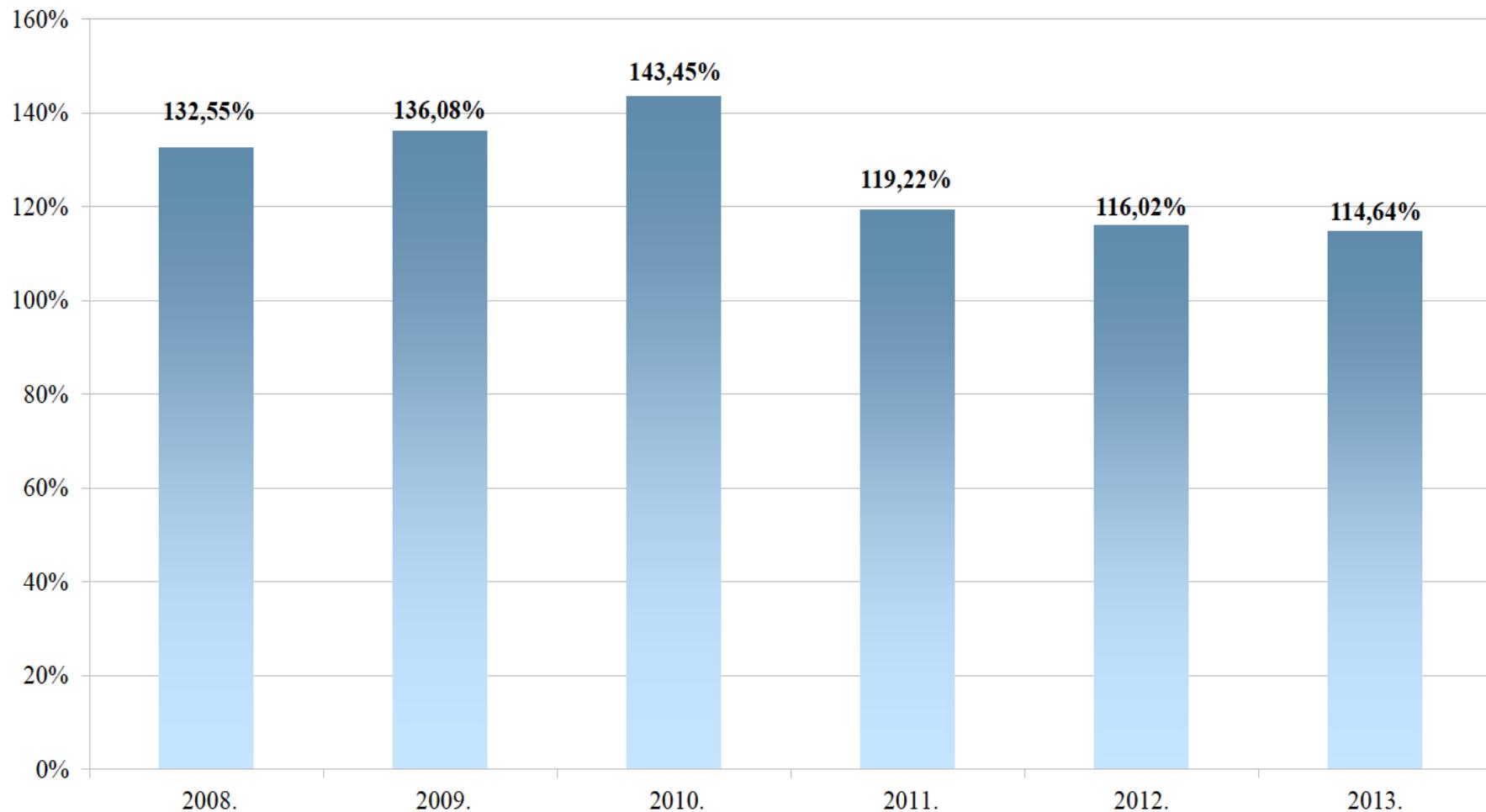
Udjeli operatora MVNO

Share of MVNO SIM cards, October 2012



Gustoća korisnika (HR)

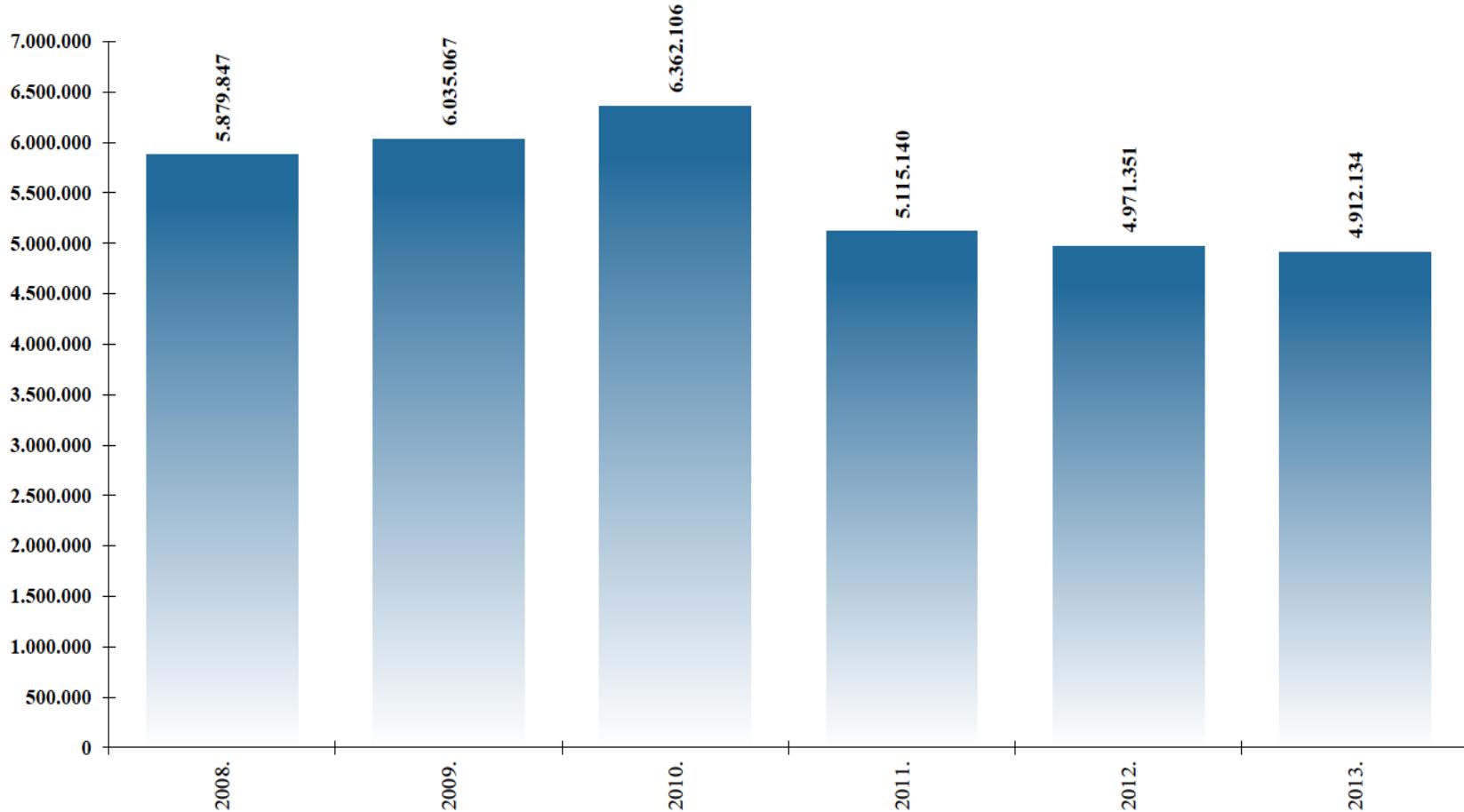
Gustoća korisnika u pokretnoj komunikacijskoj mreži



Napomena: Od 01. siječnja 2011. godine sukladno pojmovniku, aktivnim korisnikom bez pretplatničkog odnosa smatra se korisnik koji je u zadnjih 90 dana barem jednom koristio uslugu u javnoj pokretnoj komunikacijskoj mreži ili nadopunio račun putem bona. Za prethodna razdoblja operatori su različito definirali aktivnog korisnika (90/180/270 dana).

Broj korisnika telefonskih usluga (HR)

Broj korisnika telefonskih usluga u pokretnoj mreži



Napomena: Od 01. siječnja 2011. godine sukladno pojmovniku, aktivnim korisnikom bez preplatničkog odnosa smatra se korisnik koji je u zadnjih 90 dana barem jednom koristio uslugu u javnoj pokretnoj komunikacijskoj mreži ili nadopunio račun putem bona. Za prethodna razdoblja operatori su različito definirali aktivnog korisnika (90/180/270 dana).

Udjeli operatora (HR)

**Udio operatora pokretnih komunikacijskih mreža obzirom na broj korisnika
(prosinac 2013.)**

■ VIPnet (37,54 %)

■ HT (46,88 %)

■ Tele2 (15,59%)

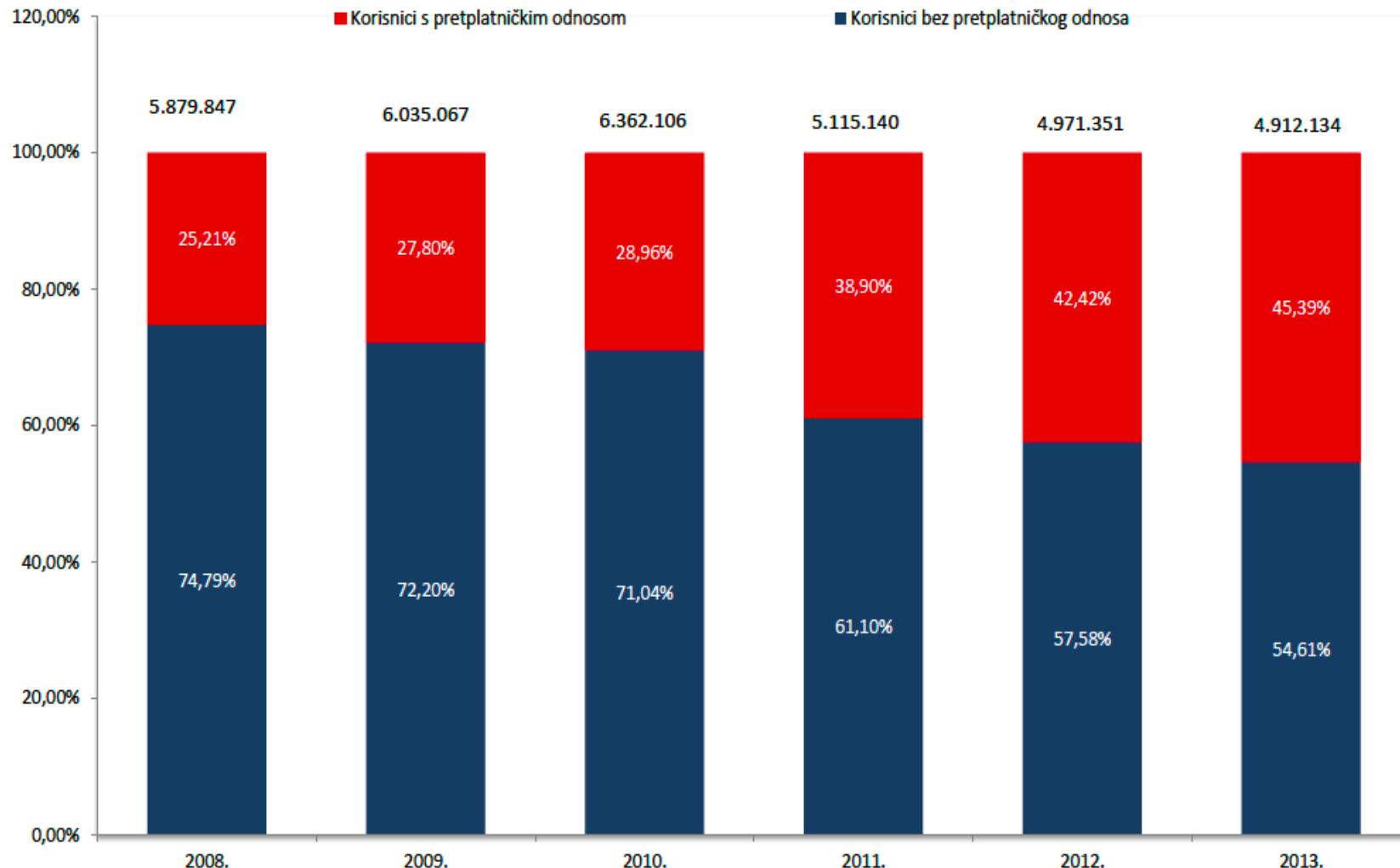
46,88%

37,54%

15,59%

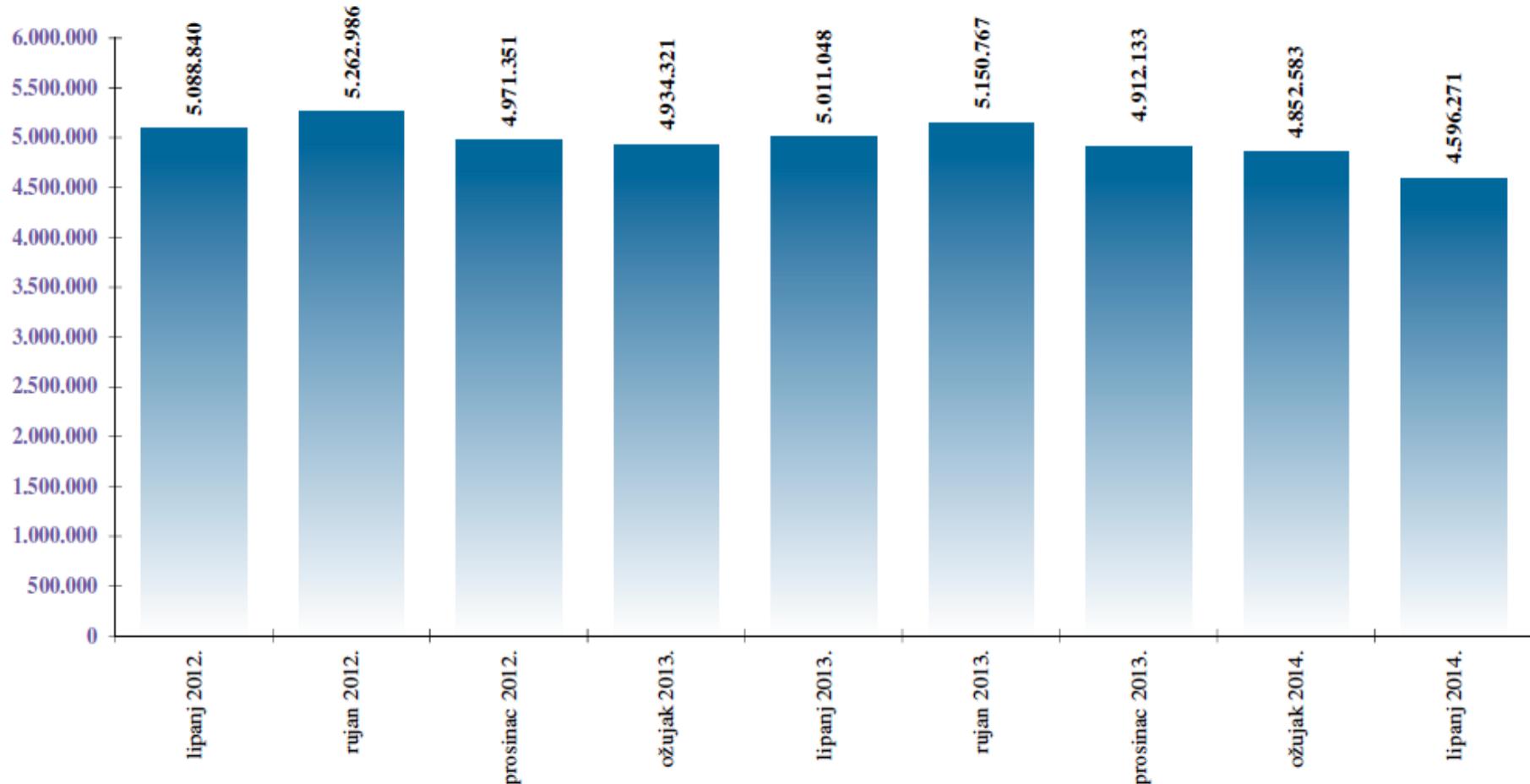
Udjeli korisnika s obzirom na plaćanje (HR)

Udio korisnika s pretplatničkim i bez pretplatničkog odnosa



Broj korisnika pokretne mreže (HR)

Broj korisnika pokretne javne komunikacijske mreže



Napomena: Sukladno pojmovniku, aktivnim korisnikom bez pretplatničkog odnosa smatra se korisnik koji je u zadnjih 90 dana barem jednom koristio uslugu u javnoj pokretnoj komunikacijskoj mreži ili nadopunio račun putem bona. Promjena broja korisnika u Q22014 dijelom je posljedica usklađenja metodologije dostavljanja podataka u skladu s pojmovnikom.

HSDPA i LTE u HR

4G Americas Global Deployments Status - 16 Oct 2014

Europe - Eastern		HSPA (89)	HSPA+ (61)		LTE (55 in 23)	LTE Spectrum (Band)
Croatia	Croatian Telekom (T-Mobile) T-Hrvatski	In Service	Oct-12	21Mbps	In Service Mar 2012	LTE-800, 1800
Croatia	Velatel (Novi-net)				Planned	LTE-3500 TDD
Croatia	VIPnet	In Service	Dec-09	42Mbps	In Service Mar 2012	LTE-800, 1800

Izvor: 4G Americas, 16. listopad 2014.

Global 3G and 4G Deployment Status HSPA / HSPA+ / LTE / 18 Jan 2013

www.4gamericas.org

Source: Informa Telecoms &
Media, 4G Americas, Public
Announcements



Information accurate to the
best of our knowledge as of
date indicated

	HSPA		HSPA+		LTE	
	Networks In Service	Countries In Service	Networks Planned/In Deployment			
	506	261				146
			188	120	167 @ 21 Mbps 7 @ 28 Mbps 87 @ 42 Mbps	66
			78	38		287 Additional Networks in Trial, Planned or in Deployment

Country	Operator/Network Name	HSPA	HSPA+		LTE	LTE Band
Croatia	Tele2	In Service	Dec-10	21Mbps	Planned 2013	
Croatia	Hrvatski Telekom (T-Mobile)	In Service			In Service March 2012	1800 / 2.6 GHz
Croatia	VIPnet	In Service	Dec-09	42Mbps	In Service March 2012	1800 / 2.6GHz

Izvor: 4G Americas, 6. ožujak 2012.

Pokretni Internet

- ◆ Silazna veza – do 100 Mbit/s (LTE)
- ◆ Uzlazna veza – do 50 Mbit/s (LTE)
- ◆ Uredaji za pokretni pristup Internetu
 - Pokretni terminal
 - LTE USB uređaj, PCI kartica



Mobile Basket

- ◆ Košara uključuje fiksne i varijabilne troškove po pretplatniku 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
 - Košara malog korisnika (Low user basket)
 - Košara srednjeg korisnika (Medium user basket)
 - Košara velikog korisnika (High user basket)
- ◆ Napravljena revizija košara usluga 2006. (2006 OECD basket), prva inačica 2002.

- ◆ Košare se razlikuju prema sljedećim parametrima
 - broj odlaznih poziva, SMS i MMS poruka (mjesečno)
 - udio poziva prema vrsti odredišta (lokalni poziv, nacionalni poziv, vlastita pokretna mreža, druga pokretna mreža)
 - postotku poziva prema tarifi vezanoj za vrijeme korištenja (radni dan - skuplja, radni dan - jeftinija, vikend)
 - trajanje poziva u minutama (fiksna, vlastita pokretna mreža, druga pokretna mreža)

Primjer košare

- ◆ Za prvu skupinu (odlazni poziv, SMS i MMS, mjesечно)
 - mala – obuhvaća 30 odlaznih poziva + 33 SMS poruka + 0.67 MMS poruka
 - srednja – obuhvaća 65 odlaznih poziva + 50 SMS poruka + 0.67 MMS poruka
 - velika – obuhvaća 140 odlaznih poziva + 55 SMS poruka + 1 MMS poruka
- ◆ Primjer male košare
 - 30 odlaznih poziva i 33 SMS poruka i 0.67 MMS poruka
 - 28% odlaznih lokalnih poziva i 14% odlaznih nacionalnih poziva prema fiksnoj mreži, 40% poziva prema vlastitoj pokretnoj mreži i 18% prema drugim pokretnim mrežama
 - 30% svih poziva po skupljenoj tarifi, 35% po jeftinijoj tarifi i 27% prema vikend-tarifi
 - trajanje poziva prema fiksnoj mreži 1.6 minuta; 1.4 minute prema vlastitoj pokretnoj mreži, i 1.4 minute prema drugim pokretnim mrežama

Literatura

- ◆ Bažant, A., Ž. Car, G. Gledec, D. Jevtić, G. Ježić, M. Kunštić, I. Lovrek, M. Matijašević, B. Mikac, B. Skočir, "Telekomunikacije – tehnologija i tržište", Element, Zagreb, 2007.
- ◆ European Eletronic Communications Regulations and Markets (15th Report), svibanj 2010.
 - http://ec.europa.eu/information_society/policy/ecom/comm/doc/implementation_enforcement/annualreports/14threport/commen.pdf
- ◆ Hrvatska agencija za poštu i elektroničke komunikacije – HAKOM
 - <http://www.hakom.hr/>
- ◆ Transitions to 4G, 3GPP Broadband Evolution to IMT-Advanced, 3G Americas, September 2010
- ◆ 4G Mobile Broadband Evolution: 3GPP Release 10 and Beyond, February 2011.
- ◆ The mobile broadband standard (3GPP)
 - <http://www.3gpp.org/>
- ◆ International Telecommunication Union (ITU)
 - <http://www.itu.int/>
- ◆ 3G/4G Americas
 - <http://www.4gamericas.org/>