

PETRIJEVA MREŽA

Obilježja Petrijeve mreže:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Strukturna ograničenja mreže:

- **Ordinarna Petrijeva mreža** → ako vrijedi $\#(p_i, I(t_j)) \leq 1$ i $\#(p_i, O(t_j)) \leq 1$ → isključeno višestruko povezivanje mjesta i prijelaza
- **Bez vlastitih petlji** → ako vrijedi $I(t_j) \cap O(t_j) = \emptyset$ → ne može biti i ulazno i izlazno za isti prijelaz
- **Automat stanja** → mreža za koju svaki prijelaz ima samo jedno ulazno i izlazno mjesto: $|I(t_j)| = 1$ i $|O(t_j)| = 1$
- **Označeni graf** → mreža za koju svako mjesto ima samo jedan ulazni i izlazni prijelaz: $|I(p_i)| = 1$ i $|O(p_i)| = 1$
- **Mreža slobodnog izbora** → ako je svako mjesto p_i za svaki prijelaz tj ili jedino ulazno mjesto ili je prijelaz tj jedini izlazni prijelaz za to mjesto: $I(t_j) = p_i$ ili $O(p_i) = t_j$
- **Jednostavna mreža** → ako je svakom prijelazu najviše jedno ulazno mjesto zajedničko s nekim drugim prijelazom

7. - mrežni protokol IPv6

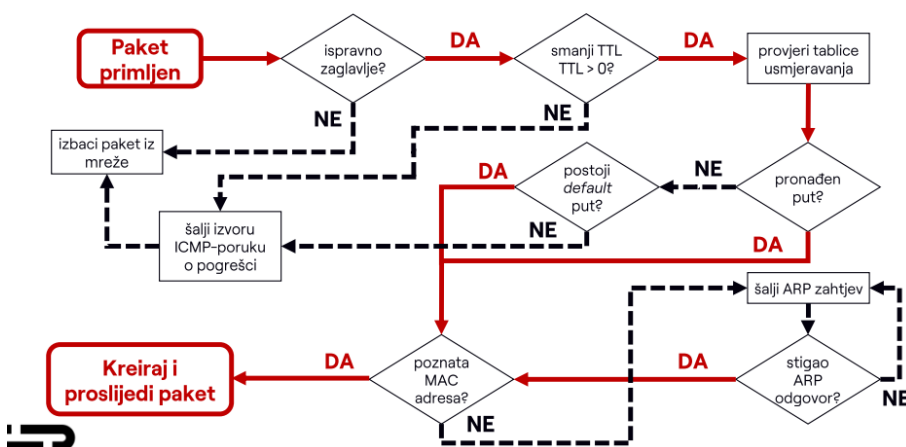
Mrežni sloj

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

IPv4

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

Proces usmjeravanja IPv4-paketa u usmjerenju



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

IPv6

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

| | | | |
|---|--------------------------------------|------------------|--------|
| IPv6 zaglavlje slj. zag. = dod. zag. | Dodatno zaglavlje slj. zag. = TCP | TCP zaglavlje | podaci |
|---|--------------------------------------|------------------|--------|

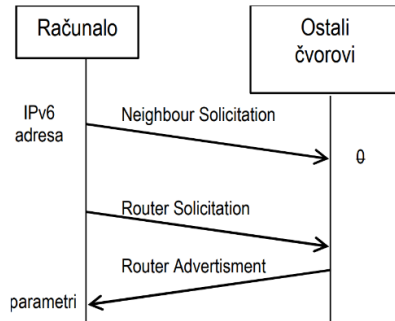
- **Dodatna zaglavlja u IPv6 datagramu:** 1. zaglavlje IPv6 (obvezno!), 2. zaglavlje skok po skok, 3. zaglavlje namijenjeno odredištu (1), 4. zaglavlje usmjeravanja, 5. zaglavlje fragmenta, 6. zaglavlje za provjeru autentičnosti, 7. zaglavlje za sigurnosno ovijanje podataka, 8. zaglavlje namijenjeno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

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

- **6. zaglavlje za provjeru autentičnosti (AH):** jamči identitet pošiljatelja (da je primljeni datagram poslan s izvorišne IP-adrese), te da poruka nije mijenjana u prijenosu kroz mrežu
- **7. zaglavlje za sigurnosno ovijanje podataka (ESP):** šifriranjem osigurava privatnost podataka (da podaci nisu bili čitani) i integritet datagrama (da podaci nisu bili mijenjani) ; mehanizmi zaštite (šifriranje i dešifriranje): **a) transport-mode** → nad podacima transportnog sloja i **b) tunnel-mode** → nad cijelim izvornim IP paketom ; na odredištu se provodi dešifriranje na temelju ESP zaglavlja, pa samo legitimni pošiljatelj može pročitati ; ako se radi tunnel-mode mora se dodati dodatno IP zaglavlje kako bi usmjeritelj mogao procesirati paket
- **Zapis adresa IPv4 - IPv6:** **IPv4** → 4 grupe po 8 binarnih znamenaka zapisanih dekadski (161.53.19.201) ; **IPv6** → 8 grupa po 4 hex znamenke, odvojeno dvotočkama ; **IPv4 u IPv6** → jedan niz nula zamijenimo s dvije dvotočke (::), eventualno dekadski promijenimo u hex. (::A135:13C9 ili ::161.53.19.201)
- **Vrste IPv6 adresa:** **1) Unicast** → jednodređena (adresira jedno sučelje računala / čvora) ; **a) globalne** = u javnom internetu , **b) lokalne na razini organizacije** (za organizacije koje nisu fizički spojene na internet, a koriste TCP/IP), **c) lokalne na razini podatkovne poveznice** (izvode se iz MAC adrese dodavanjem prefiksa FE80::/10), **d) posebne** (unspecified = 0:0:0:0:0:0:0 ili ::, loopback = ::1)
 - 2) Multicast** → višeodređena adresa (slanje svim sučeljima unutar grupe definirane adresom Group ID)
 - 3) Anycast** → adresa više sučelja, dostava najbližem sučelju iz adresirane grupe sučelja
- **Dodjela IPv6 adrese:** autokonfiguracija = stvaranje lokalne adrese na razini poveznice i provjera njene jedinstvenosti
 - **dva mehanizma autokonfiguracije:**
 - a) autokonfig. bez poslužitelja (**stateless**) → u mrežama bez poslužitelja DHCPv6, primjena upravljačkog protokola NDP
 - b) autokonfig. sa poslužiteljem (**statefull**) → primjena upravljačkog protokola DHCPv6

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

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



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

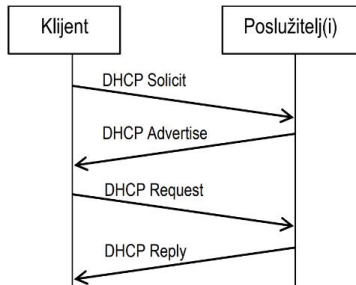
* **NDP**: funkcije: **a) za sve čvorove**: razlučivanje adrese (IP-adresa – MAC-adresa), otkrivanje duplicirane adrese, provjera dostupnosti susjednog čvora i određivanje sljedećeg skoka ;

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

c) za usmjeritelje: oglašavanje prisutnosti

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

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



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

IPv4-zaglavlje

| | | | | | |
|---------------------------|------------------------------|------------------|--------------------------|-------------------------|----|
| 0 | Zaglavlje | | | | 31 |
| Verzija | IHL | Tip usluge (TOS) | Ukupna duljina datagrama | | |
| Identifikacija | | | Zast. | Oznaka mjesta fragmenta | |
| TTL | Oznaka protokola višeg sloja | | Zaštitna suma zaglavlja | | |
| Izvorišna adresa (32 bit) | | | | | |
| Odredišna adresa (32 bit) | | | | | |
| Opcije | | | | Nadopuna | |

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

Značenje boja na slikama:

- polje izbačeno u IPv6
- promjena imena i pozicije polja u IPv6
- novo polje u IPv6

IPv6-zaglavlje

| | | | | |
|---|-----------------------------|----------------|--------------------|--------------|
| 0 | Verzija | Prometna klasa | Oznaka toka | 31 |
| | Duljina podatkovnog polja | | Sljedeće zaglavlje | Broj skokova |
| | Izvorišna adresa (128 bita) | | | |
| | Odredišna adresa (128 bita) | | | |

Fiksno 40 okteta

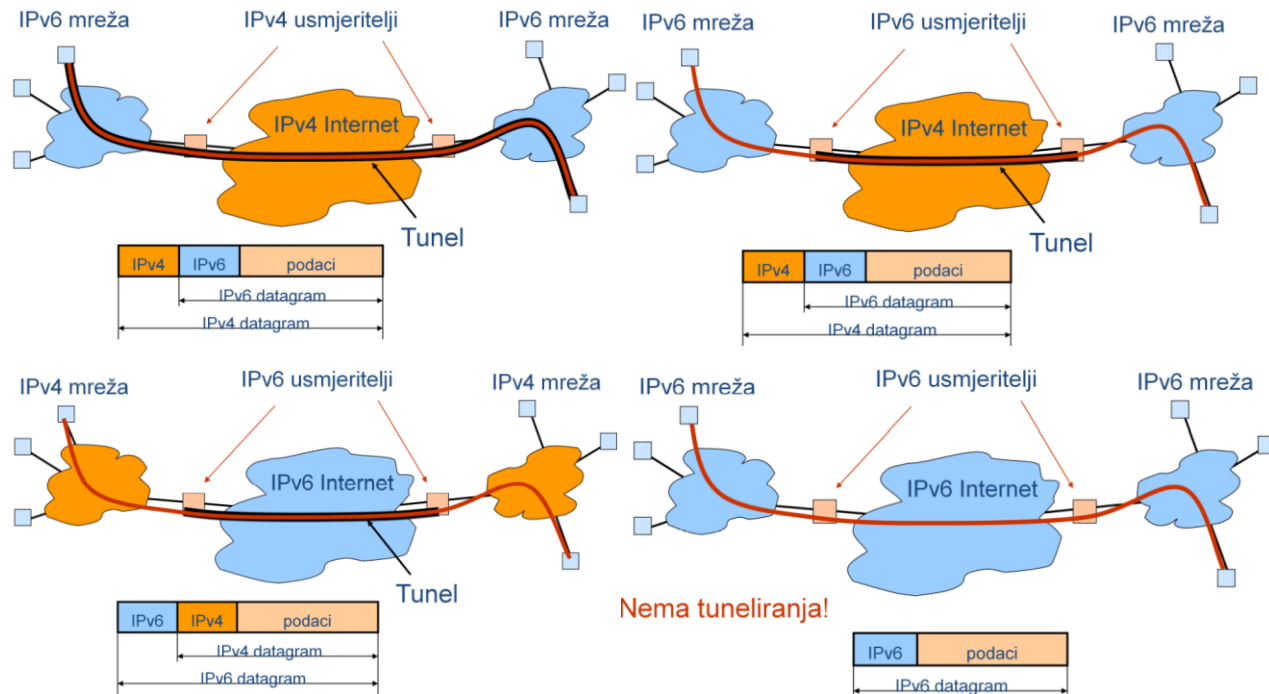
8. – Uvođenje IPv6 u mrežu, Pokretljivost u IP mreži

Prelazak na IPv6

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

• Postizanje kompatibilnosti IPv4 – IPv6:

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



Pokretljivost u IP mreži

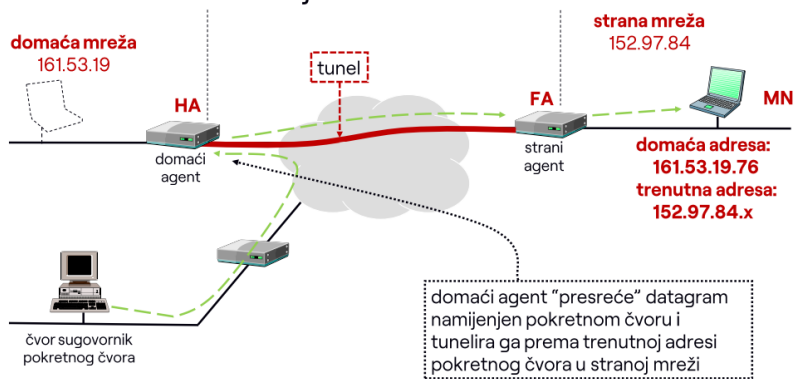
• Zahtjevi na pokretljivost u Internetu → pokretni čvor mora moći: komunicirati s drugim čvorovima nakon promjene točke priključka, komunicirati uporabom svoje stalne IP-adrese neovisno o trenutnoj točki priključka na Internet, komunicirati s drugim čvorovima koji nemaju uvedene funkcije pokretljivosti

• „Klasični“ IP vs. Pokretni IP: **klasični IP** → pokretni korisnik/čvor 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

Mobile IPv4 - u klasičnom Internetu je promjena priključne točke moguća samo ako računalo promijeni i IP adresu

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

Mobile IP – tuneliranje do strane mreže



• Procedure MN-a:

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

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

2) registracija:

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

3) deregistracija:

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

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

- Slanje datagrama s MN: **preko FA direktno na CN**

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

Mobile IPv6

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

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

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

Hijerarhija interneta (ISP = Internet Service Provider)

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

Protokoli usmjeravanja

- Algoritam usmjeravanja:
 - **usmjeritelj** = sustav s minimalno dva različita sučelja u dvije različite mreže ; sadrži tablicu usmjeravanja
 - „puni“ tablicu usmjeravanja i time određuje kako će se datagram s nekom određišnom adresom usmjeriti do sljedećeg usmjeritelja
 - **Zahtjevi**: jednostavnost, korektnost, robusnost, stabilnost, optimalnost, pravednost
 - **Kriterij optimalnosti puta**: kašnjenje, udaljenost, cijena, sigurnost suck
- Podjela (vrste) algoritama usmjeravanja:
 - 1) **statički** (neadaptivan) → unaprijed izračunati putovi, putovi se postavljaju prilikom prvog pokretanja čvora i više se ne mijenjaju, ne uzimaju u obzir trenutno stanje
→ algoritmi: usmjeravanje najkraćim putem, preplavlivanje
 - 2) **dinamički** (adaptivan) → donose odluke o usmjeravanju temeljene na mjerenjima ili procjeni trenutnog stanja u mreži (npr. topologija, opterećenje,...)
→ algoritmi: usmjeravanje prema vektoru udaljenosti (RIP), usmjeravanje prema stanju poveznice (OSPF)
- Podjela protokola usmjeravanja:
 - **autonomni sustav (AS)** = skup mreža i usmjeritelja temeljenih na istim načelima pod zajedničkom upravom i politikom usmjeravanja „prema van“, tj. prema ostalim AS-ovima
 - **S obzirom na područje djelovanja**: a) unutar autonomnog sustava : **IGP** → RIP, OSPF
b) između autonomnih sustava : **EGP** → BGP
 - **peer** = vanjski usmjeritelj na AS-u koji koristi eBGP (povezuje različite AS-ove i izmjenjuje info/poruke o putovima s drugim AS-ovima) → komunikacija AS-ova odvija se preko BGP usmjeritelja (BGP peers ili BGP speakers)
 - **Vrste AS-ova**: **stub AS** (AS s jednim izlazom, ima vezu sa samo jednim AS-om i prenosi samo lokalni promet), **multihomed AS** (povezan s više AS-ova i prenosi samo lokalni promet), **transit AS** (povezan s više AS-ova i prenosi i tranzitni i lokalni promet)
 - Osnovne upravljačke informacije: izvorišna adresa, određišna adresa, TTL
 - **CIDR** = routing bez klasa (prednosti: efikasnije iskorištavanje IP prostora, manje routing tablice ; nedostatak: veća složenost)

RIP

- **Značajke**: besklasno usmjeravanje, maske podmreža, ruta sljedećeg skoka, autentifikacija, multicast usmjeravanje, koristi UDP na transportnom sloju, temelji se na algoritmu vektora udaljenosti
- **RIPng** = proširenje za IPv6 (128-bitna adresa)
- **Operacije**: prilikom pokretanja šalje poruku svim susjedima tražeći njihove tablice ; svoju tablicu šalje susjednim usmjeriteljima svakih 30s ; svaku promjenu topologije (metrike) broadcasta ostalim usmjeriteljima → usmjeritelj prihvaća tablicu usmjeravanja, uspoređuje podatke sa svojom i ažurira ako je potrebno ; ako usmjeritelj u 6x30s ne dobije tablicu od susjeda, postavlja rutu na beskonačnu metriku (16), a nakon još 2x30s briše rutu
- **Ograničenja**: ne uzima u obzir propusnost poveznica nego samo broj skokova (udaljenost) ; **metrika** (broj skokova) ograničena na max 16 → neprikladno za veće mreže ; **spora konvergencija protokola** (usmjeritelj prije nego pošalje info o prekidu dobije, od tog usmjeritelja kojem treba poslati info o prekidu, info da je metrika n. Usmjeritelj će ažurirati svoju tablicu na taj n i poslati to natrag usmjeritelju. To se vrti u krug sve dok usmjeritelj ne dobije info o kraćoj ruti – ako je metrika veliki broj, proći će dugo dok mreža nauči kraći put) ; **brojanje u beskonačnost** (usmjeritelj koji prima rutu od drugog usmjeritelja ne zna jel on sam dio te rute. Ako je, dolazi do beskonačne petlje) ; **detekcija ispada poveznice 6x30s**
- **Rješenja za brojanje u beskonačnost**:
 - **split horizon** → nikad ne oglasavati rutu na usmjeritelja s kojeg je dobivena
 - **split horizon with poisoned reverse** → javiti da je zanemario tu rutu (metrika 16)
 - **postaviti hold-down timer 60-12s** → u tom vremenu zanemariti bilo kakve nove informacije o ruti
- **Rješenje za sporu konvergenciju**: **triggered update** → slati update čim se detektira promjena

Format poruke RIPv2

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

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

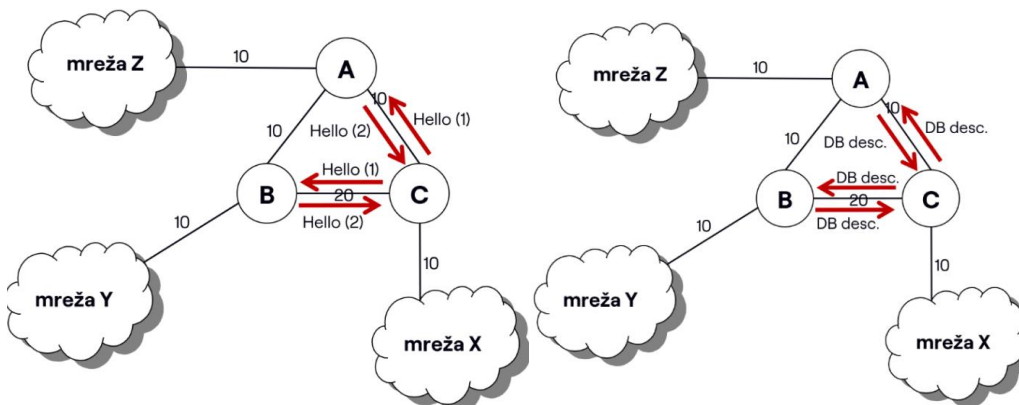
OSPF

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

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

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

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



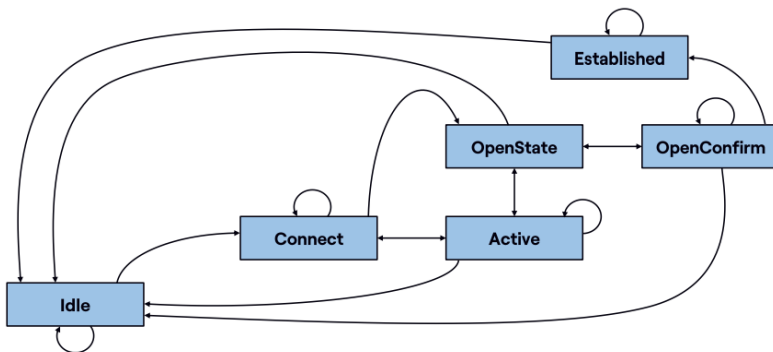
- **Sinkronizacija baza podataka:**
- a) **Inicijalna sinkronizacija** → razmjena baza podataka (šalju se zaglavlja svih LSA-ova (serijom paketa database description), nakon toga se šalju zahtjevi svih LSA-ova kojih nema (Link State Request) i odgovori (Link State Update). Osvježeno stanje potvrđuje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

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

BGP

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

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



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

- BGP usmjeritelj se inicijalno nalazi u **stanju Idle**. U ovom stanju usmjeritelj odbija sve dolazne BGP konekcije. Kao odgovor na događaj Start, lokalni sustav **inicijalizira sve BGP resurse**, pokreće brojač ConnectRetry, te pokušava uspostaviti **TCP vezu** s konfiguriranim **susjednim usmjeriteljima**, i počinje **slušati dolazne** konekcije od udaljenih BGP usmjeritelja, te prelazi u stanje **Connect**. Ukoliko usmjeritelj otkrije pogrešku, zatvara vezu i prelazi u stanje **Idle**.

U stanju Connect usmjeritelj čeka da se **uspostavi TCP veza** s drugim usmjeriteljem. Ako je **TCP veza** uspješno **uspostavljena**, lokalni sustav **poništava brojač ConnectRetry**, dovršava inicijalizaciju, šalje poruku **OPEN** usmjeritelju s kojim je veza uspostavljena, te prelazi u stanje **OpenState**. Ako **TCP veza nije** uspostavljena, lokalni sustav **resetira brojač ConnectRetry**, nastavlja čekati konekcije koje može pokrenuti udaljeni BGP peer, i prelazi u stanje **Active**. Ako se dogodi događaj **ConnectRetry timer expired** (istek vremena brojača ConnectRetry), lokalni sustav **resetira brojač ConnectRetry**, pokreće uspostavu **TCP veze s drugim usmjeriteljem**, te nastavlja čekati konekciju koju može pokrenuti udaljeni usmjeritelj, i **ostaje u stanju Connect**.

U stanju Active usmjeritelj se nalazi ako TCP veza s drugim usmjeriteljem nije uspostavljena u prvom pokušaju. Usmjeritelj ponovno pokušava **uspostaviti TCP** vezu sa susjednim. Ako je TCP veza uspješno uspostavljena, lokalni sustav **poništava brojač ConnectRetry**, dovršava inicijalizaciju, šalje **poruku OPEN** usmjeritelju s kojim je veza uspostavljena, postavlja svoj **brojač Hold Timer** na neku veliku vrijednost (predlaže se 4 minute), te prelazi u stanje **OpenState**. Ako se dogodi događaj **ConnectRetry timer expired** (istek vremena brojača ConnectRetry), lokalni sustav **resetira brojač ConnectRetry**, pokreće uspostavu TCP veze s drugim usmjeriteljem, te nastavlja čekati konekciju koju može pokrenuti udaljeni usmjeritelj, i prelazi u stanje **Connect**. Ako TCP veza nije uspostavljena, **vraća se u stanje Idle**.

• **Proces donošenja odluke o stazi na temelju atributa:**

1. odaberi stazu s **najvećom vrijednosti** atributa **Local Preference**. Ako se staza ne može odrediti na temelju ovog kriterija, prijeđi na sljedeći korak
 2. odaberi stazu koja je **domaćeg porijekla** (**Origin – vrijednost IGP-0**), dobivena iz vlastitog AS-a. Ako se staza ne može odrediti na temelju ovog kriterija, prijeđi na sljedeći korak
 3. odaberi stazu s **najkraćim atributom AS path**. Ako se staza ne može odrediti na temelju ovog kriterija, prijeđi na sljedeći korak
 4. odaberi stazu s **manjom vrijednosti** atributa **Origin**. Ako se staza ne može odrediti na temelju ovog kriterija, prijeđi na sljedeći korak
 5. odaberi stazu s **najmanjim atributom MED**. Ako se staza ne može odrediti na temelju ovog kriterija, prijeđi na sljedeći korak
 6. odaberi stazu koja je definirana **na temelju eBGP**
- Odabrani put se zatim zapisuje u tablicu usmjeravanja polazišnog usmjeritelja i **izmjenjuje se** s ostalim usmjeriteljima porukom UPDATE

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

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

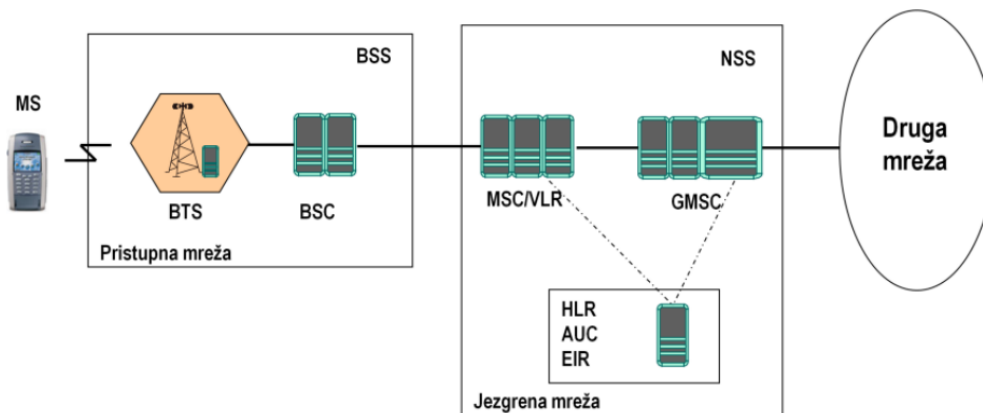
10. - Podatkovna komunikacija i protokoli u pokretnoj mreži

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

GSM mreža (globalni sustav pokretnih mreža)

- Arhitektura GSM mreže:

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



- Upravljanje pokretljivošću:
 - **HLR** (domaći lokacijski registar) → trajni zapis pretplatničkih podataka vlastitih pretplatnika ; trenutna lokacija vlastitih pretplatnika
 - **VLR** (posjetiteljski lokacijski registar) → privremeni zapis dijela pretplatničkih podataka vlastitih i tuđih pretplatnika koji su u LA
 - **GSM protokoli po slojevima:**
 - 1) **Fizički sloj**
 - **Kapacitet:** ograničen broj frekvencija u ćeliji, izbjegavanje interferencije, uplink-downlink odvojeni 45Mhz
 - **Širina pojasa (bandwidth):** 2 x 25 MHz
 - **Prometni kontrolni kanali:** MS prihvaća najjači kontrolni kanal nakon što skenira sve frekvencije
 - 2) **Sloj veze**
 - protokol **LAPDm** → rješenje za radio kanal, fiksne je duljine, bez zastavica na početku/kraju
 - 3) **Sloj poruka:**
 - Podslojevi: - **RR** (podsloj za upravljanje radijskim resursima) → služi za prijenos signalizacije između MS i BSS
 - **MM** (podsloj za upravljanje pokretljivošću) → služi za vezu između MS i MSC
 - **CM** (podsloj za upravljanje vezom) → služi za SMS i dodatne usluge između MS i MSC
 - **Dijelovi:** **BSS AP** (aplikacijski dio u SS7 za GSM) ; **SCCP** (kontrolni dio za signalizaciju) ; **MTP** (dio za prijenos poruka)
 - **BSS procesi:**
 - **BSS MAP** → procedure između BSS i MSC koje zahtijevaju obradu informacija vezanih uz poziv i upravljanje radijskim resursima
 - **DTAP** → transparentan prijenos informacija između MS i MSC za upravljanje pokretljivošću i vezom
- Kod GSM-a se razdvajaju korisnička komunikacija (ide fizičkim kanalima) i upravljačka komunikacija (logičkim kanalima)
- **GSM brzina = 14.4 kbit/s !!!!!**

GPRS mreža

- Proširenje GSM mreže ostvareno dodavanjem čvorova → **Promjene**: uvedena **komutacija paketa**, **do 8 kanala iste frekvencije** po jednom korisniku, **BSC** se proširuje s paketskom kontrolnom **jedinicom (PCU)**, **GPRS brzina do 115.2 kbit/s**, naplata po prometu

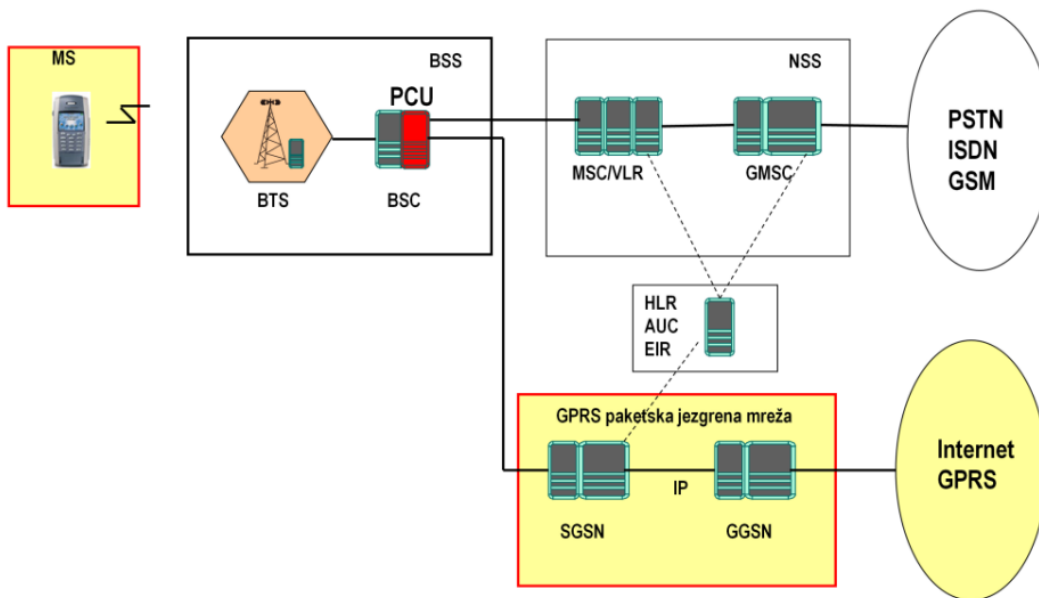
- **GPRS čvorovi**: **SGSN** (uslužni GPRS potporni čvor - poslužuje korisnika), **GGSN** (prilazni GPRS potporni čvor - povezuje korisnika s drugim podatkovnim mrežama)

- **SGSN**: usmjeravanje paketa od/prema **MS** unutar svojeg područja pokrivanja (**RA**); Upravlja **sjednicom**, **pokretljivošću** i logičkom vezom sa MS; **Prikuplja podatke za naplatu**; **Kriptografska zaštita i provjera autentičnosti**

- HLR sadrži podatke o **GPRS pretplatnicima** i info o usmjeravanju. Svakom pretplatniku dodjeljuje jedan ili više GGSN elemenata.

- BSC sadrži **novu funkcionalnost za paketsku kontrolu** kanala, paketsku kontrolnu jedinicu PCU i upravljanje pokretljivošću MM.

- **GGSN**: predstavlja sučelje prema drugim GPRS mrežama i prema **vanjskim IP mrežama**; Upravlja **sjednicom**, **pokretljivošću** i **logičkom** vezom sa MS; **Prikuplja podatke za naplatu**; Kako bi omogućio komunikaciju s vanjskim mrežama, GGSN vrši **translaciju** formata podataka, signalizacijskih protokola i adresne informacije. Usmjerava promet određenom **SGSN** čvoru i vrši konverziju protokola. Može sadržati **DNS i DHCP** funkcije.



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

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

Komunikacija u pokretnoj mreži

- **GSM**: kanalska komunikacija (upravljanje vezom)

- **GPRS**: paketska komunikacija (jer treba **upravljati sjednicom** tj. sudionicima, a ne samo vezom) → **To je ključna razlika s GSM-om!!**

- **pokretljivost**: zapis o kretanju kojim se MS pridružuje SGSN-u, u čijem je području → **MM context**

- **protokoli**: zapis o paketskom protokolu koji opisuje karakteristike veze → **PDP context**

- **radijski kanal**: podatak o fizikalnom kanalu kojim se prenose paketi na radijskom sučelju → **TBS**

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

- **Upravljanje pokretljivošću – MM**

- **1) Uključivanje (Attachment)** - pridruživanje sustavu; **2) Isključivanje (Detachment)** - izlazak iz sustava; **3) Ažuriranje lokacije** - ažuriranje promjene RA ili ćelije (RA ima jednu ili više ćelija, a obuhvaća cijeli LA ili jedan njegov dio)

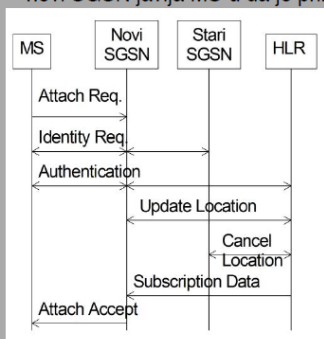
- Protokoli koji se pritom koriste: **SM, MM, LLC, RLC, MAC**

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

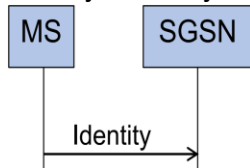
• Uključivanje MS-a u područje novog SGSN-a:

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

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



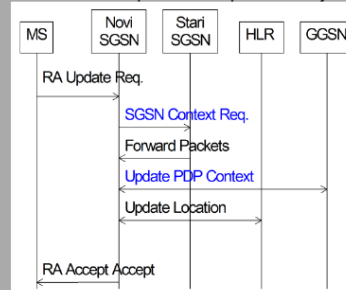
• Promjena lokacije unutar RA:



• Ažuriranje lokacije kod promjene SGSN-a:

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

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



Postupak pristupa Internetu

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

Komunikacija porukama (SMS, EMS, MMS)

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

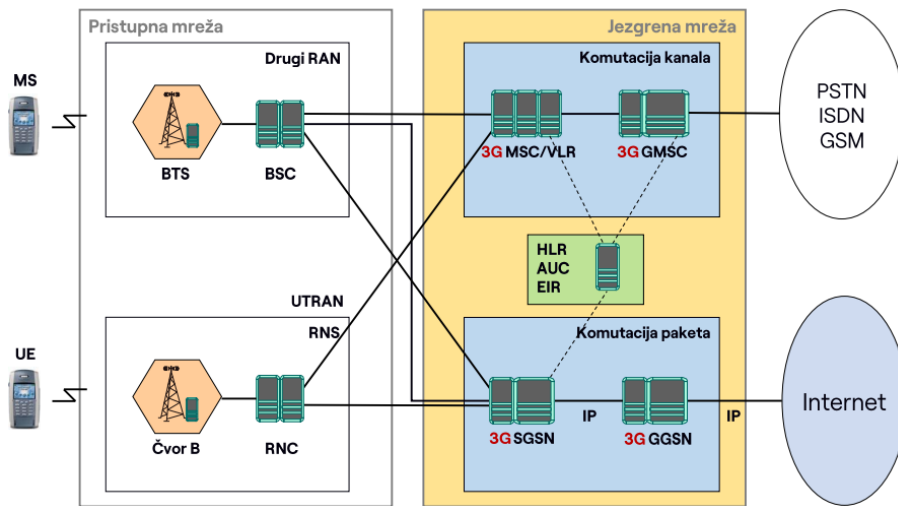
UMTS mreža

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

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

• Zemaljski radijski pristup (UTRA):

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



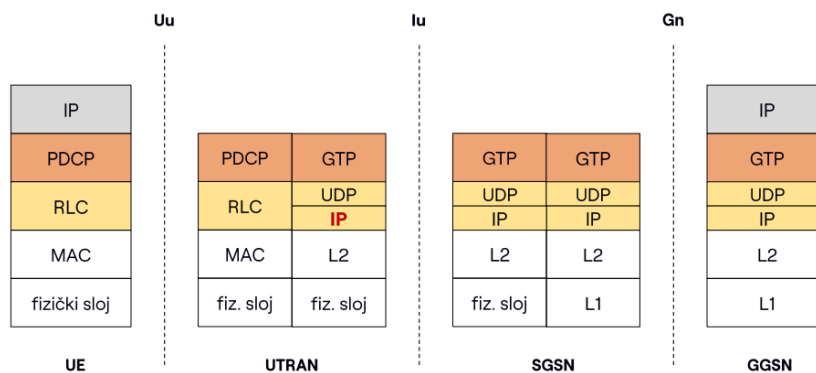
- **UTRAN** (zemaljska radijska pristupna mreža) → Sustavna kontrola pristupa ; Sigurnost i privatnost ; Upravljanje i kontrola radijskih resursa ; Kontrola radijskog prijenosa i veze između korisničke opreme i mreže (protokoli kontrolne ravnine) ; Prijenos korisničkih podataka između korisničke opreme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

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

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

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

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



MAC - raspoređivanje zahtjeva
 RLC - kontrola pristupa kanalu,
 PDCP - prijenos IP paketa, kompresija, dekompresija
 GTP - održava tunel za pakete

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

U roamingu treba povezati SGSN posjećene mreže sa GGSN domaće mreže

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

- Vrste IP adresa: **a) Privatne** (ograničeni broj adresa, nemogućnost adresiranja preko Interneta i dobivanja jedinstvene adrese)

b) Javne (moguće adresiranje preko Interneta, moguća jedinstvena adresa)

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

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

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

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

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

b) GRX (GPRS Roaming eXchange) čvorovima

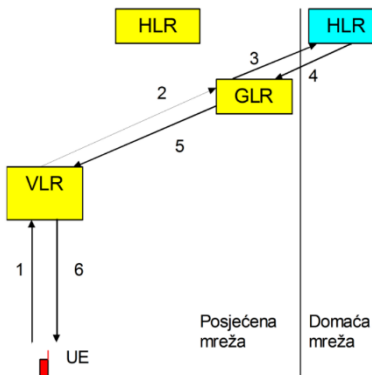
- Sporazum o prelaženju → svrha: **pretplatnicima** nekog operatora omogućiti korištenje usluga u svojoj i u **drugim mrežama** ; naplata

usluga domaćim i stranim korisnicima

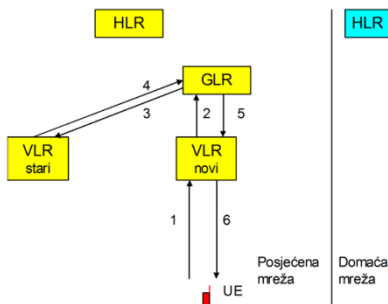
→ Ako je zadovoljen sporazum, strani korisnik može koristiti: 1) Radio resurse u VPLMN (Visitor PLMN)
2) GGSN u HPLMN (Home PLMN)

- Registracija pokretnog UMTS uređaja u posjećenoj mreži:

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



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



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

11. – Signalizacijski protokoli u Internetu

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

- Signalizacijski protokoli:

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

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

b) s komutacijom paketa - Internetska mreža IP

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

SIP (Session Initiation Protocol)

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

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

- Omogućava osobnu pokretljivost korisnika

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

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

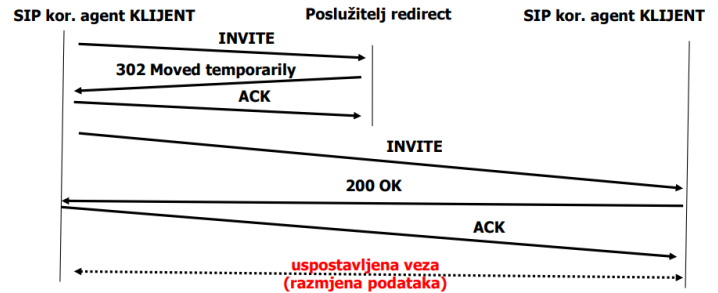
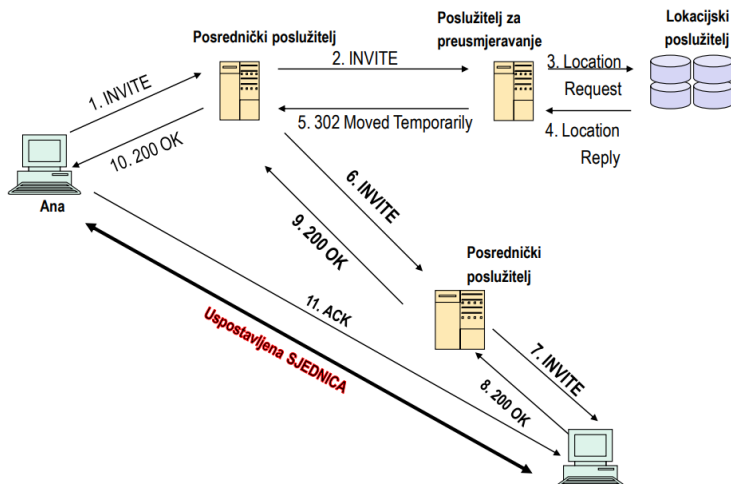
- SIP arhitektura:

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

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

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

X) CANCEL - može se dogoditi bilo kada tijekom sjednice



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

SIGTRAN (Signaling Transport)

- Skup protokola koji omogućava prijenos signalizacije SS7 preko IP mreže

- **Tri komponente:** 1) **Protokol za adaptaciju** - podržava specifične SS7 protokole , 2) **SCTP** - podržava pouzdane prijenosne funkcije za prijenos signalizacije , 3) **Internetski protokol IP**

- **SCTP:** spojno orijentirani pouzdani protokol, transport pomoću mehanizama potvrde i retransmisije uz očuvani poredak okteta
- **prednosti nad nespojnim TCP-om:** Brzo otkrivanje grešaka uz kontrolu zagušenja, Podržava veliki broj sjednica

- **SGW:** Vršiti konverziju protokola na transportnom sloju za prijenos signalizacije između SS7 i mreže IP

- **SIGTRAN protokolni složaj:**

Protokolni složaj

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

LTE mreža

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

• Tehnologije:

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

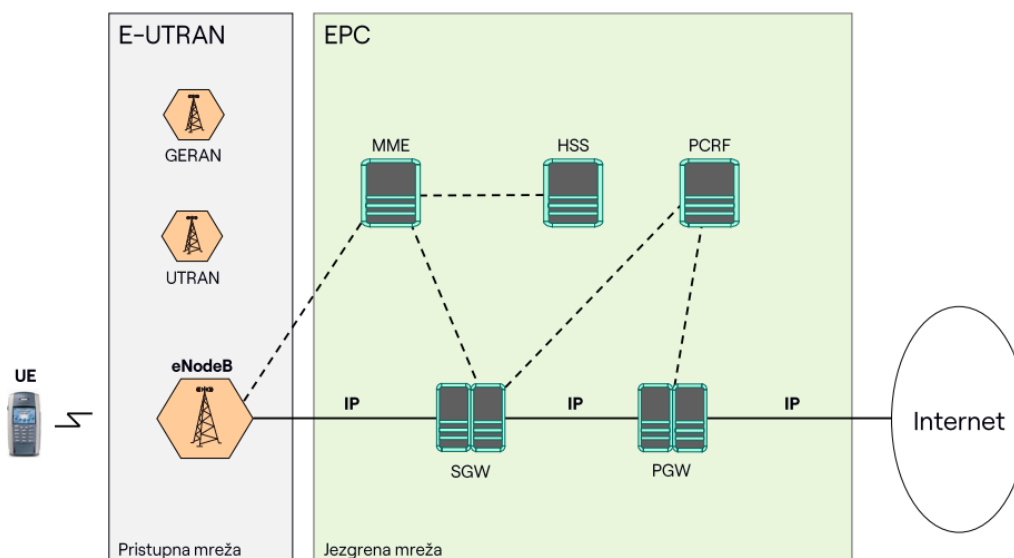
• Protokoli korisničke i upravljačke ravnine:

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

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

• Arhitektura LTE mreže:

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



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

MVNO mobile virtual network operator

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

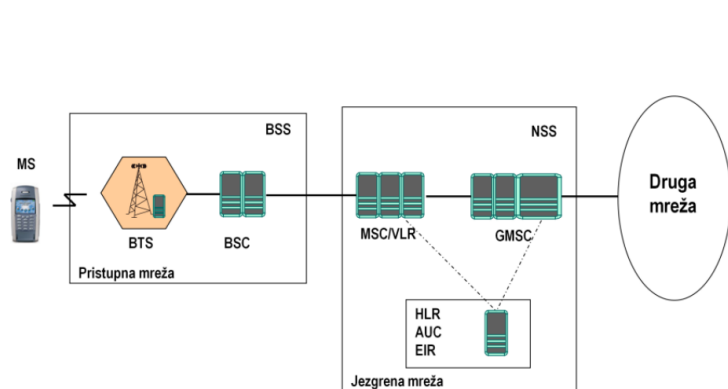
- 4 tipa MVNO-a: 1. **niš nema** (u potpunosti preuzima mrežnu infrastrukturu od svog operatora, pruža osnovne usluge, nizak trošak ulaganja, mali rizik poslovanja) ; 2. **HLR + HSS** (vlastite SIM kartice za korisnike) ; 3. **HLR + MSC + SGSN + SGW** ; 4. **HLR + MSC + GMSC + SGSN + GGSN + SGW + PGW**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

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

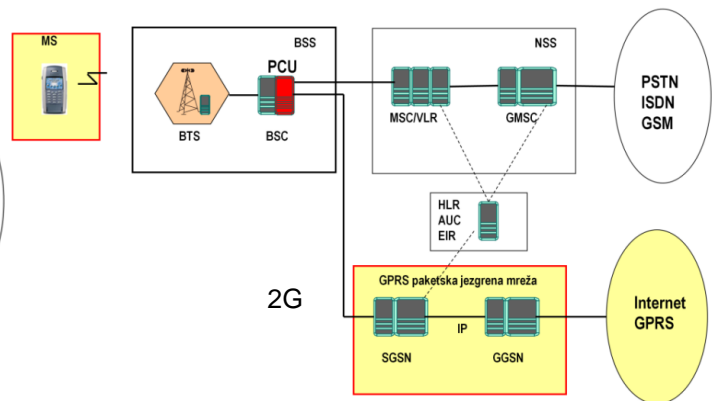
- **Nedostatci:** vezanost za mrežnog operatora → veći trošak ulaganja = manja ovisnost

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

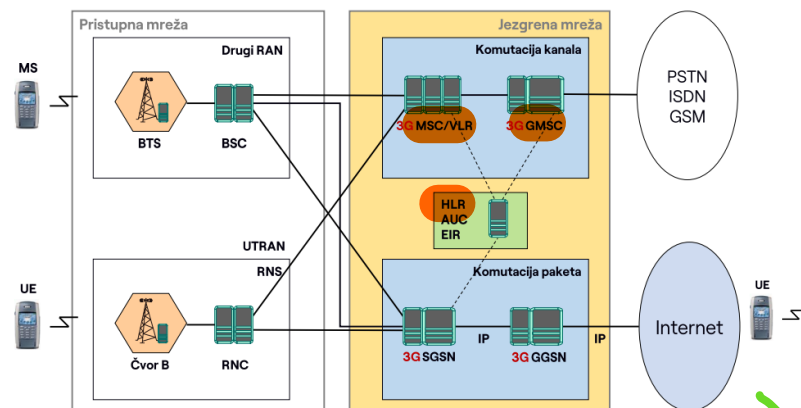
→ GSM:



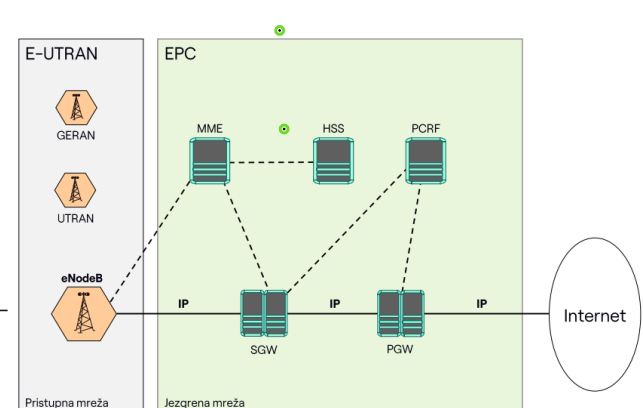
→ GPRS:



→ UMTS:



→ LTE: 4G



UE - user equipment - kad stavis karticu u mobilni telefon

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

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

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

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

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

eNodeB je radijsko sučelje preko kojeg se na MME

(sigurnost i autentifikacija) koji je spojen na HSS (podaci o korisničkim pretplatama)

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

PCRF - naplata usluga

Na zaokruživanje:

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

Klasična pitanja:

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

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

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

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

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

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

Kakve su vrste adresa podržane protokolom IPv6?

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

Objasnite načelo zaštite privatnosti u protokolu IPv6 korištenjem zaglavlja ESP.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

TTL i zaštitna suma

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

Samo TTL

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

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

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

Zaglavlje varijabilne duljine koje sadrži popis usmjeritelja na putu od izvora do odredišta. Sadrži podatke o sljedećem zaglavlju, veličini samog dodatnog zaglavlja, vrsti usmjeravanja i popis čvorova koje paket još treba prijeći prije nego što dođe do odredišta. Primjer primjene: odabir niza usmjeritelja putem kojih se povezuju izvor i odredište, Mobile IPv6

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

IPv4 funkcionalnosti: Definira shemu adresiranja u Internetu i provedbu fragmentacije

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

IPv6 funkcionalnosti:

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

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

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

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

Navedite i opišite funkcionalnosti entiteta koje uvodi Mobile IP protokol.

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

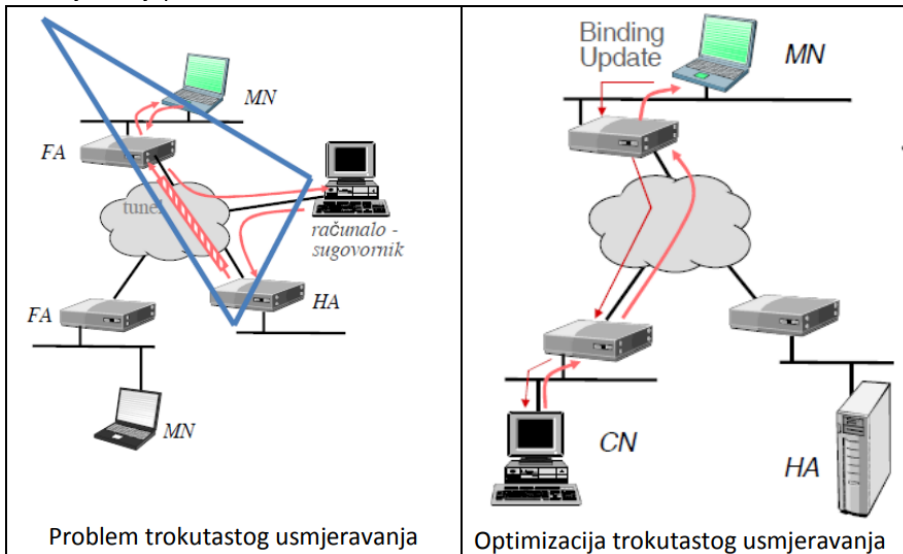
- a) Sam **pokretni čvor** koji može mijenjati svoju trenutnu lokaciju, a s time i točku priključka na Internet. Pokretni čvor pri tome zadržava sve uspostavljene konekcije te drugi čvorovi mogu koristiti domaću adresu pokretnog čvora za uspostavu konekcije.
- b) **Domaći agent** predstavlja usmjeritelj na domaćem linku pokretnog čvora, a zadužen je za održavanje informacija o trenutnoj lokaciji pokretnog čvora. Ovaj entitet također presreće datagrame adresirane na pokretni čvor te ih tunelira prema njegovoj trenutnoj adresi.
- c) **Strani agent** čiji zadatak je obavijesti domaćeg agenta o trenutnoj adresi pokretnog čvora te da usmjerava paketa prema i od pokretnog čvora.

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

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

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

uobičajeno, tj. prema domaćem linku.



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

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

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

Objasnite načine tuneliranja IPv6 datagrama kroz IPv4 mrežu.

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

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

Opišite sustav signalizacije zajedničkim kanalom SS7.

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

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

Navedite glavne značajke protokola SIP (Session Initiation Protocol).

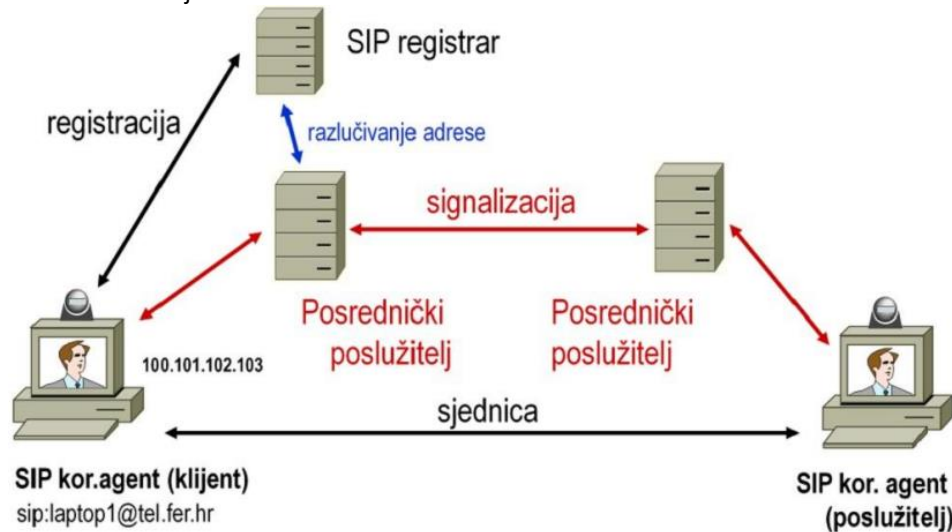
→ SIP je protokol aplikacijskog sloja koji služi za pokretanje, promjenu i raskid sjednice s jednim ili više sudionika, a njegove glavne značajke su:

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

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

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

njihovim trenutnim lokacijama unutar domene



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

→ Kontrola i pristup mediju su obvezni protokoli u situacijama kad više korisnika (računala) pristupa zajedničkom mediju. Takvo je rješenje poznato u lokalnim mrežama, a primijenjeno je i u GPRS-u. Naime, svakom PDCH može pristupiti bilo koji korisnik, a u jednom trenutku više korisnika može zahtijevati pristup. Zadaća MAC protokola je upravo raspoređivanje zahtjeva za kanal. Zadaća RLC protokola je kontrola pristupa kanalu, a LLC služi ostvarivanju logičke veze između komunicirajućih strana (MS i SGSN). Kad MS odašilje podatke provode se sljedeće operacije 2. sloja:

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

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

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

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

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

- operatora C tipa 1
- operator A tipa 4

Kakve mogu biti posljedice pogreške u zaglavlju IPv6-paketa?

Zašto se u protokolu DHCPv6 primjenjuje višedredišno adresiranje?

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

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

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

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

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

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

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