



Diplomski studij
Informacijska i
komunikacijska tehnologija:
Telekomunikacije i informatika
Obradba informacija

Ak.g. 2012./2013.

Komunikacijski protokoli

6.
Uvođenje IPv6 u mrežu
Pokretljivost u IP mreži

15.11.2011.

Creative Commons



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 licencem koja je ista ili slična ovoj.



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

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

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

Sadržaj predavanja

- ◆ Uvođenje IPv6 u mrežu
 - Prelazak na IPv6
 - Suživot IPv4 i IPv6
- ◆ Pokretni IPv4
 - Adresiranje
 - Funkcijski entiteti
 - Procedure pokretnog čvora
 - Usmjeravanje
- ◆ Pokretni IPv6
 - Otkrivanje promjene točke priključka
 - Autokonfiguracija adrese
 - Registracija
 - Usmjeravanje

Uvođenje IPv6 u mrežu

Prelazak na IPv6

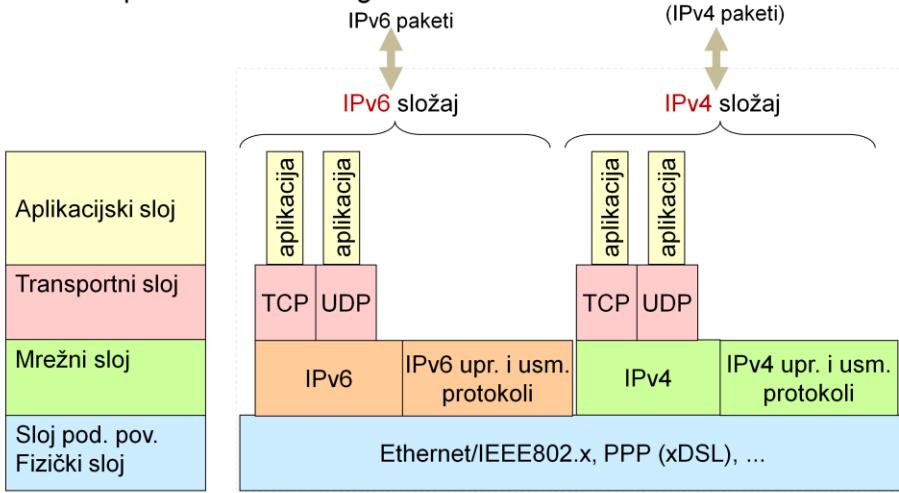
- ◆ protokoli IPv4 i IPv6 nisu međusobno kompatibilni
- ◆ očekuje se da će prelazak na IPv6 trajati godinama
- ◆ za komunikaciju IPv6 čvorova preko IPv4 infrastrukture potrebni su posebni tranzicijski mehanizmi
- ◆ tri osnovne strategije:
 - dvostruki IP sloj, dvostruki složaj (*dual IP layer, dual stack*)
 - tuneliranje
 - ručno
 - automatsko
 - konfiguirano
 - prevođenje protokola – napušteno (samo ako ne preostaje ništa drugo)

Detaljnije informacije:

http://wiki.go6.net/index.php?title=IPv6_transition_mechanisms

Dvostruki IP sloj – IPv6/IPv4 čvor

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



Komunikacijski protokoli

15.11.2011.

6 od 58

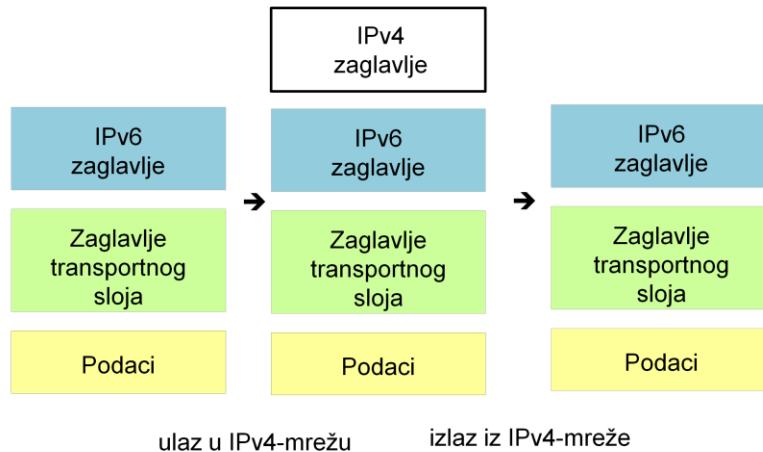
Detaljnije informacije:

4213 Basic Transition Mechanisms for IPv6 Hosts and Routers. E.

Nordmark, R. Gilligan. October 2005. (Format: TXT=58575 bytes)

(Obsoletes RFC2893) (Status: PROPOSED STANDARD)

Tuneliranje IPv6 datagrama kroz IPv4 mrežu (1)



Na slici je prikazan osnovni princip tuneliranja IPv6 paketa kroz IPv4 mrežu. Postojeća IPv4 infrastruktura se može koristiti za prenošenje IPv6 prometa tuneliranjem. To je postupak dodavanja IPv4 zaglavlja na IPv6 paket (enkapsuliranje) dok putuje kroz dio mreže koji ne podržava IPv6, tako da on zapravo postaje IPv4 paket. Na izlaznom čvoru tunela taj se paket dekapsulira (odbacuje se IPv4 zaglavlje), po potrebi se obnovi IPv6 zaglavlje, nakon čega se paket proslijeđuje odredištu preko IPv6 infrastrukture.

Tuneliranje IPv6 datagrama kroz IPv4 mrežu (2)



- ◆ **Router-to-router**: usmjeritelji s dvostrukim IP slojem, između kojih se nalazi IPv4 infrastruktura, kreiraju u njoj tunel preko kojeg izmjenjuju pakete. Tunel se nalazi na nekom unutarnjem segmentu puta paketa.
- ◆ **Host-to-router**: računala s dvostrukim IP slojem šalju podatke usmjeritelju koji je dostupan samo preko IPv4 infrastrukture. Tunel se nalazi na prvom segmentu puta paketa i prostire se do tog usmjeritelja.
- ◆ **Host-to-host**: računala s dvostrukim IP slojem izmjenjuju međusobno podatke, preko IPv4 infrastrukture. Tunel se ovdje prostire kroz cijel put paketa, od izvora do odredišta.
- ◆ **Router-to-host**: usmjeritelji s dvostrukim IP slojem tuneliraju IPv6 pakete prema konačnom odredištu koje također ima dvostruki IP sloj. Tunel se nalazi na zadnjem segmentu puta paketa.

Tehnika tuneliranja ovisi o načinu na koji enkapsulirajući čvor određuje adresu čvora na kraju tunela.

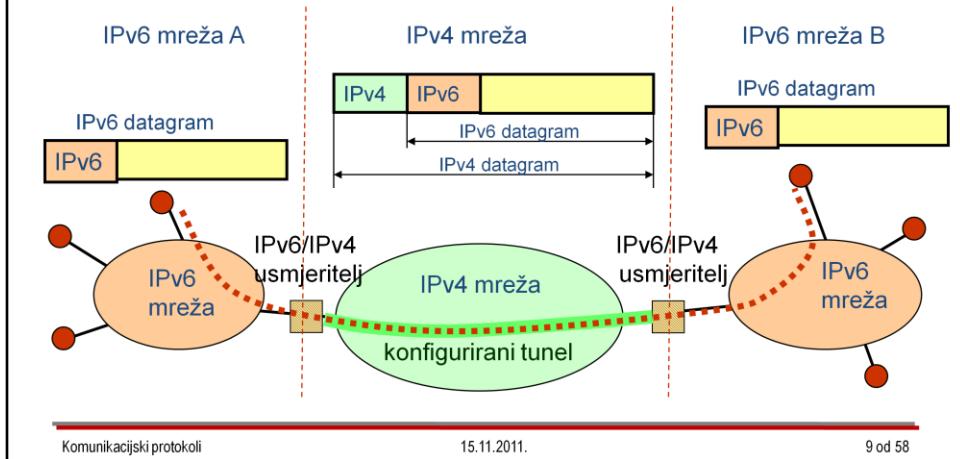
U prva dva slučaja odredište je usmjeritelj koji će dekapsulirati paket i proslijediti konačnom IPv6 odredištu. Adresa čvora na kraju tunela mora biti konfigurirana na početnom čvoru tunela i ta tehnika se zove *konfiguirano tuneliranje*.

U preostala dva slučaja odredište tunela je ujedno i odredište IPv6 paketa, tj. i IPv6 adresa i IPv4 adresa enkapsulirajućeg zaglavlja pokazuju na isti čvor. To je tzv. *automatsko tuneliranje*, gdje se koristi poseban oblik IPv6 adrese (IPv4-kompatibilna IPv6 adresa) zahvaljujući kojoj nije potrebno posebno konfigurirati tunel. Ova tehnika se koristi za izolirane IPv6 čvorove.

Primjer tuneliranja (1)



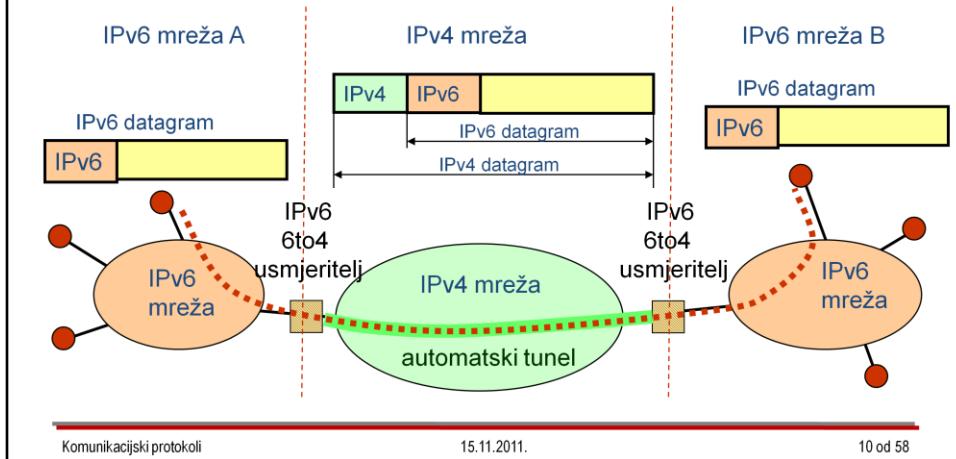
- datagrami IPv6 ovijaju se datagramima IPv4
- statička konfiguracija tunela: usmjeritelj-usmjeritelj



Primjer tuneliranja (2)



- datagrami IPv6 ovijaju se datagramima IPv4
- automatsko tuneliranje 6to4

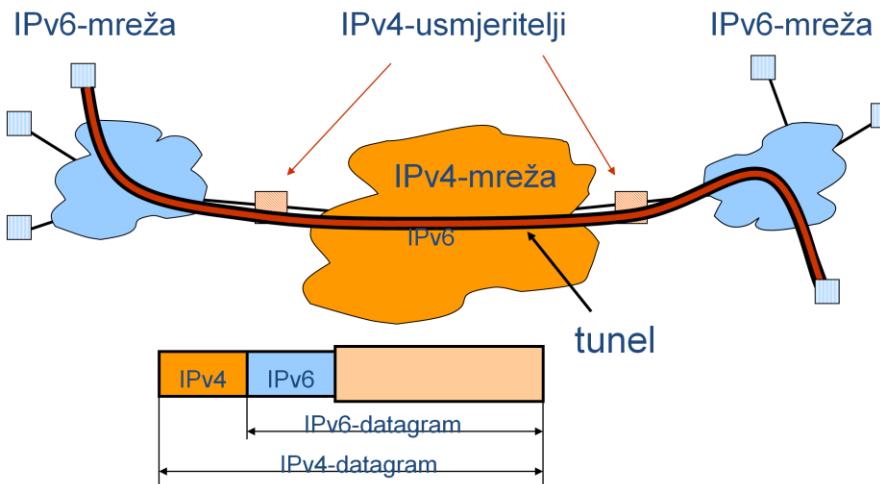


Postupno uvođenje IPv6



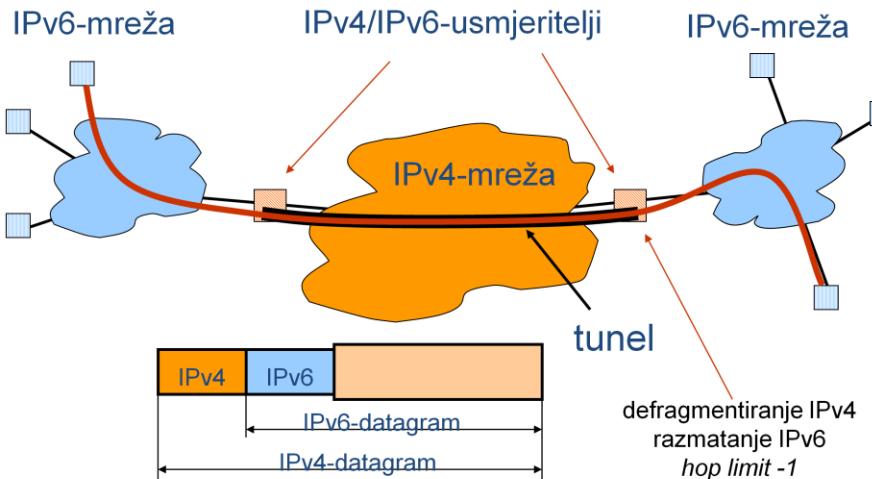
- ◆ suživot IPv4 i IPv6: prevladavajući protokol IPv4
 - IPv6 mreže komuniciraju putem IPv4 mreže s usmjeriteljima koji ne podržavaju IPv6
 - IPv6 mreže komuniciraju putem IPv4 mreže s usmjeriteljima koji podržavaju IPv6
- ◆ suživot IPv4 i IPv6: prevladavajući protokol IPv6
- ◆ konačno rješenje s IPv6

Suživot IPv4 i IPv6 (1)



Slika prikazuje situaciju u kojoj dvije stanice na IPv6 mrežama komuniciraju preko IPv4 mreže zatvaranjem IPv6 paketa u IPv4 pakete i njihovim prenošenjem do druge IPv6 mreže preko IPv4 usmjeritelja, koji ne podržavaju IPv6. U takvom slučaju tunel se uspostavlja na čitavoj duljini linka.

Suživot IPv4 i IPv6 (2)

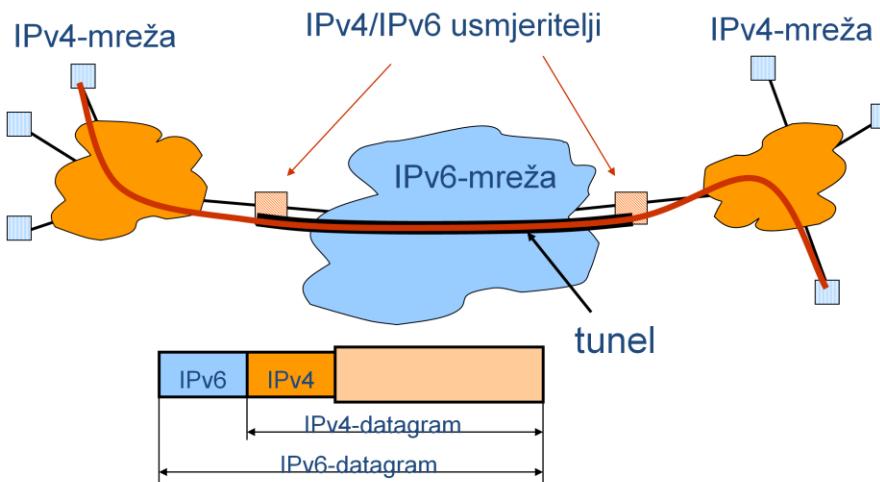


Slika prikazuje situaciju u kojoj dvije stанице na IPv6 mrežama komuniciraju preko IPv4 mreže zatvaranjem IPv6 paketa u IPv4 pakete i njihovim prenošenjem do druge IPv6 mreže preko IPv6 usmjeritelja. S obzirom da ovi usmjeritelji podržavaju obje verzije protokola IP, oni će zatvarati IPv6 pakete u IPv4 pakete i proslijediti ih kroz IPv4 mrežu do sljedećeg IPv6 usmjeritelja, koji će ih otpakirati i dalje proslijediti kao IPv6 pakete do IPv6 mreže. U takvom slučaju tunel se uspostavlja samo između dva IPv6 usmjeritelja.

Dekapsulirajući čvor (čvor na kraju tunela) mora provjeriti izvořnu IPv4 adresu i odbaciti paket ukoliko je ona neispravna (npr. *multicast*, *broadcast*, *loopback* ili nedefinirana adresa). Ukoliko je izvořna IPv4 adresa ispravna, ali čvor nije konfiguriran tako da proslijedi pakete primljene s nje, čvor ne smije taj paket proslijediti. Dekapsuliranje se izvodi tako da se eventualni fragmenti IPv4 paketa pospajaju, nakon čega se IPv4 zaglavje odbacuje i dobiveni IPv6 paket se proslijedi IPv6 sloju. Budući da IPv6 paket unutar tunela ostaje netaknut, tunel predstavlja samo jedan skok, tj. *hop limit* polje unutar IPv6 zaglavlja se smanjuje za jedan po izlasku iz tunela, ukoliko je potrebno paket poslati dalje. I u ovom slučaju, ukoliko je izvořna adresa IPv6 paketa neispravna, paket se odbacuje.

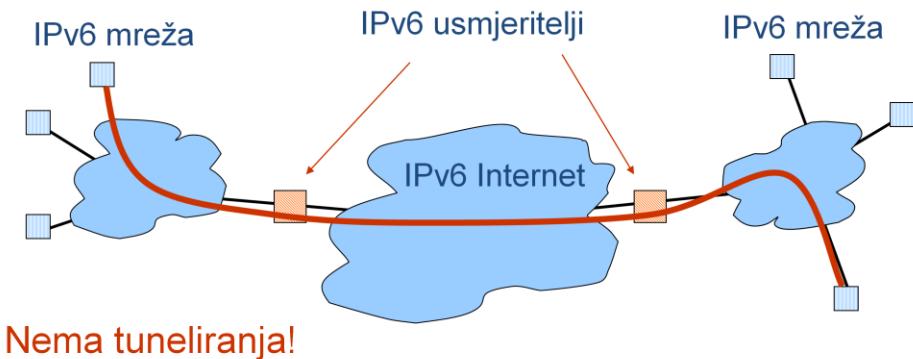
Eventualne ICMP poruke greške unutar tunela šalju se enkapsulirajućem čvoru, budući da je on izvor novonastalog IPv4 paketa. Ukoliko je u ICMP paketu sadržano dovoljno podataka o originalnom paketu, enkapsulirajući čvor može iz toga izvući sve što mu je potrebno da bi generirao IPv6 ICMP poruku koju će zatim poslati originalnom pošiljatelju paketa.

Suživot IPv4 i IPv6 (3)



Slika prikazuje situaciju do koje može doći u trenutku kad će većina mreža koristiti IPv6 protokol, a postojat će mreže-otoci koji će koristiti IPv4 (4Bone). U takvoj situaciji, dvije IPv4 stanice odaslat će pakete do usmjeritelja koji će podržavati i IPv4 protokol te će on na IPv4 paket dodati IPv6 zaglavje i tako učahuren paket usmjeriti drugoj IPv4 mreži. Usmjeritelj na rubu takve IPv4 mreže će odbaciti IPv6 zaglavje i dostaviti IPv4 paket odredišnoj stanici. Ovdje je uspostavljen tunel drukčije vrste, koji IPv4 zatvara u IPv6.

Konačno rješenje s IPv6



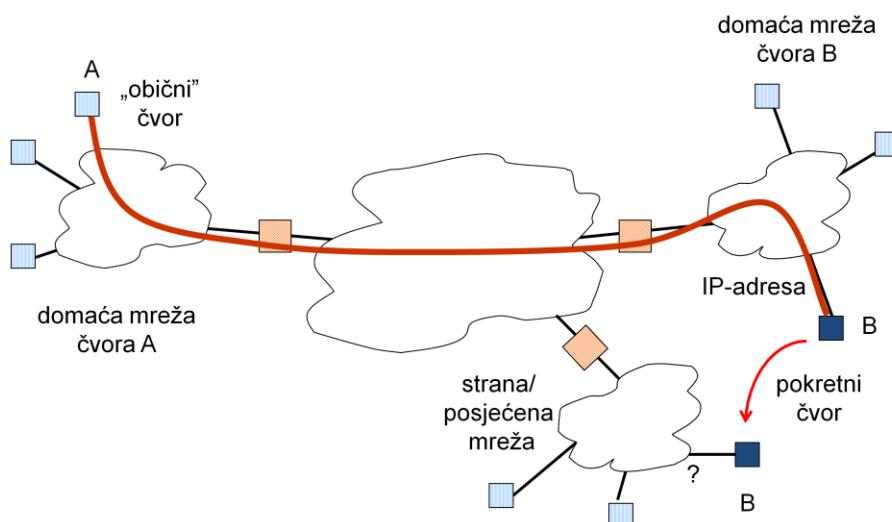
Dodatna literatura



- ◆ W. Stallings, "IPv6: the New Internet Protocol," IEEE Communications Magazine, Vol. 34, No. 7, pp. 96-108. July 1996.
- ◆ D. G. Waddington and F. Chang, "Realizing the Transition to IPv6," IEEE Communications Magazine, Vol. 6, No. 3, pp. 138–148, 2002.
- ◆ C. E. Perkins, "Mobile IP," IEEE Communications Magazine, Vol. 35, No. 5, pp. 84 -99, 1997.

Pokretljivost u IP mreži

Problem



“Klasični” Internet (bez pokretnjivosti)

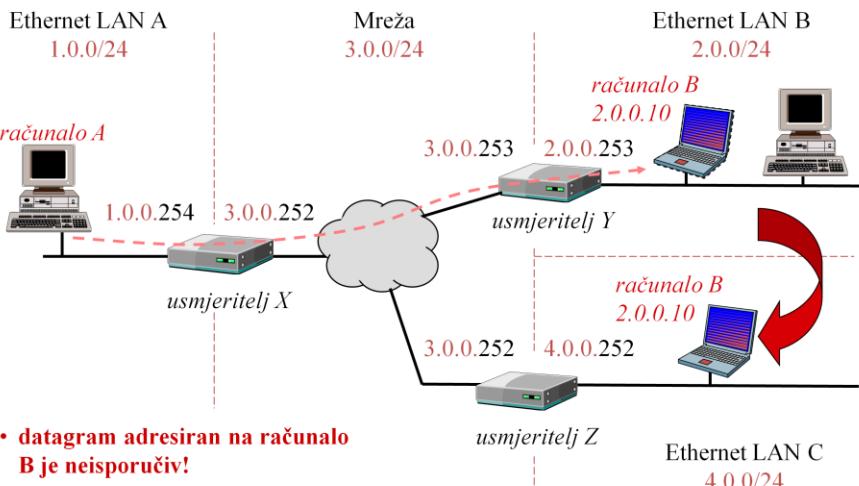


- ◆ IP adresa globalno i jednoznačno označuje računalo, odn. sučelje usmjeritelja
- ◆ protokoli usmjeravanja usmjeravaju datagrame na temelju odredišne adrese
 - računala čije adrese pripadaju istoj podmreži izravno izmjenjuju datagrame
 - računala čije adrese pripadaju različitim podmrežama izmjenjuju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

Kod “klasičnog” (IPv4) Interneta, IP adresa globalno i jednoznačno označuje računalo, odn. sučelje usmjeritelja. Protokoli usmjeravanja usmjeravaju datagrame isključivo na temelju odredišne adrese, koristeći pri tom tablice usmjeravanja. Podsjetimo se da se od sredine 1990-tih koristi besklasno usmjeravanje, *Classless Inter-Domain Routing* (CIDR) koje pojednostavljuje usmjeravanje.

Primjenom maske podmreže na odredišnu adresu, dobiva se mrežni prefiks, iz kojeg se određuje sučelje po kojem treba proslijediti datagram. Primjer na sljedećoj stranici detaljnije pokazuje postupak.

Kako utječe promjena točke priključka?



Primjer na slici ilustrira problem promjene točke priključka.

Promotrimo slučaj slanja datagrama s računalom A na (prijenosno) računalo B. Prema tablicama usmjeravanja, datagram prolazi niz usmjeritelja kako bi došao do usmjeritelja odredišne mreže. Kad se računalo B nalazi u toj mreži, datagram se isporučuje. Ako se, međutim, računalo B priključi u mreži C bez promjene IP adrese, usmjeritelj Y mu više ne može isporučiti datagram. Stoga će usmjeritelj Y poslati ICMP poruku *"Host unreachable"* izvořitu datagrama, ovdje računalu A.

Vidimo da je prijenosno računalo B s IP adresom 2.0.0.10 promjenom priključka s LAN-a B na LAN C postaje nedohvatno. Svaki datagram adresiran na prijenosno računalo bit će usmjeren preko niza usmjeritelja do krajnjeg usmjeritelja Y, kao odredišnog usmjeritelja za računala s IP adresama 2.0.0.x.

Možemo zaključiti da je u "klasičnom" Internetu promjena priključne točke moguća samo ako računalo pri promjeni priključne točke promijeni i svoju IP adresu, odnosno barem mrežni prefiks. Drugo moguće rješenje bila bi primjena pojedinačnog izvořino-zadanog (*source-based*) usmjeravanja.

Ipak, oba rješenja su sasvim neprikladna za čvorove u pokretu, prvenstveno zbog nemogućnosti održavanja postojećih veza.

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

Rješenja: Mobile IP (IPv4) i Mobile IPv6

Razvoj pokretnog IP-a vođen je četirima navedenim zahtjevima.

Osim osnovnog zahtjeva da pokretan čvor mora moći komunicirati s drugim čvorovima nakon promjene točke priključka, on mora moći održati postojeće veze za vrijeme promjene točke priključka. Kao rješenje se stoga nameće i da pokretan čvor mora moći komunicirati uporabom svoje stalne IP adrese, neovisno o trenutnoj točki priključka na Internet. To je posebno pogodno zbog programskih licenci, dozvole pristupa i sl.

Nadalje, važno je da pokretan čvor mora moći komunicirati s drugim čvorovima koji nemaju uvedene funkcije pokretljivosti. To znači da uvođenje *Mobile IP*-a ne smije biti vezano za globalne promjene internetskih protokola, tj. programske podrške u usmjeriteljima. Konačno, pokretan čvor ne smije biti izložen dodatnim sigurnosnim rizicima u odnosu na fiksne čvorove.

Usporedba IP - pokretni IP



Aplikacija

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

Transport

TCP, UDP, ...

Mreža

IP, ICMP, ...

Prijenos

Podatkovna poveznica
Fizički sloj

“Klasični” IP:

- pokretan korisnik/čvor zahtijeva bi promjenu IP adrese, s posljedicama na transport i aplikacije

Ideja pokretnog IP-a:

- zadržati stalnu IP adresu
- uvođenje novih funkcijskih entiteta i trenutne adrese
- ne mijenjati programsku podršku u usmjeriteljima

Mobile IP je rješenje za pokretnost izvedeno u *mrežnom sloju*. To znači da je ono potpuno nevidljivo sloju transporta i aplikacijama. Drugim riječima, postojeće TCP veze se održavaju kad je čvor u pokretu, a sve aplikacije rade kao i kad je čvor priključen u svojoj matičnoj mreži.

Specifikacija *Mobile IP*-a dana je RFC-ovima 2002-2006, i dopunjena RFC-ovima 2290 i 2794.

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*)
- više terminala na istoj priključnoj točki (*hidden terminal*)
- otkrivanje susjeda (*neighbor discovery*)
- kompresija i sigurnost

Kao rješenje izvedeno u mrežnom sloju, Mobile IP je potpuno neovisan i o mediju preko kojeg se vrši prijenos (žično, bežično, ...).

Pokretni čvor mora se moći kretati kako između različitih priključnih točaka na istoj vrsti medija (npr. s jednog *Ethernet* LAN-a na drugi), tako i s jednog medija na drugi (npr. žičnog *Etherneta* na radijsku vezu) bez gubitka veze na Internet. Na sloju podatkovne poveznice mora se riješiti odabir načina kompresije te zaštite podataka, kao i postupak pri promjeni priključne točke.

Aplikacija

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

Transport

TCP, UDP, ...

Mreža

IP, ICMP, ...

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
- ◆ usmjeravanje datagrama prema pravom odredištu

Mobile IP - adrese

◆ domaća adresa (*home address*)

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

◆ trenutna adresa (*care-of address*)

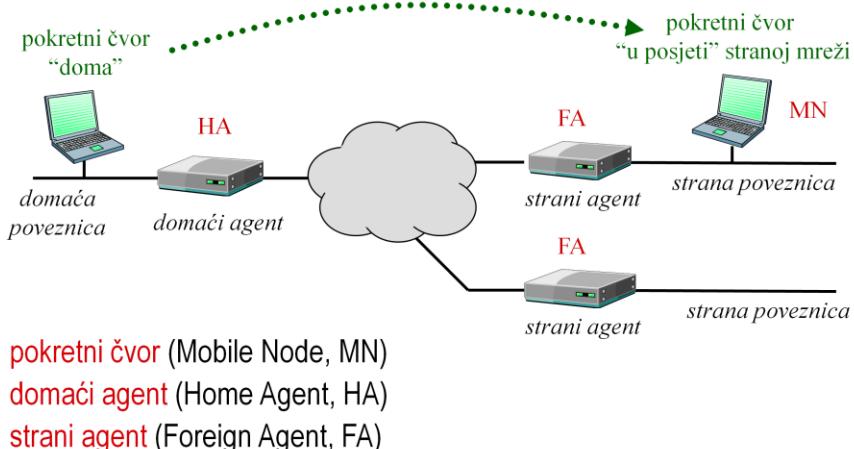
- IP adresa dodijeljena pokretnom čvoru kad je priključen preko neke posjećene točke priključka
- svojstva trenutne adrese:
 - jednoznačno je određena za svaku točku priključka
 - mijenja se pri promjeni točke priključka
 - odredišna je za datagrame namijenjene pokretnom čvoru

Mobile IP za IPv4 definira pojmove **domaće adrese i trenutne adrese**.

Domaća adresa (Home Address) je IP adresa stalno dodijeljena pokretnom čvoru. Ona se ne mijenja prigodom kretanja čvora, tj. vrijedi i u domaćoj i posjećenoj točci priključka.

Trenutna adresa (Care-of Address) je IP adresa dodijeljena pokretnom čvoru kad je priključen preko neke posjećene točke priključka. Trenutna adresa je jednoznačno određena za svaku točku priključka, što znači da se mijenja s promjenom točke priključka. Ta adresa koristi se kao odredišna adresa za datagrame namijenjene pokretnom čvoru. Primjetimo da je izvođačna adresa datagrama kojeg šalje pokretni čvor i dalje domaća adresa pokretnog čvora.

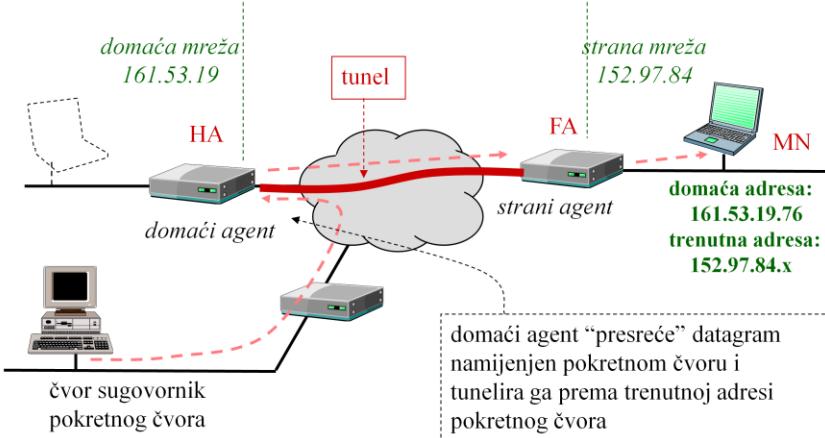
Mobile IP - funkcijski entiteti



Mobile IP definira **tri funkcijска entiteta** u kojima je izvedena podrška pokretljivosti:

1. *Mobile Node, MN* (pokretni čvor): čvor koji mijenja točku priključka na Internetu s jednog linka -poveznice na drugu, pri čemu zadržava sve već uspostavljene veze i koristi svoju stalnu, domaću IP adresu.
2. *Home Agent, HA* (domaći agent): usmjeritelj sa sučeljem na domaćem linku mobilnog čvora:
 - koji pokretni čvor obavještava o trenutnoj točki priključka - IP adresi (*Care-of Address*),
 - koji omogućuje usmjeravanje prema stalnoj adresi pokretnog čvora,
 - koji presreće datagrame adresirane na pokretni čvor i *tunelira* ih prema njegovoj trenutnoj adresi. Primjena tuneliranja kod Mobile IP-a detaljnije je objašnjena na sljedećoj stranici.
3. *Foreign Agent, FA* (strani agent): usmjeritelj na stranom linku gdje je mobilni čvor povezan na trenutnu točku priključka:
 - koji obavještava domaćeg agenta o trenutnoj IP adresi
 - koji usmjerava datagrame ka/od pokretnog čvora.

Mobile IP – tuneliranje do strane mreže



Već je rečeno da domaći agent tunelira datagrame adresirane na stalnu adresu pokretnog čvora prema njegovoj trenutnoj adresi. *Tunel* je staza kojom prolaze datagrami na putu od domaćeg agenta prema stranom agentu. Tunelirani datagrami, adresirani na pokretni čvor, se ovijaju datagramom adresiranim na trenutnu adresu.

Razlikujemo dvije vrste trenutnih adresi:

- *trenutna adresa posredstvom stranog agenta (foreign agent care-of address)* je IP adresa stranog agenta. (Na slici, to je adresa "izlazne točke tunela" na strani stranog agenta.) Mrežni prefiks adrese te vrste ne mora biti jednak mrežnom prefiksu stranog linka. Shodno tome, više pokretnih čvorova može istovremeno koristiti jednu trenutnu adresu posredstvom stranog agenta.
- *mjesna trenutna adresa (collocated care-of address)* je IP adresa privremeno dodijeljena samom sučelju pokretnog čvora. Mrežni prefiks te adrese mora odgovarati mrežnom prefiksu stranog linka kojeg pokretni čvor posjećuje. Ta vrsta trenutne adrese može se koristiti kada nema stranog agenta na posjećenom linku i može je istovremeno koristiti samo jedan pokretni čvor.

Procedure pokretnog čvora

◆ Otkrivanje agenta (*Agent Discovery*)

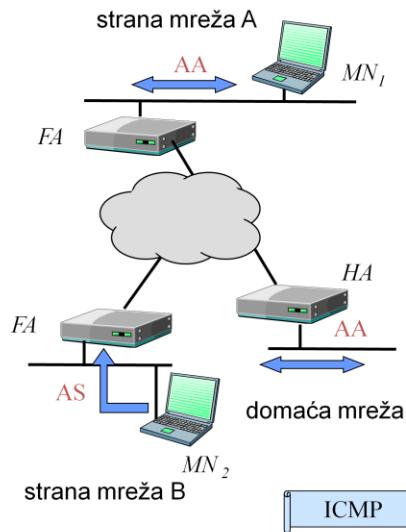
- određuje je li spojen na domaći ili strani link
- utvrđuje je li promijenio link
- dobiva trenutnu (*care-of*) adresu kad promijenjen link

◆ Registracija (*Registration*)

- zahtijeva uslugu usmjeravanja od stranog agenta na stranom linku
- obavješćuje domaćeg agenta o trenutnoj adresi
- periodički obnavlja registraciju
- deregistrira se pri povratku na domaći link

Procedure pokretnog čvora detaljno su opisane u nastavku.

Otkrivanje agenta



◆ Oглаšavanje агента (AA - Agent Advertisement)

- svaki агент периодички одашљије AA поруке на све повезнице за које служи као домаћи агент или страни агент
- покретни чвр MN₁ установљава присуност агента

◆ Траžење агента (AS - Agent Solicitation)

- покретни чвр MN₂ одашљије AS поруке да би потакнуо агента(е) на AA

Svaki агент на повезници (може их бити више) периодички објављује да је спреман слуžiti као домаћи агент, страни агент, или обоје, и то на свим повезницама за које пружа ту услугу. Те објаве се као *Agent Advertisement* поруке разашљу *broadcastom* или *multicastom* на локалној повезници.

Druge vrste порука су *Agent Solicitation* поруке, које могу слати покретни чврви у погледу траžења агента. По примитку *Agent Solicitation* поруке, сvi агенти одговарају с *Agent Advertisement* поруком. Тaj механизам омогућује брзо проналажење агента за случај када агенти ријетко разашљу *Agent Advertisement*, као и када покретни чвр брзо mijenja točku priključka.

Poruke AS i 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

- Lifetime polje u AA govori kako često pokretni čvor može očekivati poruku

♦ Network Prefix

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

Format *Agent Solicitation* poruke odgovara formatu *Internet Control Message Protocol* (ICMP) poruke *Router Solicitation*, uz TTL postavljen na 1.

Format *Agent Advertisement* poruke dobiven je proširenjem formata ICMP poruke *Router Advertisement* dodatnim poljima, od kojih su najvažnija polja *Lifetime* i *Care-of Address*:

- *Lifetime* polje govori pokretnom čvoru nakon koliko vremena može očekivati sljedeću AA poruku od istog agenta. S obzirom da se AA poruke mogu izgubiti, pogotovo na bežičnim vezama, agenti razašalju AA otprilike trostruko češće nego što bi bilo vrijeme određeno *Lifetime* poljem.
- *Care-of Address* je trenutna adresa stranog agenta koja će poslužiti pokretnom čvoru za registraciju s domaćim agentom.

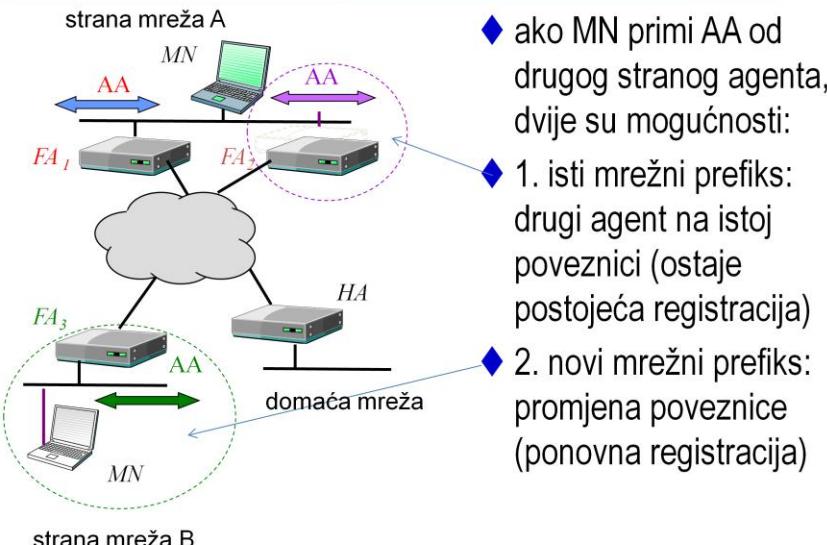
Utvrđivanje promjene poveznice (1)



Pokretni čvor može prepostaviti da je promijenio poveznicu:

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

Utvrdjivanje promjene poveznice (2)



Ako pokretni čvor primi AA od drugog agenta (u odnosu na prethodni primljeni AA), to može biti indikacija promjene poveznice. Pokretni čvor to ispituje tako da usporedi mrežni prefiks za adrese s kojih je stigao AA. Ako je mrežni prefiks isti, riječ je o drugom agentu na istoj poveznici. U tom slučaju ne treba mijenjati postojeću registraciju, pod uvjetom da se i dalje unutar vremena određenog s *Lifetime* periodički ponavljaju AA od poznatog stranog agenta.

Inače, riječ je o drugoj poveznici, što znači da je pokretni čvor promijenio priključnu točku. Tada se pokretni čvor treba ponovno registrirati preko novog stranog agenta.

- ◆ Što ako je pokretni čvor priključen, ali ne primi AA niti nakon slanja nekoliko AS poruka?

1. *Prepostavka: MN se nalazi u domaćoj mreži* (a domaći agent ne radi, jer bi inače slao AA!)

Rješenje: Pokušaj komuniciranja s *default* usmjeriteljem na domaćem linku (ICMP Echo Request/Reply). Ako pokušaj uspije, to potvrđuje prepostavku.

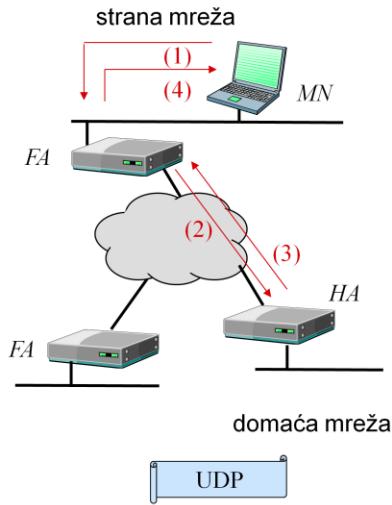
2. *Prepostavka: MN se nalazi u stranoj mreži* (a nema stranog agenta)

Rješenje A: Pokušaj dobivanja adrese od DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*) poslužitelja.

Rješenje B: Ručno konfiguiriranje IP adrese.

Iz prethodnog izlaganja jasno je da je otkrivanje agenta neophodno da bi pokretni čvor mogao odrediti je li spojen na domaću ili stranu poveznici, utvrditi promijenu poveznice, kao i dobiti trenutnu (*care-of*) adresu kad promijeni poveznici.

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 bez stranog agenta (DHCP).

Registracija je skup postupaka kojima pokretni čvor:

- zahtijeva uslugu usmjeravanja od stranog agenta,
- obavješćuje domaćeg agenta o trenutnoj adresi,
- periodički obnavlja registraciju,
- deregistrira se pri povratku u domaću mrežu.

Registracija se obavlja putem poruka *Registration Request* i *Registration Reply*. Za razliku od poruka koje se koriste za otkrivanje agenta koje se prenose ICMP-om, registracijske poruke prenose se UDP datagramima. Pokretni čvor najčešće "zna" adresu domaćeg agenta unaprijed (ručna konfiguracija), a postoji i dinamički postupak otkrivanja te adrese.

U osnovnom scenariju, pokretni čvor se prijavljuje domaćem agentu preko stranog agenta. Ako nema stranog agenta, tj. za slučaj kad se *care-of address* dobije preko DHCP poslužitelja, postupak registracije može se provesti izravnim slanjem *Registration Request* poruke na domaćeg agenta, koji potvrđuje registraciju s *Registration Reply*. U slučaju da pokretni čvor u određenom roku ne dobije *Registration Reply*, pokretni čvor pokušava ponovno, odnosno sve do isteka nekog unaprijed određenog maksimalnog vremena, nakon čega se registracija smatra neuspješnom.

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

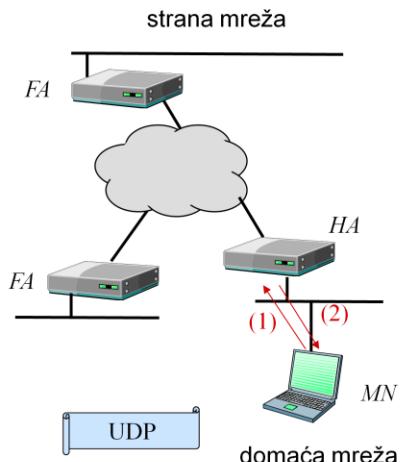
Format poruka

Format *Agent Solicitation* poruke odgovara formatu *Internet Control Message Protocol* (ICMP) poruke *Router Solicitation*, uz TTL postavljen na 1.

Format *Agent Advertisement* poruke dobiven je proširenjem formata ICMP poruke *Router Advertisement* dodatnim poljima, od kojih su najvažnija polja *Lifetime* i *Care-of Address*:

- *Lifetime* polje govori pokretnom čvoru nakon koliko vremena može očekivati sljedeću AA poruku od istog agenta. S obzirom da se AA poruke mogu izgubiti, pogotovo na bežičnim vezama, agenti razašalju AA otprilike trostruko češće nego što bi bilo vrijeme određeno *Lifetime* poljem.
- *Care-of Address* je trenutna adresa stranog agenta koja će poslužiti pokretnom čvoru za registraciju s domaćim agentom.

Deregistracija



(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

Deregistracija je postupak koji slijedi po povratku pokretnog čvora u domaću mrežu. Također se provodi putem poruka *Registration Request* i *Registration Reply*. Po povratku u domaću mrežu pokretni čvor više ne koristi funkcije pokretljivosti.

Autentičnost i integritet registracijskih poruka



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

Registration Request (Fixed length)

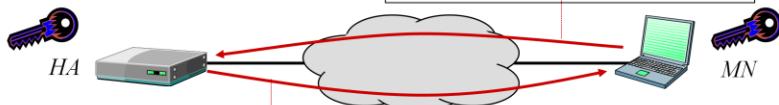
Home address Care-off address

... optional extensions...

Mobile-Home Authentication



...more optional extensions ...



Registration Reply (Fixed length)

Home address Care-off address

... optional extensions...

Mobile-Home Authentication

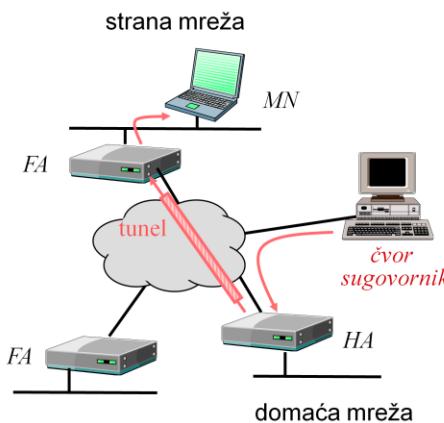


...more optional extensions ...

Mobile IP dopušta primjenu bilo koje dogovorene metode provjere autentičnosti između pokretnog čvora i domaćeg agenta. Propisano je samo da sve izvedbe mobile IP-a moraju podržavati metodu tajnog ključa koja koristi "MD5 Message Digest Algorithm" (RFC 1321).

Način rada je sljedeći: Pokretni čvor generira fiksni dio *Registration Request* poruke i proširenje *Mobile Home Authentication* u kojem ostavlja prazno polje za kôd za provjeru autentičnosti. Zatim računa MD5 Message Digest preko cijelog sadržaja poruke koristeći tajni ključ, poznat pokretnom čvoru i njegovom domaćem agentu. Rezultat upisuje u predviđeno prazno polje i šalje *Registration Request* poruku. Na prijamnoj strani, domaći agent radi izračun istog algoritma za polja u primljenoj poruci i provjerava slaže li se dobivena vrijednost s vrijednošću polja u samoj poruci. Ako su izračunata i primljena vrijednost kôda identične, domaći agent "zna" da je pošiljatelj poruke stvarno pokretni agent (autentičnost) te da poruka nije mijenjana pri prolasku kroz mrežu (integritet). Isti postupak, sa zamijenjenim ulogama pokretnog čvora i domaćeg agenta, vrijedi i za *Registration Reply*.

Usmjeravanje datagrama na pokretni čvor



◆ domaći agent, HA

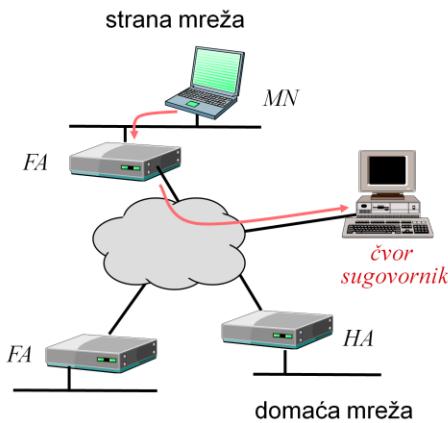
- presreće izvorne datagrame upućene na domaću adresu pokretnog čvora
- tunelira datagrame do stranog agenta

◆ strani agent, FA

- vadi izvorne datagrame iz tuneliranih i isporučuje ih pokretnom čvoru

Usmjeravanje datagrama na pokretni čvor vrši se tuneliranjem, kako je pokazano na slici. Domaći agent presreće izvorne datagrame upućene na adresu pokretnog čvora i tunelira ih do stranog agenta. Strani agent vadi izvorne datagrame i isporučuje ih pokretnom čvoru.

Odašiljanje datagrama s pokretnog čvora

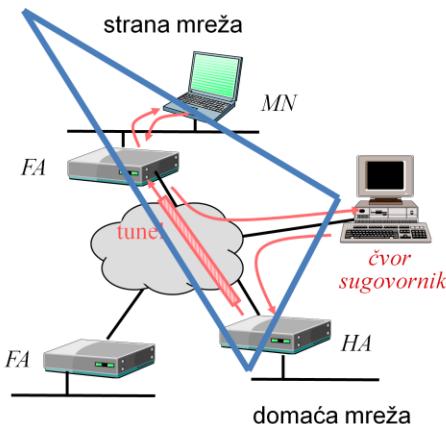


◆ strani agent, FA

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

Usmjeravanje datagrama od pokretnog čvora prema čvoru sugovorniku provodi se kao za bilo koji čvor u istoj mreži. Kao usmjeritelj služi strani agent ili bilo usmjeritelj naveden u *Agent Advertisement* poruci.

Problem trokutastog usmjeravanja



- ♦ usmjeravanje u trokutu čvor sugovornik – HA – MN može se optimizirati
- ♦ zanimljivo posebice za slučaj kada je pokretni čvor daleko od domaćeg agenta, a blizu čvora sugovornika

Uočimo problem tzv. trokutastog usmjeravanja. Vidljivo je da bi se velike "uštede" mogle postići za slučaj kad je pokretni čvor daleko od domaćeg agenta, a blizu čvora sugovornika. U tom slučaju, direktno tuneliranje bilo bi bolje rješenje, međutim u procjeni treba uzeti u obzir i povećanu složenost radi održavanja sigurnosti. Stoga ovo pitanje nije imalo visok prioritet u razvoju *Mobile IP-a*. Dodatne mogućnosti u *Mobile IPv6* rješavaju ovaj problem.

◆ Što je isto kao u mobile IPv4?

- pokretni čvor, domaći agent, domaća poveznica, 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?

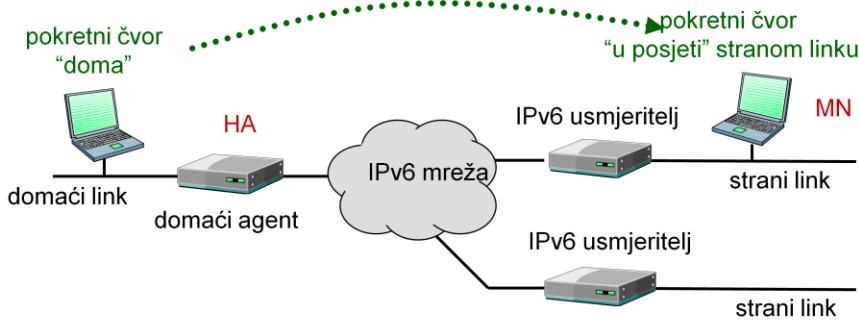
- *anycast* adresiranje pojednostavljuje komunikaciju s točno jednim domaćim agentom (ukoliko ih ima više)
- optimizacija puta je integralni dio specifikacije (rješenje za trokutasto usmjeravanje)
- zaštita podataka u IPv6 (IPsec)

Specifikacija Mobile IPv6 (MIPv6): RFC 3775

Mobile IPv6 – pregled (2)

- ◆ funkcionalni entiteti: HA, MN, CN (*Corresponding Node*)
- ◆ dodatno zaglavljivo pokretljivosti (*Mobility Header*): poruke za HA, MN i CN za registraciju i optimizaciju usmjeravanja
- ◆ nova opcija za zaglavljivo usmjeravanja (*Routing Header*): izravno usmjeravanje CN – MN (trenutna adresa)
- ◆ nova opcija za zaglavljivo informacija namijenjenih odredištu (*Destination Option Header*): dojava stalne adrese MN-a
- ◆ nove ICMP poruke: otkrivanje domaćeg agenta, dobivanje mrežnog prefiksa
- ◆ dodatne podatkovne strukture: pohrana povezivanja trenutne i stalne adrese

Pokretni IPv6 - funkcijski entiteti



- ◆ pokretni čvor (*Mobile Node, MN*)
- ◆ domaći agent (*Home Agent, HA*)
- ◆ nema stranog agenta, koristi se IPv6 usmjeritelj

Mobile IPv6 definira **funkcijske entitete** u kojima je izvedena podrška pokretljivosti:

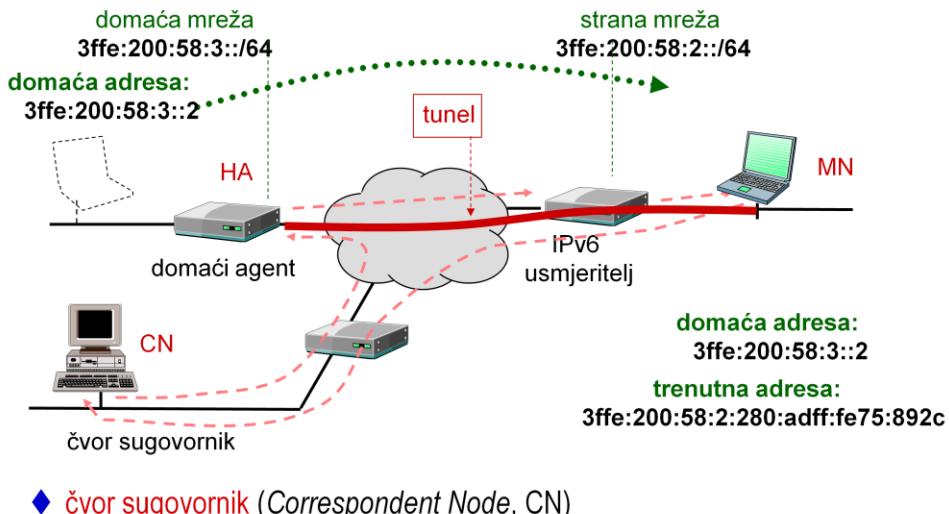
1. *Mobile Node, MN* (pokretni čvor): čvor koji mijenja točku priključka na Internetu s jednog linka na drugi, pri čemu zadržava sve već uspostavljene veze i koristi svoju stalnu, domaću IP adresu.

2. *Home Agent, HA* (domaći agent): usmjeritelj sa sučeljem na domaćem linku mobilnog čvora:

- kojeg pokretni čvor obavještava o trenutnoj točki priključka - IP adresi (*Care-of Address*),
- koji omogućuje usmjeravanje prema stalnoj adresi pokretnog čvora,
- koji presreće datagrame adresirane na pokretni čvor i *tunelira* ih prema njegovoj trenutnoj adresi.

Novost u IPv6 u odnosu na IPv4 je da više nema stranog agenta (*Foreign Agent*), već se na stranom linku koristi "obični" IPv6 usmjeritelj.

Pokretni IPv6 - način rada (1)



Pokretni čvor u stranoj mreži zadržava svoju stalnu domaću adresu i dobiva trenutnu adresu.

Već je rečeno da domaći agent tunelira datagrame adresirane na stalnu adresu pokretnog čvora prema njegovoj trenutnoj adresi. *Tunel* je staza kojom prolaze datagrami na putu od domaćeg agenta prema pokretnom čvoru. Tunelirani datagrami adresirani na pokretni čvor ovijaju se datagramom adresiranim na trenutnu adresu.

Pokretni IPv6 - način rada (2)



- ◆ pokretni čvor (MN) otkriva promjenu točke priključka
- ◆ pokretni čvor autokonfigurira trenutnu adresu u stranoj mreži i registrira je kod domaćeg agenta (HA)
- ◆ domaći agent presreće pakete adresirane na domaću adresu pokretnog čvora i tunelira ih prema trenutnoj adresi
- ◆ ako čvor sugovornik (CN) nema podršku za MIPv6, uspostavlja se dvosmjerni tunel između CN i MN; a ako ima, može se pokrenuti procedura optimizacije usmjeravanja
- ◆ signalizacija između MN i HA zaštićena je pomoću IPsec (RFC 3776)

Otkrivanje usmjeritelja



- ◆ slično postupku otkrivanja agenta kod Mobile IPv4, ali se ne upotrebljavaju poruke oglašavanja i traženja agenta
- ◆ kod Mobile IPv6 koristi se protokol otkrivanja susjeda (NDP - *Neighbor Discovery Protocol*) za rješavanje problema koji se odnose na interakciju čvorova priključenih na istu poveznicu. ND uključuje sljedeće poruke ICMPv6:
 - traženje usmjeritelja (*Router Solicitation*)
 - oglašavanje usmjeritelja (*Router Advertisement*)
 - traženje susjeda (*Neighbor Solicitation*)
 - oglašavanje susjeda (*Neighbor Advertisement*)
 - preusmjeravanje (*Redirect*).

Specifikacija Neighbor Discovery: RFC 2461

Utvrdjivanje promjene poveznice



- ◆ na poveznicama koje omogućuju višeodredišno adresiranje (multicast), svaki usmjeritelj periodički razasilje poruku *Router Advertisement* kojom oglašava da je raspoloživ.
- ◆ pokretni čvor osluškuje poruke *Router Advertisement*
- ◆ ako unutar određenog vremena 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 vrši autokonfiguraciju (*stateful* ili *stateless*) svoje nove adrese kada ustanovi:
 - da se premjestio s jedne poveznice na drugu
 - da se promijenio *default* usmjeritelj
- ◆ nova adresa koristi se kao trenutna adresa
- ◆ prefiks nove, trenutne adrese odgovara mrežnom prefiksu posjećene mreže

Pokretni čvor autokonfiguracijom rješava pitanje dobivanja trenutne adrese. To samo po sebi to nije dovoljno za pokretljivost u IPv6 mreži! Da bi se komunikacija mogla ostvariti, barem domaći agent, a po mogućnosti i potencijalni sugovornici moraju znati tu trenutnu adresu, a to se postiže registracijom.

Registracija



- ◆ registracija se naziva **povezivanje (Binding)**
- ◆ procedura registracije suštinski ostaje ista kao kod Mobile IPv4, tj:
 - pokretni čvor registrira novu adresu kao trenutnu adresu kod domaćeg agenta
 - domaći agent potvrđuje registraciju
- ◆ primjenjuju se dodatne **poruke za povezivanje (Binding Update, Binding Acknowledgment, Binding Refresh Request)**, koje se prenose koristeći **dodatno IPv6 zaglavlje namijenjeno pokretljivosti (Mobility Header)**

◆ *Binding Update*

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

◆ *Binding Acknowledgement*

- poruka kojom domaći agent potvrđuje primljeni Binding Update

◆ *Binding RefreshRequest*

- 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

Dodatne podatkovne strukture

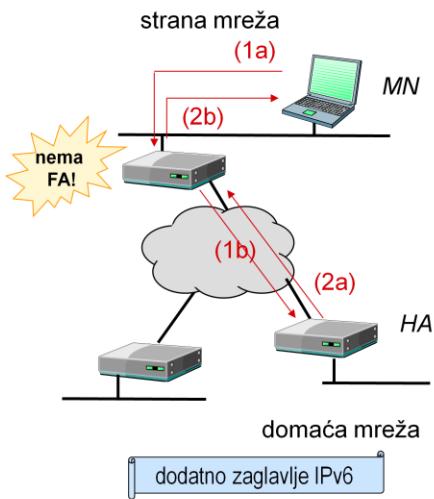


- ◆ svaki IPv6 usmjeritelj ima priručni spremnik pridruženih adresa (*Binding Cache*)
 - po primjeku Binding Update poruke, adresa se pohranjuje u spremnik
 - za svaki poslani paket se provjerava postoji li podatak o povezivanju u spremniku i, ako postoji, paket se usmjerava na trenutnu adresu, koristeći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

Dodatne podatkovne strukture za Mobile IPv6 su:

- *Binding Cache* - spremnik pridruženih adresa (u IPv6 usmjeritelju)
- *Binding Update List* - popis Binding Update poruka (u pokretnom čvoru) poslanih bilo domaćem agentu, bilo čvorovima sugovornicima, za koje nije istekao *Lifetime*
- *Home Agents List* - popis domaćih agenata, sastavljen na temelju višeodredišno razaslanih *Router Advertisements*

Registracija



(1a-b-c) Binding Update

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

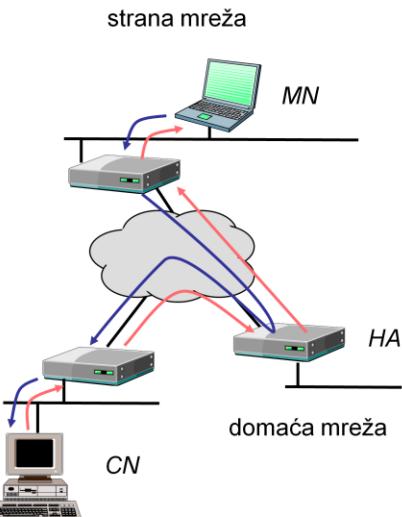
(2a-b-c) Binding Acknowledgement

- ◆ potvrda povezanosti: domaći agent šalje odgovor pokretnom čvoru

Registracija s domaćim agentom odvija se kao kod Mobile IPv4, uz korišenje poruka *Binding Update* i *Binding Acknowledgement*.

Primijetimo da kod Mobile IPv6 više nema stranog agenta, te da su svi usmjeritelji "obični" IPv6 usmjeritelji.

Usmjeravanje paketa s/na pokretni čvor prije optimizacije usmjeravanja



◆ Usmjeravanje na pokretni čvor

- domaći agent presreće datagrame adresirane na pokretni čvor i tunelira ih prema pokretnom čvoru

◆ Usmjeravanje s pokretnog čvora

- istim tunelom prema čvoru sugovorniku

◆ Izhod: usmjeravanje je neučinkovito - moguća optimizacija rute

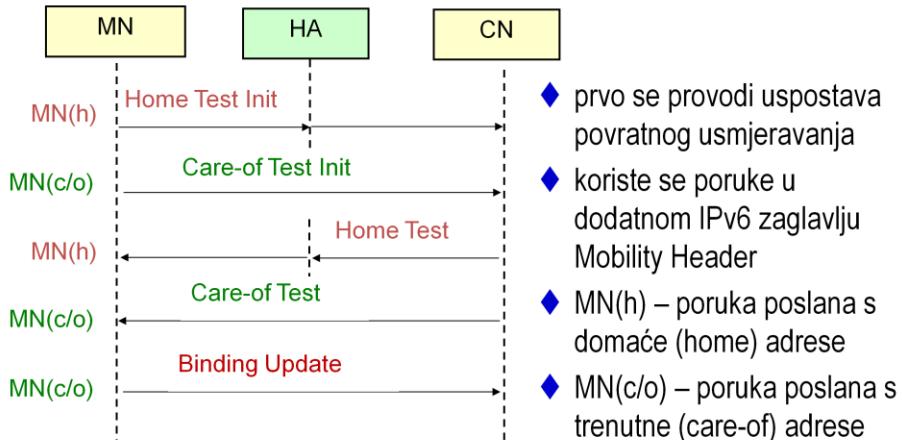
Domaći agent razašilje Neighbor Advertisement u ime pokretnog čvora na domaćem linku pokretnog čvora i time "privlači" usmjeravanje prema pokretnom čvoru na domaći link. Također, domaći agent odgovara u ime pokretnog čvora i na Neighbor Solicitation upit od usmjeritelja. (To je proxy Neighbor Discovery.)

Domaći agent presreće pakete adresirane na pokretni čvor i tunelira ih prema trenutnoj adresi pokretnog čvora. Pokretni čvor šalje svoje pakete tunelirano preko domaćeg agenta.

Primjećujemo da se opet javlja problem neučinkovitog usmjeravanja.

Očito rješenje je bi CN, ako bi imao pohranjenu informaciju o trenutnoj adresi, mogao komunicirati s MN direktno. Da bi to bilo moguće, registracija se mora obaviti ne samo s HA, nego i s CN (odn. svim CN-ovima s kojima MN ima uspostavljene TCP konekcije ili USP povezivanja).

Optimizacija usmjeravanja (1)



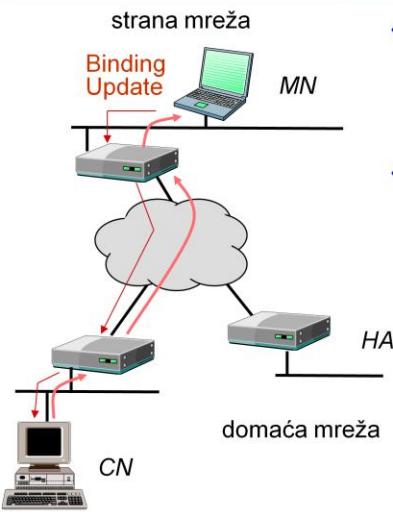
Procedura uspostave usmjeravanja odvija se kao na slici:

Pokretni čvor šalje čvoru sugovorniku dvije poruke: jednu sa svoje domaće ([h]ome) adresu, i drugu sa svoje trenutne ([c]are-[o]f) adresu. To su poruke Home Test Init (HoTI) i Care-of Test Init (CoTI).

Čvor sugovornik potvrđuje s porukama Home Test (HoT) i Care-of Test (CoT). Poruke HoTI i HoT se šalju preko Home Agenta.

Po uspješnom primitu tih poruka, pokretni čvor šalje Binding Update čvoru sugovorniku. Komunikacija prema pokretnom čvoru sada može ići izravno, a ne više "duljim putem", preko domaćeg agenta.

Optimizacija usmjeravanja (2)



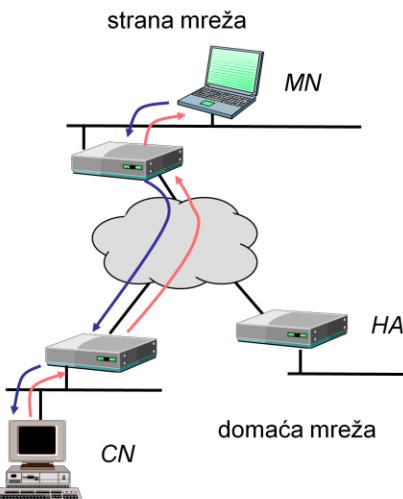
- ◆ pokretni čvor šalje sugovorniku *Binding Update* s trenutnom adresom
- ◆ paketi prema pokretnom čvoru usmjeravaju se izravno, koristeći **IPv6 dodatno zaglavljе usmjeravanja**



Kako bi se izbjeglo trokutasto usmjeravanje, pokretni čvor šalje *Binding Update* čvoru sugovorniku. IPv6 usmjeritelji pohranjuju tu informaciju u priručni spremnik važećih povezivanja (*Binding Cache*). Za svaki poslani paket, usmjeritelji provjeravaju postoji li za odredišnu adresu podatak u spremniku. Ako postoji, paket se izravno usmjerava prema pokretnom čvoru, **koristeći dodatno zaglavljе usmjeravanja** (a ne više tuneliranje!) U suprotnom, paket se usmjerava uobičajeno, tj. prema domaćem linku.

U dodatnom zaglavlu usmjeravanja definira se put kojom treba usmjeravati pakete prema pokretnom čvoru. Taj put ima dva "skoka" (*hop*). Prvi je trenutna adresa, a drugi domaća adresa. Ishod usmjeravanja je da se paket šalje **izravno pokretnom čvoru** i to na njegovu trenutnu adresu. Drugi i posljednji skok je "povratna petlja" unutar samog pokretnog čvora.

Usmjeravanje paketa s/na pokretni čvor nakon optimizacije usmjeravanja



- ◆ Usmjeravanje s pokretnog čvora
 - izravno usmjeravanje
- ◆ Usmjeravanje na pokretni čvor
 - izravno usmjeravanje, uz primjenu dodatnog zaglavlja usmjeravanja

Pokretni čvor i čvor sugovornik ostvaruju direktnu komunikaciju.

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

Zaštita podataka na razini IP-a obuhvaća skup protokola koji čine IPsec arhitekturu, opisanu u RFC 2401, "Security Architecture for the Internet Protocol". Protokoli za zaštitu podataka pokrivaju dio te arhitekture, i odnose se na primjenu *Authentication Header (AH)* i *Encapsulating Security Payload (ESP)* dodatnih IP zaglavlja.

Zaglavljje za provjeru autentičnosti (Authentication Header, AH) osigurava da ne dođe do promjene sadržaja datagrama prilikom prijenosa i brine o autentičnosti datagrama. Specifikacija se može naći u RFC 2402, "IP Authentication Header".

Zaštita tajnosti ostvaruje se ESP zaglavljem (*Encapsulating Security Payload*) koji osigurava privatnost podataka i integritet datagrama. Prijenos podataka se vrši na sljedeći način: na izvođačkoj strani datagrami se sastoje od šifriranog i nešifriranog dijela. Datagrami se usmjeravaju do krajnjeg korisnika i svaki usmjeritelj tijekom puta ispituje i izvršava IP zaglavljje uz zaglavlja koja nisu šifrirana. Posredni usmjeritelji tijekom puta ne ispituju šifrirane podatke, već se tek na prijamnoj strani uz ova zaglavlja ispituju i šifrirani podaci, koji se prethodno moraju dešifrirati na temelju ESP zaglavlja. Detalji se mogu naći u RFC2406, "IP Encapsulating Security Payload (ESP)".

Usporedba Mobile IPv4 i 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)
trenutna adresa posredstvom stranog agenta ili mjesna trenutna adresa	sve trenutne adrese su mjesne
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 registracije s domaćim agentom	provjera autentičnosti potvrde domaćeg agenta i ostalih sugovornika
usmjeravanje prema pokretnom čvoru tuneliranjem	usmjeravanje prema pokretnom čvoru tuneliranjem i izvorno-određenim usmjeravanjem
optimizacija puta u posebnoj specifikaciji	integrirana podrška za optimizaciju puta