

Računarske mreže 1

IPv6 – novija verzija IP protokola

Predavač:

Prof. dr Slavko Gajin, slavko.gajin@rcub.bg.ac.rs

Asistenti:

Stefan Tubić, stefan.tubic@etf.bg.ac.rs

Marko Mićović, micko@etf.bg.ac.rs

Kristijan Žiza, ziza@etf.bg.ac.rs

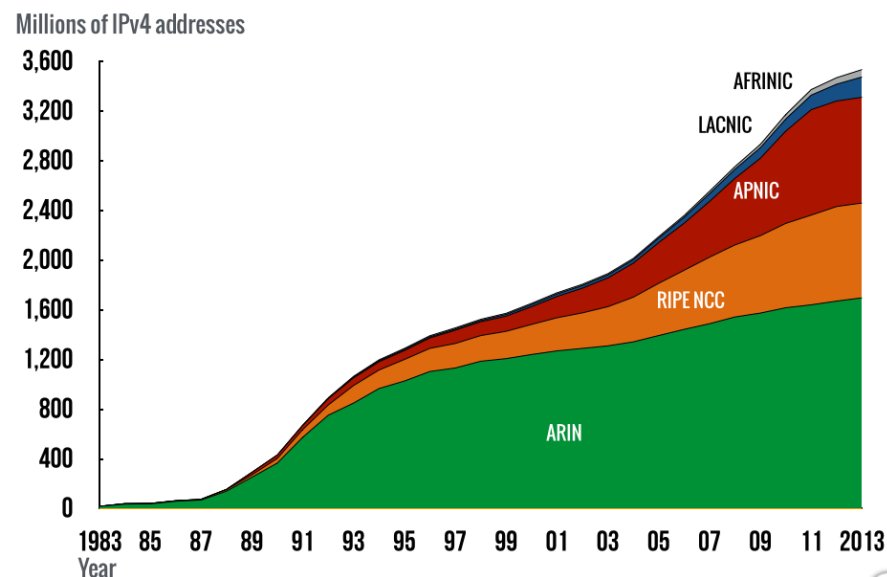
<http://elearning.rcub.bg.ac.rs>

2020. god

IPv4 – standardna verzija IP protokola

- IP verzija 4, u oznaci IPv4, RFC 791, Septembar 1981
- Problemi:
 - Eksponencijalni rast Interneta i povezanih uređaja
 - Nedostatak IPv4 adresnog prostora
 - Veliki broj mreža na Internetu - velike tabele rutiranja
- Nove potrebe:
 - Bezbednost podataka na IP nivou
 - Ostvarivanje kvaliteta servisa (QoS - *Quality of Service*)

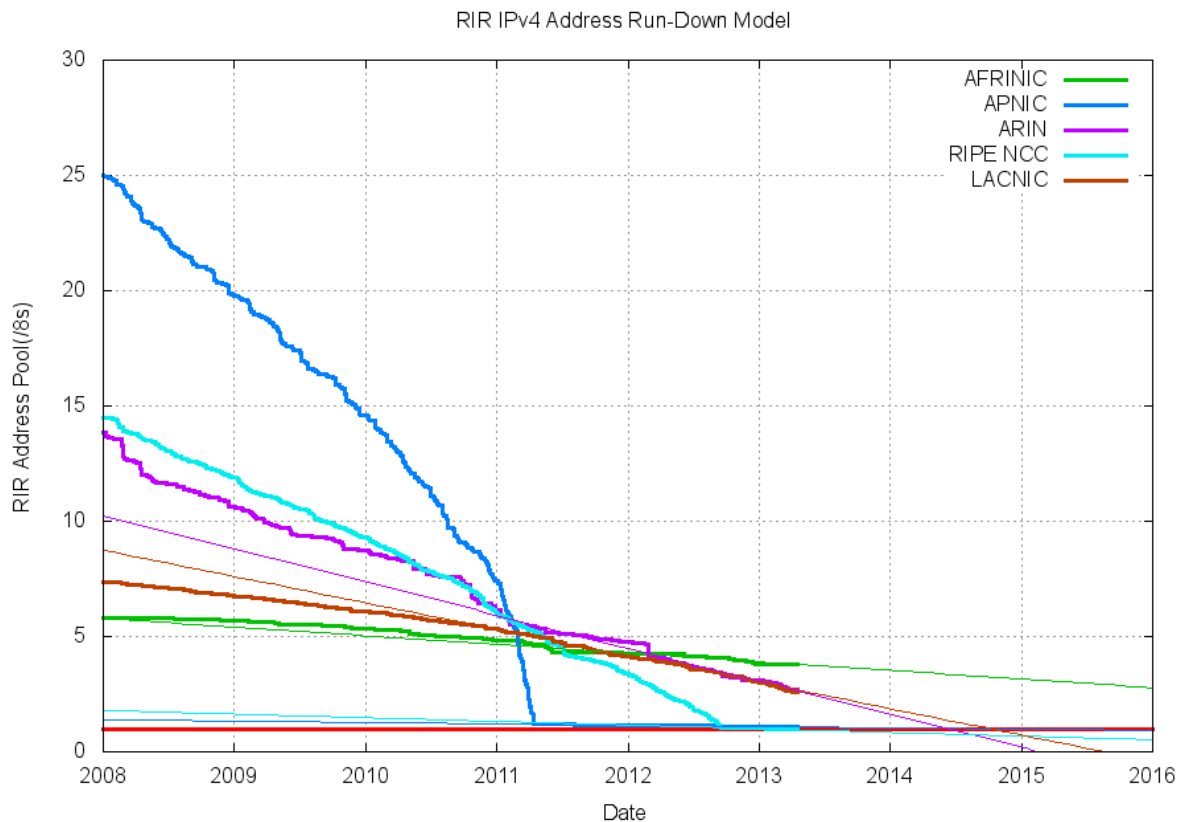
APPROXIMATE IPV4 ADDRESS SPACE USAGE BY YEAR



Izvor slike: arstechnica.com

Nedostatak IPv4 adresnog prostora

- IPv4 adresni prostor je potrošen
- Nove IPv4 adrese se mogu kupiti samo od „preprodavaca“
- Privatne adrese i NAT donekle rešavaju problem
- Potrebne su nove adrese – novi IP protokol



Izvor slike: arstechnica.com

IPv6 – novija verzija IP protokola

- „Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification“, RFC 1883, December 1995
- Različit protokol u odnosu na IPv4
 - L2 identifikacija
 - IPv4 – 0x0800
 - IPv6 – 0x86dd
- Osnovne karakteristike
 - Veći adresni prostor
 - Efikasnije rutiranje
 - Manji broj eksternih ruta na Internetu – hijerarhijska struktura mrežnih adresa omogućava efikasnije agregiranje
 - Jednostavnije zaglavlje za efikasniju obradu paketa
 - Podršku za automatsku konfiguraciju računara
 - Podršku za bezbednost podataka sa *IPSec* implementacijom
 - Poboľšana podrška za mobilne uređaje
 - Ugrađena podrška za alokaciju resursa i kvalitet servisa (QoS)
 - Povećan broj *multicast* adresa

Format zaglavlja

- IPv4 zaglavlje

1. bajt	2. bajt	3. bajt	4. bajt
VERS	HLEN	Type of Service	Total Length
Identification		Flags	Fragment Offset
Time to Live		Protocol	Header Checksum
Source IP Address			
Destination IP Address			
Options			Padding
Data			
...			

- IPv6 zaglavlje

1. bajt	2. bajt	3. bajt	4. bajt
VERS	Traffic Class	Flow Label	
Payload Length		Next Header	Hop Limit
Source IP Address			
Destination IP Address			
Data			
...			

Izbačena polja

- **Internet Header Length**

- IPv4 sadrži opcije koje čine promenljivu veličinu zaglavlja
- IPv6 zaglavlje je fiksne veličine, jer su opcije izdvojene u posebna zaglavlja

- **Header Checksum**

- Provera integriteta paketa se sprovodi na L2 nivou
- TCP/UDP sadrži *Checksum* polje koje obuhvata iz i IP adrese iz IP zaglavlja (*pseudo-header*)

- **Options**

- Nedovoljno se koriste u IPv4
- U IPv6 uveden novi mehanizam fleksibilnog ugnježdavanja opcija u dodatnim zaglavljima

- **Polja za fragmentaciju**
(*Identification, Flags, Fragment Offset*)

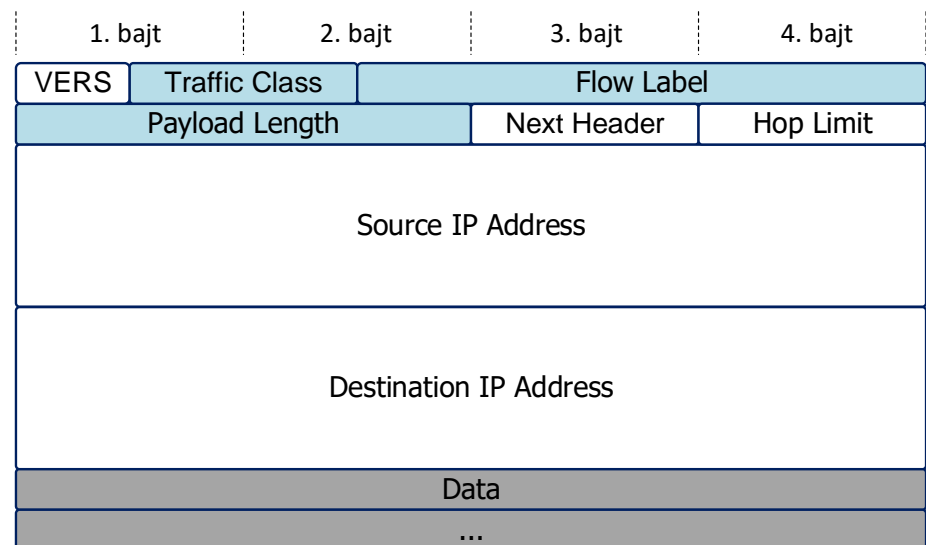
1. bajt		2. bajt		3. bajt		4. bajt	
VERS	HLEN	Type of Service		Total Length			
Identification				Flags	Fragment Offset		
Time to Live		Protocol		Header Checksum			
Source IP Address							
Destination IP Address							
Options						Padding	
Data							
...							

Fragmentacija

- Fragmentacija je “neekonomičan” proces
 - Alocira resurse na strani primaoca
 - Uvodi tajmere i čekanje u slučaju gubitka bilo kog fragmenta
 - Gubitak fragmenta uzrokuje gubitak celog originalnog paketa
- Fragmentacija je neophodna, ali je treba ograničiti i minimizirati
 - **Fragmentacija se sprovodi na izvoristu, a ne u ruterima**
- MTU – *Maximum Transmission Unit*
 - IPv6 garantuje MTU od najmanje 1280 bajtova
 - Izvorište koristi ili garantovani MTU ili radi *Path MTU Discovery*
 - U slučaju da ruter ne može da prosledi paket jer je veći od MTU na linku
 - Paket se uništava
 - Ruter generiše ICMPv6 poruku „*Packet Too Big*“
- *Path MTU Discovery* - pronalazi najmanji MTU na celom putu do odredišta
 - Šalje pakete određene veličine i prati da li je dobio „*Packet Too Big*“
- Problem
 - Rutiranje je dinamičko i putanja se može promeniti tokom komunikacije
 - Ovo se ipak retko dešava

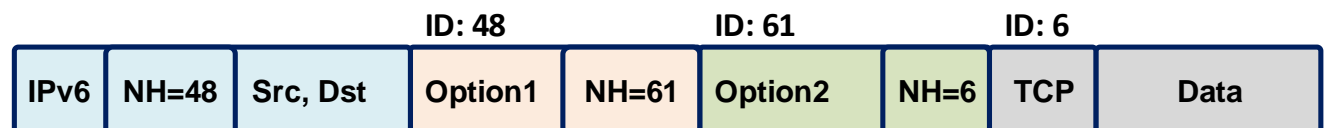
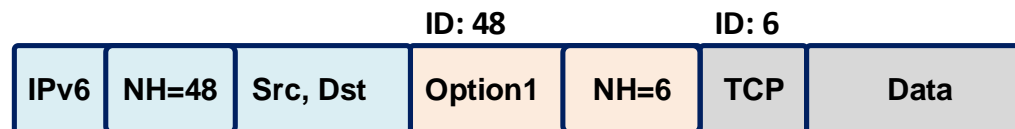
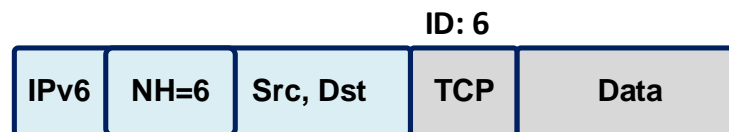
IPv6 format zaglavlja

- **Traffic Class** (8 bita)
 - Isto kao ToS (*Type of Service*) polje kod IPv4
 - Izvorište generiše pakete koji pripadaju različitim klasama saobraćaja, sa različitim prioritetima
- **Flow Label** (20 bita)
 - Flow (tok) predstavlja komunikaciju između aplikacija izvorišta i odredišta
 - *Flow Label* jedinstveno označava svaki tok
 - Samo se prvi paket rutira, a *Flow Label* uparen sa izlaznim portom se kešira
 - Ubrzan proces rutiranja
 - Naredni paketi istog toka ne zahtevaju rutiranje
- **Payload Length** (16 bits)
 - Bužina podataka u bajtovima



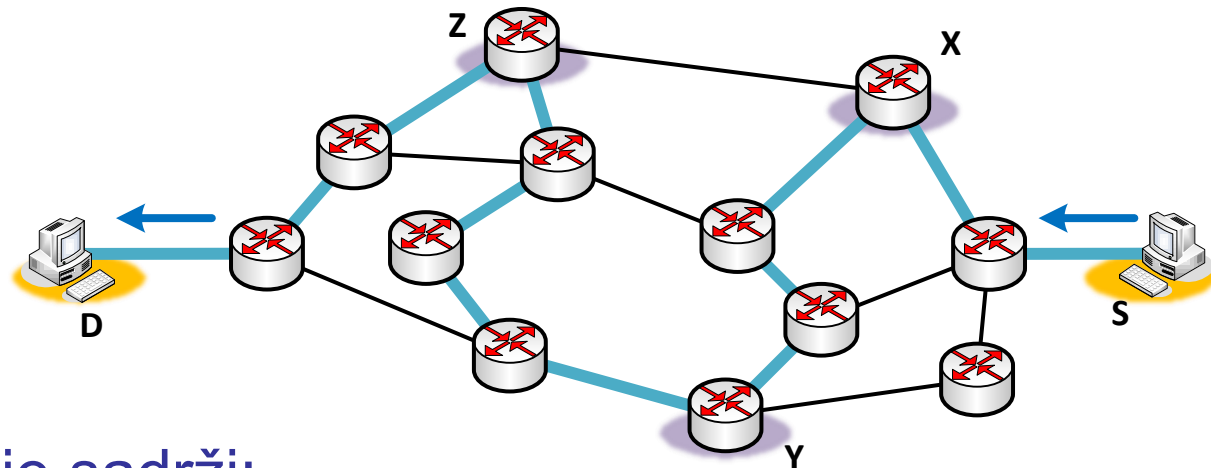
IPv6 format zaglavlja

- Hop Limit (8 bits)
 - Ista funkcija kao kod IPv4 Time To Live (TTL)
- Next Header (8 bits)
 - Umesto polja „*Protocol*“ kod IPv4
 - Identifikuje “sledeće zaglavlje”
 - Zaglavlje višeg nivoa – TCP, UDP, ICMPv6, OSPFv3 itd.
 - Zaglavlje sa IPv6 opcijama
 - Na isti način se tretiraju IPv6 opcije i TCP/UDP zaglavlje (protokoli višeg nivoa)



Ruting opcija

- Utiče na put paketa
 - Izvorište definiše sekvencu rutera, tzv. međutačka (*Checkpoints*)
 - Usputni ruteri prosleđuju pakete prema navedenim međutačkama



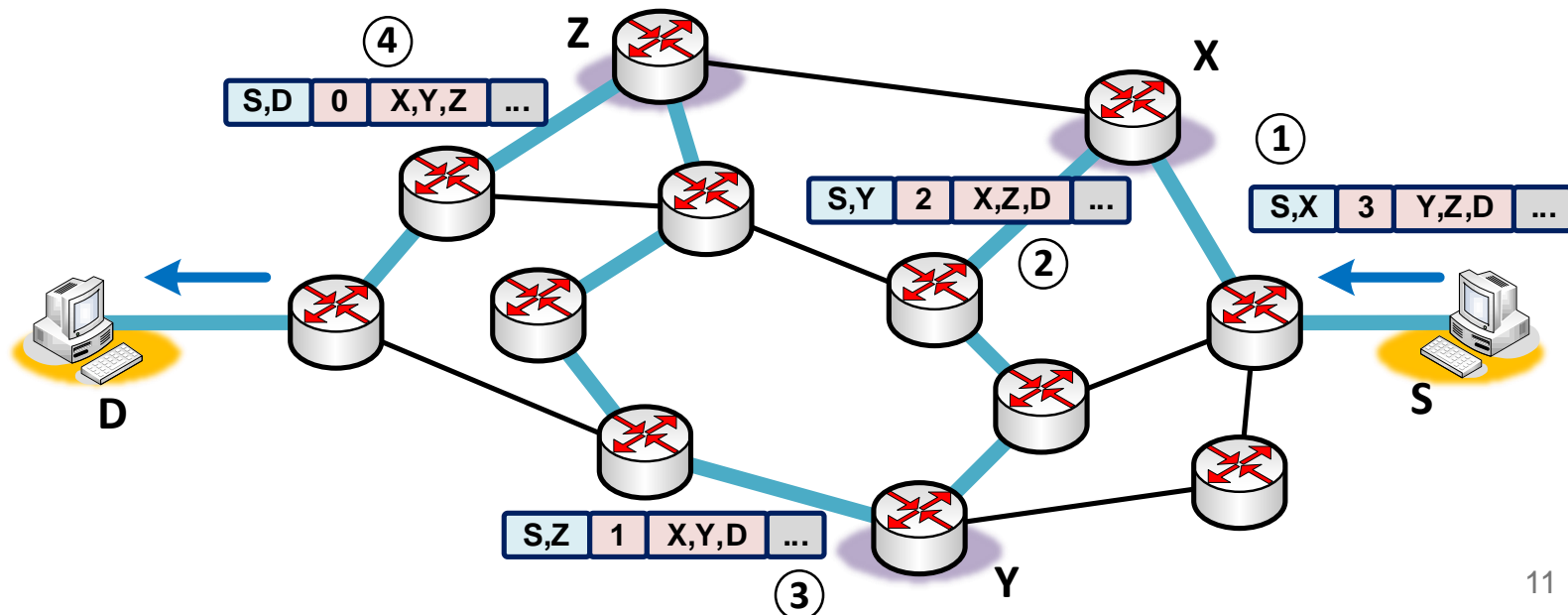
- Zaglavlje ruting opcije sadrži:
 - Sekvencu adresa međutačka (ne moraju da budu uzastopni ruteri)
 - Brojač (*Segment Left*) - koliko je još međutačka preostalo

Routing Extension							
			ID: 43	ID: 6			
IPv6	NH=43	Src, Dst	Seg. Left	Adr1, Adr2...	NH=6	TCP	Data

Ruting opcija

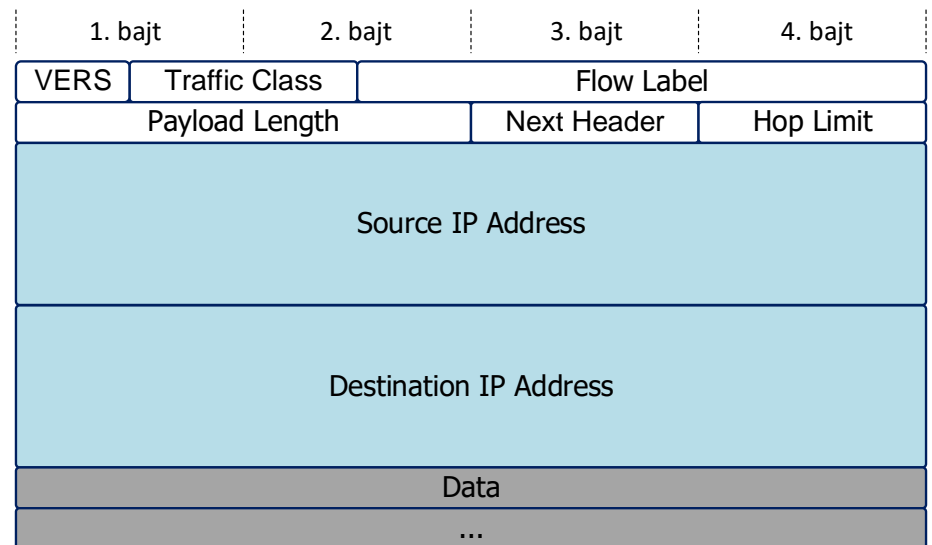
- Princip rada

- Izvorište definiše sekvencu adresa međutačaka, poslednja adresa je odredište
- Odredišna adresa regularnog IPv6 zaglavlja je adresa prve međutačke
- Ruter kada prepozna sebe kao odredište, a postoji ruting zaglavlje radi:
 - $N = \text{Segment Left}$
 - Adresa odredišta se manja sa adresom na N-toj poziciji od kraja sekvence



IPv6 adrese

- IPv6 adresa je dužine 16 bajta (128 bita)
 - 4x veće od IPv4 !
- Piše se u heksadekadnom obliku
 - Jedna heksadekadna cifra od 4 bita – „*nibble*“
- Maska se koristi u prefiks notaciji (“/n”)
- Primer:
 - 2340:13c1:a12d:001d:02c3:19ff:fe7b:5004/64



IPv6 adrese

- **Skraćeni zapis**

1. Izbaciti vodeće nule u grupama od 4 cifre (nakon znaka “:00x” => “:x”)
2. Izbaciti samo jedan niz grupa sa nulama (“:0:0:0:” => “::”)

- **Primer 1: 2001:417b:0000:0000:0000:0000:0000:01af/64**

- Skraćeni zapis:

- 1. korak: **2001:417b:0:0:0:0:0:1af/64**
- 2. korak: **2001:417b::1af/64**

- **Primer 2: 2001:417b:0000:0000:002c:0000:0000:01af/64**

- Neispravno: **2001:417b::2c::1af/64** - nije jednoznačno:

- 2001:417b:0:0:0:2c:0:1af/64,
- 2001:417b:0:0:2c:0:0:1af/64 ili
- 2001:417b:0:2c:0:0:0:1af/64

- Ispravno:

- **2001:4170::fff:0:0:112/64** ili
- **2001:4170:0:0:fff::112/64**

Vrste IPv6 adresa

- **Unicast**

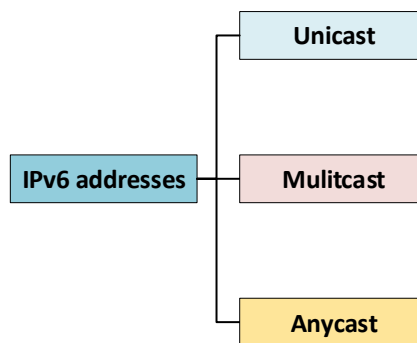
- Jedinstvena adresa, identifikuje interfejs

- **Multicast**

- Adresa koja identifikuje više interfejsa različitih uređaja prema nekoj zajedničkoj nameni
 - Paket poslat na *multicast* adresi biće prosleđen na sve pripadajuće interfejse

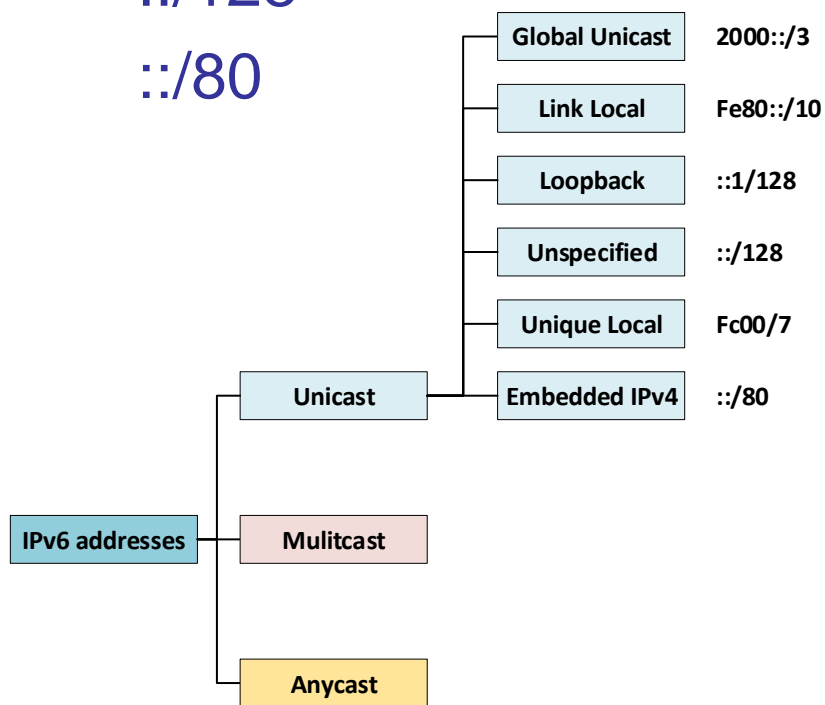
- **Anycast**

- Adresa koja identifikuje više interfejsa različitih uređaja
 - Paket poslat na *anycast* adresi biće prosleđen samo jednom interfejsu



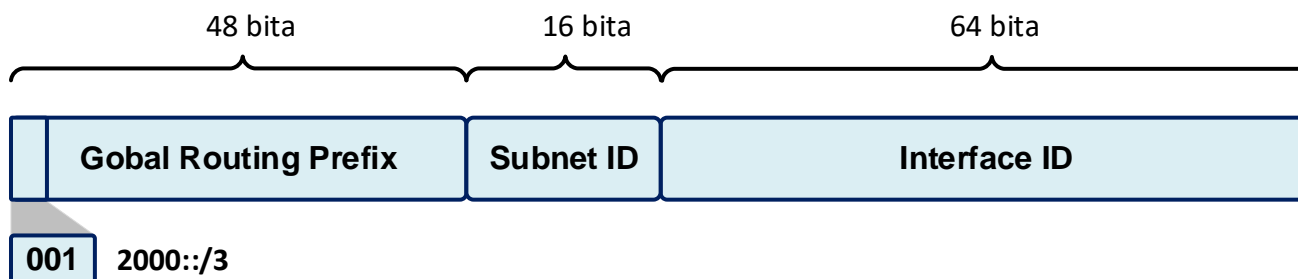
Unicast adrese

- *Global Unicast Address (GUA)* 2000::/3
- *Unique Local Address (ULA)* fc00/7
- *Link-Local Address (LLA)* fe80::/10
- *Loopback Address* ::1/128
- *Unspecified Address* ::/128
- *Embedded IPv4 Address* ::/80



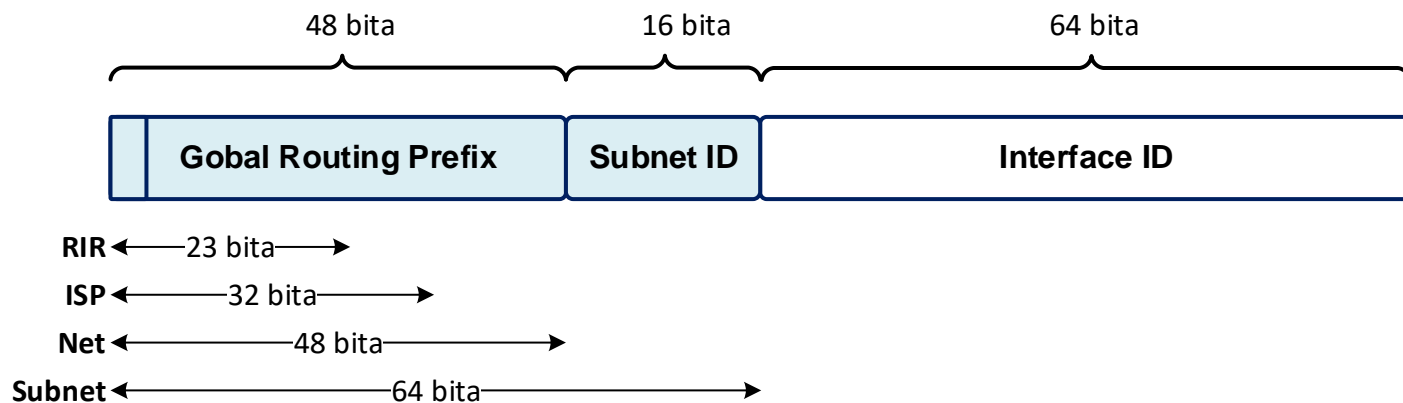
Global Unicast adrese – javne adrese

- Javna adresa, dostupna na Internetu
- Opseg: **2000::/3** - počinju sa binarnom vrednošću “001”
- Terminologija:
 - **Prefix** - mrežni deo adrese
 - **Interface ID** – adresa interfejsa u IPv6 mreži (ekvivalent IPv4 host delu)
- Obično se logički deli na tri dela:
 - Globalni prefiks (*Global Routing Prefix*) – tipično prvih 48 bita, dodeljuje se provajderima i drugim korisnicima
 - Adresa podmreže (*Subnet ID*) – tipično 16 bita, podmreže unutar osnovne mreže
 - Adresa hosta odnosno interfejsa (*Interface ID*) – tipično poslednja 64 bita
- Mrežni deo, odnosno maska, može da „uđe“ i u Interfejs ID, ali:
 - Nije dobra praksa
 - Obično nema potrebe



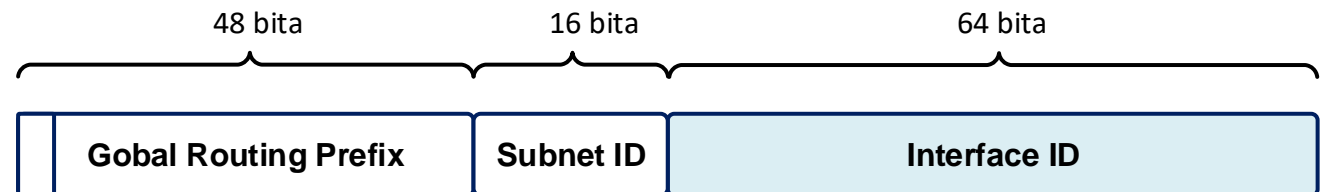
Global Routing Prefix, Subnet ID

- Agregacija prefiksa – hijerarhijska podela
 - Kontinenti (RIR), globalni provajderi (ISP), države, regione...
 - Efikasnije rutiranje
- *Provider-Aggregatable (PA)*
 - Pripada opsegu adresa provajdera – agregacija
 - Prednost - Na naplaćuje se, provajderi dodeljuju svojim korisnicima
 - Nedostatak - Promena provajdera zahteva promenu prefiksa
- *Provider-Independent (PI)*
 - Dodeljuje se od strane RIR-a, kao i mreže provajdera
 - Prednost – Nezavisne od provajdera, moguće povezivanje na više provajdera
 - Nedostatak – Obično se naplaćuje



Interface ID

- Polje adrese koje označava uređaje u podmreži
 - Host deo adrese – IPv4 terminologija
 - *Interface ID* – IPv6 terminologija (*Interfejs ID*)
- Postavljanje
 - Statički – manuelno
 - Proizvoljna vrednost, obično mali brojevi kao kod IPv4
 - Dozvoljene su sve jedinice i sve nule, ali za time nema potrebe
 - Dinamički – automatski
 - Pravilo EUI-64 (*Extended Unique Identifier*)
 - *Random* – pseudo-slučajan niz bita (*default* za Windows računare)



EUI-64 - *Extended Unique Identifier*

- EUI-64 - pravilo generisanja *Interface ID* na osnovu MAC adrese
 - 6 bajta MAC adrese se proširuje na 8 bajta koji čine *Interface ID*
 - Deli se MAC adresa na dve grupe od po 3 bajta
 - U sredinu se umeću dva bajta: ff i fe (11111111 i 11111110)
 - Sedmi bit prvog bajta U/L bit (*Universal/Local* bit) - postavlja se na 1
 - 0 – *Universal*: MAC adresa je fizički upisana (*burned-in*)
 - 1 – *Local*: MAC adresa je logički konfigurisana na proizvoljan način i ima lokalno značenje

MAC

48	ba	4e	ed	db	9d
----	----	----	----	----	----

1. Umetanje 2 bajta (fffe)

01001000	10111010	01001110	11111111	11111110	11101011	10111101	10011101
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

2. Promena U/L bita

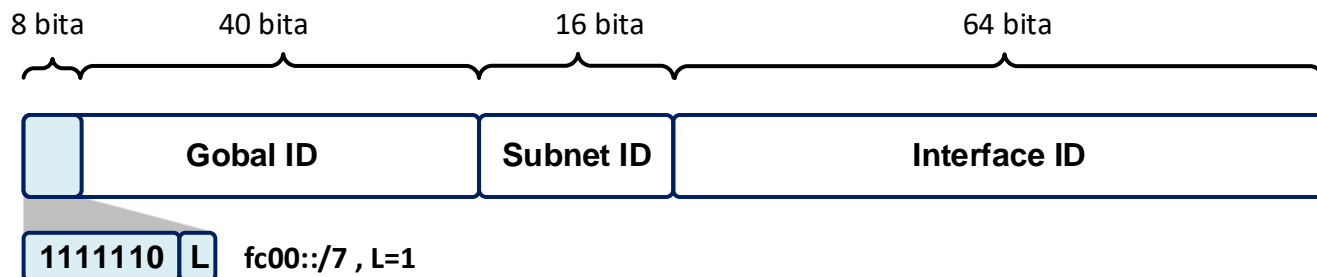
01001010	10111010	01001110	11111111	11111110	11101011	10111101	10011101
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

EUI-64 Interface ID

4a	ba	4e	ff	fe	ed	db	9d
----	----	----	----	----	----	----	----

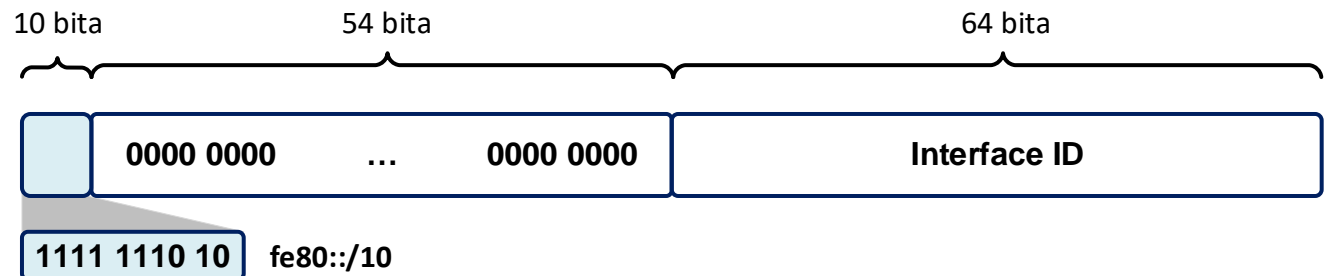
Unique Local adrese – privatne adrese

- Namenjena za korišćenje u privatnim mrežama, RFC 4193
 - Po analogiji sa IPv4 privatnim adresama
- Opseg: **fc00::/7**
 - Sedmi bit:
 - 0 – trenutno se ne koristi
 - 1 – trenutno jedino dozvoljeno
 - Slobodan opseg: fd00::/8
- Ne smeju da se oglašavaju na Internetu
- *Global ID* – pseudo-slučajna vrednost
 - Definisan je algoritam za generisanje, <https://www.sixxs.net/tools/grh/ula>
 - Omogućava povezivanje više različitih mreža sa *Unque Local* adresama



Link Local adrese

- Za korišćenje samo u unutar lokalne IP mreže (L2 segment)
 - Opseg: **fe80::/10**
 - Novi koncept u odnosu na IPv4
 - Ruteri ne prosleđuju pakete sa ovim adresama
 - Format: fe80 + 54x0 + *Interface ID*
 - Dodela Interfejs ID
 - Automatski (EUI-64)
 - Manuelno - može se postaviti bilo koja vrednost, obično se postavlja na ruterima, radi jednostavnijeg praćenja
 - *Random* – pseudo-slučajan niz bita
- Primer:
 - Ruteri komuniciraju preko *Link Local* adresa, oglašavaju kao *next-hop*



Specijalne *Unicast* adrese

- ***Loopback Address*** – **::1/128**

- Logička adresa za lokalne korišćenje na jednom uređaju - adresa tog uređaja
- Ekvivalentna IPv4 adresi 127.0.0.1
- Ne izlazi van uređaja, ne rutira se

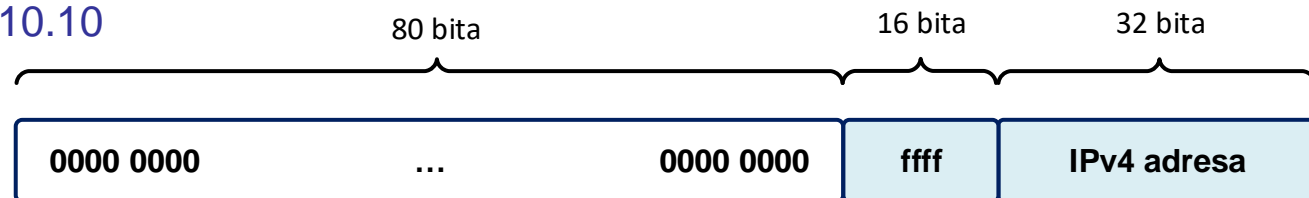
- ***Unspecified Address*** – **::/128**

- Nepostojeća adresa – sadrži sve nule
- Sadržaj adresnog polja kada adresa nije poznata – samo kao izvorišna adresa
- Ne rutira se

- ***Embedded IPv4 Address*** – **::/80**

- Za tranziciju sa IPv4 na IPv6
- Na početak se dodaje 80 nula i 16 jedinica
- IPv4 su poslednja 4 bajta u IPv6 adresi – i dalje u *Dotted Decimal* formi
- Primer:

- ::FFFF:192.168.10.10



IPv6 *multicast* adrese

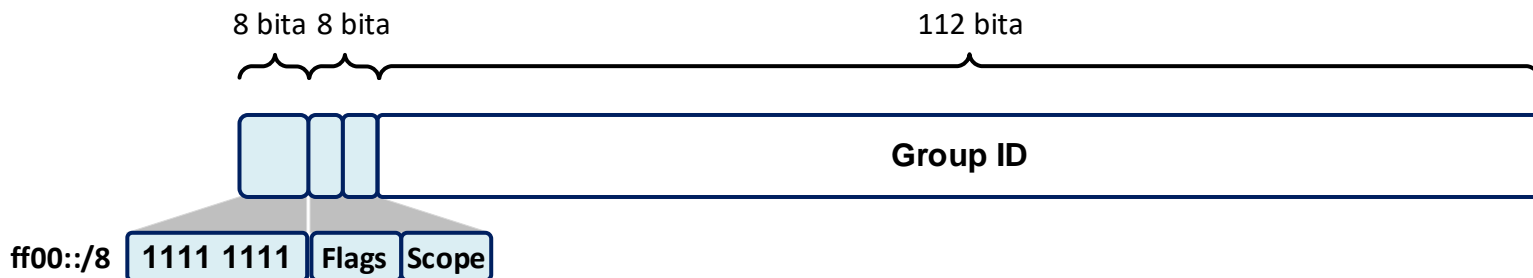
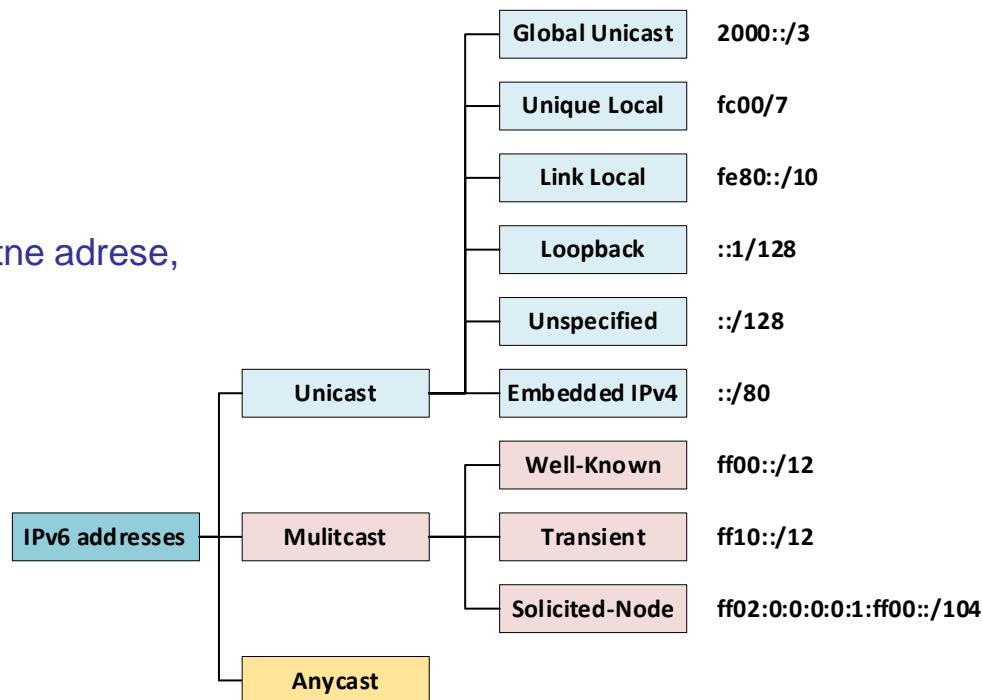
- Opseg: ff00::/8
- *Flags* – 4 bita specijalnih flegova:
 - T fleg:
 - 0 – **Well-Known**, predefinisane permanentne adrese, dodeljene od strane IANA
 - 1 – **Transient**, dodeljene po potrebi od strane različitih multikast aplikacija

- **Scope**

- 4 bita koji definišu opsege korišćenja
 - 2 – samo na lokalnom L2 segmentu
 - 8 – na nivou organizacije (Subnet ID)
 - 14 (E) – globalni opseg

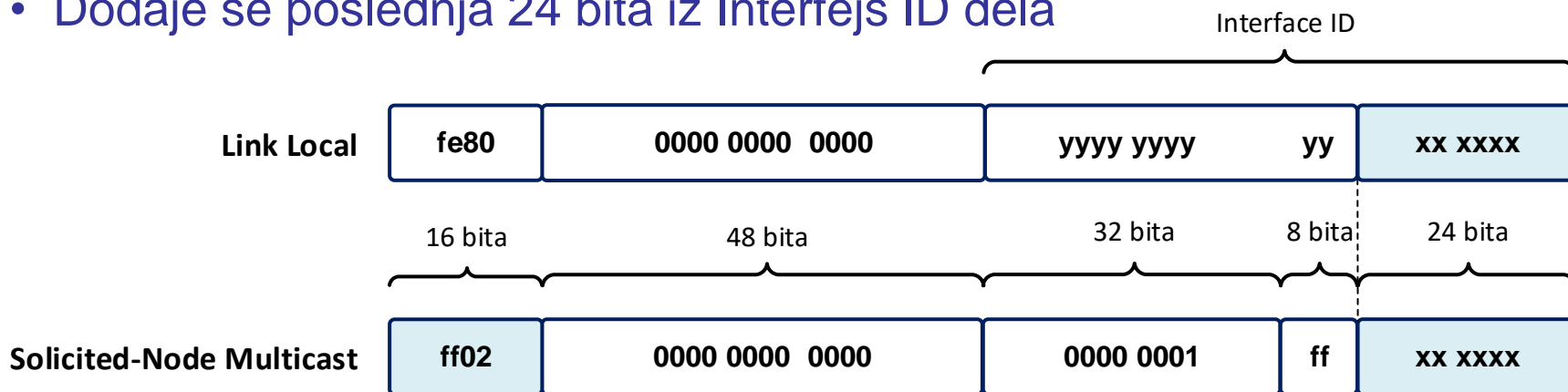
- **Primeri:**

- FF02::1 – adresa svih IPv6 uređaja, zamena za *broadcast*
- FF02::2 – adresa svih IPv6 rutera
- FF02::5 – adresa svih IPv6 OSPF rutera



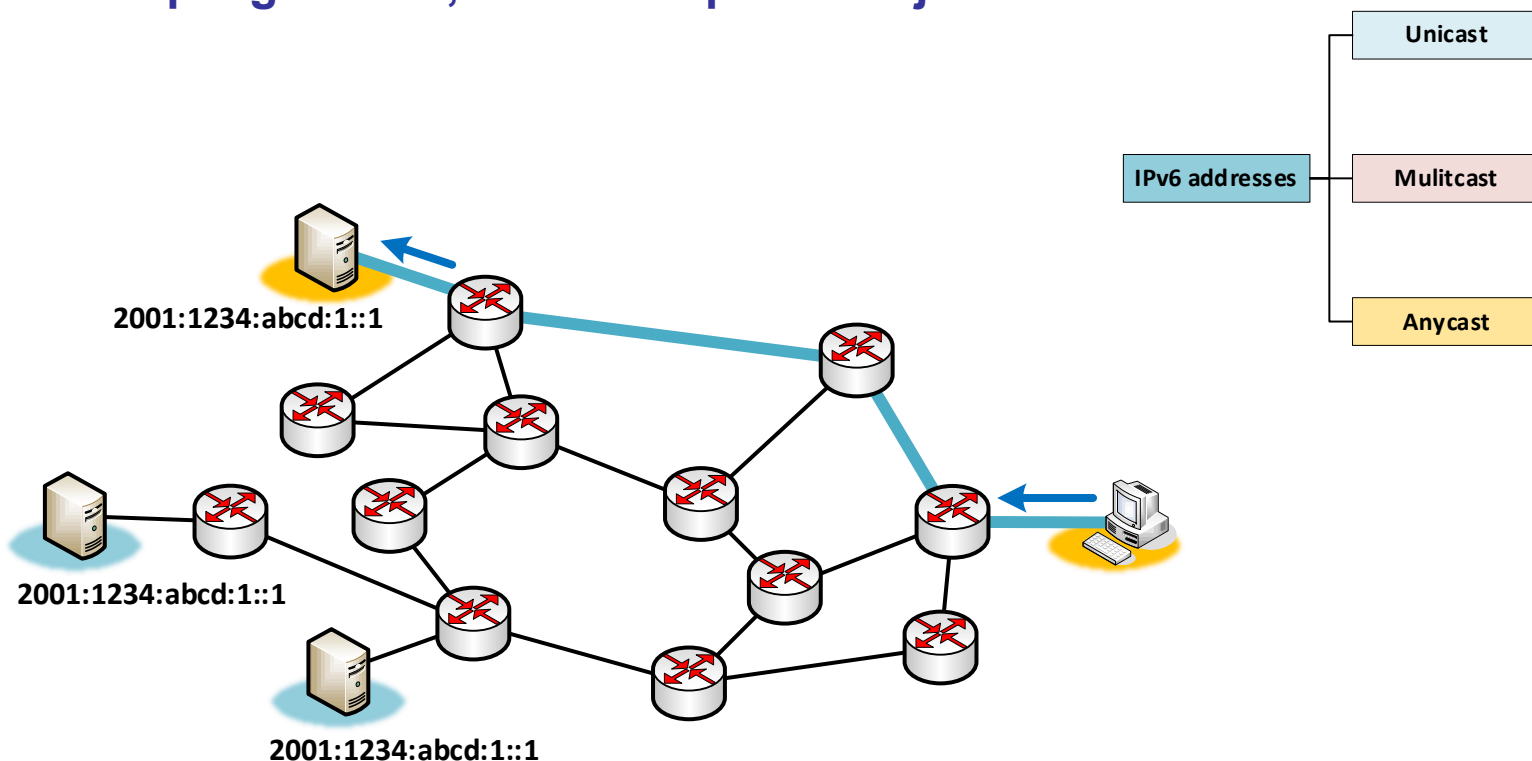
Solicited-Node Multicast adrese

- Odnose se na pojedinačne uređaje
- Automatski generisane iz: GUA, ULA i LLA
- Koriste se za internu komunikaciju - *Neighbor Discovery Protocol*
 - *Address Resolution* (ekvivalent ARP-a)
 - *Duplicate Address Detection* (DAD) – detekcija duplih adresa
- Mapiranje:
 - Fiksni prefix: **ff02:0:0:0:0:1:ff00::/104**
 - Dodaje se poslednja 24 bita iz Interfejs ID dela



Anycast adrese

- Identifikuje više interfejsa koji pripadaju i različitim uređajima, bilo gde na mreži
 - Više uređaja sa istom adresom na mreži
 - Paketi stižu samo do jednog najbližeg uređaja (određeno protokolom rutiranja i metrikom)
 - **Nije poseban opseg adresa, već koncept rutiranja *unicast* adresa**



Konfigurisanje IPv6 adresa

- Statičko

- Konfigurisanje cele adrese – 128 bita, nepraktično
- Konfiguracija samo mrežnog dela adrese – 64 bita
 - *Interface* ID se automatski postavlja po pravilu EUI-64

- Dinamičko

- *Stateful* DHCPv6 – po analogiji sa DHCP za IPv4
 - DHCPv6 pamti kom uređaju je dodelio koju adresu
- ***Stateless Address Autoconfiguration*** (SLAAC)
 - Automatsko uspostavljanje IPv6 adrese za hostove (interfejs)
 - Nova funkcija ugrađena u IPv6
 - Uređaji automatski saznaju
 - Mrežni deo od 64 bita (*site prefix*),
 - *Default Gateway*
 - DNS server (opciono)
 - *Interface* ID se automatski postavlja po pravilu EUI-64 ili slučajnim izborom

Konfigurisanje IPv6 adresa - primer

Konfigurisanje statičke IPv6 adrese:

```
interface Serial0/0/0
```

```
ipv6 address 2340:1111:1::1/64
```

```
R1#show ipv6 interface serial 0/0/0
```

```
IPv6 is enabled, link-local address is FE80::240:BFF:FEB2:48B6
```

```
Global unicast address(es):
```

```
2340:1111:1::1, subnet is 2340:1111:1::/64
```

Konfigurisanje dinamičke IPv6 adrese preko pravila EUI-64:

```
interface Serial0/0/0
```

```
ipv6 address 2340:1111:1::/64 eui-64
```

```
R1#show ipv6 interface serial 0/0/0
```

```
IPv6 is enabled, link-local address is FE80::240:BFF:FEB2:48B6
```

```
Global unicast address(es):
```

```
2340:1111:1:0:240:BFF:FEB2:48B6, subnet is 2340:1111:1::/64 [EUI]
```

ICMPv6

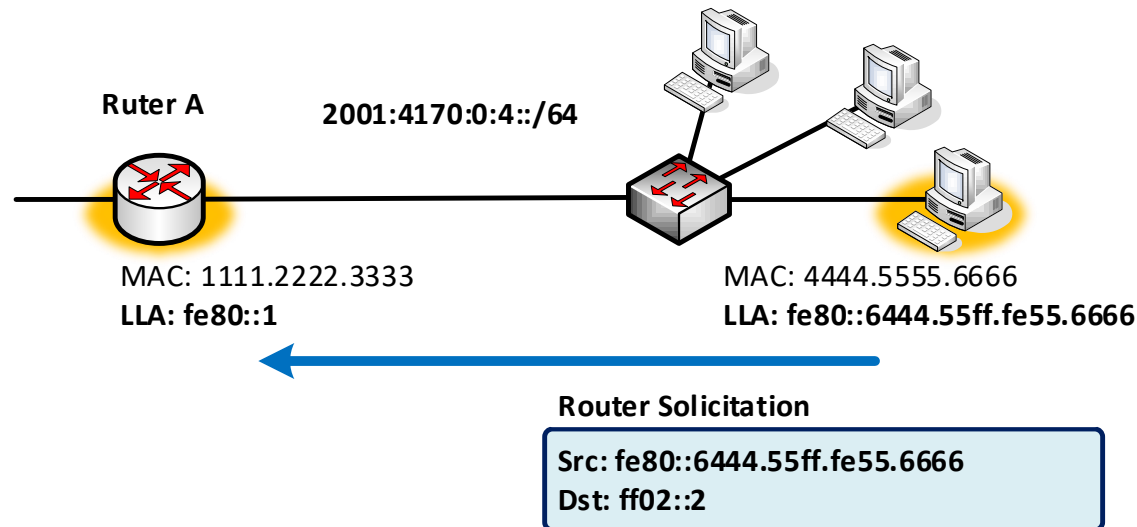
- ICMPv6 (*Internet Control Message Protocol*)
 - Slične funkcije kao kod ICMP za IPv4
 - **Error Messages** – poruke o grešci
 - *Destination Unreachable*
 - *Network Unreachable*
 - *Address Unreachable*
 - *Port Unreachable*
 - Reject route to destination
 - *Packet Too Big*
 - *Time Exceeded*
 - *Parameter Problem*
 - **Informational Messages** – Informacione poruke
 - Ping (*Echo Request/Echo Reply*)
 - *Multicast Listener Discovery*
 - *Neighbor Discovery Protocol*

NDP - *Neighbor Discovery Protocol*

- **ICMPv6 *Neighbor Discovery Protocol* (NDP)**, RFC 4861
 - NDP zamenjuje ARP, ICMP *Router Discovery* i ICMP *Redirect*
 - Funkcije:
 - ***Router discovery*** – otkrivanje svih povezanih rutera
 - ***Prefix discovery*** – otkrivanje mrežne adrese
 - ***Address Resolution*** – ekvivalentno ARP protokolu
 - ***Duplicate Address Detection*** – otkrivanje da li je adresa iskorišćena
 - ***Redirect*** – ekvivalentno „ICMP *Redirect*“ za IPv4
 - ***Neighbor Unreachability Detection***
 - Poruke:
 - *Router Solicitation* (RS) i *Router Advertisement* (RA)
 - *Neighbor Solicitation* (NS) i *Neighbor Advertisement* (RA)

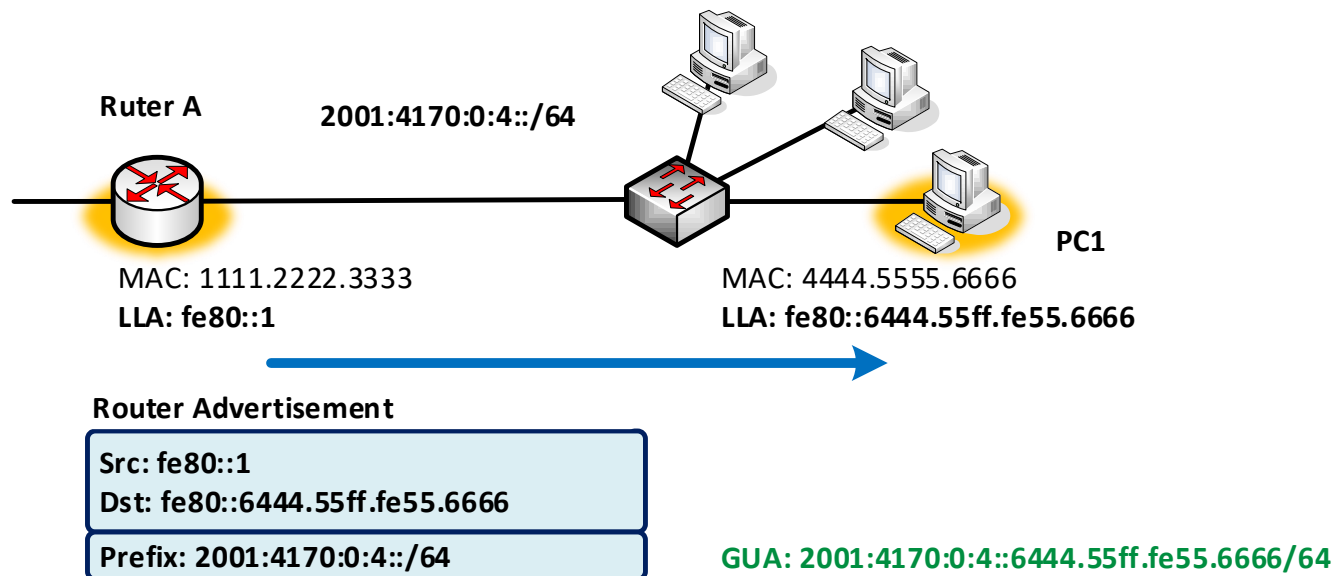
Autokonfiguracija IPv6 uređaja

- *Stateless Address Autoconfiguration (SLAAC)*
 - Koristi se NDP u dva koraka
- **1. korak** – uređaj šalje upit ruteru preko **Router Solicitation (RS)** poruke
 - Uređaj šalje upit svim ruterima na lokalnoj mreži
 - Izvorišta IP adresa: *Link-Local* adresa uređaja
 - Odredišna IP adresa: multikast adresa FF02::2 (*All IPv6 Routers*)



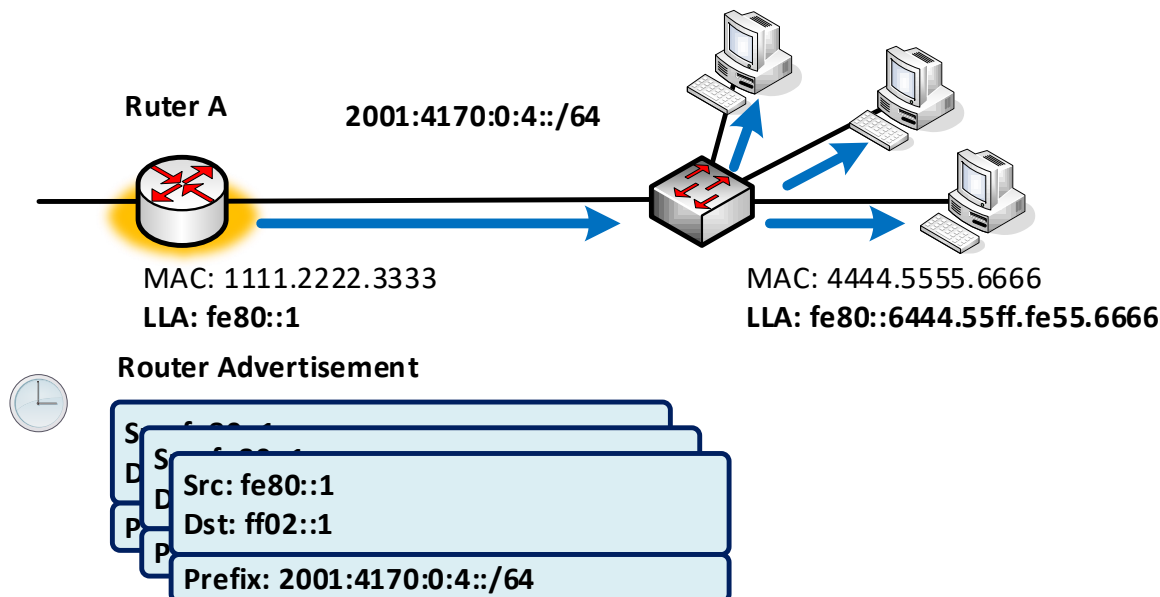
Autokonfiguracija IPv6 uređaja

- **2. korak** – ruter odgovara slanjem **Router Advertisement** (RA) poruke
 - Interfejs rutera je konfigurisan sa unicast IPv6 adresom
 - RA poruka, kao odgovor na RS:
 - Izvorišna IP adresa: *Link-Local* adresa rutera
 - Odredišna IP adresa: *Link-Local* adresa uređaja
 - Sadržaj: mrežna adresa (prefiks), opciono i DNS
 - *Default Gateway* – uzima se izvorišna IP adresa (*Link-Local* adresa rutera)
 - Uređaj sam određuje *Interfejs ID* koristeći EUI-64 ili *random* pravilo



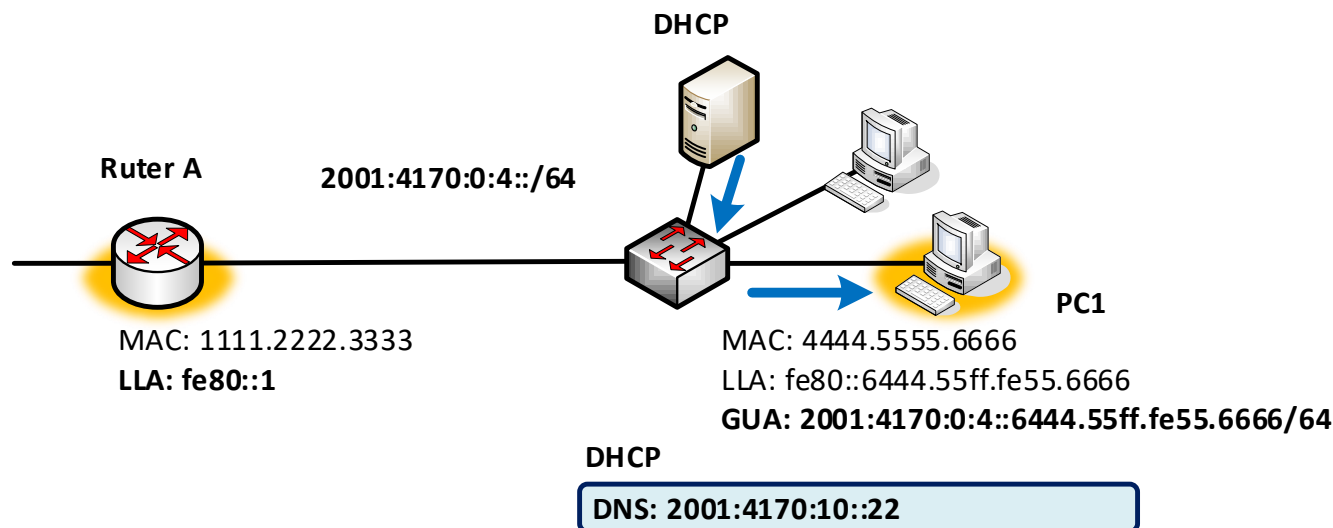
Autokonfiguracija IPv6 uređaja

- Nezavisno od RS poruke, ruteri periodično samostalno oglašavaju RA poruke
 - Izvorišna IP adresa: *Link-Local* adresa rutera
 - Odredišna IP adresa: FF02::1 (*All IPv6 Devices*)
- Period oglašavanja
 - Cisco ruteri: 200 sekundi



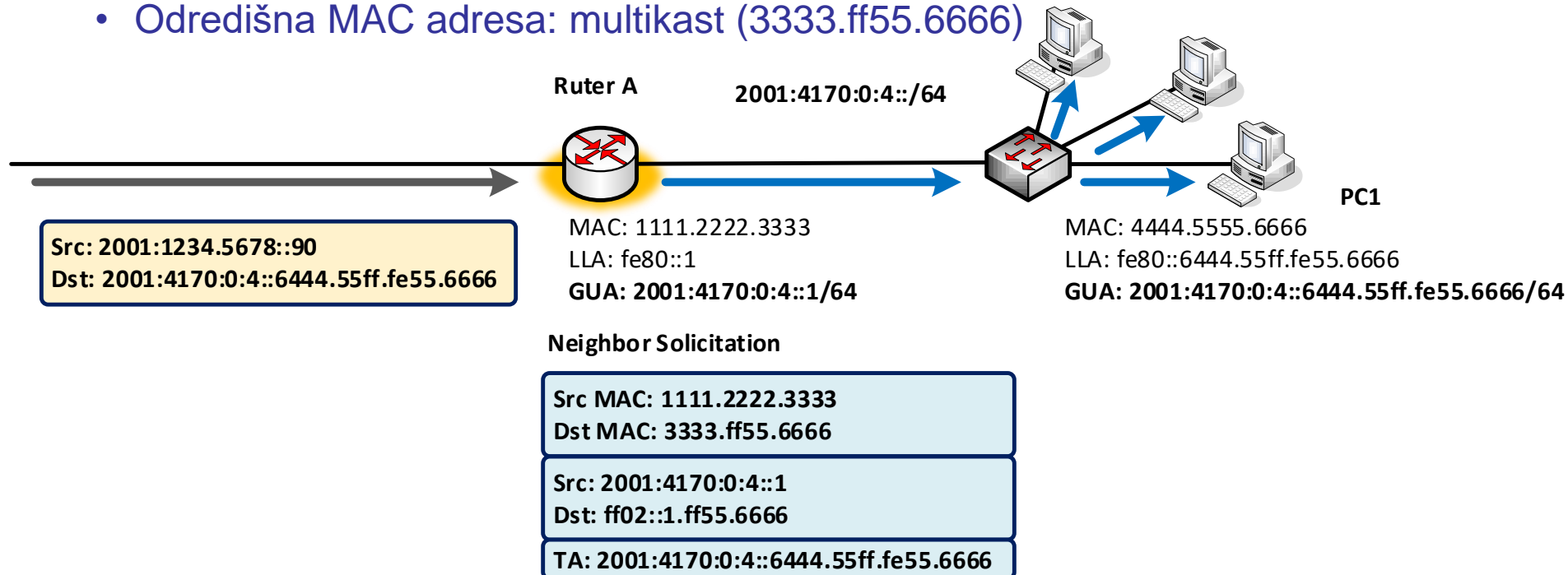
Dodela DNS servera

- Slanje adrese DNS server – opciono polje u RA poruci
- Alternative
 - *Stateless* DHCPv6
 - Dodeljuje se samo DNS server (i još poneki parametri), ali ne i IP adrese
 - Ne pamti se šta je poslato pojedinačnim uređajima (jer se svima šalju iste informacije)
 - *Stateful* DHCPv6
 - Dodeljuje se IPv6 adresa, maska, *Default Gateway*, DNS server i ostali parametri
 - Pamti se koje su adrese dodeljene
- DNS server
 - AAAA zapis – IPv6 adrese



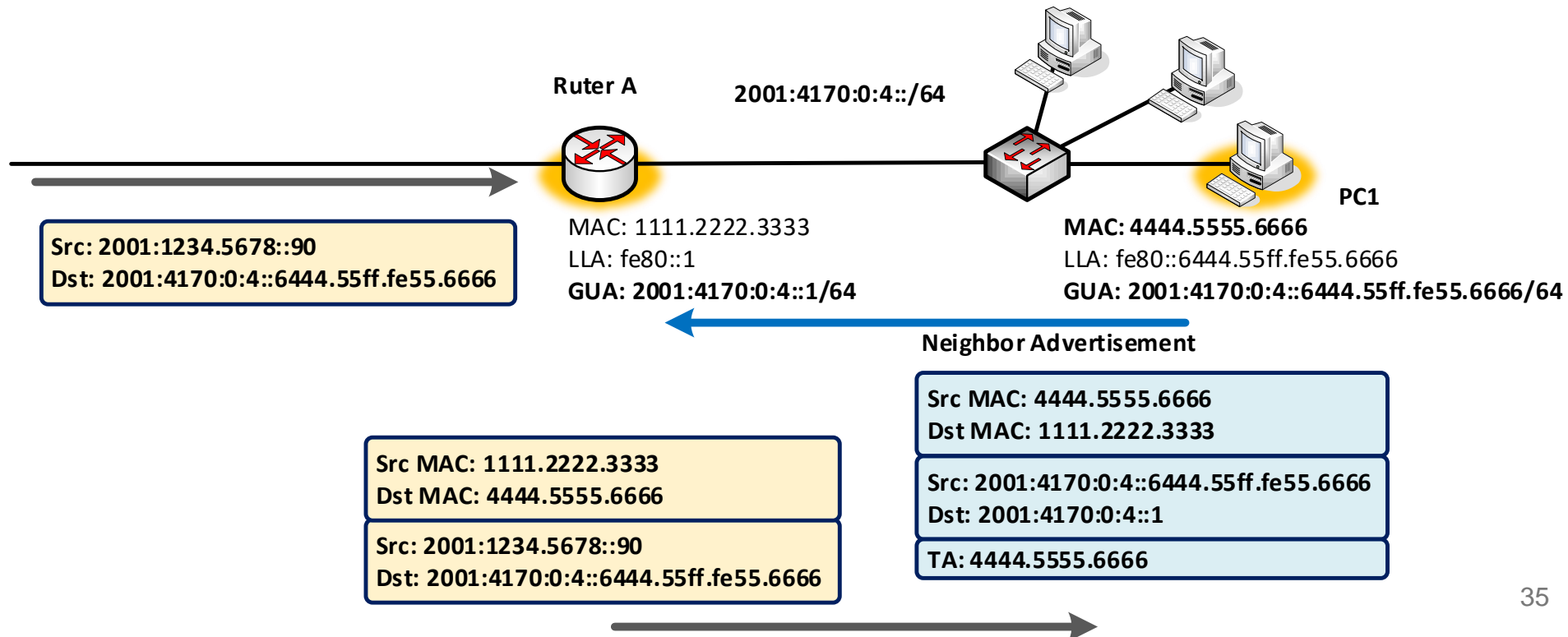
Address Resolution

- Ekvivalent ARP protokola - za poznatu IPv6 adresu traži se MAC adresa
 - Sprovodi se u dva koraka
- **1. korak** – uređaj šalje upit preko **Neighbor Solicitation** (NS) poruke
 - Šalje bilo koji uređaj kome je potrebna MAC adresa da prosledi IPv6 paket
 - Izvorišna adresa: unikast adresa uređaja koji zahteva MAC adresu
 - Odredišna adresa: *Solicited-Node Multicast* adresa uređaja za poznatu IP adresu
 - Odredišna MAC adresa: multikast (3333.ff55.6666)



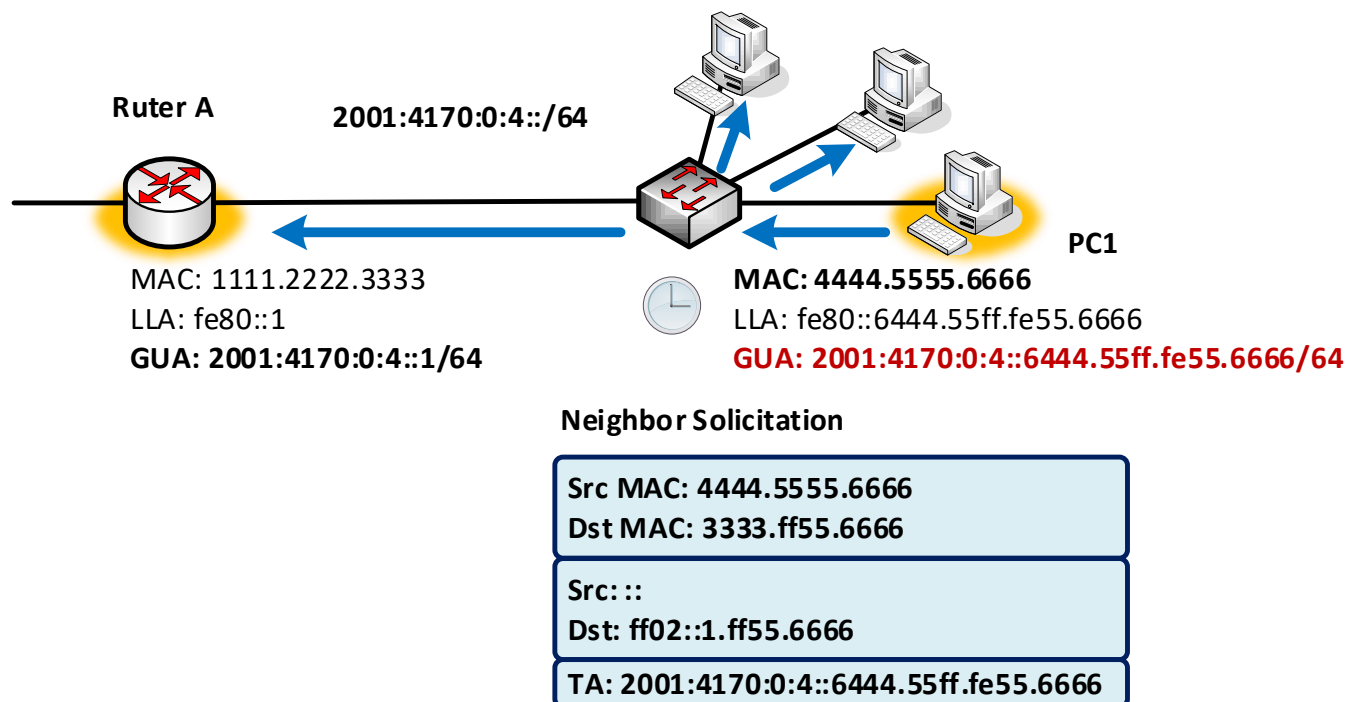
Address Resolution

- **2. korak** – prozvani uređaj šalje *Neighbor Advertisement* (NA) poruku
 - Odgovara uređaja sa navedenom *Solicited-Node Multicast* adresom iz NS poruke
 - Izvorišna adresa: unikast adresa uređaja koji šalje NA poruku
 - Odredišna adresa: unikast adresa uređaja koji je poslao NS poruku
 - Sadržaj: zahtevana MAC adresa uređaja koji šalje NA poruku



Duplicate Address Detection (DAD)

- Provera da li već postoji adresa koja se želi koristiti (RFC 4861)
 - Automatski se sprovodi za ručno postavljene adrese, SLAAC i DHCPv6
- Šalje se upit za adresu koja se želi koristiti (*Neighbor Solicitation*) i čeka se da li će neko da odgovori (*Neighbor Advertisement*)



IPv6 protokoli rutiranja

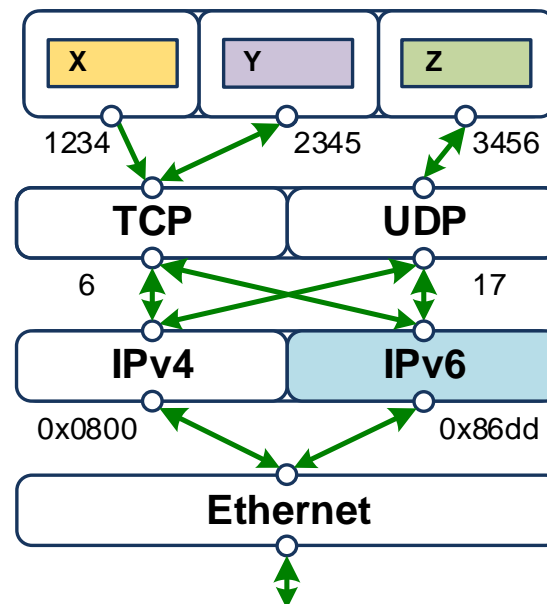
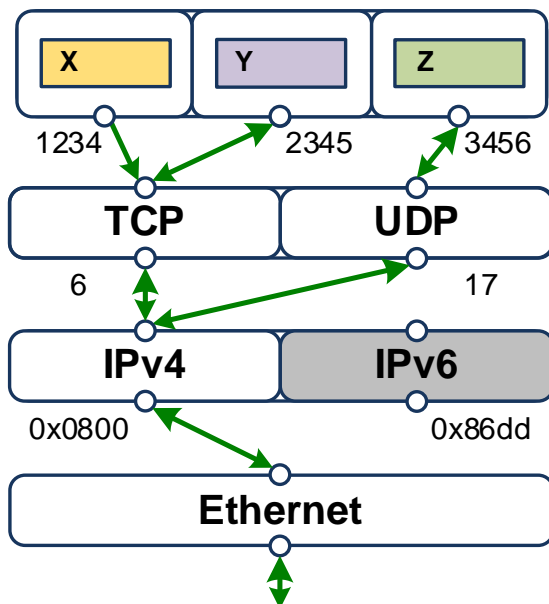
- IPv6 Rutiranje – isti principi kao i kod IPv4
 - Destination-based
 - Na osnovu destinacione adrese
 - *Longest-prefix match*
 - Nalaženje najspecifičnije odredišne mreže u rutirg tabeli
- Protokoli rutiranja za IPv6
 - Nove verzije postojećih protokola
 - RIPng
 - OSPFv3
 - IS-IS
 - *Multiprotocol* BGP

IPv6 i IPv4

- Prelazak sa IPv4 na IPv6
 - Inertan, komplikovan i dugotrajan proces
 - Potrebno je obezbediti postepeno uvođenje IPv6 i integraciju u postojeće IPv4 mreža i aplikacija
- Mehanizmi tranzicije sa IPv4 na IPv6
 - **IPv4/IPv6 Dual Stack**
 - Istovremeni radi i IPv4 i IPv6
 - **IPv6 Tunelovanje** (*IPv6 Tunneling*)
 - Enkapsulaciji IPv6 paketa u IPv4 paket
 - **Mehanizam translacije protokola** (*Protocol Translation*)
 - Translaciji IPv6 paketa u IPv4 paket i obratno
 - Omogućava komunikaciju IPv6 i IPv4 uređaja

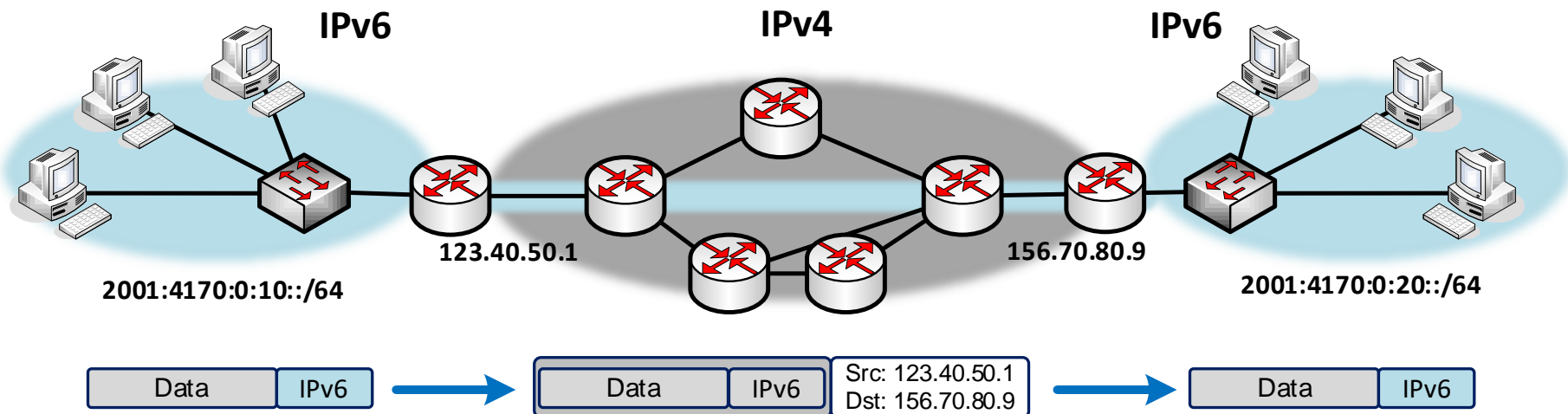
IPv4/IPv6 Dual stack

- Dvostruki IP sloj – i IPv4 i IPv6
 - Identifikator IPv6 protokola na L2 nivou je 86dd
- Svi protokoli viših slojeva mogu komunicirati preko IPv4 i IPv6
- Pojedine aplikacije će prvo pokušati komunikaciju preko IPv6
 - Npr. pristup veb sajtovima, DNS vraća i A i AAAA zapis



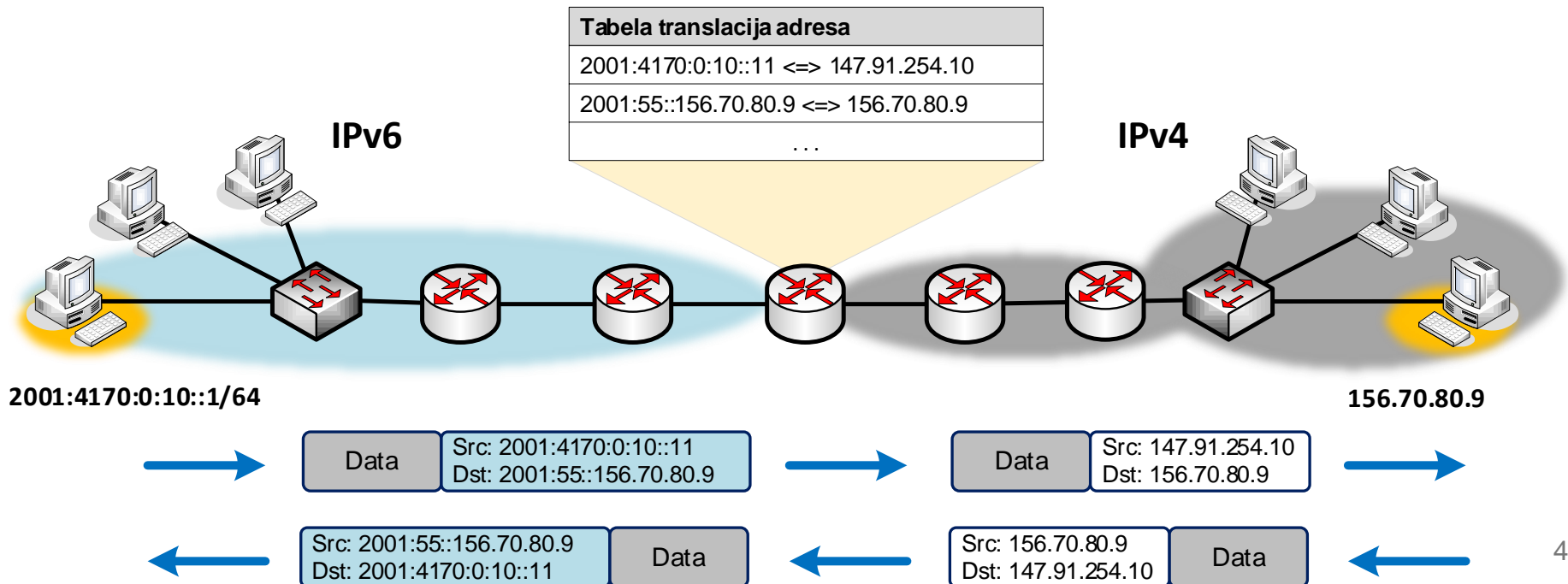
IPv6 tunelovanje

- Mogućnost komunikacije IPv6 mreža, koje su povezane preko IPv4 mreže
 - Bez potrebe za izmenom postojeće IPv4 infrastrukture
- Na prelasku iz IPv6 u IPv4 – IPv6 paketi se enkapsuliraju u IPv4 pakete
 - IPv4 zaglavlje: IPv4 adrese rutera koje formiraju „tunel“
- Na prelasku iz IPv4 u IPv6 – IPv6 paketi se dekapuliraju iz IPv4 pakete
 - IPv6 zaglavlje: IPv6 adrese originalnog izvorišta i odredišta
- Efekat: IPv6 komunikacija između IPv6 domena
 - IPv4 domen je transparentan za učesnike u IPv6 komunikaciji
 - IPv6 tunel preko IPv4 mreže – ekvivalent jedne fizičke veze (1 korak)










Translacija protokola

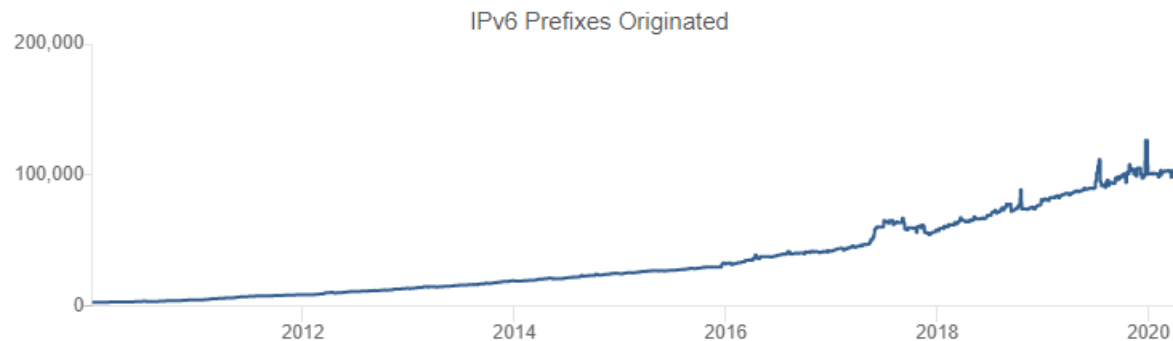
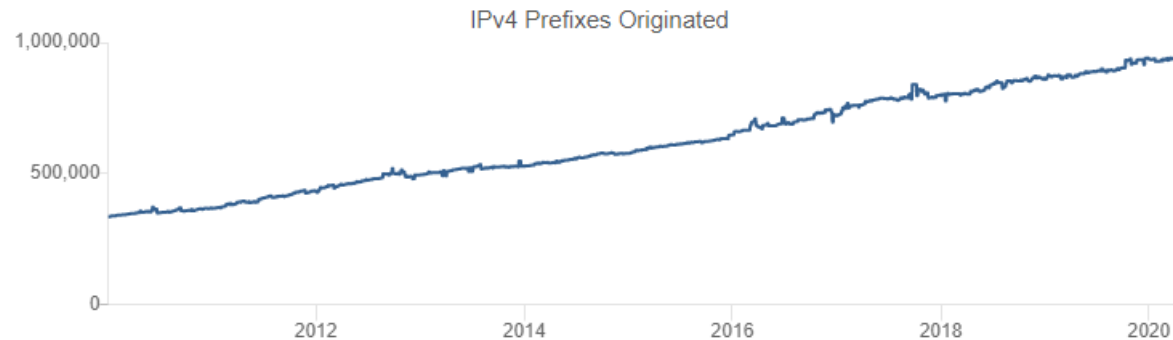
- Direktna komunikacija između IPv6 i IPv4 uređaja
 - Translaciju IPv6 i IPv4 adresa
 - NAT-PT – *Network Address Translation – Protocol Translation*
 - Slično kao i IPv4 NAT
 - Zamena adresa u zaglavlju na graničnom ruteru između IPv6 i IPv4 domena



IPv6 vs. IPv4

- Izvor: Hurricane Electric (<http://bgp.he.net/report/prefixes>)

Country		IPv4			IPv6		
		Prefixes	ASN	Prefixes/ASN	Prefixes	ASN	Prefixes/ASN
United States		244,263	19,356	12	25,701	3,511	7
China		69,212	7,504	9	4,932	315	15
Brazil		43,288	717	60	12,585	4,146	3
India		38,224	1,954	19	5,841	378	15
Russian Federation		38,096	5,252	7	2,495	915	2
Japan		11,135	725	15	5,401	336	16
Serbia		1,499	172	8	63	32	1



Zaključak

- IPv6 protokol postaje sadašnjost računarskih mreža i Interneta
- Noviji operativni sistemi imaju podršku za IPv6
- Problemi:
 - Nedovoljna podrška novih aplikacija
 - Inertnost mrežnih administratora
 - Mora se obezbediti prelazni režim – mehanizmi tranzicije

Literatura

- Wendell Odom
„CCNA - Cisco official exam certification guide“
Cisco Press
- Rick Graziani
„IPv6 Fundamentals:
A Straightforward Approach to
Understanding IPv6“
Cisco Press

