

# Računarske mreže

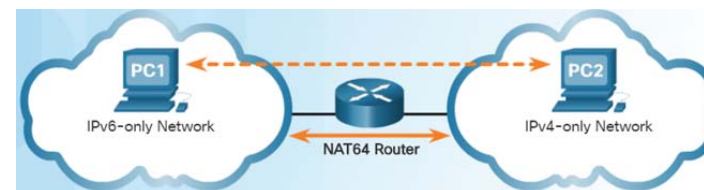
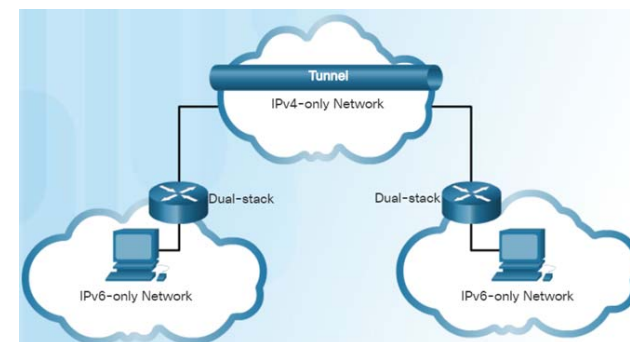
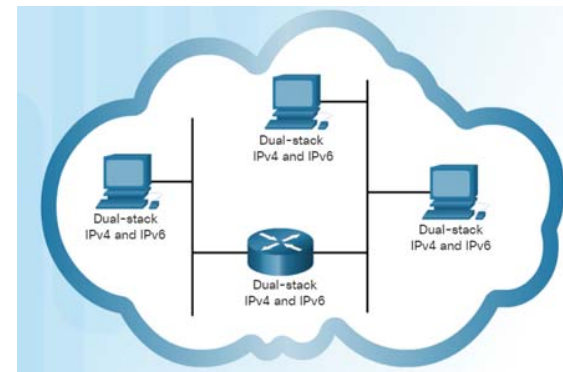
## IPv6

# Osnove IPv6

- Daleko veći adresni prostor – 128-bit IP adrese
- Jednostavnije zaglavlje fiksne veličine
- Mogućnost autokonfiguracije
- Unapređen multicast (nema više broadcast-a)
- Pojednostavljeno, a efikasnije rutiranje
- Ugrađena autentifikacija i enkapsulacija sigurnog sadržaja

# Suživot IPv6 i IPv4

- **Dualni stek** – na uređajima se oba protokola izvršavaju simultano
- **Tunelovanje** – prenos IPv6 paketa preko IPv4 mreže enkapsulacijom u IPv4 pakete
- **Prevođenje** – NAT64 prevodi IPv6 u IPv4 pakete i obrnuto



# Skraćivanje zapisa adrese

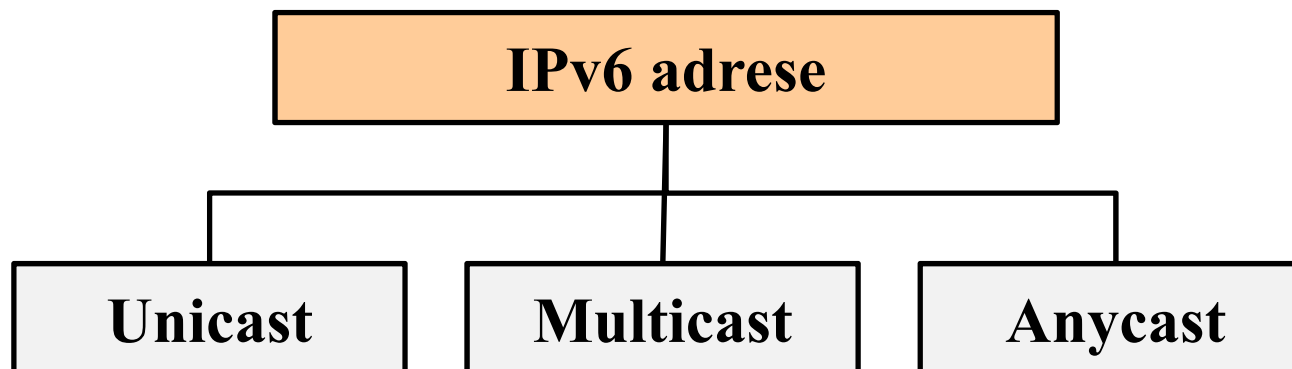
1. Ukloniti sve početne 0 u svakoj grupi od po 4 heksa cifre.
2. Grupu od 2 ili više četvorki koje su sačinjene od svih nula zameniti dvostrukom dvotačkom – ::

FE00:0000:0000:0001:0000:0000:0000:0056

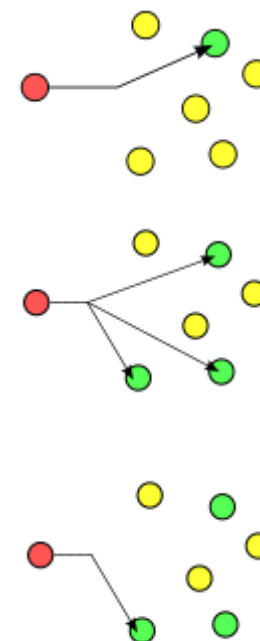
FE00:0:0:1:0:0:0:56 - primena pravila 1

FE00:0:0:1::56 - primena pravila 2

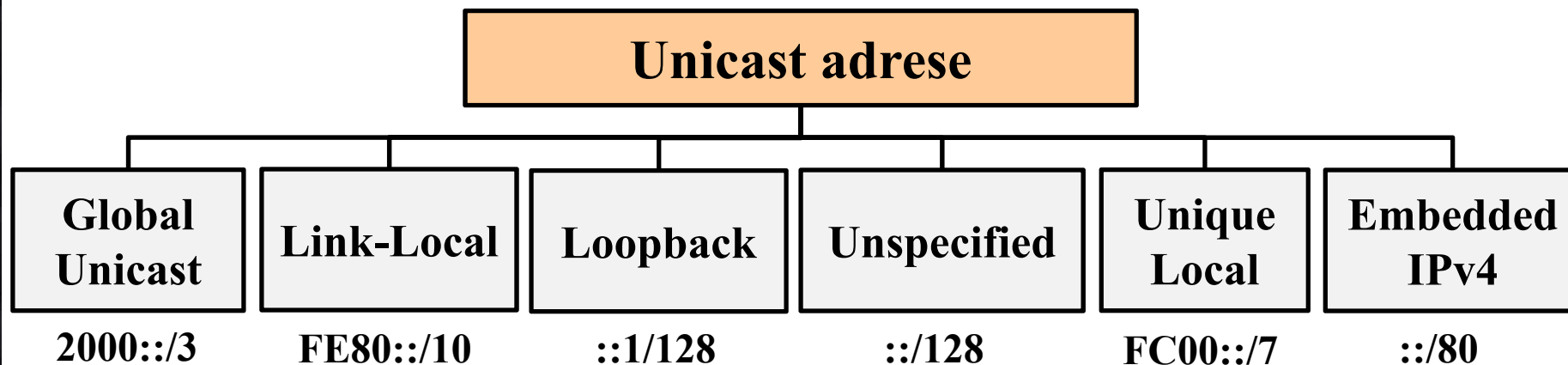
# Tipovi IPv6 adresa



- **Unicast** – jedinstvena adresa odredišta, koristi se u komunikaciji **jedan-na-jedan**,
- **Multicast** – adresa grupe, koristi se u komunikaciji **jedan-na-više**,
- **Anycast** – adresa grupe, koristi se u komunikaciji **jedan-na-jedan-iz-grupe**, odredište može biti bilo ko iz grupe, obično je topološki najbliži čvor.



# Unicast IPv6 adrese



**Global Unicast** – ekvivalent IPv4 javnim adresama,

**Link-Local** – adrese ograničene samo na jedan link/podmrežu, ne rutiraju se, IPv6 uređaji mogu da ih sami generišu (ne moraju da imaju GU, ali moraju LL), koriste se za komunikaciju sa lokalnim ruterom, DHCPv6 serverom, default gateway je LL adresa rutera, koriste je protokoli za rutiranje prilikom uspostavljanja susedstva, koriste se kao sledeći skok u tabelama rutiranja kod dinamički naučenih ruta,

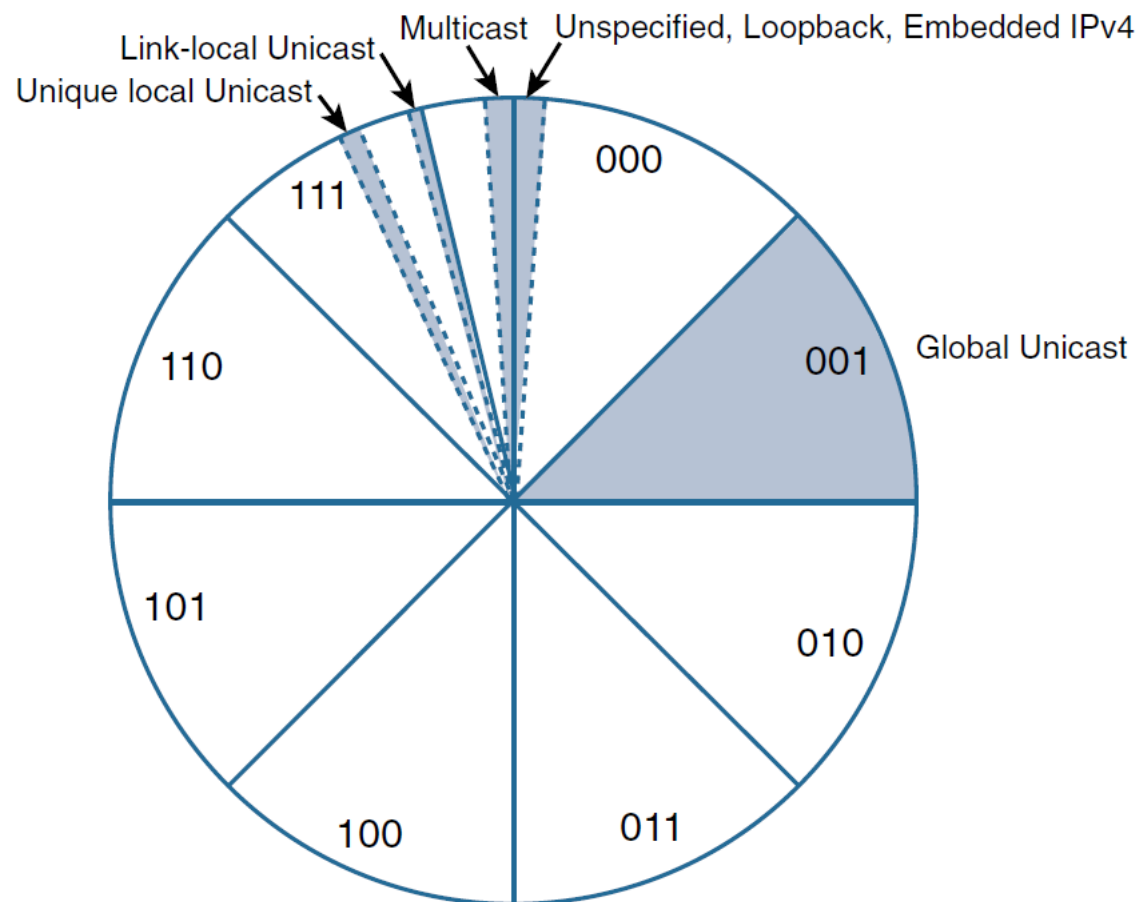
**Loopback** – ekvivalent 127.0.0.1 kod IPv4, paket ne napušta interfejs, služi za testiranje

**Unspecified** – adresa sa svim nulama, postavlja se inicijalno dok se ne postavi adresa,

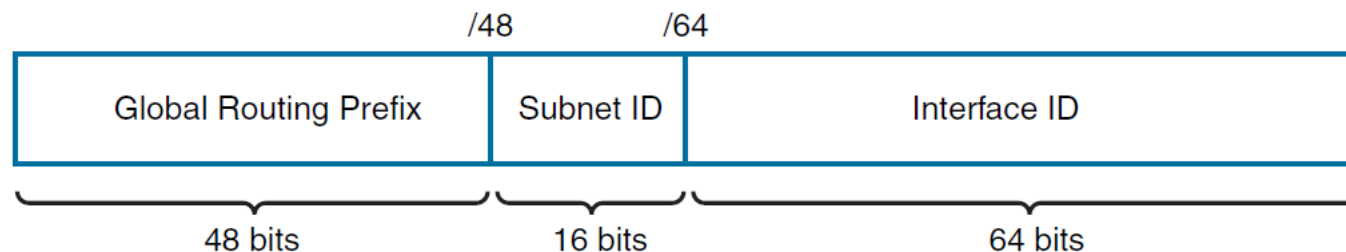
**Unique Local** – ekvivalent IPv4 privatnim adresama,

**Embedded IPv4** – IPv4 adresa u IPv6 prostoru, koristi se pri tunelovanju, prvih 64 bit su nule, narednih 16 su nule ili FFFF (zavisno od primene) i poslednjih 32 je IPv4 adresa.

# Alokacija IPv6 adresa



# Global Unicast adresa

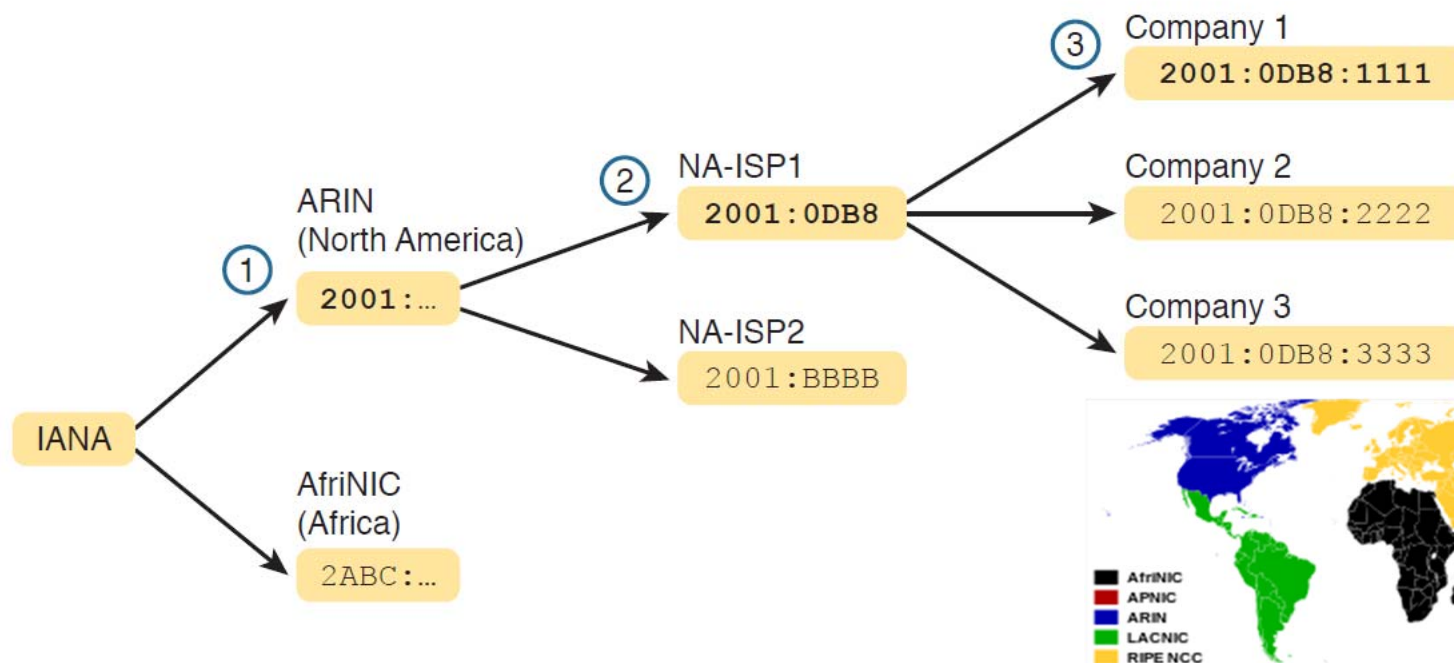


- Čine je 3 polja
  - **Global Routing Prefix** – adresa mreže kod IPv4, počinje sa **2000::/3** (tj. sa 2 ili 3), obično 48 bita,
  - **Subnet ID** – podmreža, obino 16 bita
  - **Interface ID** – adresa hosta kod IPv4, promenjeno je ime polja, jer host može imati više interfejsa, a svaki interfejs treba da ima svoju adresu, obično 64 bita.

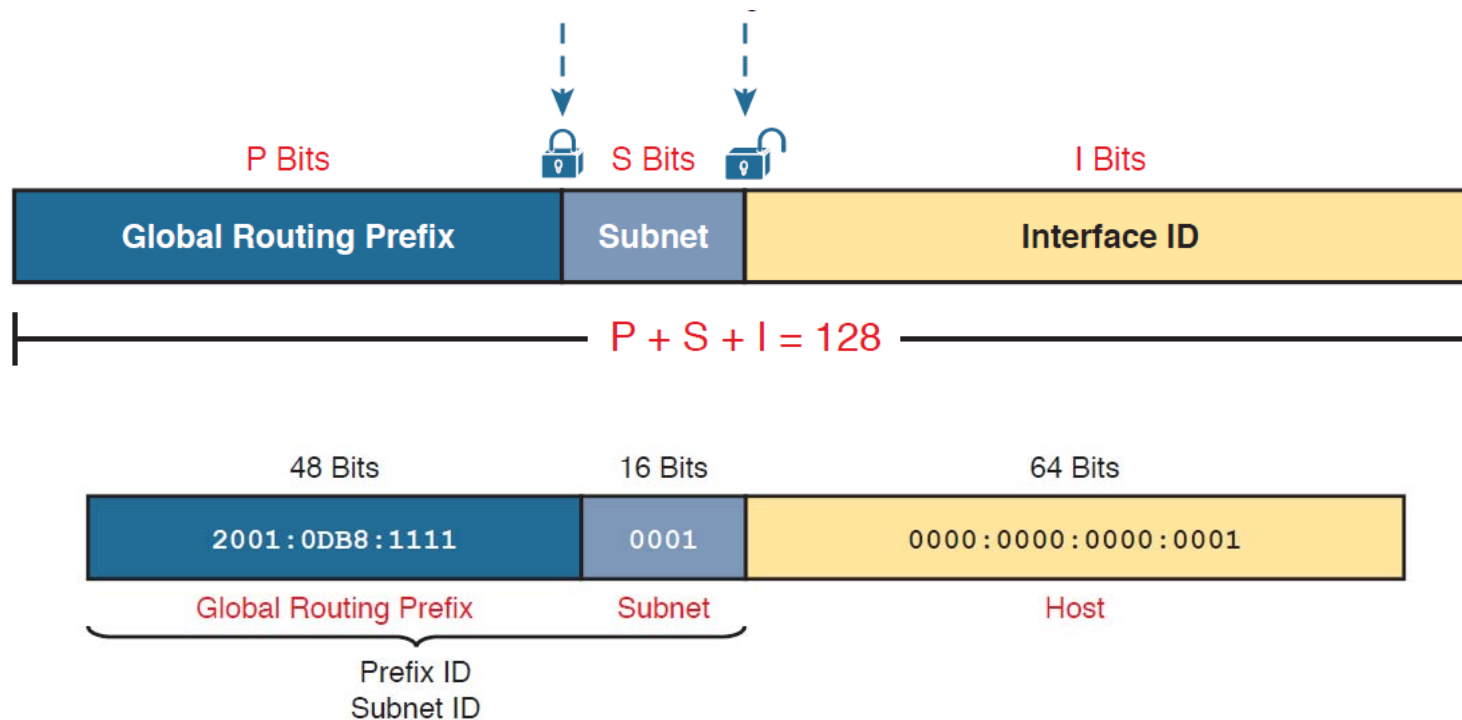


# Primer dodele prefiksa

- IANA dodeljuje ARIN (RIR za Severnu Ameriku) prefiks **2001::/16**
- ARIN dodeljuje NA-ISP1 **2001:0DB8::/32**
- NA-ISP dodeljuje kompaniji 1 **2001:0DB8:1111::/48**

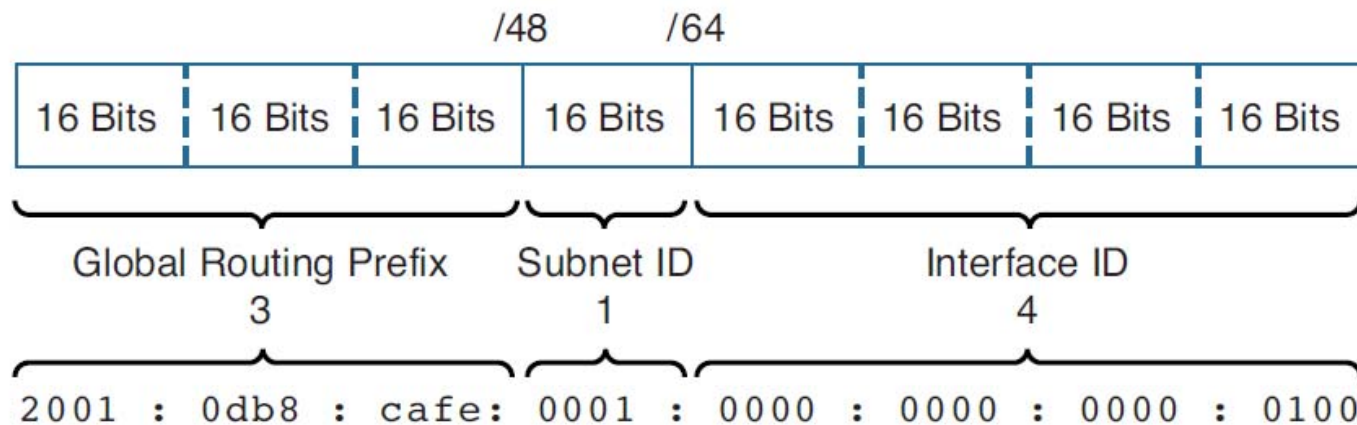


# Podmreže



# Prepoznavanje GU adrese

## $\pi$ - pravilo



### Pravilo 3-1-4:

- 3 grupe hekso cifara čine globalni prefiks rutiranja,
- 1 grupa hekso cifara čini pod mrežu i
- 4 grupe hekso cifara čine ID interfejsa.

# Dodela GU adresa

- Ručna
  - Ručna
  - Ručna + EUI-64
  - IPv6 Unnumbered
- Dinamička
  - Bez praćenja tekućeg stanja
    - SLAAC
    - SLACC + DHCPv6
  - Sa praćenjem stanja
    - DHCPv6

# Ručna dodela GU adresa

- Konfiguracija ista kao kod statičke IPv4 adrese

- Na ruteru:

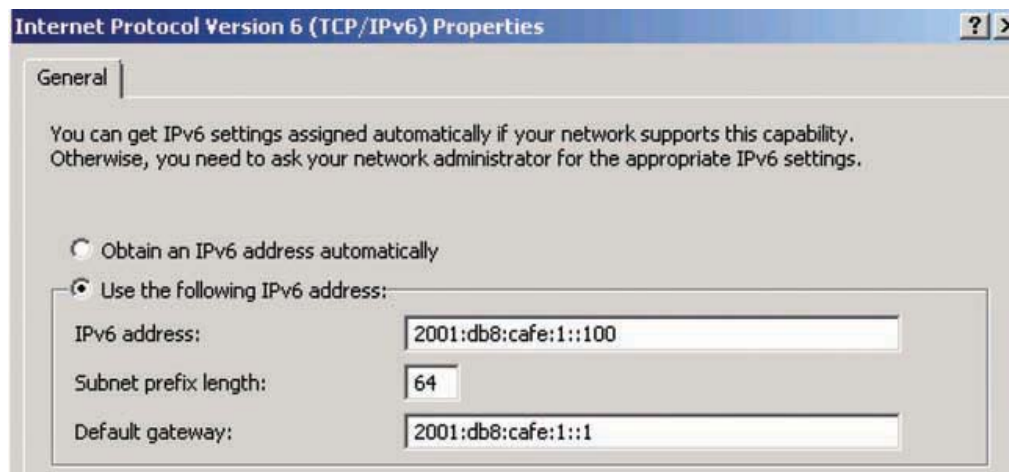
```
R1(config)# interface gigabitethernet 0/0
```

```
R1(config-if)# ipv6 address 2001:db8:cafe:1::1/64
```

```
R1(config-if)# no shutdown
```

```
R1(config-if)# exit
```

- Na računaru:



# Ručna + EUI-64

- Definiše se prefiks i njegova dužina
- Interface ID se kreira automatski korišćenjem EUI-64 procesa

- Konfiguracija na ruteru

Router(config-if)# **ipv6 address** *ipv6-prefix/prefix-length* **eui-64**

- Primer

R1(config)# **interface g 0/0**

R1(config-if)# **ipv6 address 2001:db8:cafe:1::/64 eui-64**

R1(config-if)# **end**

# EUI-64 proces

MAC adresa

FC 99 47 75 CE E0

FC 99 47 **FF** **FE** 75 CE E0

Ubacivanje  
FF FE  
bajtova

1111 11**00**

Inverovanje  
sedmog bita u  
prvom bajtu

1111 11**10**

**FE** 99 47 **FF** **FE** 75 CE E0

IPv6 adresa

2001:1DB8:CAFE:1001

Preuzeti ili definisani deo

FE99:47FF:FE75:CEE0

EUI-64 generisani deo

# IPv6 Unnumbered

- Omogućuje da interfejs koristi istu IPv6 adresu kao neki drugi interfejs sa istog uređaja. Kod IPv4 je služila da sačuva adresni prostor. Kod IPv6 je vrlo ograničena primena.
- Konfiguracija na ruteru (navodi se ID interfejsa sa koga se preuzima adresa)

```
Router(config-if)# ipv6 unnumbered interface-type interface-number
```

- Primer

```
Router(config)# interface gigabitethernet 0/0
```

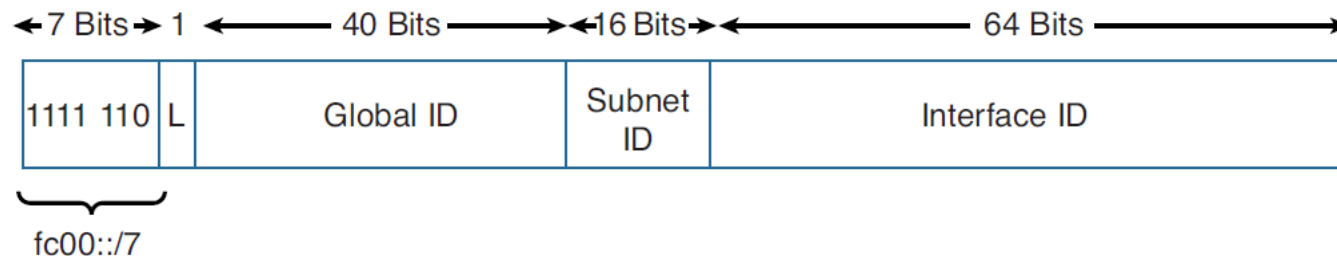
```
Router(config-if)# ipv6 address 2001:db8:abcd:1234::1/64
```

```
Router(config)# interface serial 0/0/1
```

```
Router(config-if)# ipv6 unnumbered gigabitethernet 0/0
```

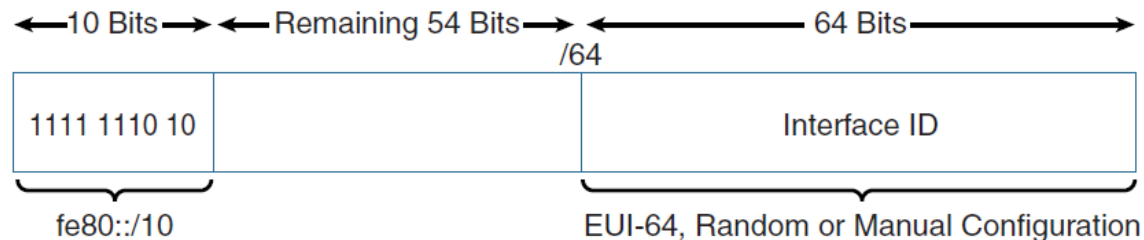


# Unique Local adresa



- UL adrese su **privatne** IPv6 adrese i nikada se ne rutiraju niti postoji NAT za prevođenje.
- **L** fleg (*local*)
  - FC00::/8 (1111 1100) – rezervisano za buduću upotrebu,
  - FD00::/8 (1111 1101) – adresa je lokalno dodeljena.
- Danas, praktično, samo **FD00::/8** predstavljaju UL adrese.
- Da bi se omogućilo kasnije spajanje lokalnih mreža sa privatnim adresama, poželjno je da se generiše pseudo-jedinstveni **Global ID** deo adrese (RFC 4193).

# Link-Local adresa

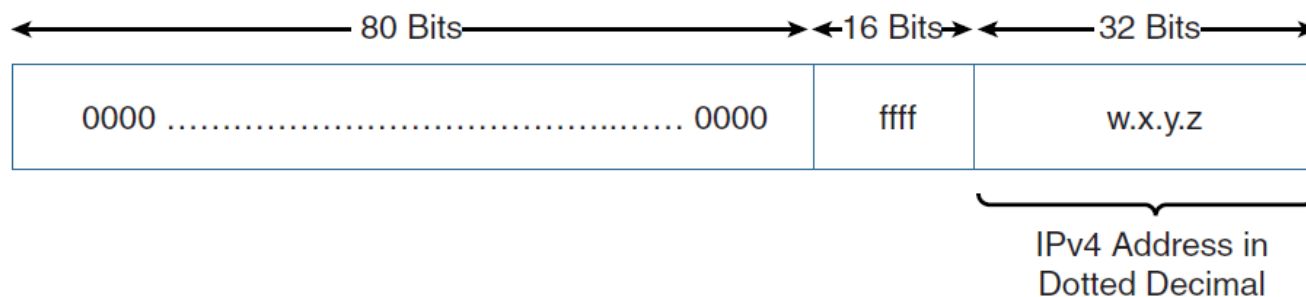


- Cisco IOS automatski kreira LL adresu kad god se postavi GU ili UL adresa na dati interfejs,
- kada se obriše GU ili UL adresa sa interfejsa, briše se i LL adresa,
- osim ako nije uneta komanda **ipv6 enable** na datom interfejsu, kada se ne briše.
- Prefiks je obično **FE80::/64**, a Interface ID se automatski generiše kao:
  - EUI-64 (Cisco IOS, Mac OS, Linux)
  - Pseudo-slučajno generisan (Windows)
  - Cryptographically Generated Addresses (Mac OS 10.11+)
- Ručno postavljanje:
  - R1(config-if)# **ipv6 address fe80::1 link-local**

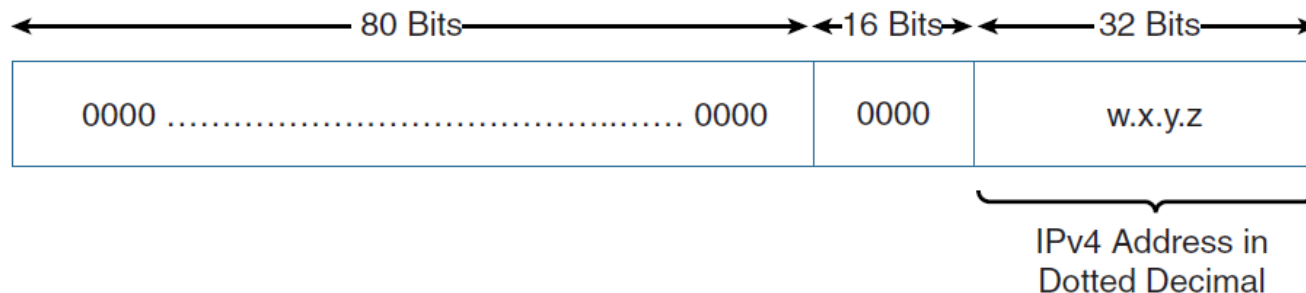
# IPv4 Embedded adrese

- **IPv4-mapirane IPv6 adrese**

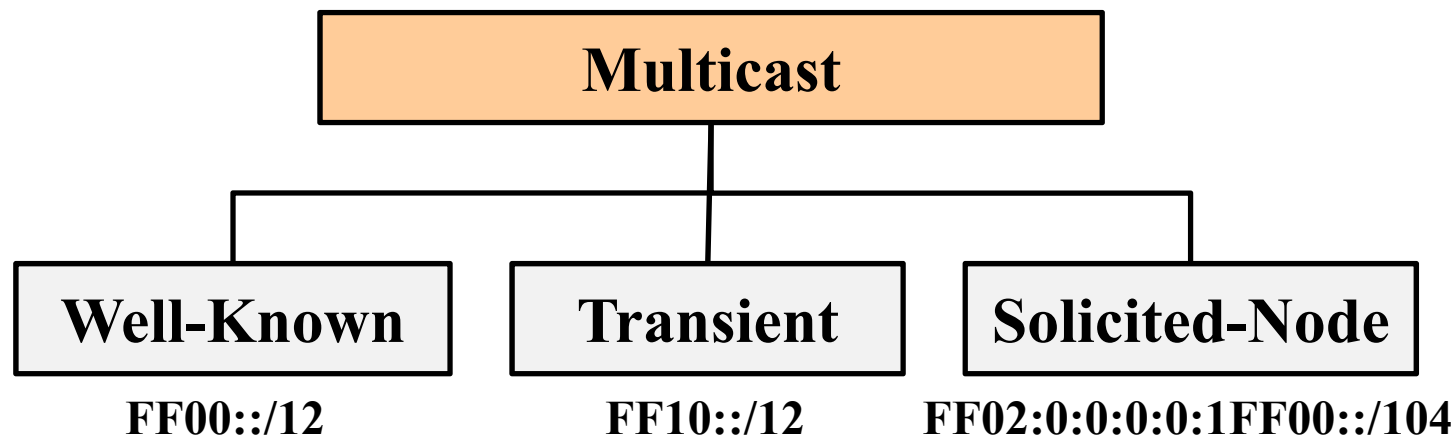
Koriste se na dual-stek uređajima koji treba da pošalju IPv6 paket IPv4 uređaju.



- **IPv4-kompatibilne IPv6 adrese (zastarelo)**

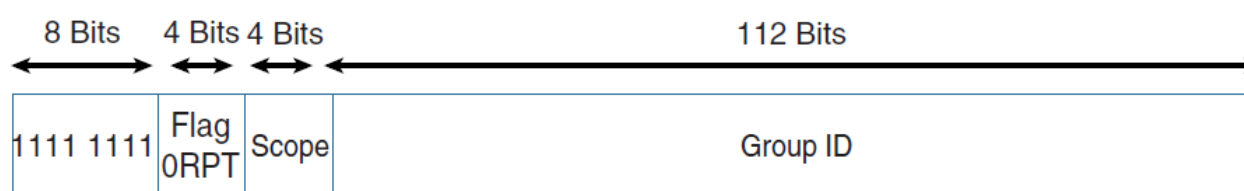


# Multicast adrese



- **Well-Known** – koriste se za protokole rutiranja otkrivanja i održavanja topologije,
- **Transient** – dinamički se dodeljuju od strane multicast aplikacija (softvera) i koriste se za prenos videa, slika ili backup-a,
- **Solicited-Node** – novitet IPv6, efikasnija varijanta IPv4 broadcast-a.

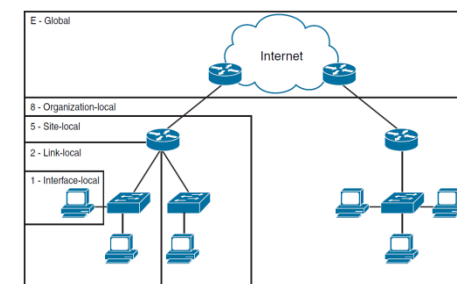
# Struktura multicast adrese



## Scope

- 0 Reserved
- 1 Interface-Local scope
- 2 Link-Local scope
- 3 Unicast-Prefix-based address
- 4 Admin-Local scope
- 5 Site-Local scope
- 6 Unassigned
- 7 Rendezvous Point flag
- 8 Organization-Local scope
- 9 Thru D unassigned
- E Global scope
- F Reserved

- Počinje prefiksom **FF00::/8**.
- Naredna 4 bita su flegovi, od kojih poslednji definiše:
  - permanentne (0) adrese, tj. predefinisane multicast adrese, dodeljene od strane Internet Assigned Numbers Authority (IANA),
  - nepermanentne (1) adrese, tranzijentne, dinamički dodeljene od strane multicast aplikacija
- Naredna 4 bita definišu opseg (Scope) do koga ruteri mogu da prosleđuju multicast pakete (FF02::2 – all local-link routers, FF05::02 – all site routers)
- Poslednja 112 bitova predstavljaju ID grupe
  - **::1** – svi čvorovi,
  - **::2** – svi ruteri,
  - **::9** – RIP ruteri.



# Solicited-Node adrese

- Koriste se za preslikavanje mrežnih na fizičke adrese (ono što je radio ARP kod IPv4).
- Automatski se kreiraju na osnovu unicast adrese, dodavanjem poslednjih 24 bita te adrese na prefiks **FF02:0:0:0:0:1:FF00::/104**.
- Npr. ako je LL adresa **FE80::2AA:FF:FE28:9C5A**, tada je Solicited-Node multicast adresa **FF02::1:FF28::9C5A**

# Anycast adrese

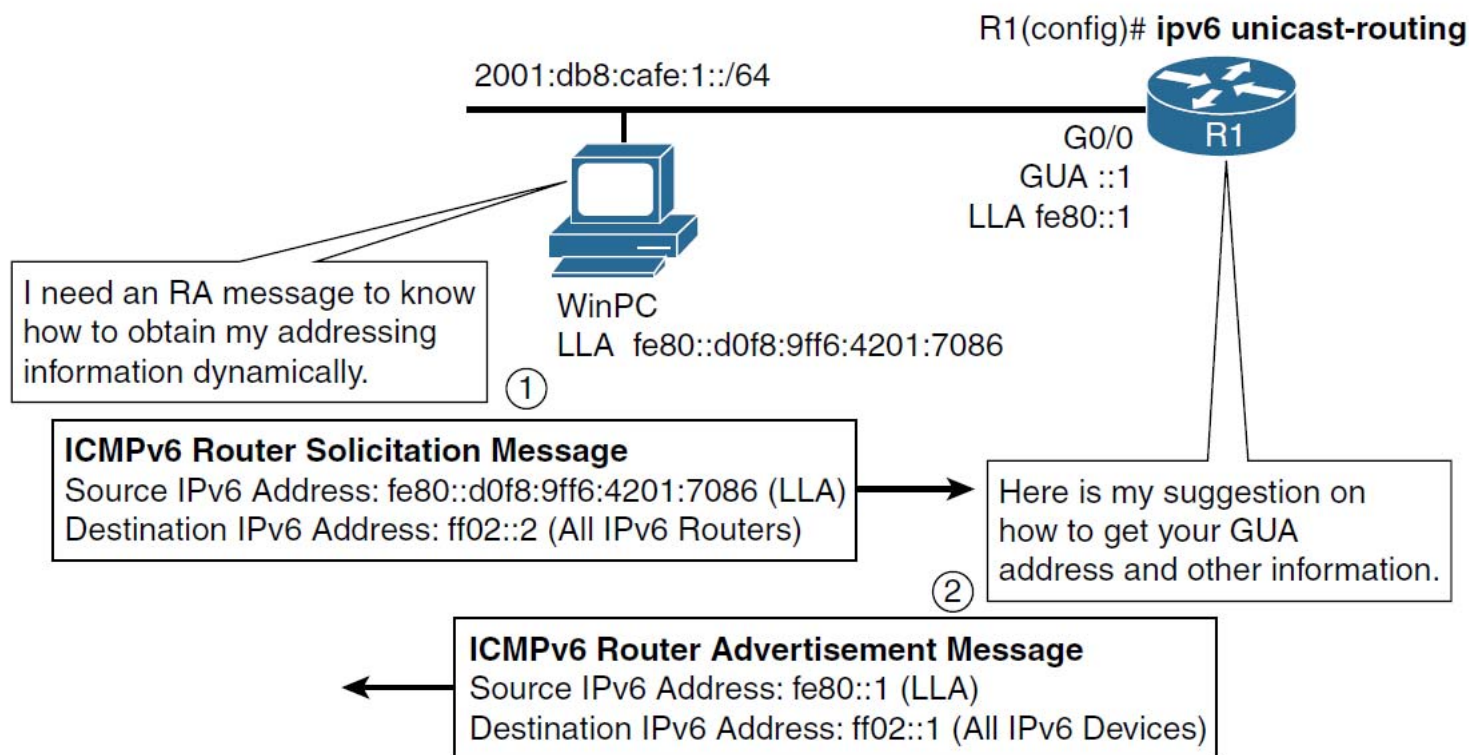
- **Anycast** adresa je adresa koja se može postaviti na više interfejsa (obično na različitim uređajima).
- Paket poslat na **anycast** adresi se rutira do „najbližeg“ interfejsa koji ima tu adresu.
- Nema posebnog prefiksa. Koriste se GU adrese.
- Koristi se kod tunelovanja.
- Konfiguracija:  
R1(config-if)#**ipv6 address** *ipv6-prefix/prefix-length* **anycast**

# Dinamička konfiguracija

- Zasniva sa na ICMPv6 Network Discovery protokolu (ND), konkretnije na dve poruke:
  - Router Solicitation (**RS**) i
  - Router Advertisement (**RA**).
- IPv6 ruter šalje automatski **RA** poruke na ethernet interfejsa na 200s, sa odredišnom adresom **FF02::1** (*all IPv6 device multicast*) i sadrži: link prefiks, dužinu prefiksa, *default gateway*, jedan od 3 predložena metoda za konfiguraciju (SLAAC, SLAAC+DHCPv6 ili DHCPv6), itd.
- Host šalje **RS** poruku nakon svog uključivanja, da bi saznao kako da formira svoju adresu i ostale parametre. RS se šalje na **FF02::2** (*all IPv6 routers muticast*), a kao odgovor na nju, ruter šalje **RA** poruku.
- Da bi se uključilo IPv6 rutiranje, potrebno je uneti sledeću komandu:  
Router(config)# **ipv6 unicast-routing**



# RS i RA poruke



# RA flegovi i metodi konfiguracije

- **Address Autoconfiguration fleg (A fleg)** – ako je setovan definiše da host treba da koristi SLAAC
- **Other Configuration fleg (O fleg)** – sem GU adrese, host sve informacije treba da preuzme od *stateless* DHCPv6 servera
- **Managed Address Configuration fleg (M fleg)** – ako je setovan, definiše da host treba da koristi *stateful* DHCPv6 server.

RA Address Allocation Method	A Flag (SLAAC)	O Flag (Stateless DHCPv6)	M Flag (Stateful DHCPv6)
Method 1: SLAAC (default)	1 (on)	0 (off)	0 (off)
Method 2: SLAAC and stateless DHCPv6	1 (on)	1 (on)	0 (off)
Method 3: Stateful DHCPv6	0 (off)	N/A	1 (on)

## Postavljanje konfiguracionih flegova

- **A** fleg je podrazumevano 1, a ako želimo da ga isključimo, u modu za konfiguraciju interfejsa unosimo:

Router(config-if)# **ipv6 nd prefix *prefix/prefix-length* no-autconfig**

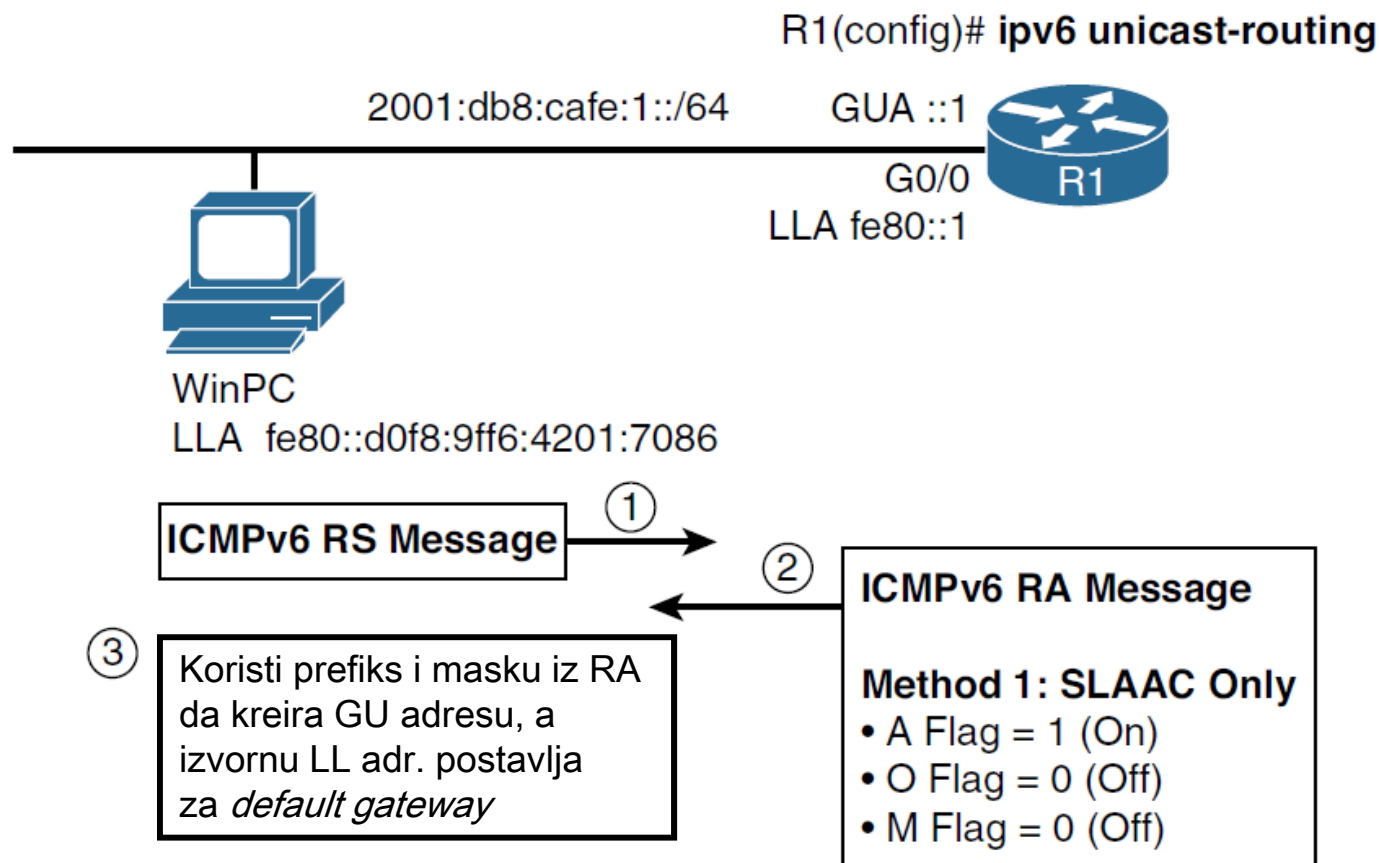
- **O** fleg je podrazumevano 0, a uključujemo ga:

Router(config-if)# **ipv6 nd other-config-flag**

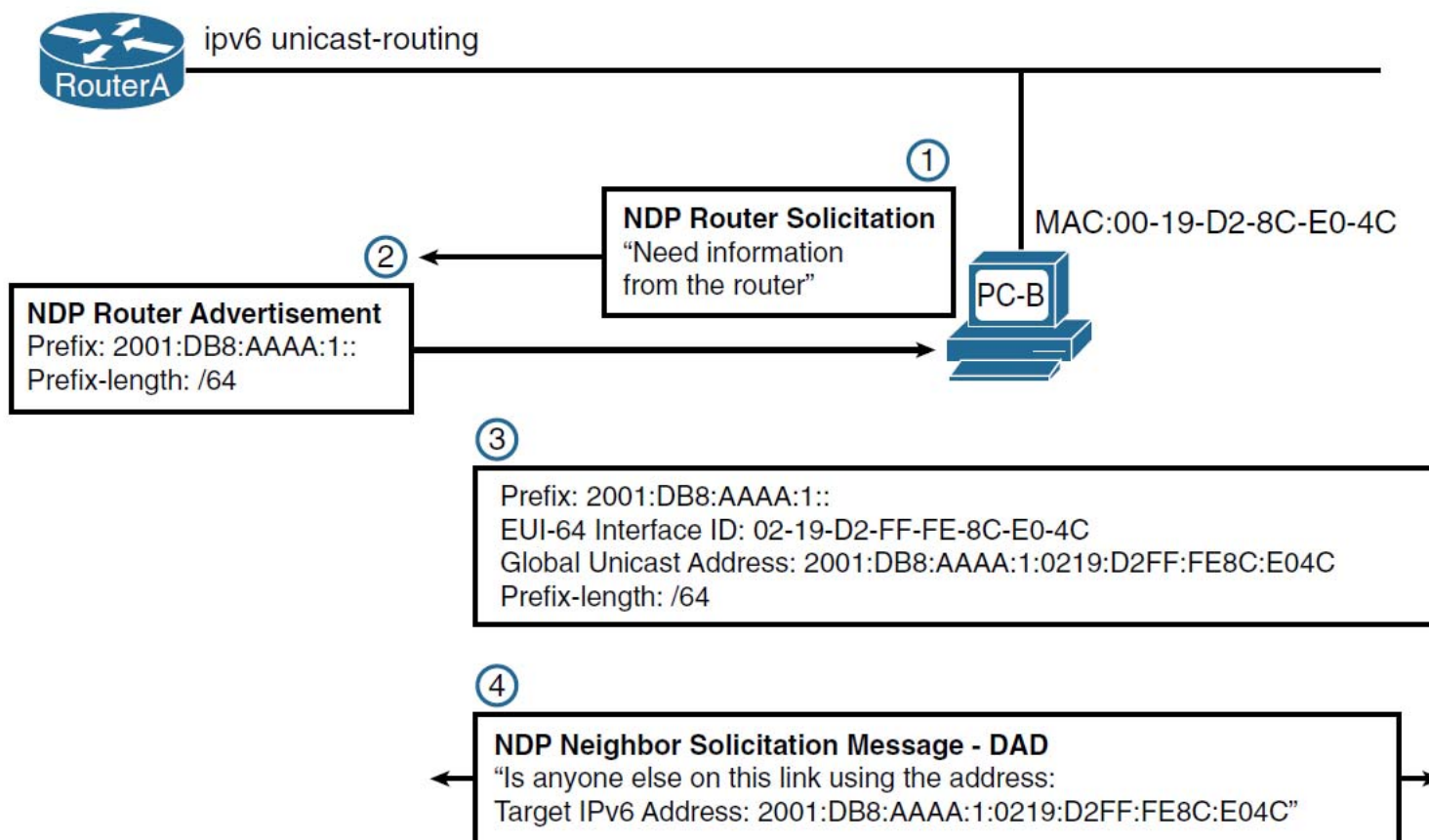
- **M** fleg je podrazumevano 0, a uključujemo ga:

Router(config-if)# **ipv6 nd managed-config-flag**

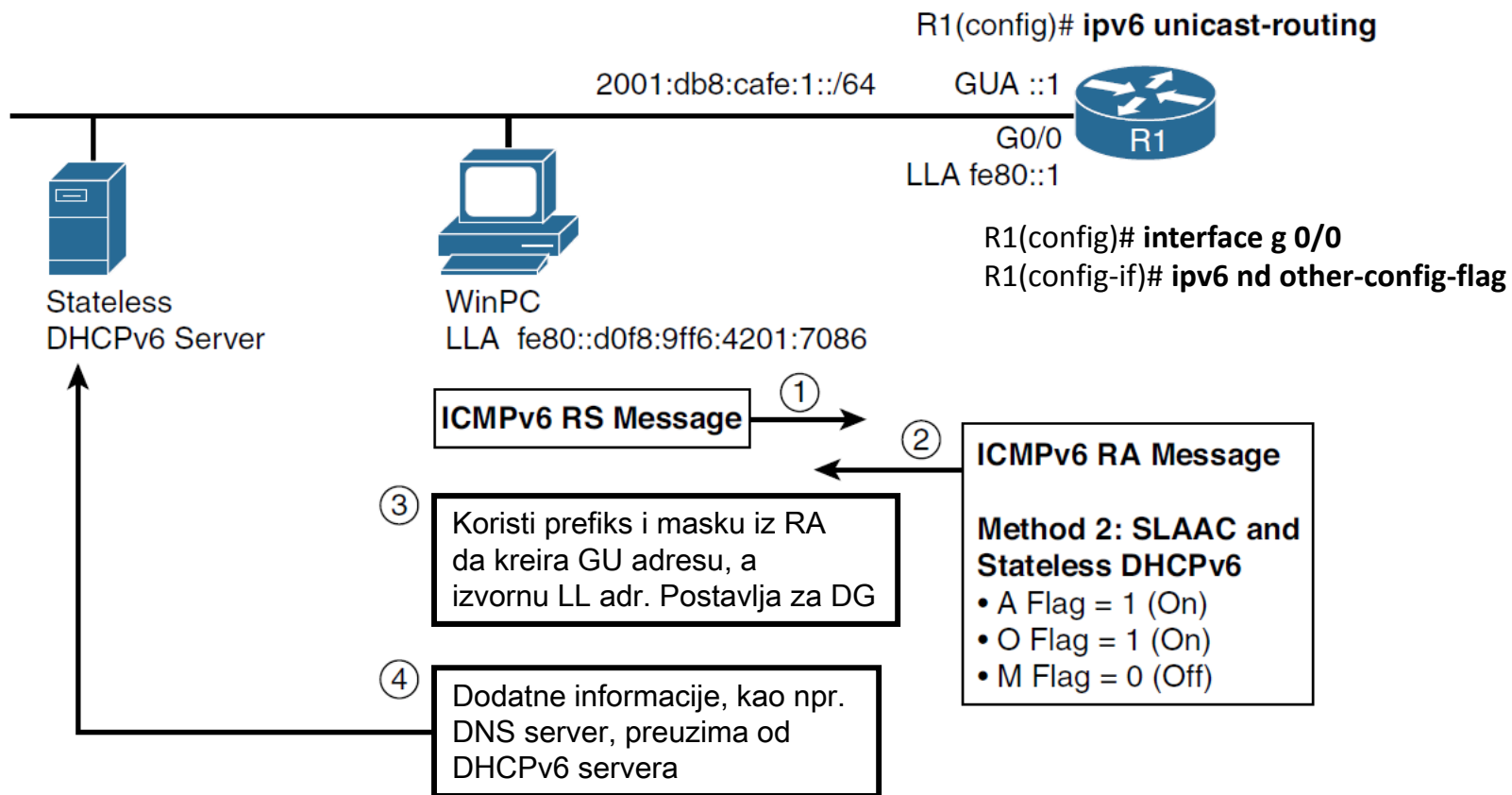
# Sateless Address Autoconfiguration (SLAAC)



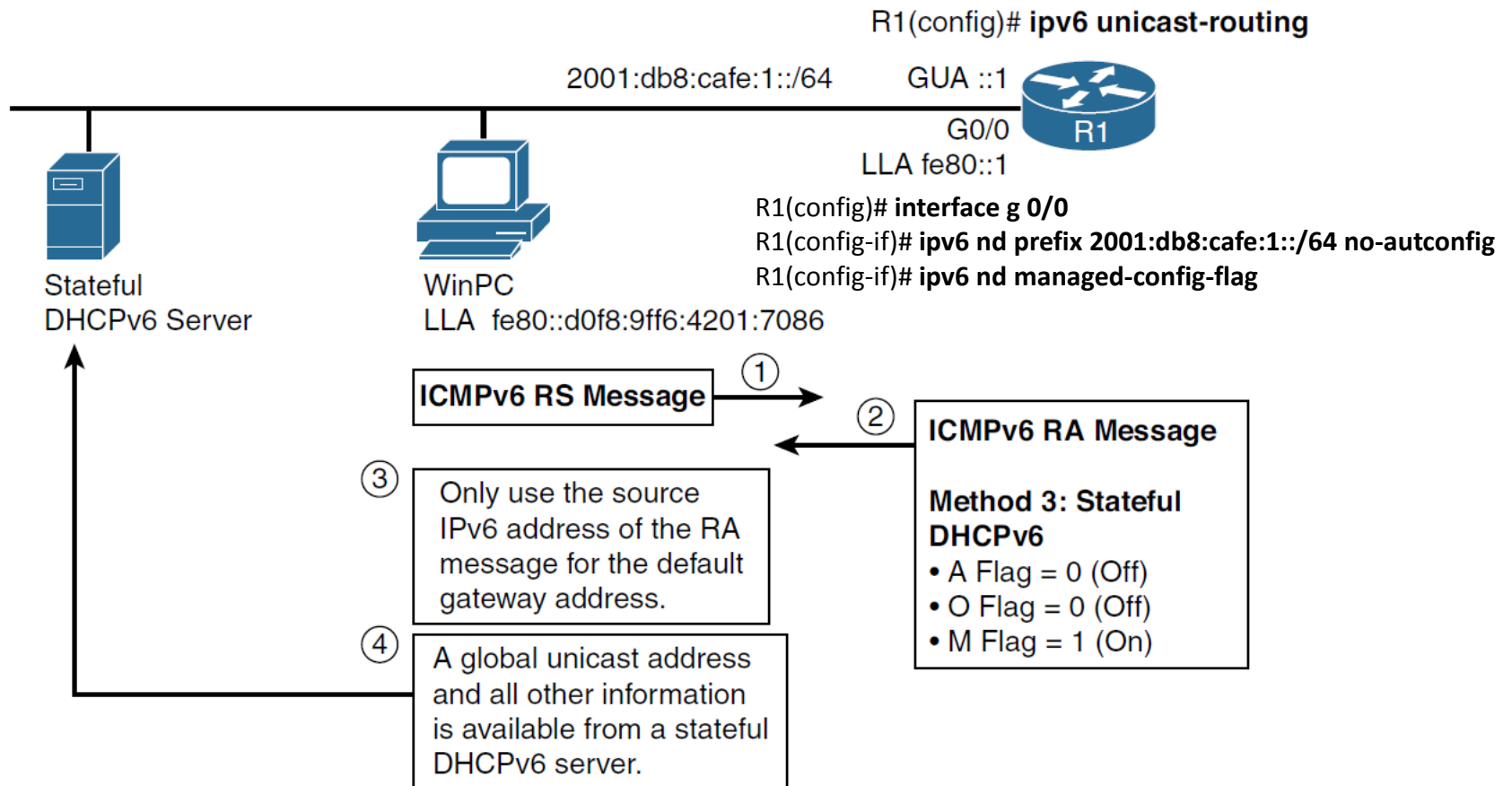
# SLAAC



# SLAAC + stateless DHCPv6



# Stateful DHCPv6



# Prikaz stanja interfejsa

Router# show ipv6 interface brief

**FastEthernet0/0** [up/up]

**FE80::207:ECFF:FE16:9101**

**2001:0:0:1::1**

← Postavljena GU adr.

**FastEthernet0/1** [up/up]

**FE80::207:ECFF:FE16:9102**

← Nije postavljena GU ali je uneta komanda:

Router(config)#interface f0/1

Router(config-if)# **ipv6 enable**

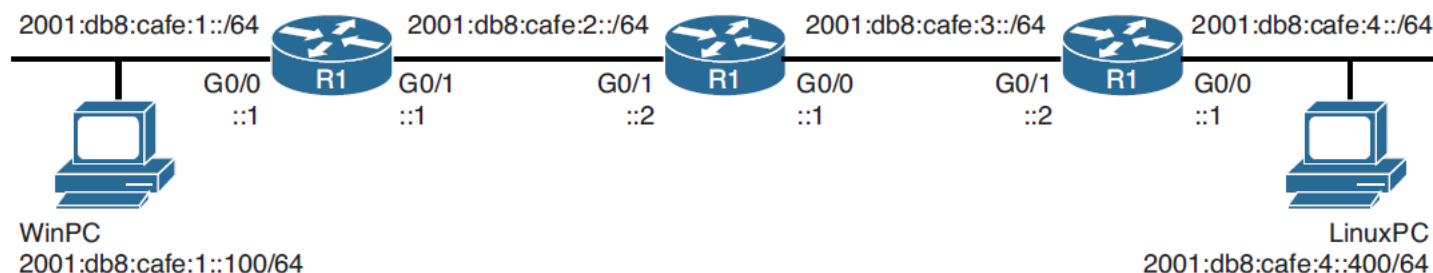
**Serial0/0/0** [administratively down/down]

unassigned

← Inicijalno stanje



# Statičko rutiranje



```
R1(config)# ipv6 unicast-routing
```

```
R1(config)# ipv6 route ::/0 2001:db8:cafe:2::2
```

```
R2(config)# ipv6 unicast-routing
```

```
R2(config)# ipv6 route 2001:db8:cafe:1::/64 2001:db8:cafe:2::1
```

```
R2(config)# ipv6 route 2001:db8:cafe:4::/64 2001:db8:cafe:3::2
```

```
R3(config)# ipv6 unicast-routing
```

```
R3(config)# ipv6 route ::/0 2001:db8:cafe:3::1
```

# Konfiguracija RIPng

- Prvo mora da se uključi *unicast* rutiranje, inače nijedan protokol rutiranja neće raditi za IPv6
  - R1(config)#**ipv6 unicast-routing**
- Zatim, treba uključiti RIP proces sa proizvoljno izabranim imenom
  - R1(config)#**ipv6 router rip proc1**
- I omogućiti RIP na svakom od interfejsa
  - R1(config-if)#**ipv6 rip proc1 enable**

# Prikaz tabele rutiranja

Router# **show ipv6 route**

IPv6 Routing Table - 7 entries

Codes: **C - Connected**, **L - Local**, **S - Static**, **R - RIP**, B – BGP, U - Per-user Static route, M - MIPv6, I1 - ISIS L1, I2 - ISIS L2, IA - ISIS interarea, IS - ISIS summary, O - OSPF intra, OI - OSPF inter, OE1 - OSPF ext 1, OE2 - OSPF ext 2, ON1 - OSPF NSSA ext 1, ON2 - OSPF NSSA ext 2, D - EIGRP, EX - EIGRP external

**C 2001:0:0:1::/64 [0/0]**  
**via ::, FastEthernet0/0**

← Direktno povezana mreža

**L 2001:0:0:1::1/128 [0/0]**  
**via ::, FastEthernet0/0**

← Adresa lokalnog interfejsa

**R 2001:0:0:2::/64 [120/2]**  
**via FE80::207:ECFF:FE16:9101, Serial0/0/0**

← Dinamički naučena mreža

**S 2001:0:0:30::/64 [1/0]**  
**via 2001:0:0:20::2**

← Statička ruta