



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
Fakultet
elektrotehnike i
računarstva

Diplomski studij

**Informacijska i komunikacijska
tehnologija:**

Obradba informacija
Telekomunikacije i informatika

Ak.g. 2020./2021.

Višemedijske komunikacije

7.

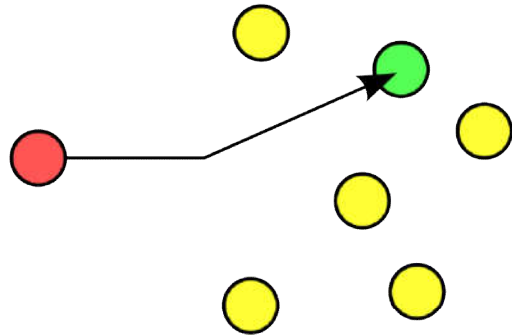
Višeodredišno razašiljanje
IP multicast

- ◆ pojam višedrežnog razošivanja
 - ◆ višedrežno adresiranje
 - ◆ evidencija članstva u skupini
 - protokoli za otkrivanje članstva u skupini
 - IGMP, MLD
 - ◆ višedrežno usmjeravanje
 - tehnike izgradnje stabla usmjeravanja
 - protokoli višedrežnog usmjeravanja
 - DVMRP, PIM-SM
-

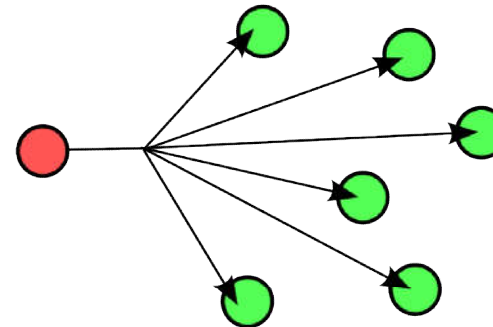
- ◆ višeodredišna komunikacija traži rješenje problema istovremenog slanja istih podataka na više od jednog primatelja
 - ◆ posebno su zanimljive primjene gdje se na više krajnjih točaka šalju velike količine podataka, npr:
 - audio ili video konferencija
 - višekorisničke igre
 - računalom podržani zajednički rad
 - distribuirana simulacija
 - poslužitelji višemedijskih sadržaja
 - distribucija softvera
-

Metode usmjeravanja u mreži

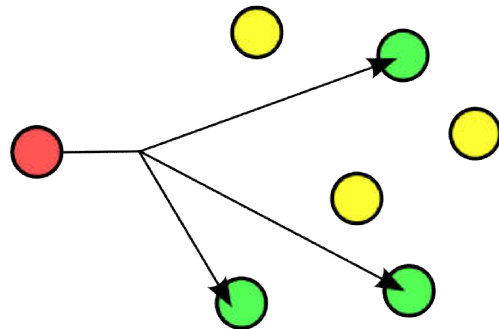
Unicast 1:1



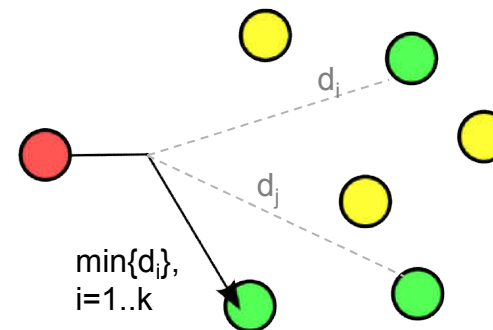
Broadcast 1:n



Multicast 1:m ili m1:m2

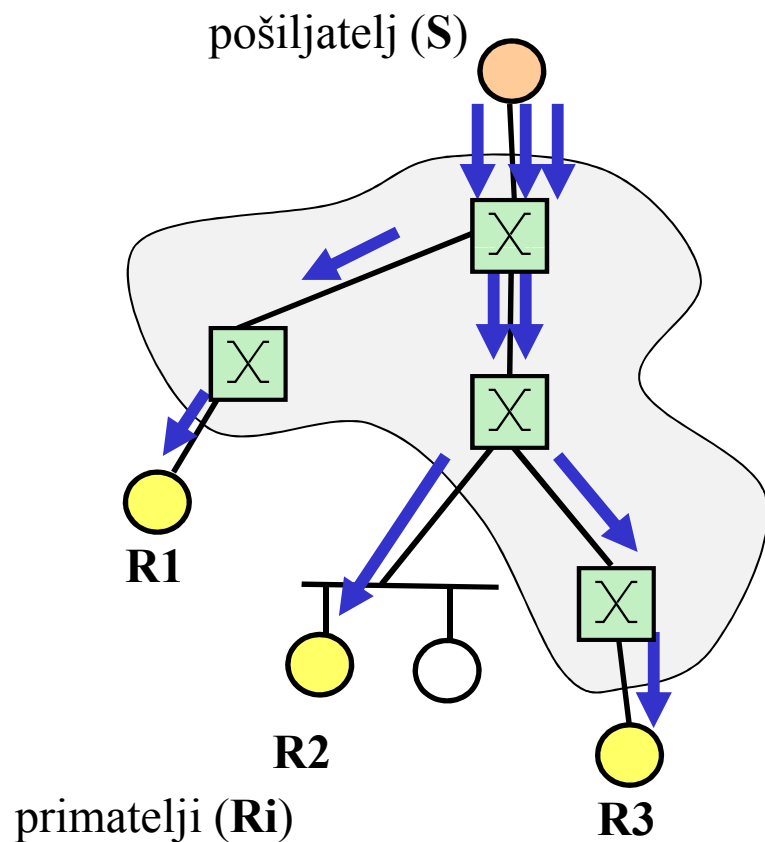


Anycast 1:1(k)

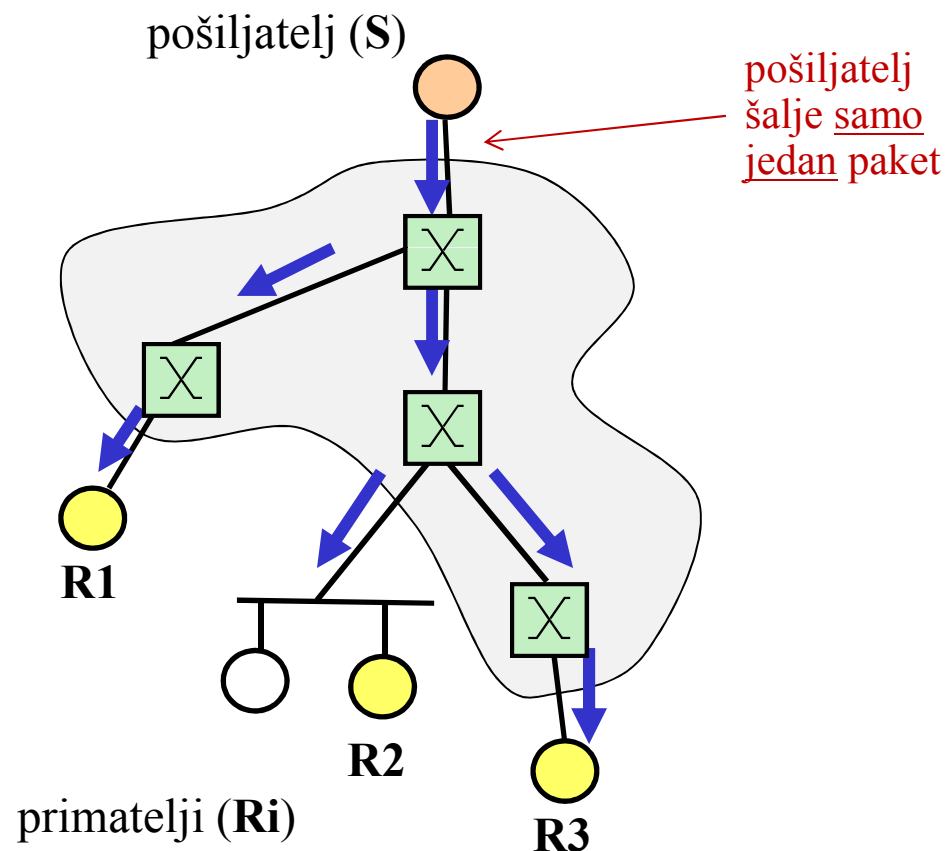


Načini višedredišnog razašiljanja

višestruko pojedinačno (unicast)

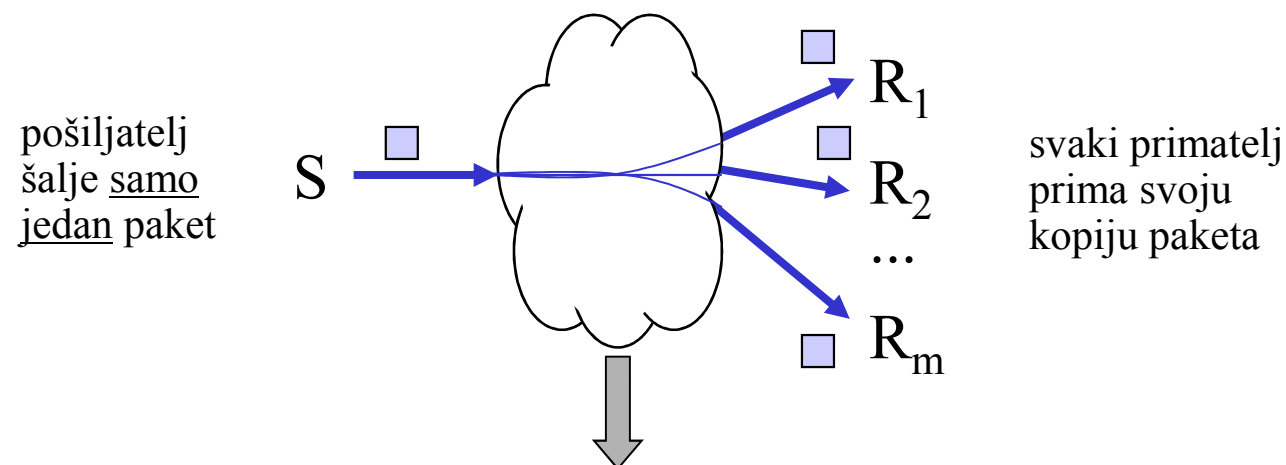


višedredišno (multicast)

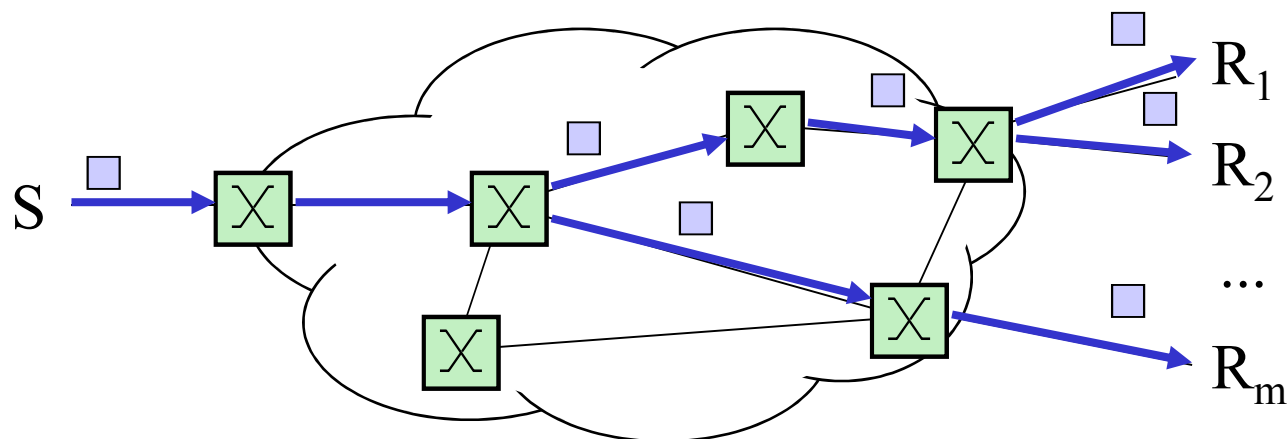


Ideja i izvedba višedrežnog razastiljanja

Ideja



Izvedba



ključna uloga usmjeritelja (mjesto "grananja" stabla) za uvišestručavanje paketa

Višeodredišno razašiljanje u Internetu

- ◆ višeodredišno razašiljanje u Internetu (*IP multicast*) je slanje jednog IP datagrama skupini, koju čini (0 ili više) računala određenih **jednom** IP odredišnom adresom
 - ◆ IP multicast ne mijenja osnovni (datagramski) način komunikacije u Internetu
 - ◆ Jednostavan model usluge:
 - *primatelji* izražavaju interes
 - *pošiljatelji* šalju podatke
 - *usmjeritelji* surađuju kako bi dostavili podatke od pošiljatelja do svih zainteresiranih primatelja
-

- ◆ Pitanja koja treba riješiti:
 - 1. adresiranje skupine primatelja
 - IP adrese klase D
 - 2. pitanje pripadnosti skupini primatelja
 - Internet Group Management Protocol (IGMP), ili Multicast Listener Discovery Protocol (MLDP)
 - podrška na krajnjim računalima i usmjeriteljima
 - 3. višedređišno usmjeravanje
 - protokoli višedređišnog usmjeravanja
 - pronalaženje puta
 - proslijeđivanje paketa kroz mrežu
-

Klasifikacija višeodredišnog razašiljanja

- ◆ bilo koji pošiljatelj unutar grupe (*Any Source Multicast*, skr. ASM)
 - komunikacija tipa *više-na-više*
 - datagram poslan s bilo koje izvorišne adrese na višeodredišnu IP-adresu G dostavlja se na svaki socket prijavljen za primanje prometa skupine G
 - ASM je pogodan za aplikacije gdje su čvorovi ujedno i primatelji i pošiljatelji (npr. audio konferencija, aplikacije za zajednički rad)

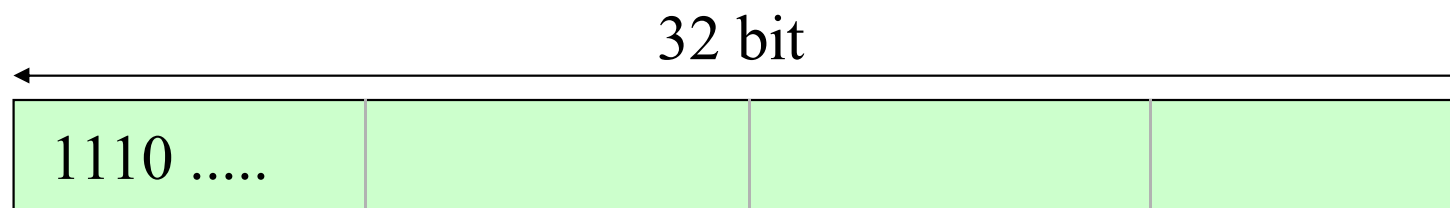
- ◆ zadani pošiljatelj (*Source Specific Multicast*, skr. SSM)
 - isključivo komunikacija tipa *jedan-na-više*
 - datagram poslan s izvorišnom IP-adresom S i odredišnom IP-adresom G u zadanom rasponu dostavlja se na svaki (i samo takav) socket koji je prijavljen za promet od S prema G
 - SSM je pogodan za distribucijske aplikacije gdje se zna tko su pošiljatelji prije nego što aplikacija započne (npr. distribucija a/v sadržaja)

Klasifikacija višeodredišnog razašiljanja

- ◆ bilo koji pošiljatelj unutar grupe
Any Source Multicast. skr. ASM
 - omogućuje komunikaciju tipa *više-na-više* (što pokriva i jedan-na-više)
 - datagram poslan s bilo koje izvorišne adrese na višeodredišnu IP-adresu G dostavlja se na svaki *socket* prijavljen za primanje prometa skupine G
 - ASM je pogodan za aplikacije gdje su čvorovi ujedno i primatelji i pošiljatelji (npr. audio konferencija, aplikacije za zajednički rad)
- ◆ zadani pošiljatelj
Source Specific Multicast, skr. SSM
 - isključivo komunikacija tipa *jedan-na-više*
 - datagram poslan s izvorišnom IP-adresom S i odredišnom IP-adresom G u zadanom rasponu dostavlja se na svaki (i samo takav) *socket* koji je prijavljen za promet od S prema G
 - SSM je pogodan za distribucijske aplikacije gdje se zna tko su pošiljatelji prije nego što aplikacija započne (npr. distribucija a/v sadržaja)

Višeodredišna (multicast) adresa

- ◆ višeodredišna adresa je IP adrese klase D

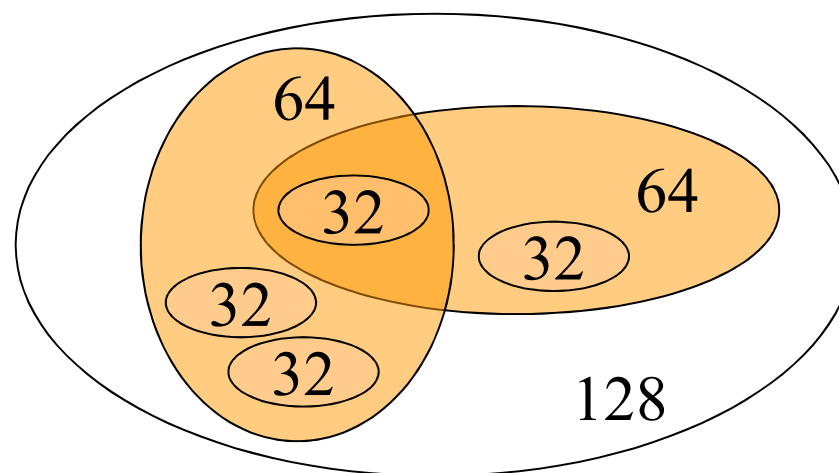


Adresni prostor: 224.0.0.0 -- 239.255.255.255

- ◆ vrste višeodredišnih adresa:
 - stalno dodijeljene i rezervirane adrese
 - adrese s administrativnim rasponom
 - ostale adrese (dodjeljuju se dinamički)

Dinamička dodjela višeodredišnih adresa

- ♦ dinamička dodjela adresa je potpuno distribuirana
- ♦ adrese se dodjeljuju slučajnim izborom; prihvatljivo zbog relativno male vjerojatnosti preklapanja
- ♦ parametri mogućeg preklapanja adresa:
 - veličina adresnog prostora
 - trajanje
 - raspon (određen preko TTL-a ili administrativno)



Primjer raspona ograničenog putem TTL-a

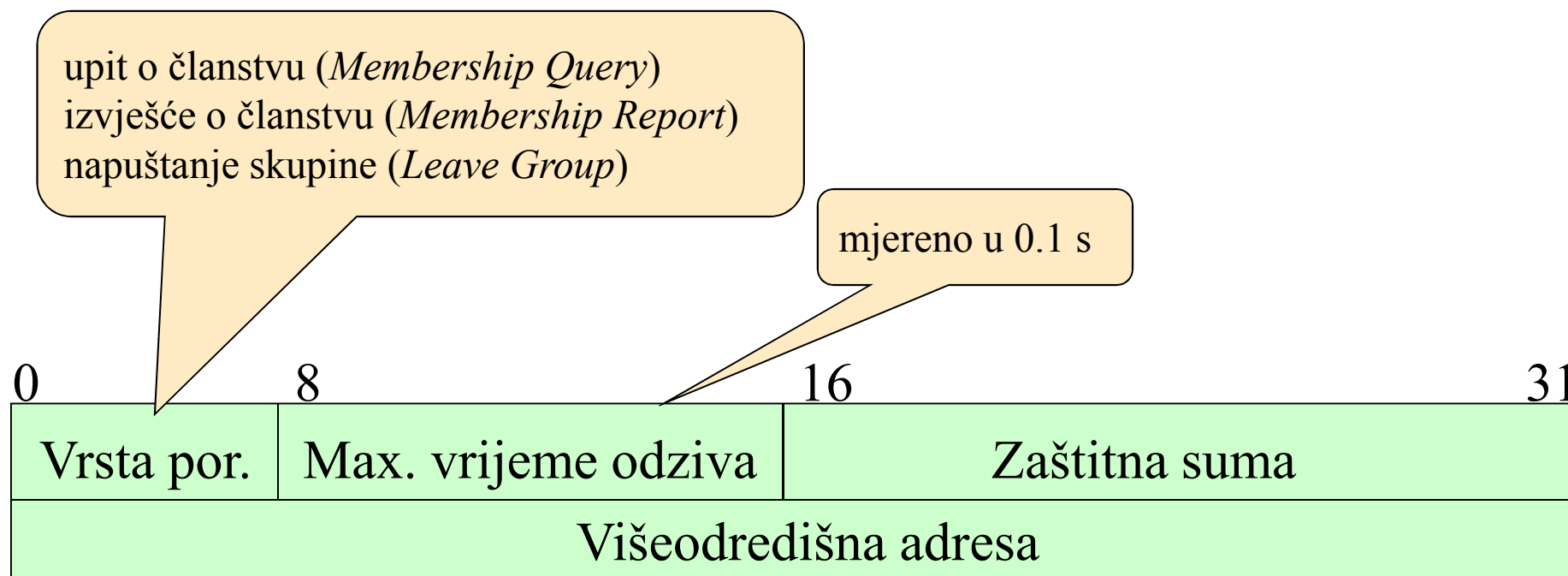
Svojstva skupine primatelja

- ◆ skupina primatelja je određena jednom odredišnom IP adresom G
 - ◆ skupina može biti stalna ili privremena
 - ◆ višeodredišno razaslani datagram dostavlja se svakom članu skupine s istom razinom usluge (*“best-effort”*) kao kod pojedinačnog razaslanja
 - ◆ članstvo u skupini je dinamično
 - ◆ evidentiranje članova skupine se vrši putem protokola IGMP ili MLD (za IPv6)
-

Internet Group Management Protocol (IGMP)

- ◆ IGMPv1
 - dvije vrste poruka:
 - upit o članstvu (*Membership Query*) (“ima li tko zainteresiran za multicast?”)
 - prijava članstva (*Membership Report*) (“zanimam me multicast skupina G”)
 - odjava članstva implicitno, putem isteka vremenske kontrole (posljedica - spora prilagodba topologiji - promet nepotrebno teče još neko vrijeme)
- ◆ IGMPv2
 - dodatno, omogućuje upit o članstvu za pojedinu skupinu (“ima li koga zainteresiranog za multicast skupinu G?”)
 - rješava problem spore prilagodbe topologiji uvođenjem poruke za objavu odlaska (*Leave Group*)
- ◆ **IGMPv3** ← aktualna verzija
 - dodatno, primatelj može ograničiti članstvo u skupini na odabrane pošiljatelje, čime se omogućuje filtriranje višeodredišnog prometa (“zanimaju me samo pošiljatelji Si iz multicast skupine G”, ili “... svi osim pošiljatelja Si iz skupine G”)

Format IGMPv2 poruke



- ♦ IGMP poruka se prenosi IP datagramom uz TTL=1 i postavljenu IP Router Alert opciju

Format IGMPv3 upita

upit o članstvu (*Membership Query*) - općeniti, za grupu G , za grupu G i izvor S
izvješće o članstvu v3 (*Membership Report*)
+ poruke IGMPv2 radi kompatibilnosti

0				16				31			
Vrsta por.				Max. vrijeme odziva				Zaštitna suma			
Višeodredišna adresa G								Broj izvora (N)			
			...								
Adresa izvora S_1											
...											
Adresa izvora S_N											

IGMP v2

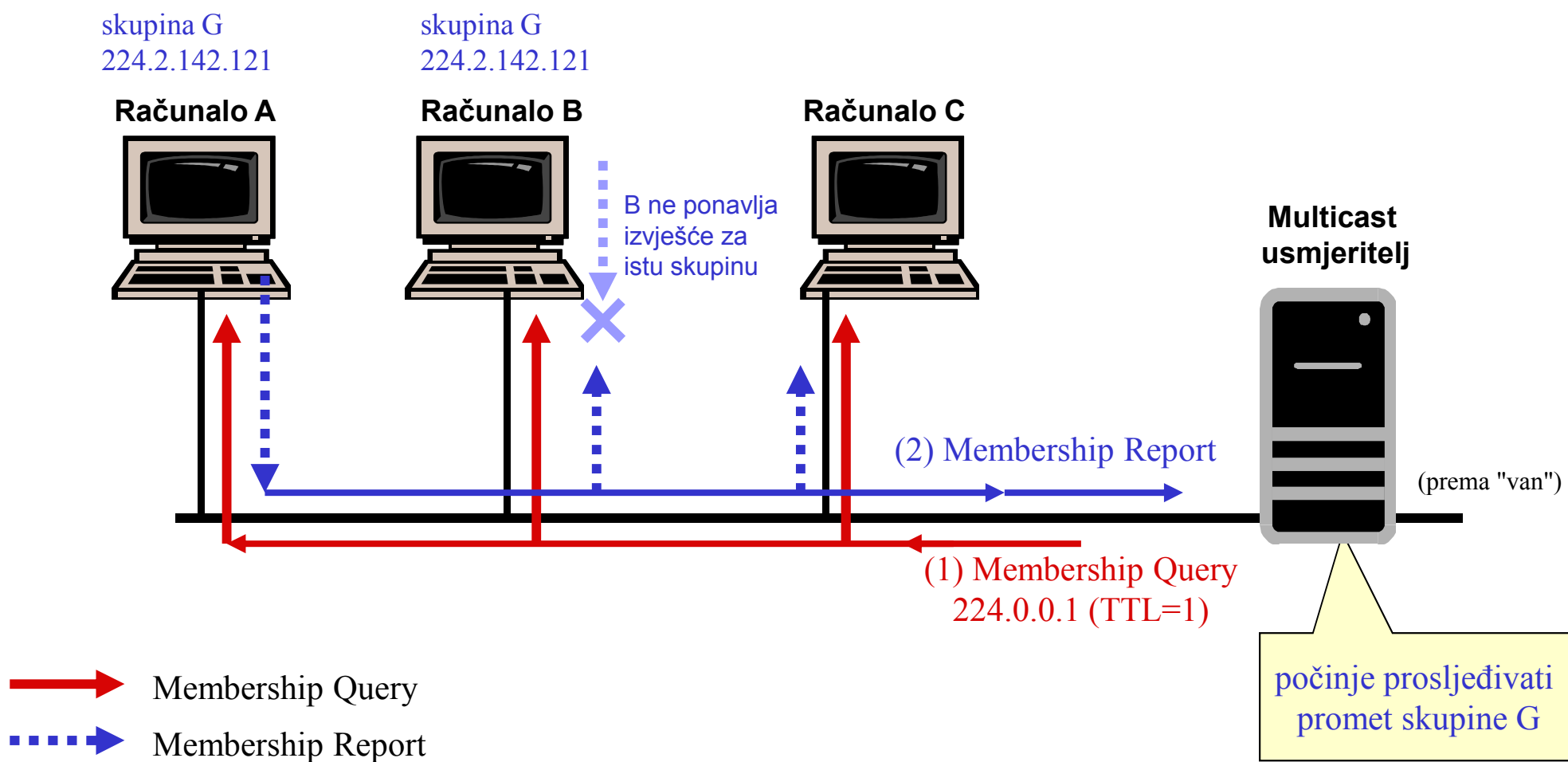
◆ član skupine (npr. računalo):

- prilikom pridruživanja skupini računalo programira svoje Ethernet sučelje za prijam i šalje IGMP izvješće o članstvu (*Membership Report*)
- prilikom napuštanja skupine računalo programira svoje Ethernet sučelje za prestanak prijama i šalje odgovarajuću IGMP poruku (*Leave Group*)

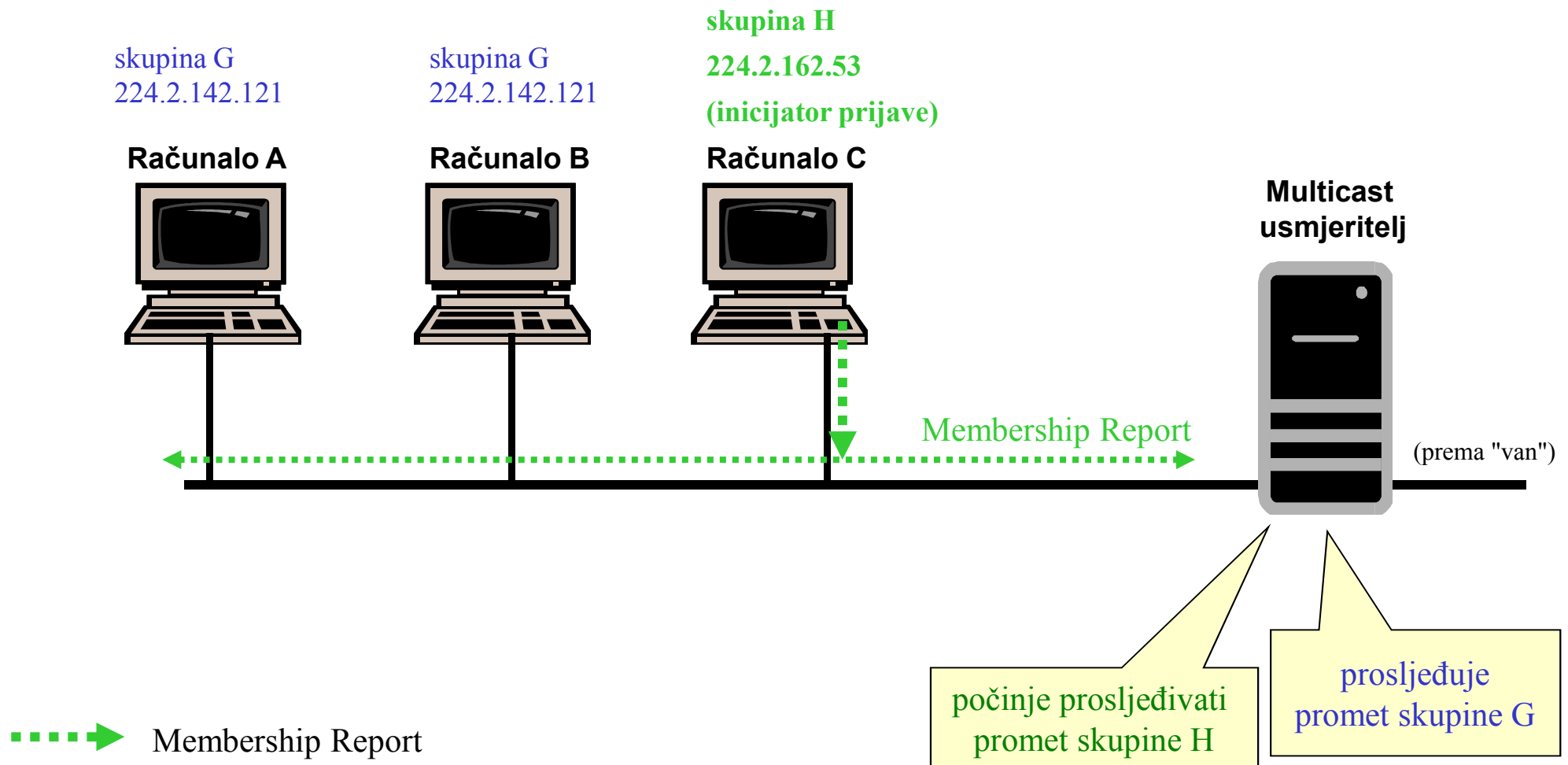
◆ usmjeritelj:

- na temelju izvješća o članstvu počinje prosljeđivati promet adresiran na skupinu
 - na temelju primitka poruke o napuštanju skupine od posljednjeg člana prestaje prosljeđivati promet adresiran na skupinu
 - povremeno provjerava ima li i dalje zainteresiranih primatelja; ako nema, prestaje prosljeđivati promet
-

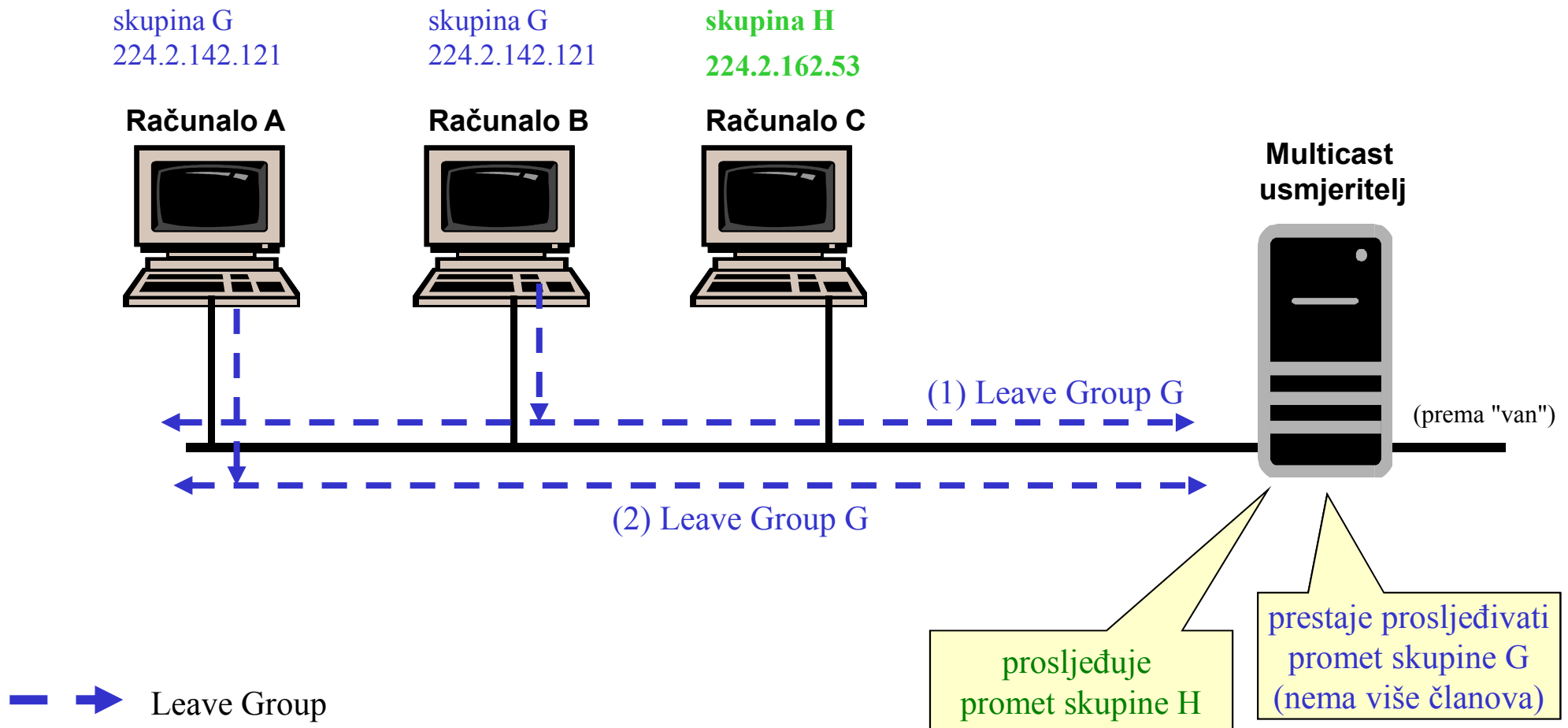
IGMP: prijava u skupinu na upit o članstvu



IGMP: samostalna prijava



IGMP: odjava



Protokol *Multicast Listener Discovery*

- ◆ Multicast Listener Discovery (MLD) je protokol za upravljanje višeodredišnim skupinama za IPv6
 - aktualna verzija je MLDv2
 - ◆ definiran u okviru protokola ICMPv6
 - ◆ tri vrste poruka (slično IGMPv3):
 - *Multicast Listener Query* (smisao *Membership Query*)
 - *Multicast Listener Report* (smisao *Membership Report*)
 - *Multicast Listener Done* (smisao *Leave Group*)
-

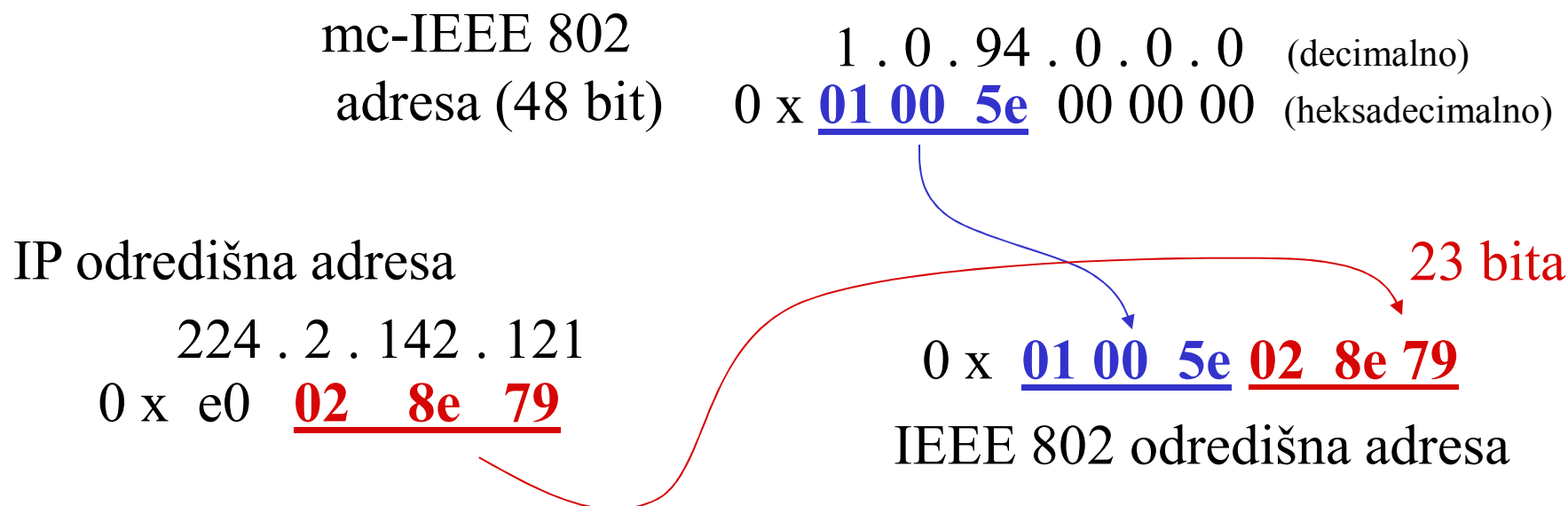
Višeodredišno (*multicast*) usmjeravanje

Višeodredišno (*multicast*) usmjeravanje

- ◆ usmjeritelji surađuju kako bi dostavili podatke od pošiljatelja do svih zainteresiranih primatelja
 - ◆ svaki član skupine (pošiljatelj ili primatelj) komunicira sa sebi najbližim usmjeriteljem
 - ◆ obrada datagrama:
 - TTL=1: **lokalno** višeodredišno razaslanje
 - TTL>1: datagram se proslijeđuje drugim mrežama u kojima ima članova odredišne skupine -- mora postojati podrška u usmjeriteljima, odn. u mreži mora biti izveden **protokol višeodredišnog usmjeravanja**
-

Lokalno višedređišno razrašiljanje

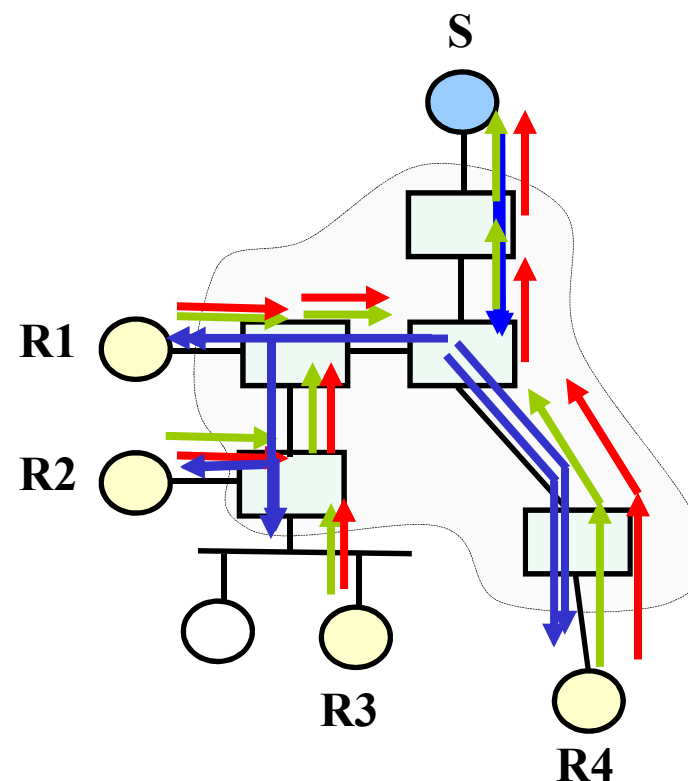
- ♦ izvedba lokalnog višedređišnog razrašiljanja ovisna je o mrežnoj tehnologiji
- ♦ primjer: IEEE 802.x mreže (npr. Ethernet)



- ◆ isto kao kod običnog usmjeravanja:
 - podjela s obzirom na područje djelovanja:
 - unutar autonomnog sustava (Interior Gateway Protocol, IGP)
 - između autonomnih sustava (Exterior Gateway Protocol, EGP)
 - podjela s obzirom na algoritam usmjeravanja
 - statički (neadaptivan)
 - dinamički (adaptivan)
 - algoritam vektora udaljenosti, algoritam stanja linka
 - ◆ posebnosti višeodredišnog usmjeravanja:
 - zgusnuti (engl. *dense*) i rijetko popunjeni (engl. *sparse*) način rada (objašnjeni u nastavku)
 - sprega s protokolom jednodredišnog usmjeravanja
-

Podjela na “sparse” i “dense” način rada (1)

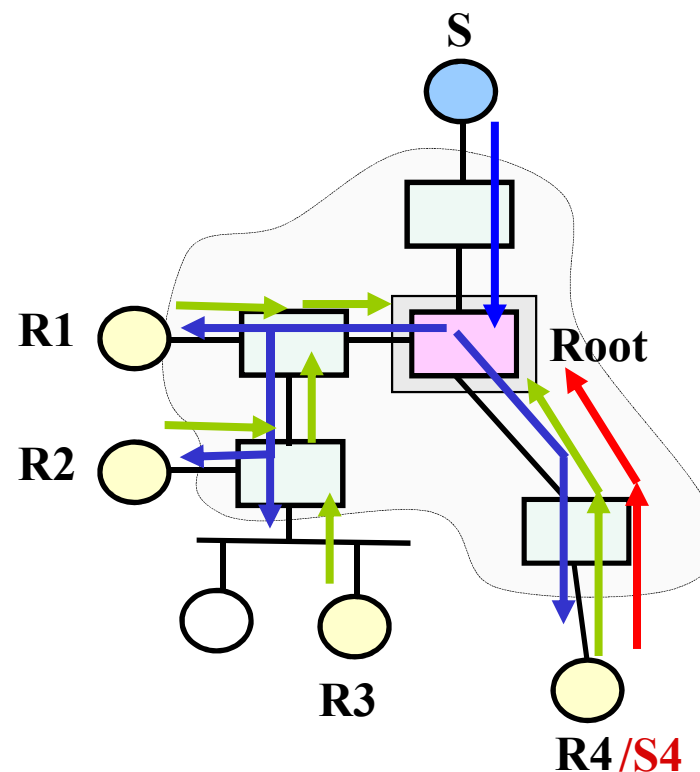
- ♦ dva načina rada, *sparse* (rijetki, raštrkani) i *dense* (gusti, zbijeni), ovisno o raspodjeljenosti primatelja i pošiljatelja u mreži
 - klasični protokoli su dizajnirani za “dense mode”, tj. grupirane primatelje i pošiljatelje
 - gradi se usmjereno stablo “ukorijenjeno” u pošiljatelju
 - osnovna ideja: preplavljanje mreže višedredišnim prometom i naknadno podrezivanje nepotrebnih grana



Primjer: Dense-Mode Multicast
stvara se usmjereno stablo s
korijenom kod pošiljatelja

Podjela na “sparse” i “dense” način rada (2)

- ◆ “sparse mode” je noviji način
 - rješava problem učinkovitosti usmjeravanja za skupine koje nisu “zbijene”
 - pogodan za naširoko razasute, “rastrkane” primatelje
 - gradi se zajedničko stablo za sve primatelje i pošiljatelje
 - osnovna ideja: izgradnja stabla počinje od unaprijed zadane središnje točke
 - nema preplavlivanja prometom mreža u kojima nema primatelja



Primjer: Sparse-Mode Multicast
stvara se zajedničko stablo
sa središnjom točkom

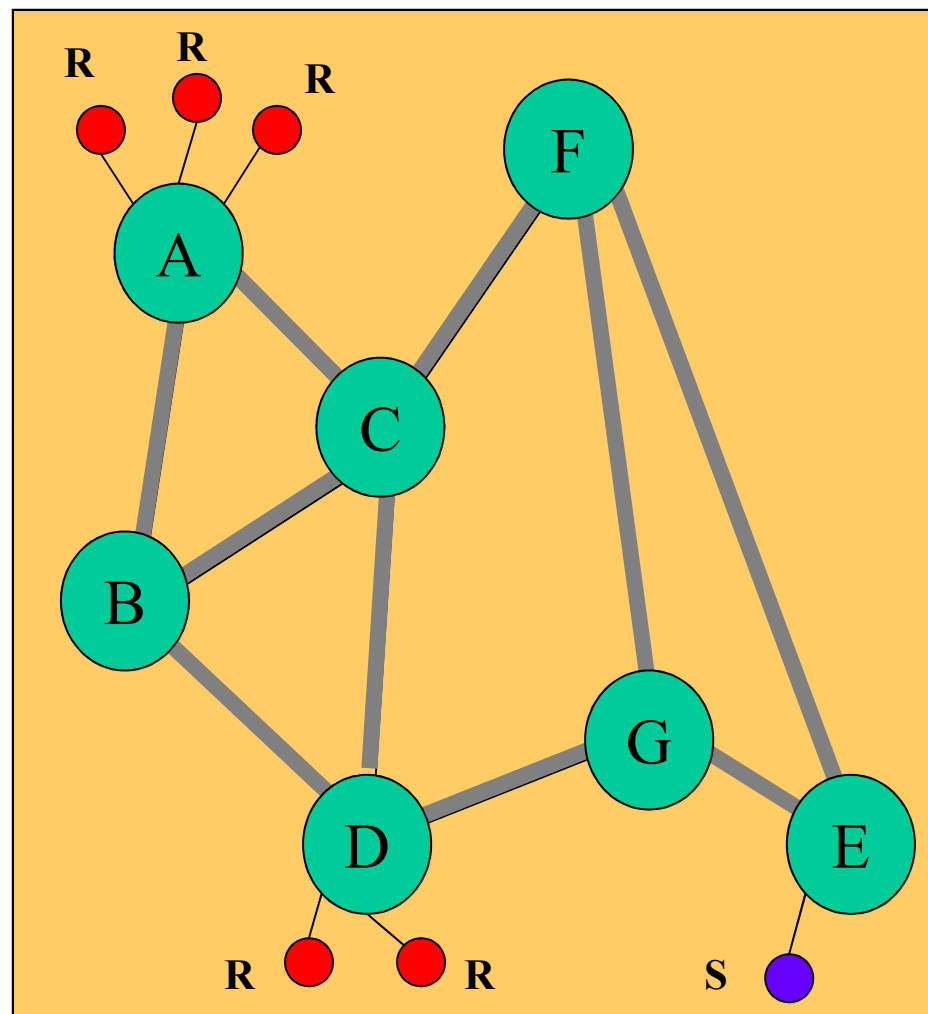
- ◆ glavna razlika između jednodredišnog i višedredišnog usmjeravanja je način prosljeđivanja datagrama
 - zašto? -- višedredišna adresa definira skupinu sučelja - problem usmjeravanja proširuje se na skup puteva do više odredišta
 - ◆ dvije skupine načina prosljeđivanja datagrama adresiranih na višedredišnu adresu
 - jednostavni načini
 - preplavljanje mreže
 - ograničena primjena
 - složeni načini - stablo usmjeravanja
 - stablo za dostavu datagrama s korijenom na pošiljatelju (po jedno stablo *za svakog* pošiljatelja)
 - zajedničko stablo (jedno stablo za sve pošiljatelje)
-

Tehnike korištene pri izgradnji stabla

- ♦ preplavlivanje
(engl. *flooding*)
 - ♦ razapinjuće stablo
(engl. *spanning tree*)
 - ♦ razapinjuće stablo od zadanog pošiljatelja
(engl. *Reverse Path Broadcasting, RPB*)
 - ♦ odrezano razapinjuće stablo od zadanog pošiljatelja
(engl. *Truncated Reverse Path Broadcasting, TRPB*)
 - ♦ višeodredišno usmjeravanje povratnom stazom
(engl. *Reverse Path Multicasting, RPM*)
-

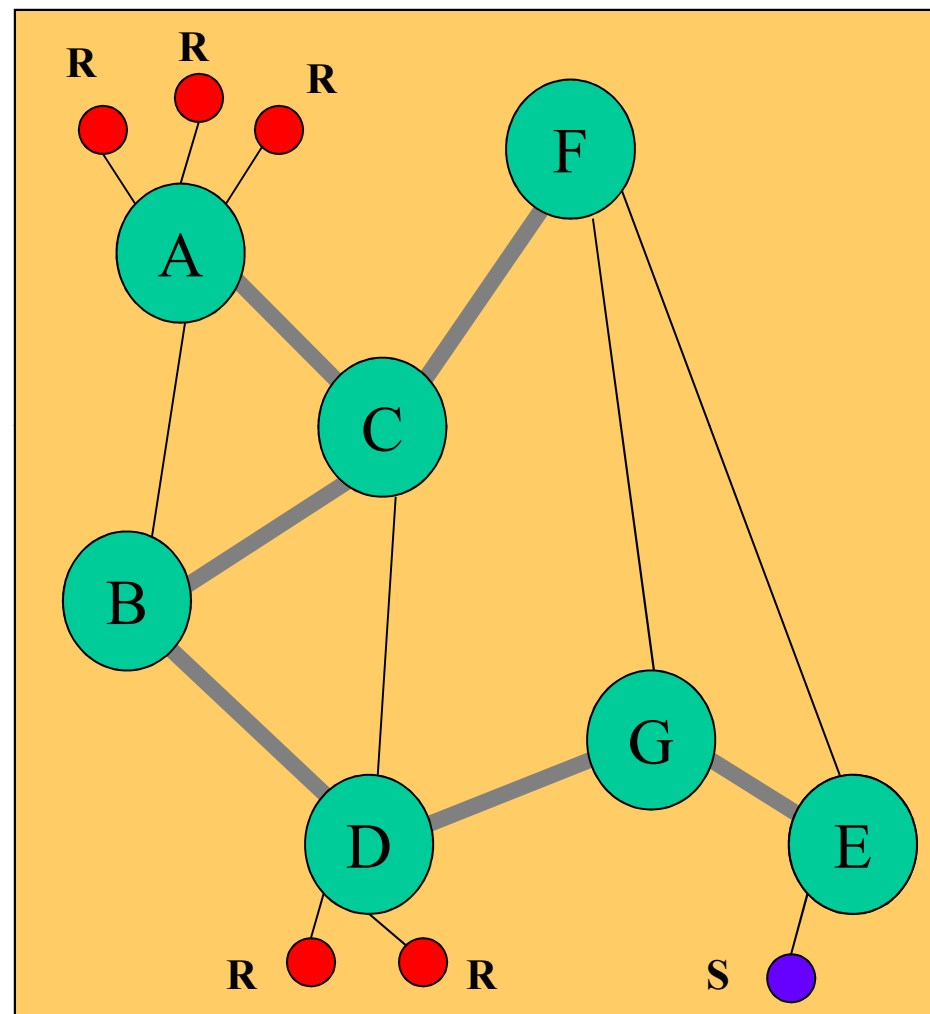
Preplavljanje (*flooding*)

- ◆ kad usmjeritelj primi paket, provjerava je li ga “već vidio”; ako nije, proslijeđuje ga **na sva sučelja osim onog po kojem je primio paket**; inače ga odbacuje
- ◆ svaki usmjeritelj vodi računa o “već viđenim” paketima
- ◆ nedostatak: nepotrebno trošenje resursa jer promet preplavljuje cijelu mrežu



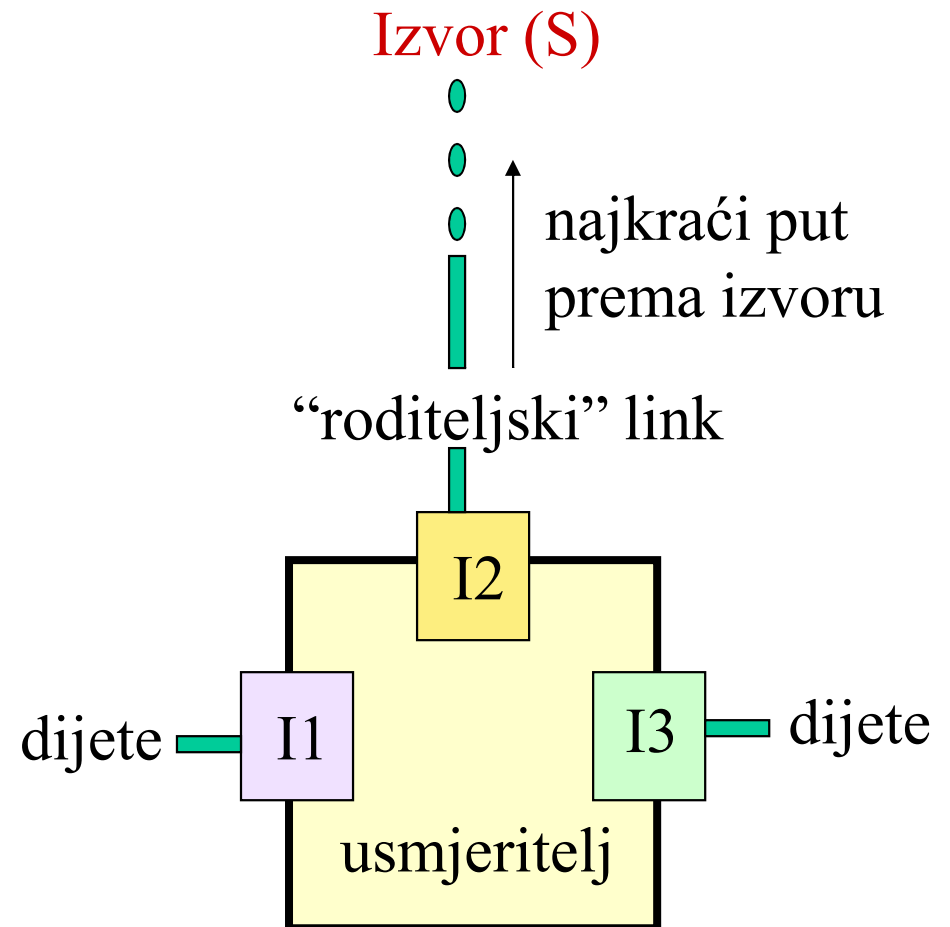
Razapinjuće stablo (*spanning tree*)

- ♦ *razapinjuće stablo* je stablo koje osigurava minimalnu povezivost za bilo koji par (pošiljatelj, primatelj); ne mora biti optimalno
- ♦ kad usmjeritelj primi paket, prosljeđuje ga **samo na ona sučelja koja su dio razapinjućeg stabla** (opet, osim dolaznog); inače ga odbacuje
- ♦ paket se uvišestručuje samo na mjestima gdje se stablo grana



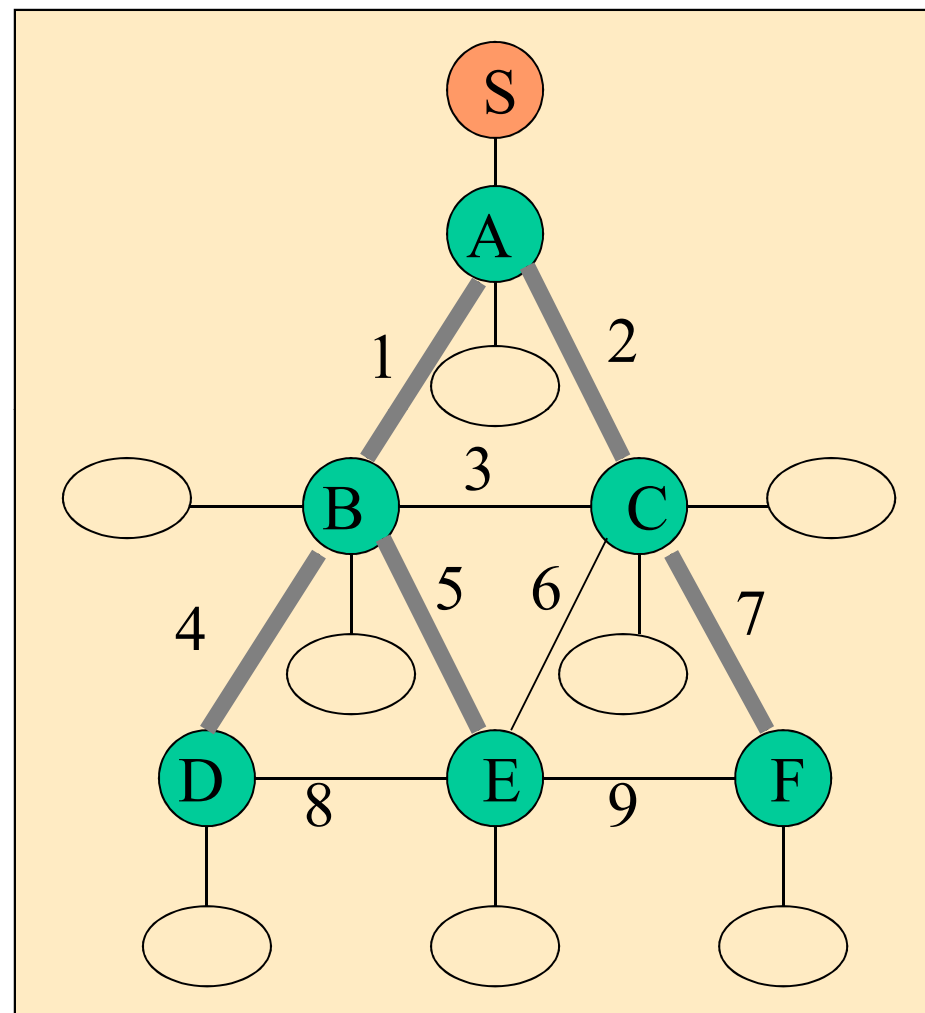
Reverse Path Broadcasting, RPB

- ◆ Gradi se razapinjuće stablo sa svojstvom najkraćeg puta za svaki par (pošiljalatelj, skupina)
- ◆ svaki usmjeritelj postavlja smjer prosljeđivanja tako da kao dolazni, tzv. “roditeljski link”, uzima ono sučelje koje je na najkraćem puta “unatrag” tj. prema pošiljalatelju
- ◆ koji je najkraći put “zna” se na temelju tablice jednodređnog usmjeravanja



RPB - primjer

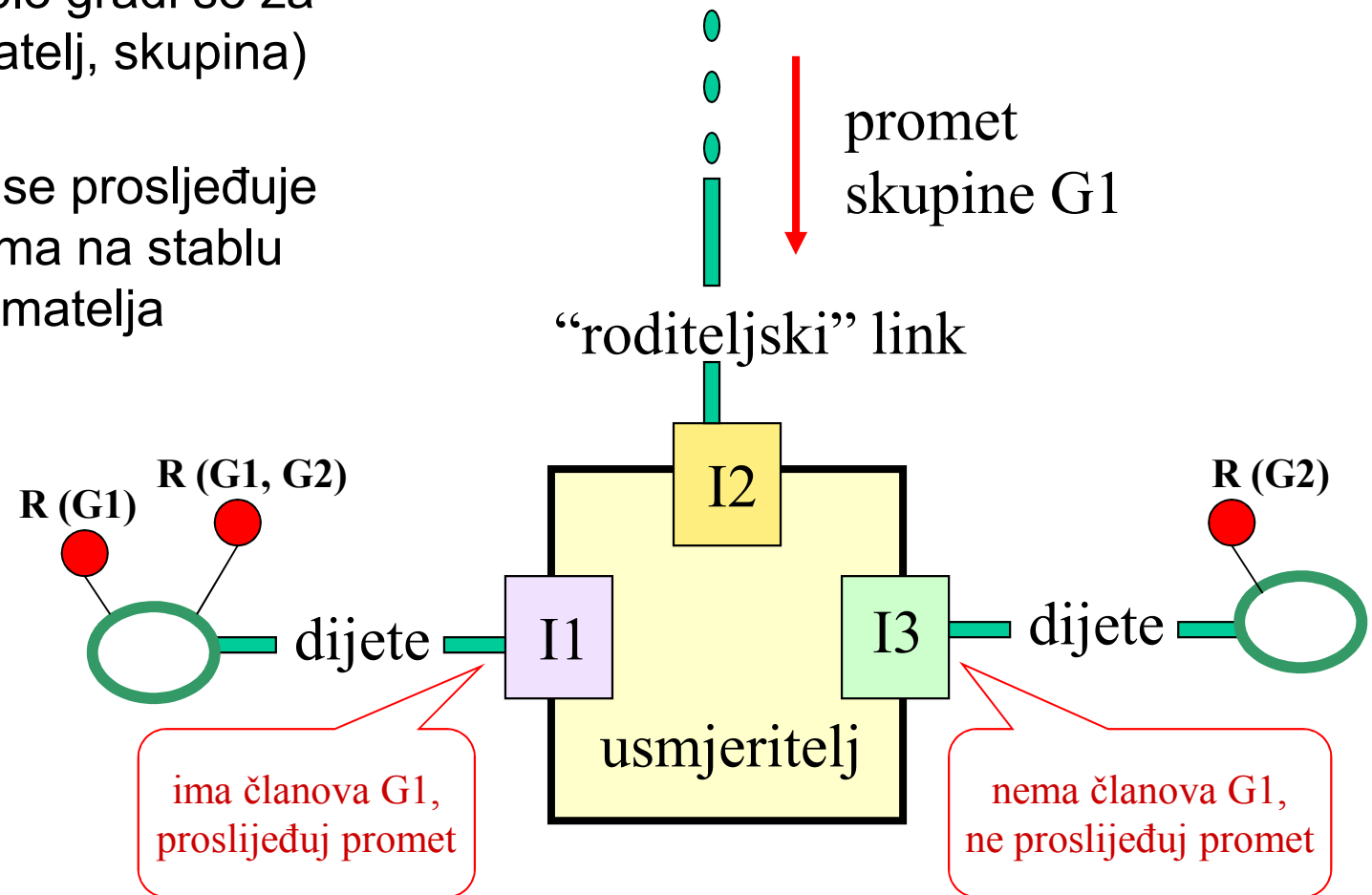
- ♦ razapinjuće stablo ima korijen kod pošiljatelja
- ♦ nedostatak: ne vodi se računa o članstvu u skupinama, promet dolazi do svih usmjeritelja, neovisno o interesu primatelja



Truncated Reverse Path Broadcasting, TRPB

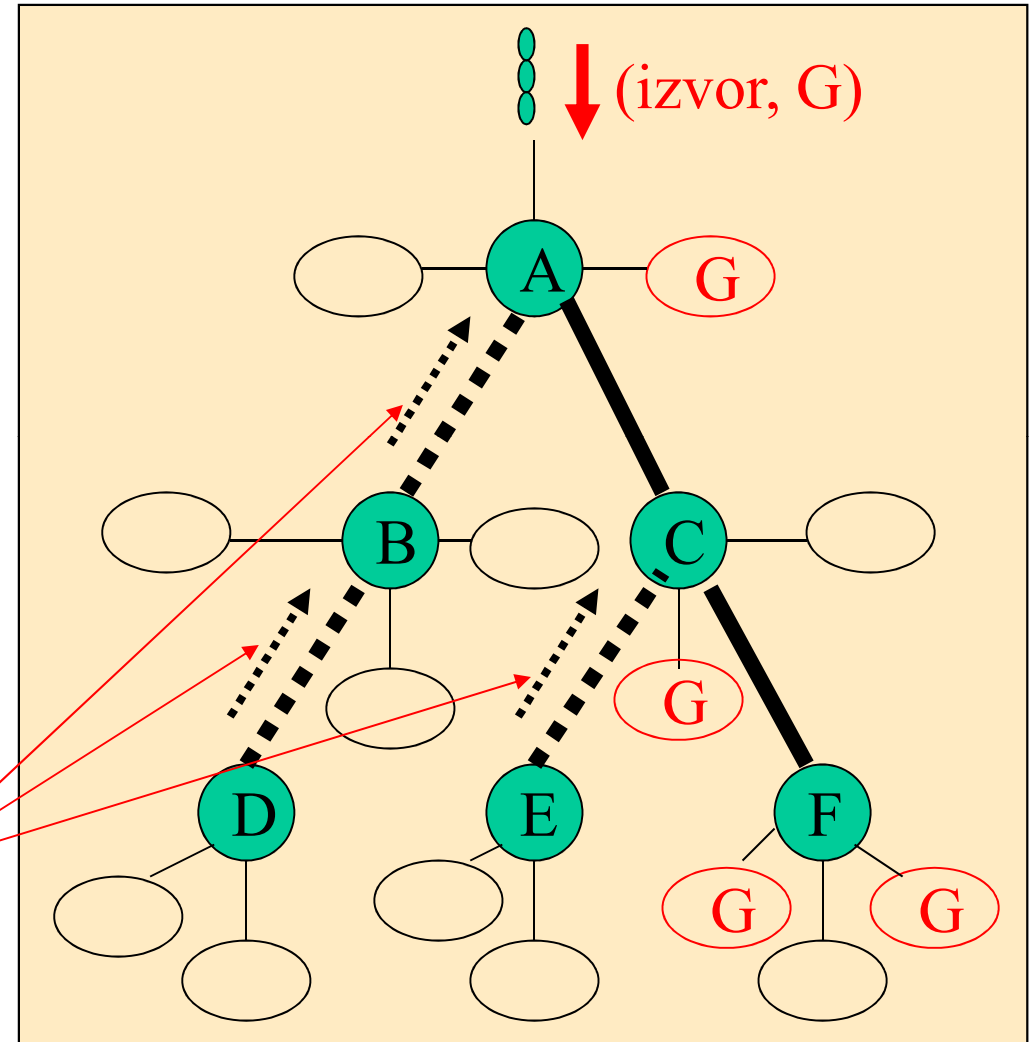
- ♦ razapinjuće stablo gradi se za svaki par (pošiljalac, skupina) kao i za RPB
- ♦ ali se datagram se proslijeđuje samo po sučeljima na stablu koja vode do primatelja

- ♦ za evidentiranje članova skupine koristi se **IGMP**

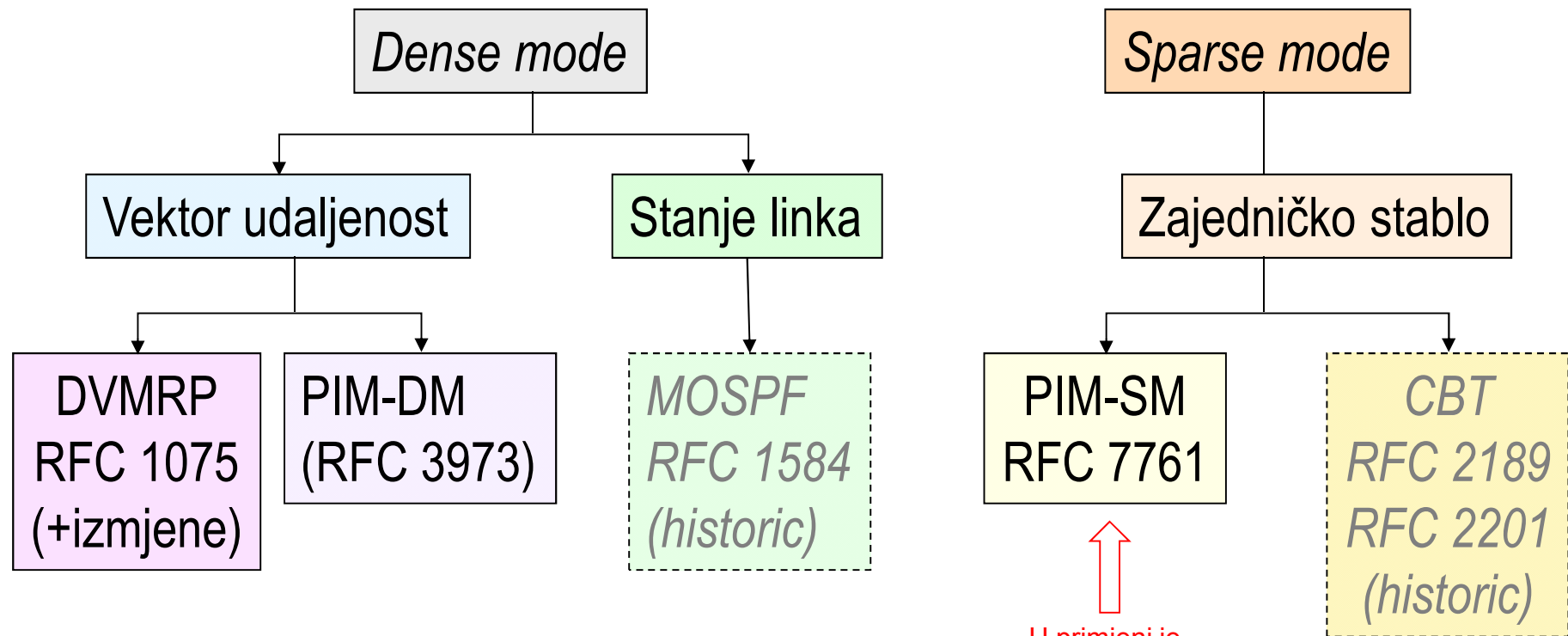


Reverse Path Multicasting, RPM

- ◆ stvara se razapinjuće stablo sa sljedećim svojstvima:
 - sadrži mreže u kojima ima članova skupine
 - sadrži usmjeritelje koji se nalaze na najkraćem putu prema tim mrežama
 - grane na kojima nema primatelja se podrezuju
- ◆ način rada:
 - prvi paket se prosljeđuje koristeći TRPB
 - usmjeritelji koji nemaju članova šalju poruke o podrezivanju
 - stablo se periodički osvježava preko TRPB



Pregled protokola višeodredišnog usmjeravanja



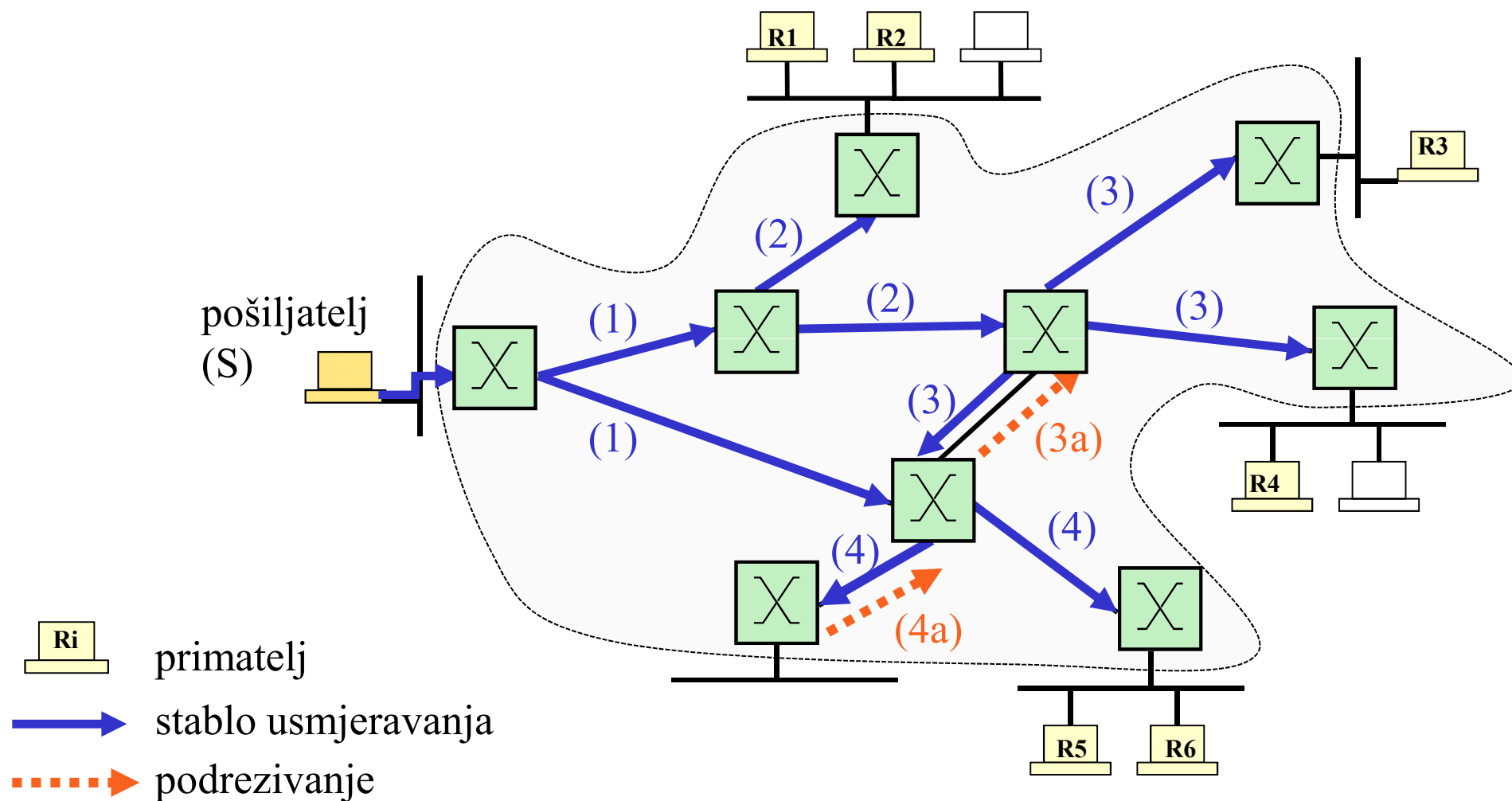
U primjeni je
najzastupljeniji
PIM-SM.

DVMRP	Distance Vector Multicast Routing Protocol
MOSPF	Multicast Extensions to Open Shortest Path First
PIM-SM	Protocol Independent Multicast - Sparse Mode
PIM-DM	Protocol Independent Multicast - Dense Mode
CBT	Core Based Trees (v2)

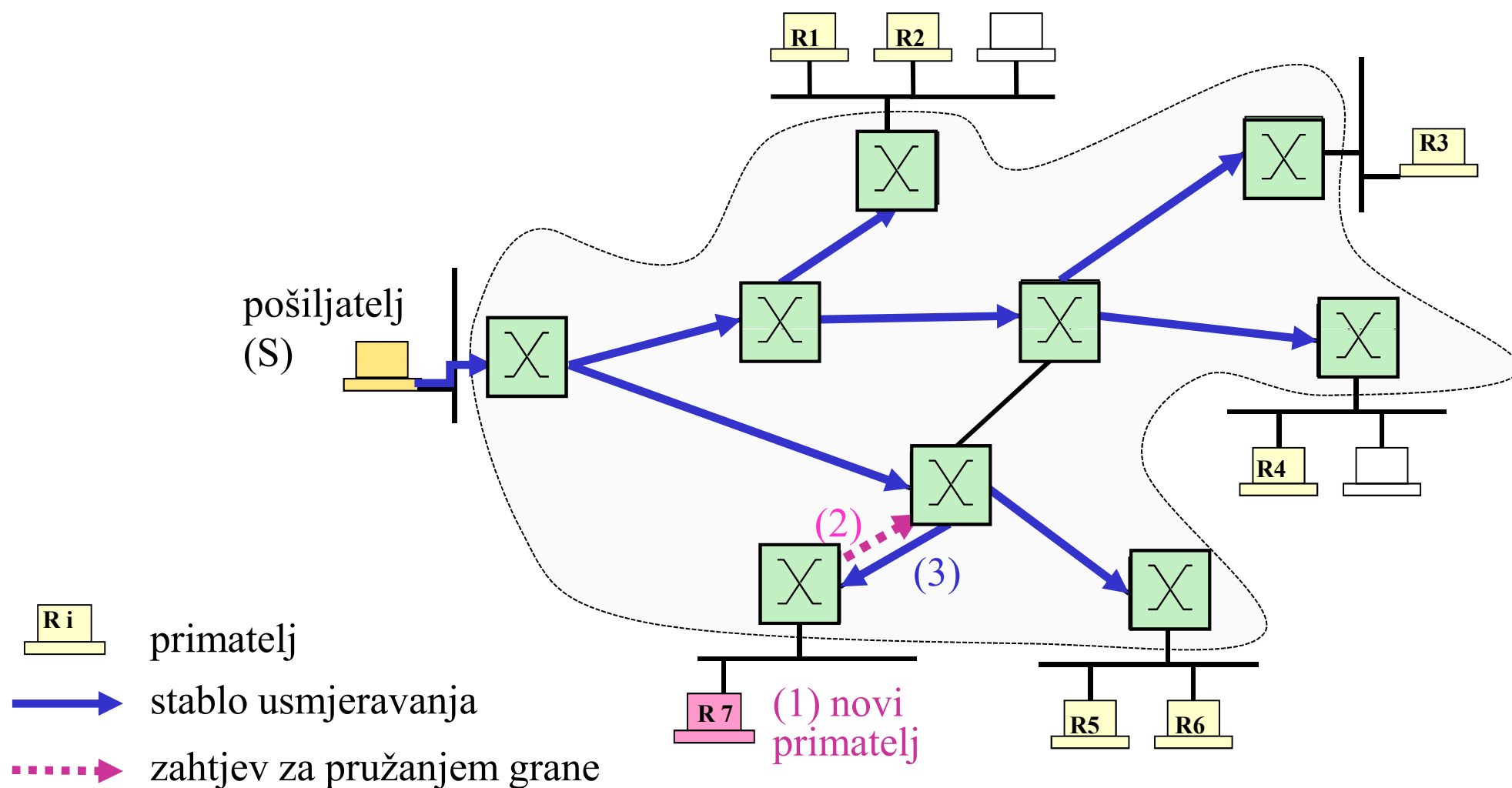
Distance Vector Multicast Routing Protocol

- ◆ DVMRP spada u skupinu protokola koji se temelje na računanju *vektora udaljenosti*
 - ◆ DVMRP radi u sprezi s protokolom *Routing Information Protocol* (RIP) za pojedinačno usmjeravanje
 - ◆ DVMRP dinamički gradi stablo usmjeravanja sa svojstvom najkraćeg puta, za svakog pošiljatelja
 - prednosti: jednostavna izvedba, stablo najkraćeg puta
 - nedostaci: nije pogodan za vrlo velike mreže, periodičke *broadcast* i *prune* poruke, sporo prilagođavanje promjenama u topologiji
-

DVMRP - preplavljanje i podrezivanje



DVMRP - pružanje nove grane



Protocol Independent Multicast - Sparse Mode

- ◆ PIM-SM gradi zajedničko stablo usmjeravanja za svaku skupinu, s mogućnošću prelaska na stablo najkraćeg puta za svakog pošiljatelja
 - stablo se gradi od središnje točke, nazvane *Rendezvous Point* (RP)
 - uvodi se pojam odabranog usmjeritelja, *Designated Router* (DR)
 - DR “zastupa” računala na LAN-u prema ostalim PIM-SIM usmjeriteljima
 - ◆ PIM-SM je neovisan o protokolu pojedinačnog usmjeravanja (može raditi s bilo kojim od njih)
-

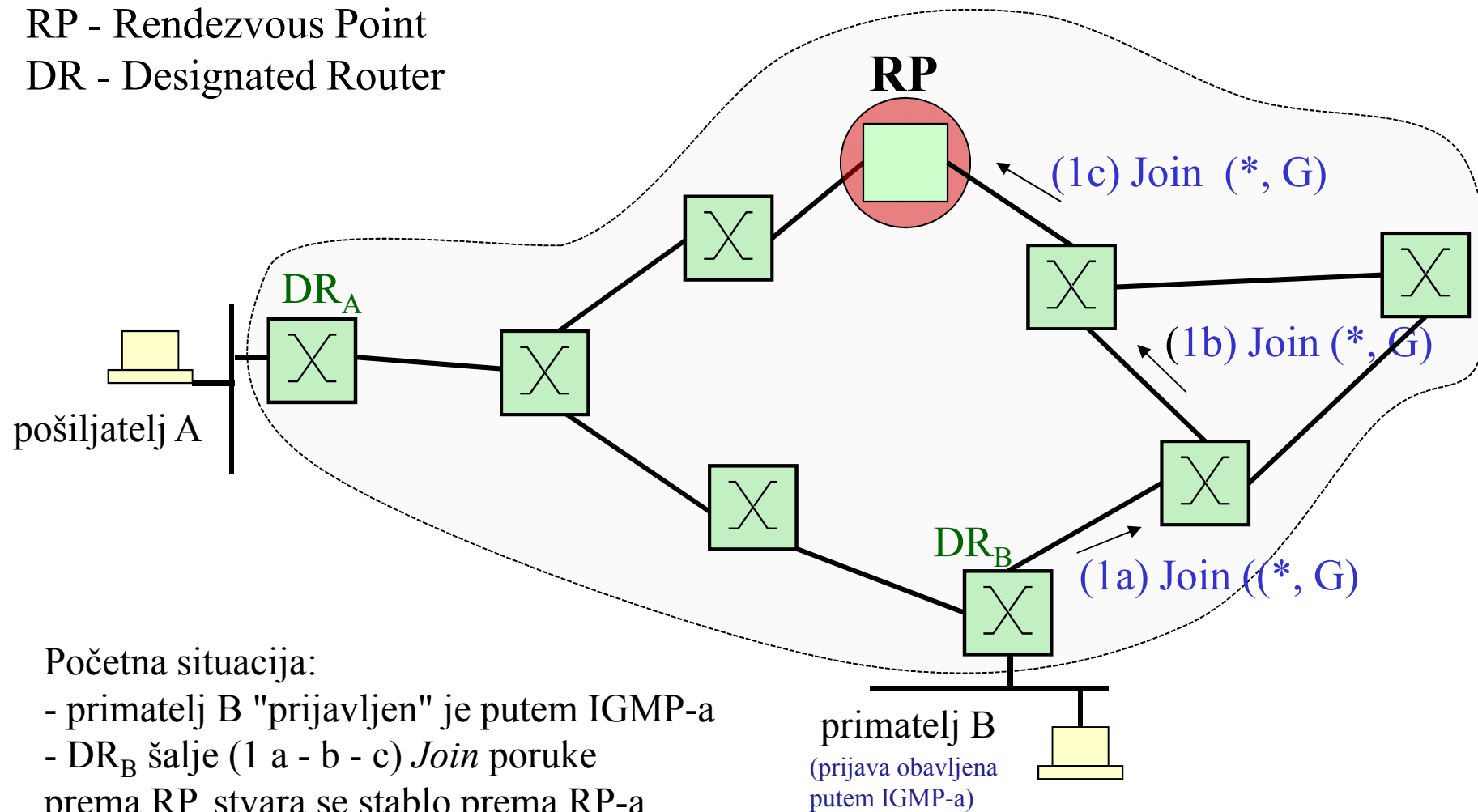
- ◆ Pojmovi i podatkovne strukture:
 - Rendezvous Point (RP)
 - Designated Router (DR)
 - Multicast Routing Information Base (MRIB)
 - Reverse Path Forwarding (RPF) Neighbor
 - Tree Information Base (TIB)
-

Način rada protokola PIM-SM

- ◆ PIM-SM usmjerava podatkovne pakete od pošiljatelja prema primateljima
 - primatelji i pošiljatelji ne znaju unaprijed jedni za druge
 - primatelji i pošiljatelji mogu se pridružiti skupini G (ili otići) bilo kada
 - ◆ način rada može se opisati kroz tri faze (mogu se odvijati i istovremeno)
 - 1. faza: uspostava stabla usmjeravanja "ukorijenjenoga" u RP-u, skr. "RP-stabla" (*RP Tree*)
 - 2. faza: zaustavljanje registracije (*Register-Stop*)
 - 3. faza: prelazak na stablo najkraćeg puta (*Shortest Path Tree*)
-

Faza 1: uspostava RP-stabla (1/4)

RP - Rendezvous Point
DR - Designated Router

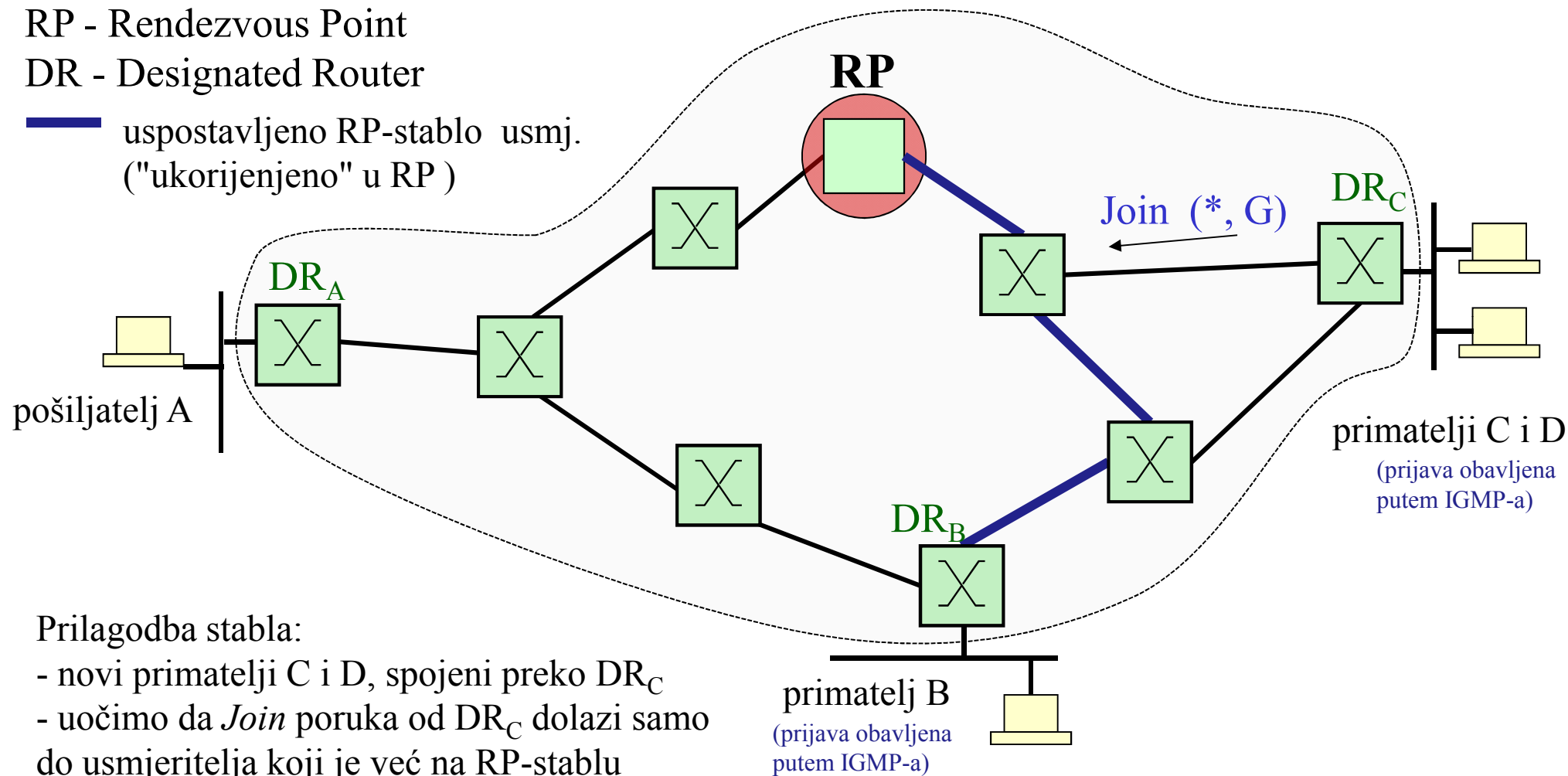


Faza 1: uspostava RP-stabla (2/4)

RP - Rendezvous Point

DR - Designated Router

— uspostavljeno RP-stablo usmj.
("ukorijenjeno" u RP)

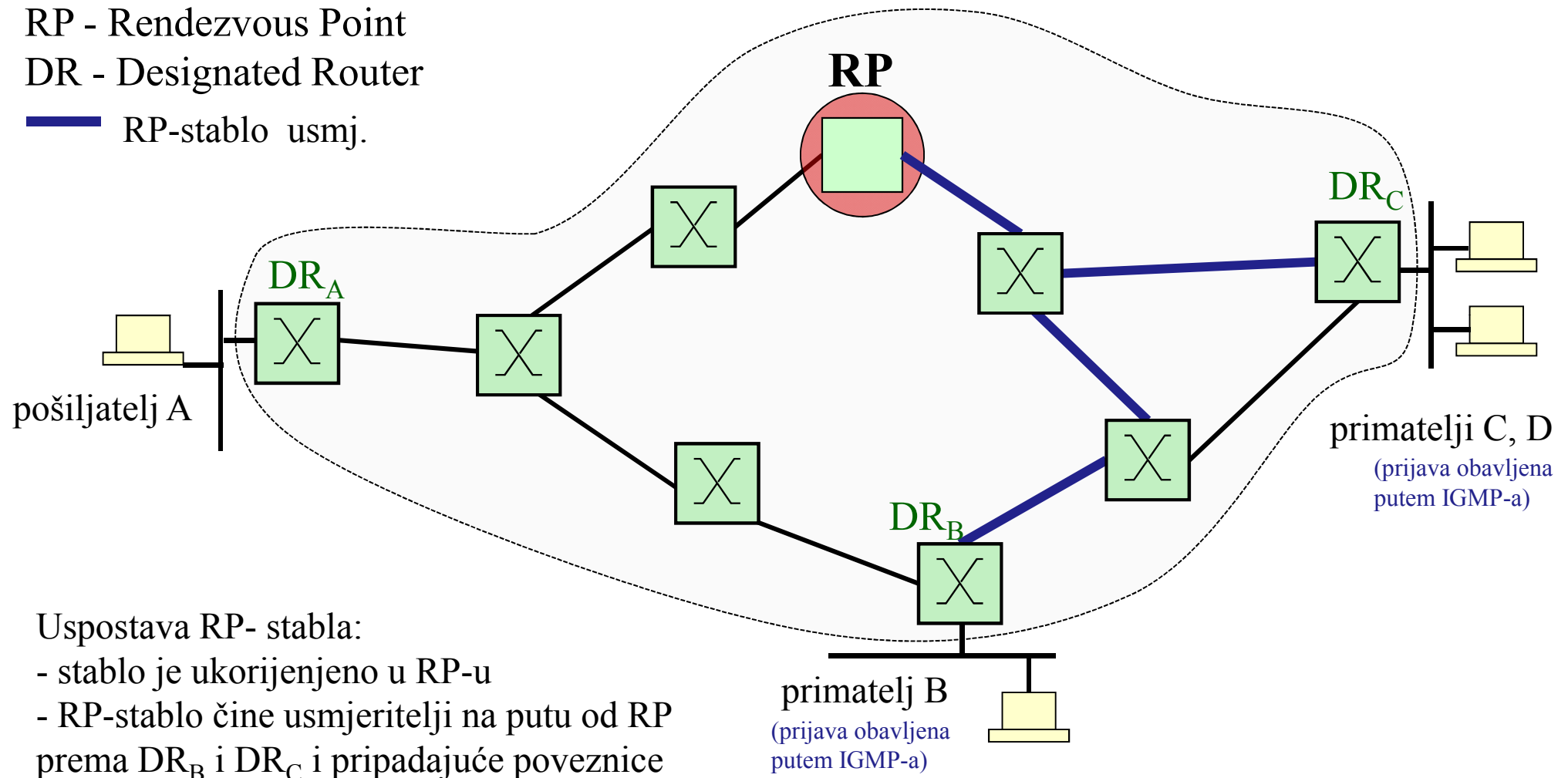


Prilagodba stabla:

- novi primatelji C i D, spojeni preko DR_C
- uočimo da *Join* poruka od DR_C dolazi samo do usmjeritelja koji je već na RP-stablu

Faza 1: uspostava RP-stabla (3/4)

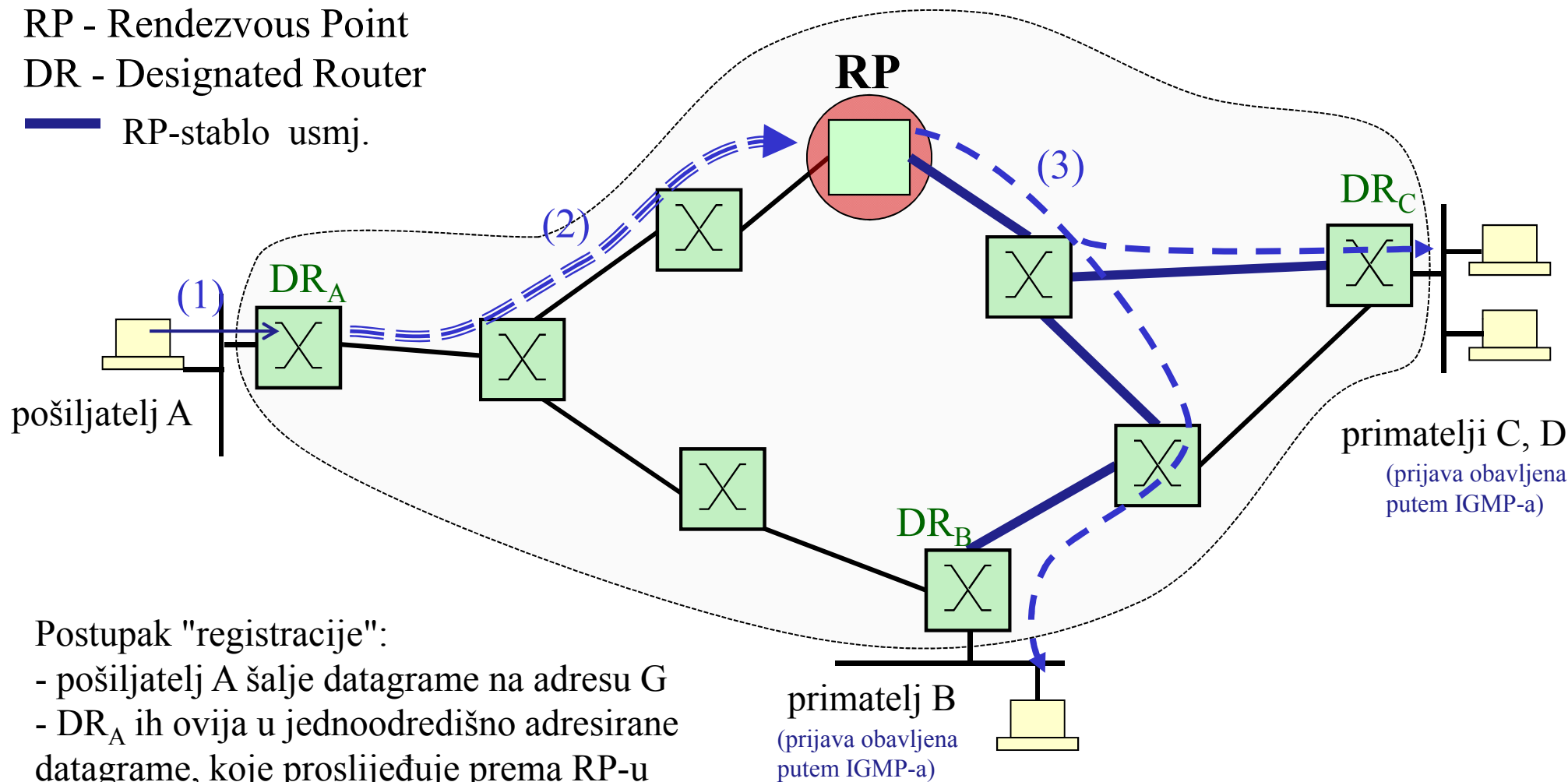
RP - Rendezvous Point
DR - Designated Router
— RP-stablo usmj.



Faza 1: uspostava RP-stabla (4/4)

RP - Rendezvous Point
DR - Designated Router

— RP-stablo usmj.



FER
/ Zavod za
telekomunikacije

DR - Designated Router

DR - Designated Router

— RP-stablo usmj.

Join (S, G)

pošiljatelj A (S=A)

DR_A

RP

DR_B

primatelj B (prijava obavljena putem IGMP-a)

DR_C

primatelji C, D (prijava obavljena putem IGMP-a)

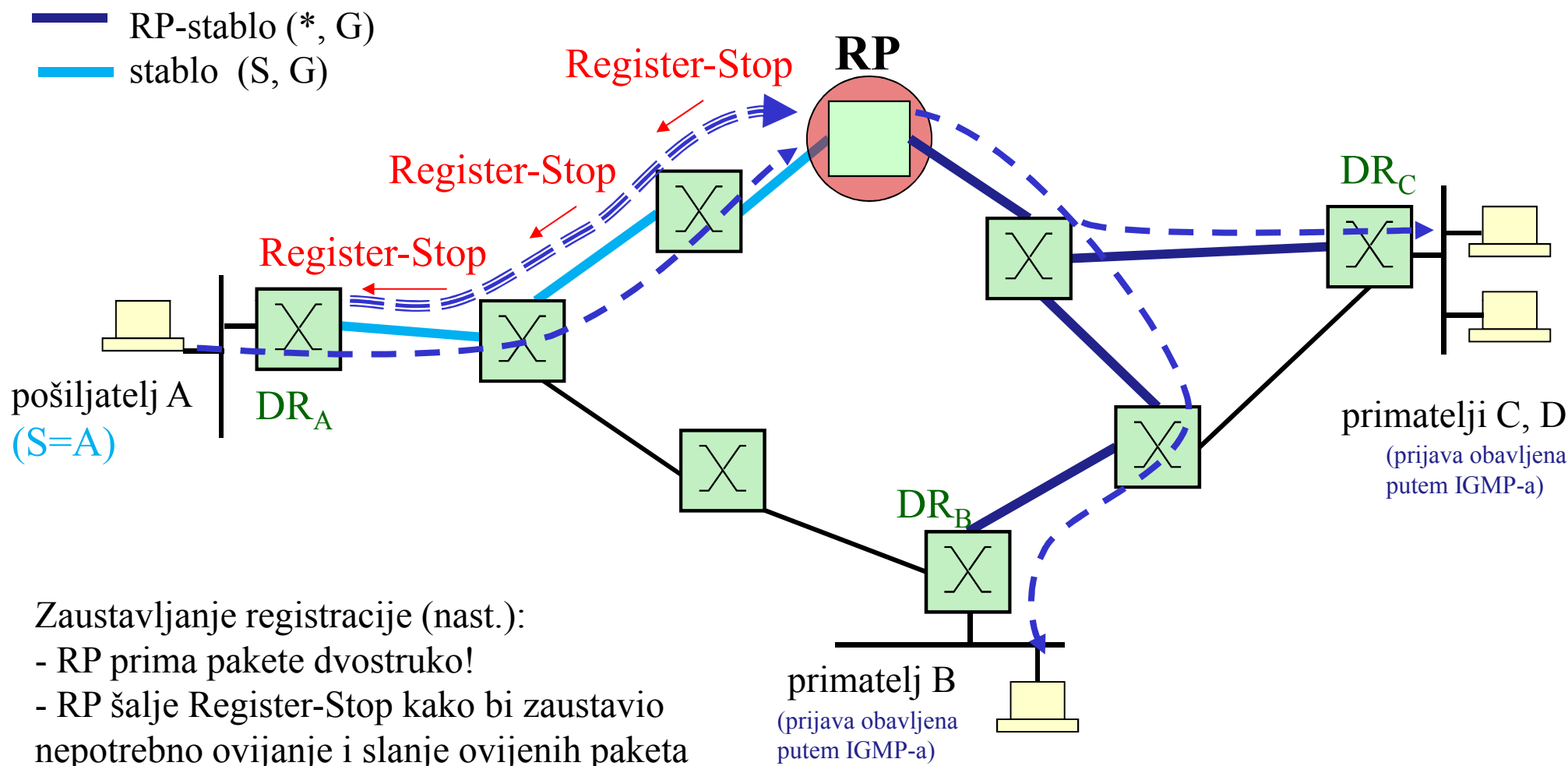
Zaustavljanje registracije:

- RP šalje Join (S, G) poruke prema DR_A
- DR_A počinje prosljeđivati i ne-ovijeni promet skupine G prema RP-u

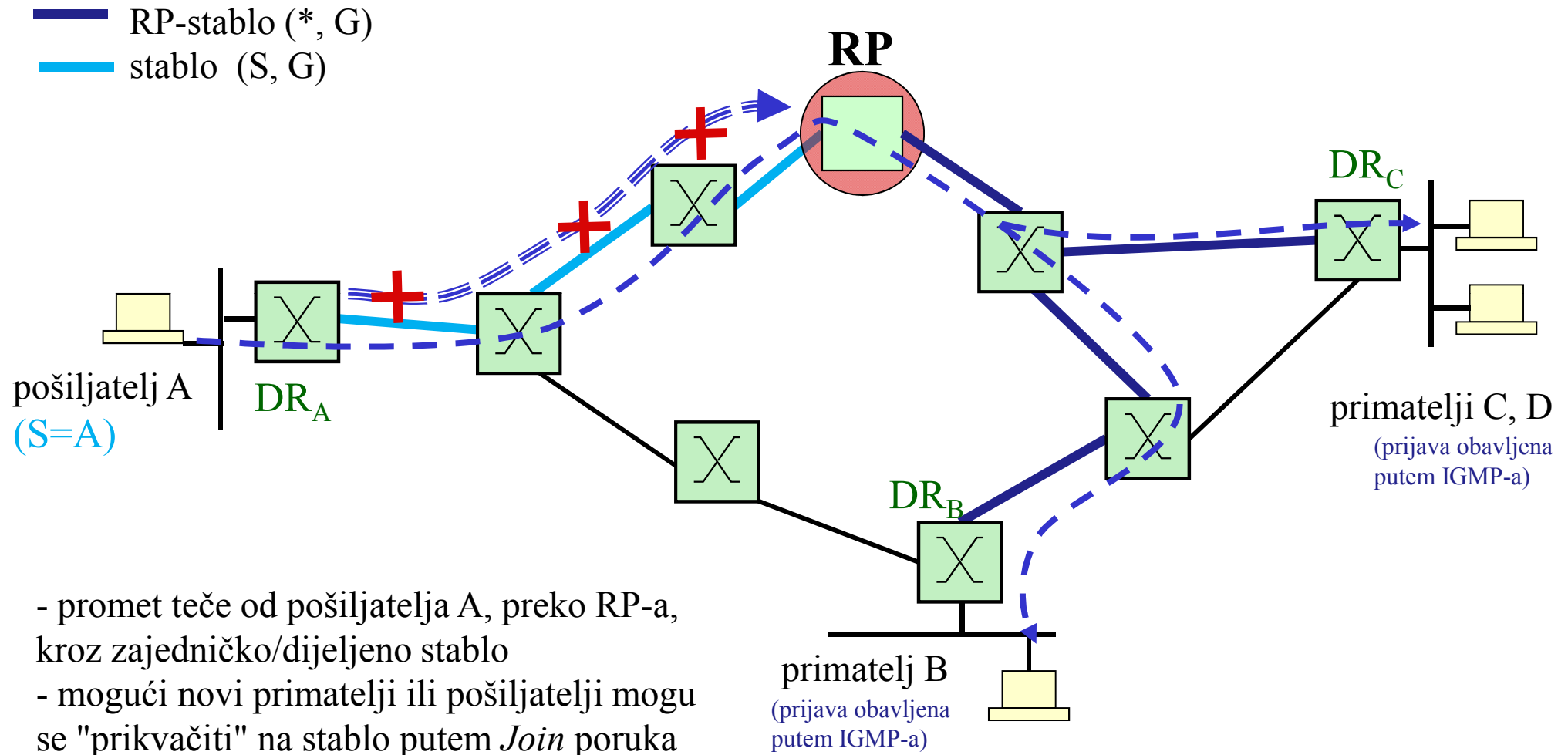
Zaustavljanje registracije:

- RP šalje Join (S, G) poruke prema DR_A
- DR_A počinje prosljeđivati i ne-ovijeni promet skupine G prema RP-u

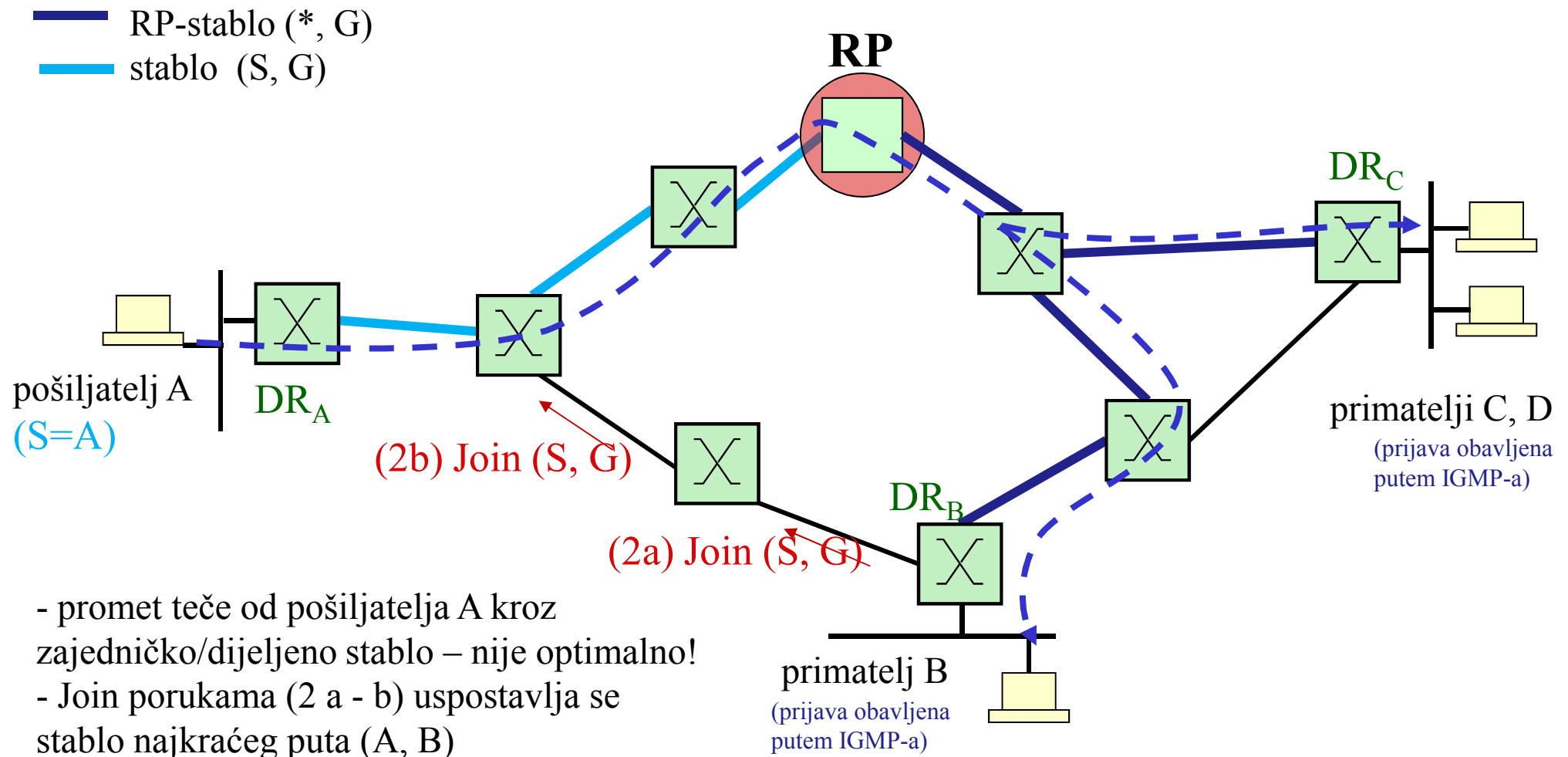
Faza 2: zaustavljanje registracije (2/3)



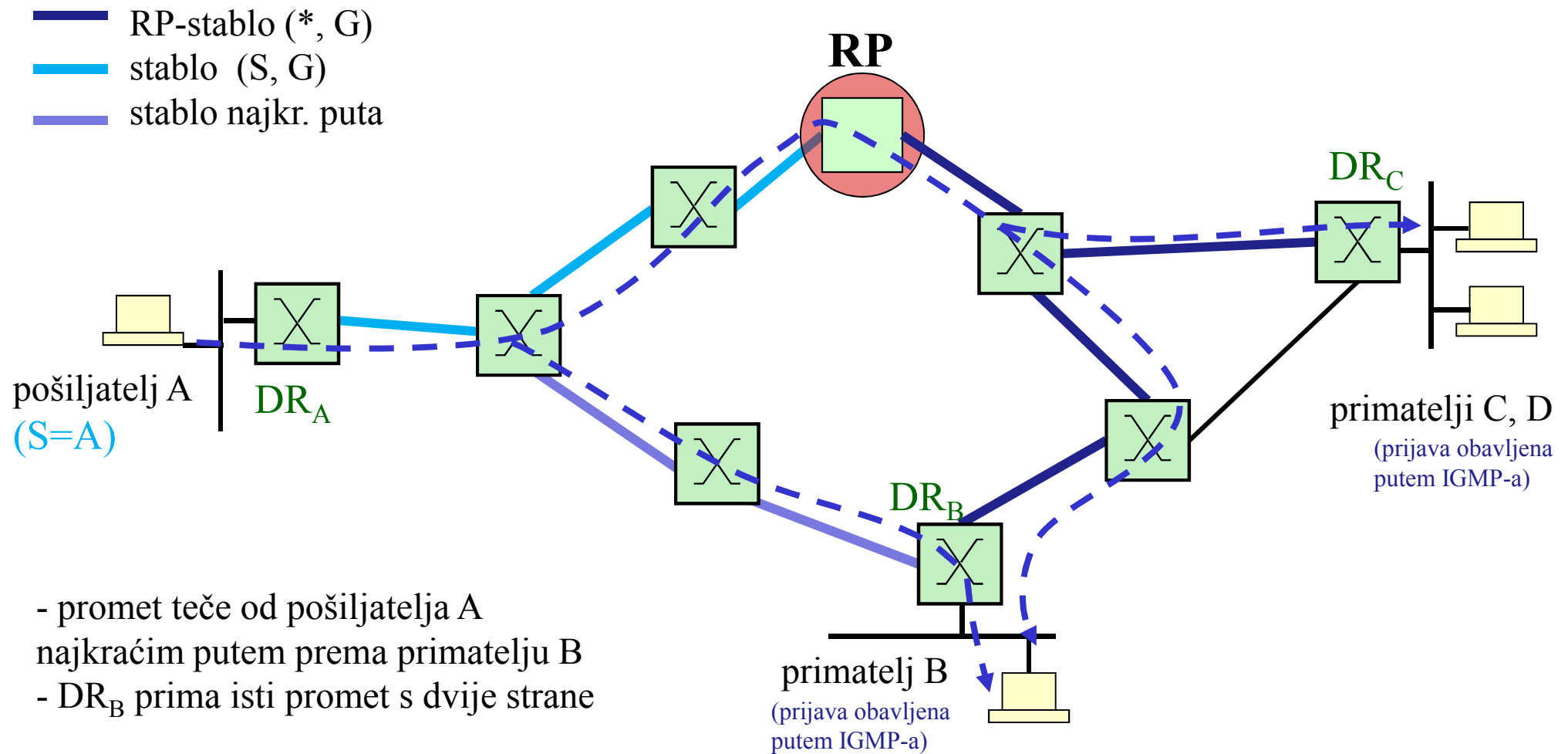
Faza 2: zaustavljanje registracije (3/3)



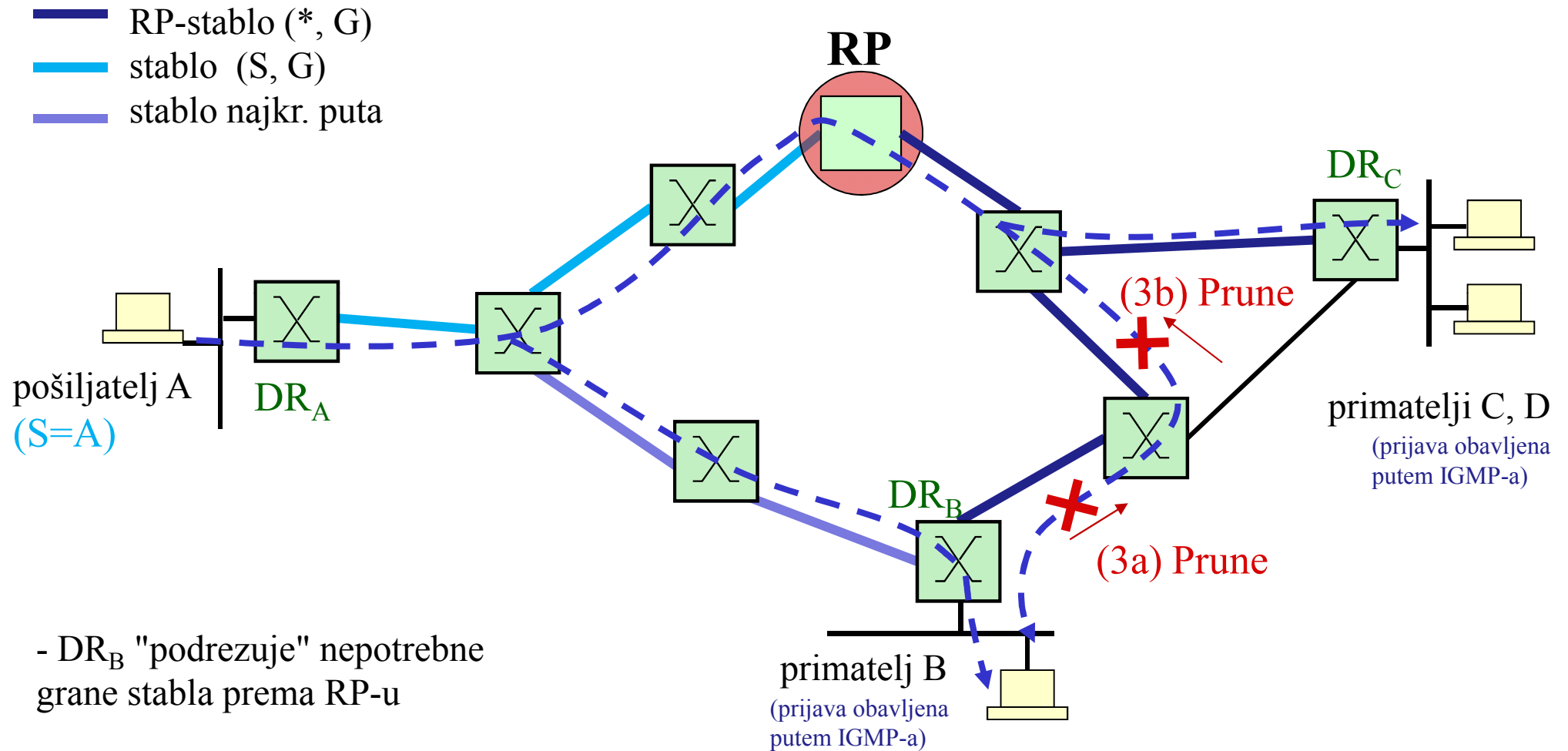
Faza 3: prelazak na stablo najkraćeg puta (1/3)



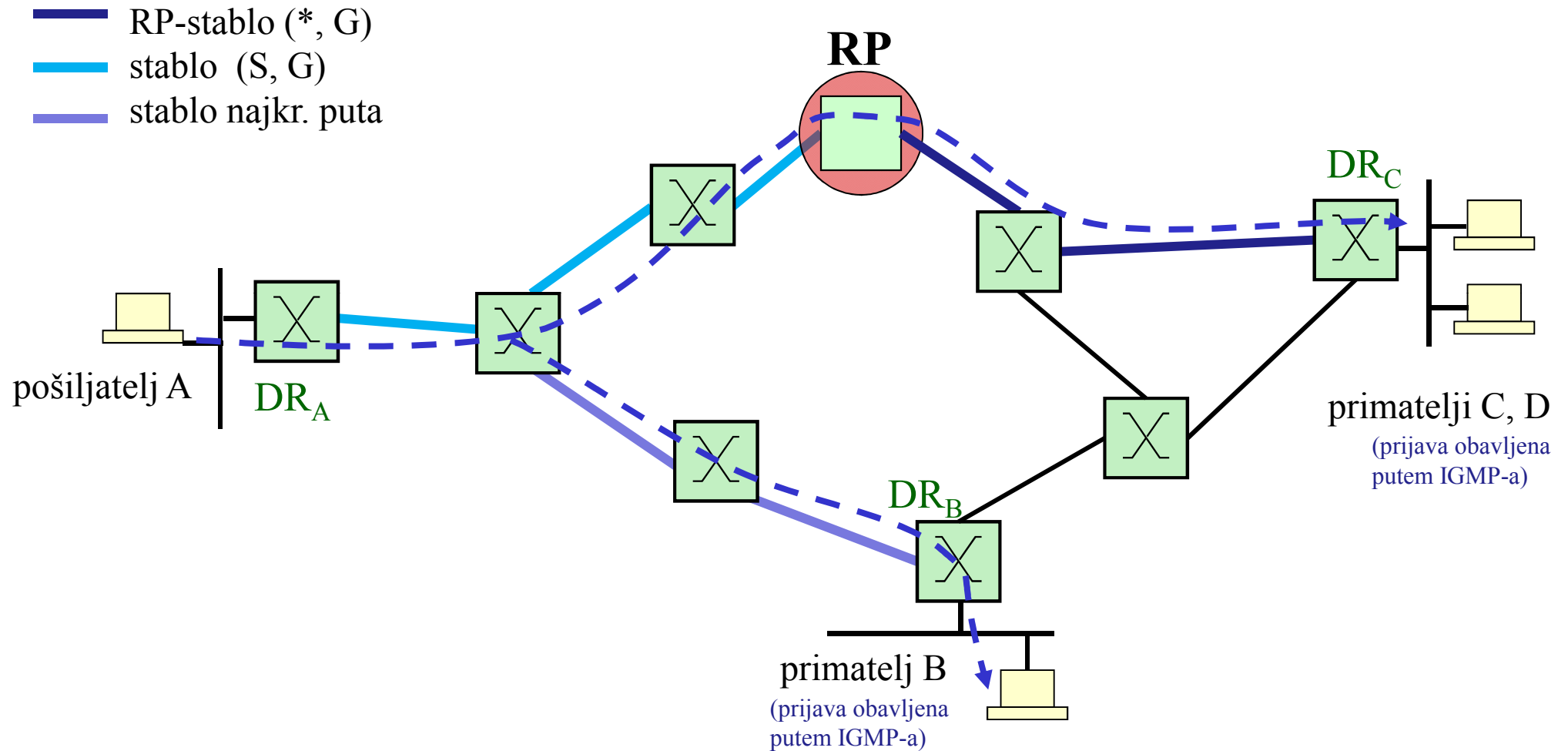
Faza 3: prelazak na stablo najkraćeg puta (2/3)



Faza 3: prelazak na stablo najkraćeg puta (3/3)



Faza 3: prelazak na stablo najkraćeg puta (3/3)



Sažetak svojstava protokola PIM-SM

■ prednosti:

- prilagodljivost veličini (bolja skalabilnost od, primjerice, DVMRP i sličnih protokola koji se temelje na preplavlivanju)
- mogućnost raspoređivanja opterećenja, odn. prelaska na stablo najkraćeg puta

■ nedostaci:

- mora postojati mehanizam za preslikavanje višeodredišne adrese na adresu RP-a, ili se ona mora unaprijed odrediti (npr. statički konfigurirati)
 - ovisnost o RP-u općenito: izbor smještaja središnje točke nije trivijalan problem (početno RP-stablo ne mora biti optimalno, ali to se rješava u fazama 2 i 3)
-