

Računarske mreže 1

9. deo: Protokoli rutiranja - *Distance Vector*

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

Protokoli rutiranja

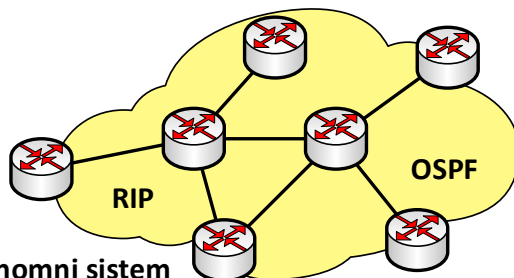
- Statičko rutiranje
 - Ručno se definišu rute do IP mreža
- Dinamičko rutiranje
 - Ruteri razmenjuju informacije i automatski određuju rute do IP mreža
- Protokoli rutiranja (ruting protokoli)
 - Ne služe za rutiranje poruka
 - Služe da ruteri nauče kako da rutiraju poruke – uspostavljaju ruting tabele
- Osnovni principi:
 - Obaveštavaju druge rutere o mrežama za koje oni imaju informacije (oglašavaju rute preko „ruting apdejta“ – „*routing update*“)
 - Prikupljaju informacije o drugim mrežama od drugih rutera
 - Ako postoji više ruta do neke mreže, bira se najbolja ruta na bazi određene metrike i ta ruta se upisuje u ruting tabelu
 - Ako dođe do promene topologije, ponovo se bira najbolju rutu na bazi metrike i drugim ruterima se oglašava novo stanje

Podela protokola rutiranja

- Protokoli rutiranja
 - **Interni**
 - ***Distance Vector***
 - **RIP** – *Routing Information Protocol*
 - **IGRP** – *Interior Gateway Routing Protocol*
 - ***Link State***
 - **OSPF** – *Open Shortest Path First*
 - **IS-IS** – *Intermediate System to Intermediate System*
 - Hibridni
 - **EIGRP** – *Enhanced Interior Gateway Routing Protocol*
 - **Eksterni**
 - **BGP** – *Border Gateway Protocol*
- Osnovni cilj svih rutirajućih protokola – uspostavljanje rutirajućih tabela
 - Potpuno – za sve mreže u rutirajućem domenu na svim ruterima
 - Konzistentno – ispravno, bez rutirajućih petlji
 - Optimalno – prema odgovarajućoj metrici
 - Adaptivno – prilagođavanje promeni topologije

Autonomni sistem

- Autonomni sistem – AS (*Autonomous System*)
 - Jedinstveni administrativni domen računarske mreže
 - Jedinstveno upravljanje mrežom
 - NOC (*Network Operation Center*) – centar za upravljanje mrežom
 - Pažljiv dizajn i upravljanje jedinstvenim adresnim prostorom
 - Usaglašeno rutiranje
 - Konfiguracije rutera su usaglašene, promene sinhronizovane itd.
- Primeri:
 - Akademska mreža, korporacijske mreže, provajderske mreže



AS – Autonomni sistem

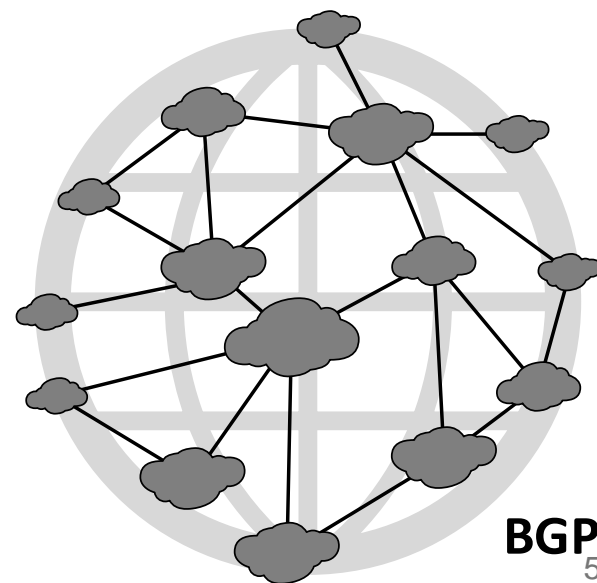
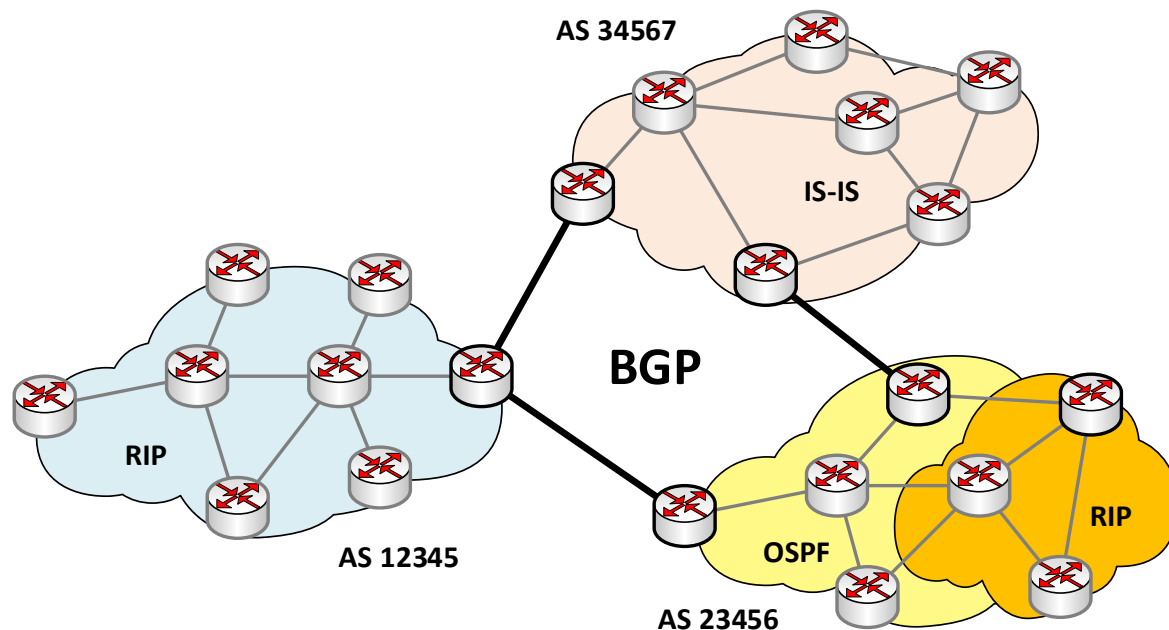
Interni i Eksterni protokoli rutiranja

- **Interni protokoli rutiranja**

- Unutar jednog autonomnog sistema
- Ruting domen – deo mreže sa jednim ruting protokolom
- Jedan AS obično jedan ruting dome, ali može i više

- **Eksterni protokoli rutiranja**

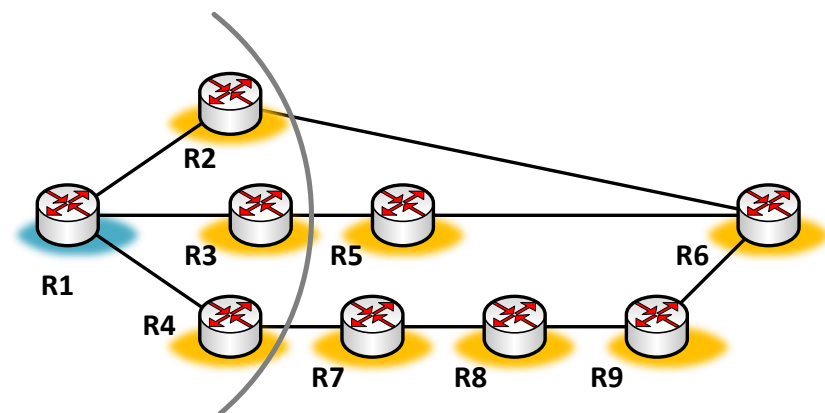
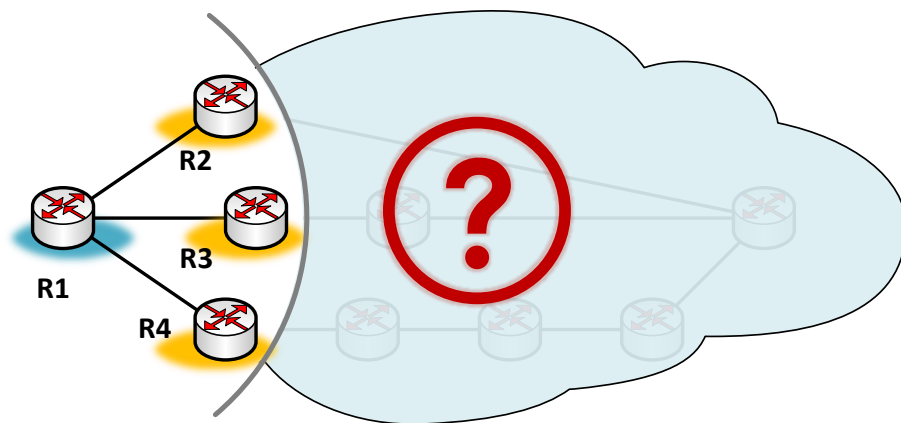
- Između autonomnih sistema, tačnije „graničnih rutera“
- Internet - BGP eksterni protokol rutiranja između autonomnih sistema



Distance Vector vs. Link State

- **Distance Vector**

- Susedni ruteri razmenjuju informacije o mrežama, na osnovu kojih saznaju:
 - Distanču (metriku) do određene mreže
 - Vektor (*next-hop*) koji vodi do određene mreže
- Ruteri poznaju samo susedne rutere, ali ne i celu topologiju
- Rute se periodično razmenjuju

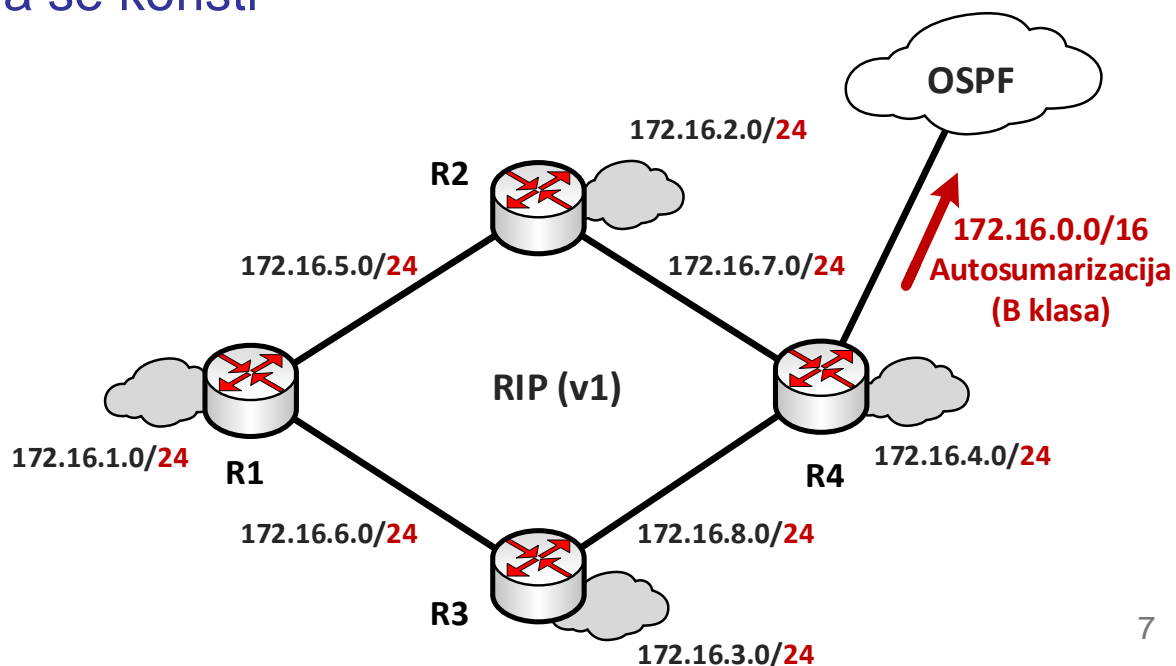


- **Link State**

- Tokom razmene informacija sa susednim ruterima, saznaje se celu topologija mreže, sa svim parametrima (brzine veza, adrese itd.)
- Informacije se ne razmenjuju periodično, već samo pri promeni topologije

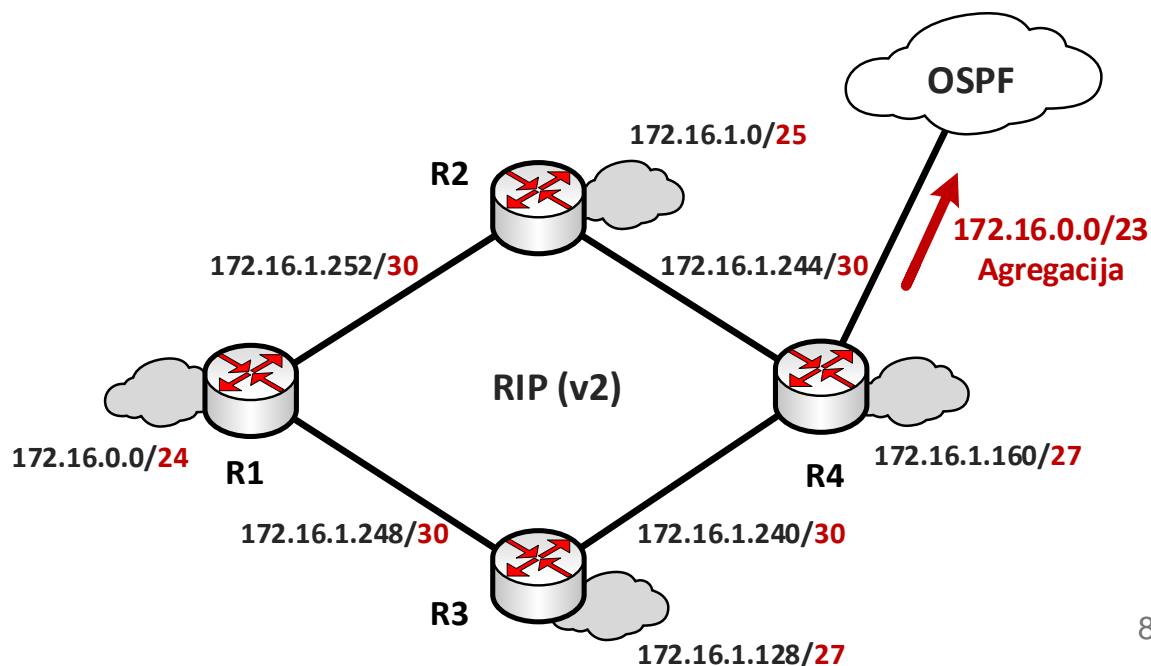
Classful routing protokoli

- Rute koje se razmenjuju ne sadrže maske
- Podržane su maske, ali su iste dužine u svim IP mrežama
 - Svi ruteri implicitno znaju maske na osnovu konfiguracije svojih interfejsa
- Autosumarizacija – automatska agregacija svih IP mreža
 - Sprovodi se na vezi sa drugi routing domenom
 - *Classful* – sprovodi se na nivou mrežnog dela klase A, B i C, nezavisno od maske koja se koristi
 - 172.16.0.0/16



Classless routing protokoli

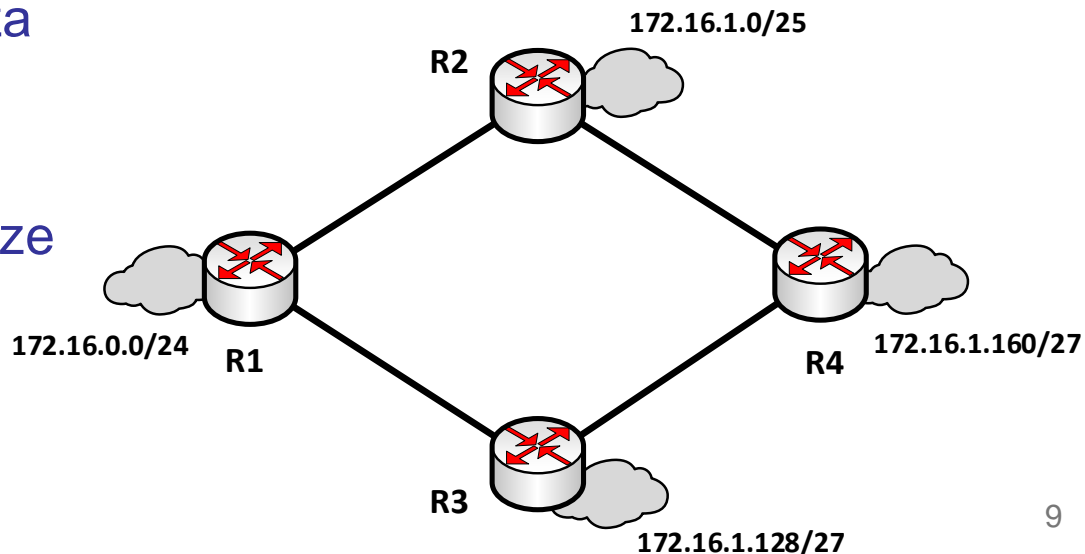
- Maske su sadržane u rutama koje se razmenjuju između rutera
 - Promenljiva dužina maske (VLSM)
 - Fleksibilno agregiranje IP mreža – prenošenje agregirane rute u drugi routing domen
- Danas (a i dosta dugo) se koriste isključivo *classless* routing protokoli



Metrika

- Metrika
 - Za izbor najbolje rute kada postoji više različitih ruta do određene mreže
 - Posmatra se na nivou cele putanje do određene mreže
- Može se koristiti
 - **Hop count** – broj koraka (rutera) do posmatrane mreže
 - **Bandwidth** – izvedeno iz brzine veza (propusni opseg)
 - **Cost** – proizvoljna cena koja se definiše
 - **Delay** – kašnjenje koje veza unosi (npr. satelitske veze imaju veće kašnjenje od zemaljskih veza nezavisno od kapaciteta)
 - **Load** – opterećenje linka
 - **Reliability** – pouzdanost veze

Mreža	Met
172.16.0.0/24	0
172.16.1.0/25	1
172.16.1.128/24	1
172.16.1.160/27	2

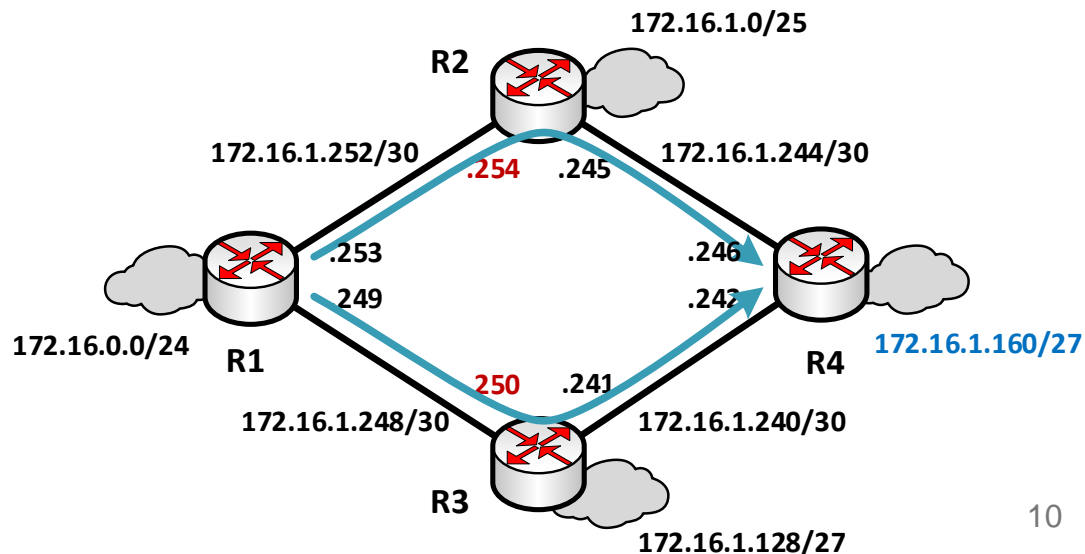


Balansiranje saobraćaja

- **Load Balancing**

- Više putanja (ruta) do određene mreže sa istom metrikom
- Slanje paketa preko više odlaznih veza
 - Obično jedan komunikacioni tok (svi paketa iste komunikacije) ipak ide samo preko jedne veze, a drugi tok može preko druge veze
 - Statistički se postiže ravnomernije opterećenje
- Bolje iskorišćenje ukupnog propusnog opsega
- U ruting tabeli za jednu mrežu postoji dve ili više *next-hop* adresa

R1: Ruting tabela		
Mreža	Met	Next-hop
172.16.0.0/24	0	Connected
172.16.1.0/25	1	172.16.1.254
172.16.1.128/24	1	172.16.1.250
172.16.1.160/27	2	172.16.1.250
		172.16.1.254



Administrativna distanca

- Problem: dve različite rute do iste mreže dobijene preko različitih rutirg protokola
 - Neuporedive metrike– npr. *hop-count* i *bandwidth*
- Administrativna distanca
 - Fiksne vrednost za različite protokole rutiranja
 - Određuje prioritet rute u slučaju poređenja sa rutom od drugog protokola
 - Manja vrednost – veći prioritet
 - Veća težina u odnosu na metriku

Connected	0
Static	1
EIGRP summary	5
BGP external	20
EIGRP internal	90
IGRP	100
OSPF	110
RIP	120
EIGRP external	170
BGP internal	200

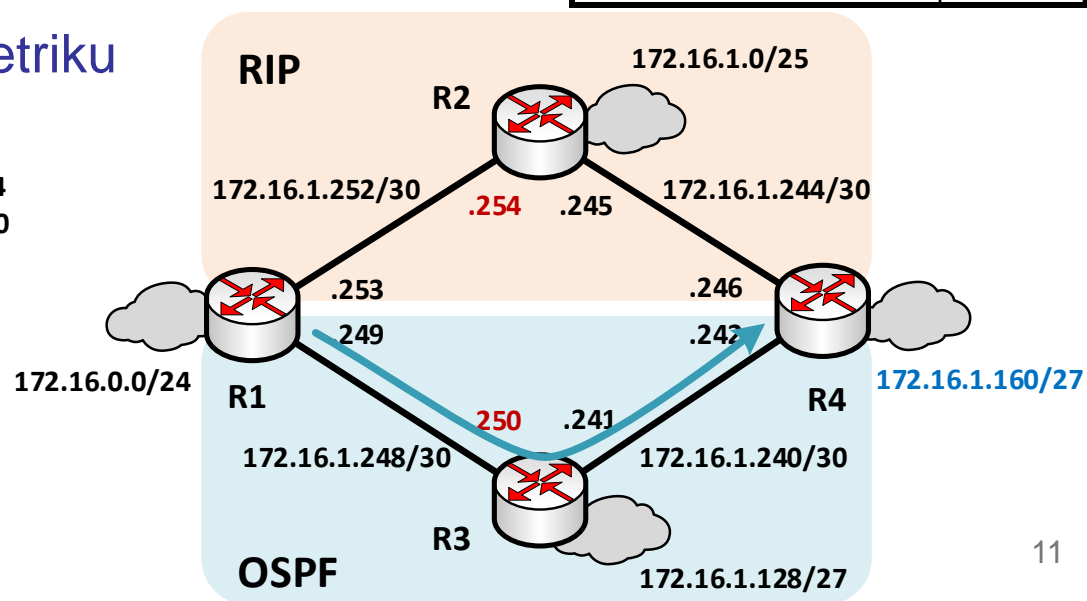
172.16.1.160/27

RIP : **AD=120**, met= 2, next-hop=172.16.1.254

OSPF : **AD=110**, met= 129, next-hop=172.16.1.250

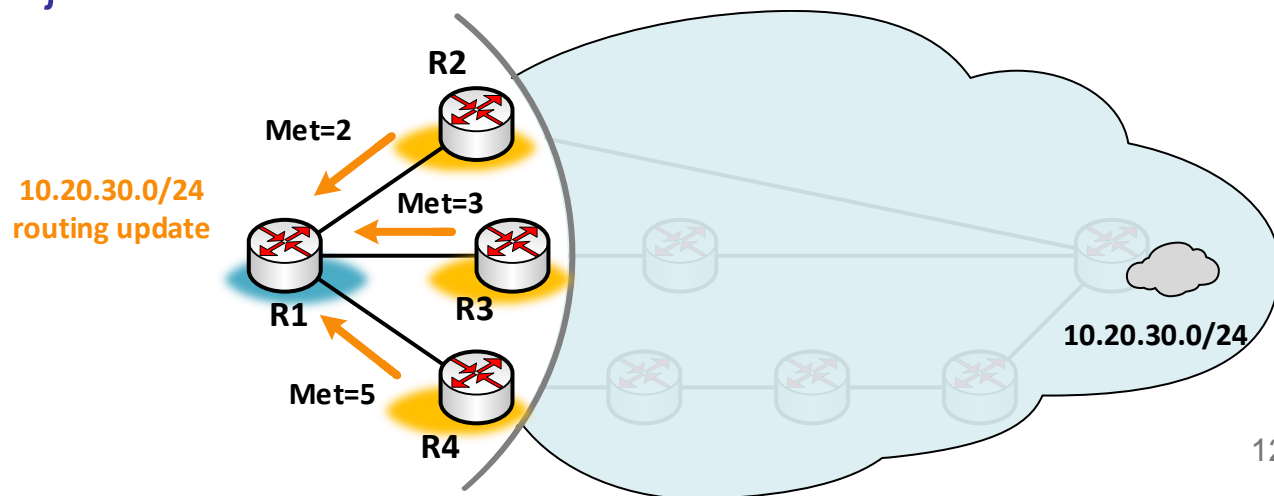
R1: Rutirg tabela

Mreža	AD	Met	Next-hop
172.16.0.0/24	0	0	Connected
172.16.1.0/25	120	1	172.16.1.254
172.16.1.128/24	120	1	172.16.1.250
172.16.1.160/27	110	129	172.16.1.250



Distance Vector protokoli rutiranja

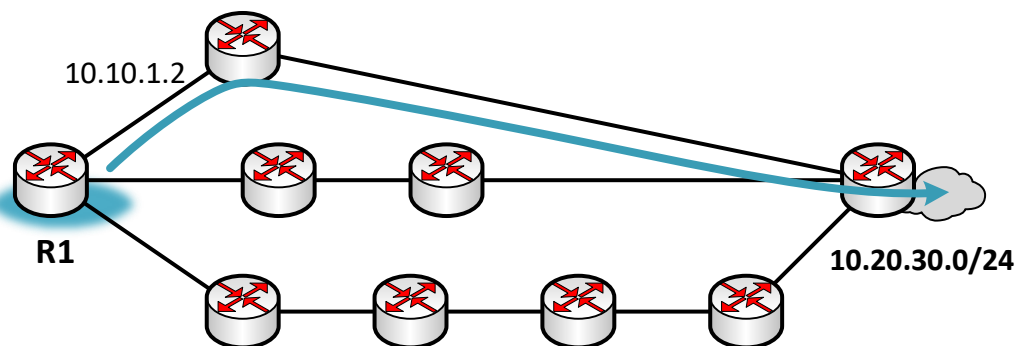
- Osnovni cilj – uspostavljanje ruting tabele
 - Potpuno, konzistentno, optimalno, adaptivno
- Razmena ruting informacija sa susednim ruterima (razmena ruta, tzv. ruting apdjekt – „*ruting update*“)
 - Adresa mreže (sa maskom)
 - Metrika do mreže
- Na osnovu ruta od susednih rutera, saznaje se:
 - Distanca (metriku) do određene mreže
 - Vektor (*next-hop*) koji vodi do te mreže
- Ne zna
 - Ostali ruteri
 - Topologija mreže
 - Brzine veza



Distance Vector protokoli rutiranja

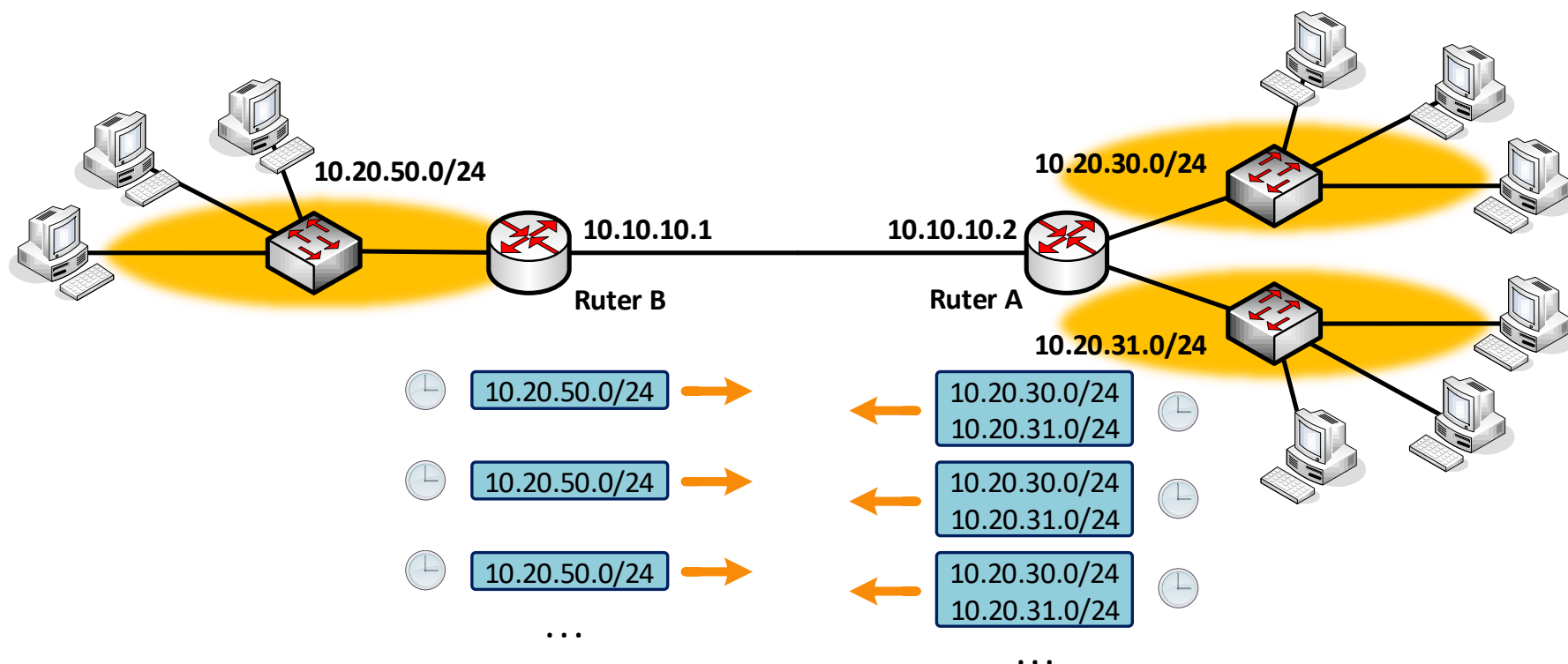
- Pravilo
 - Samo se najbolja ruta bira i upisuje u ruting tabelu
 - U slučaju više najboljih – sve se upisuju (*load balancing*)
- Rezultat
 - I dalje se ne zna topologija mreže i ostali detalji
 - Znaju sve IP mreže, „distance“ (metrike) i „vektori“ (*next-hop*) do njih
 - Popunjena ruting tabela

R1: Ruting tabela			
Mreža	AD	Met	Next-hop
...
10.20.30.0/24	110	1	10.10.1.2
...



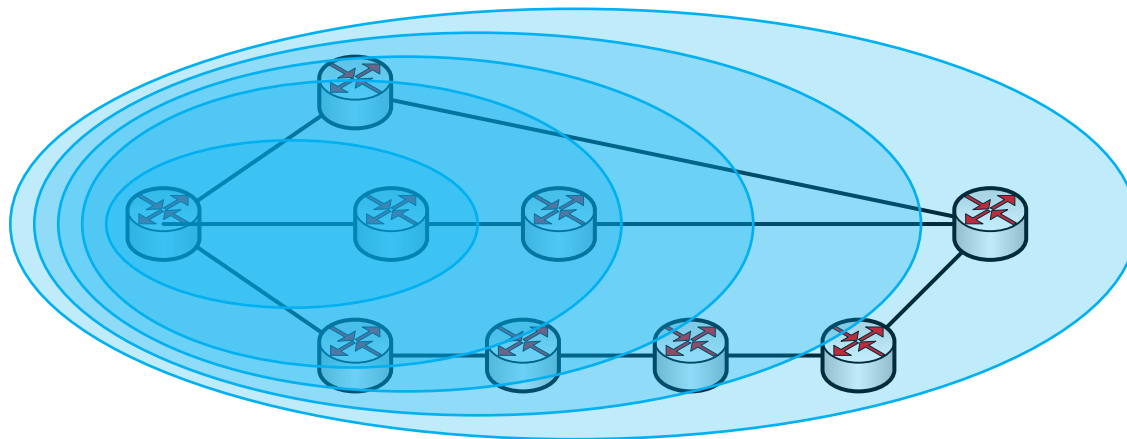
Distance Vector protokoli rutiranja

- Ruteri periodično oglašavaju rute iz ruting tabele
 - Oglašava se “pogled” na ostatak mreže iz ugla rutera
 - Periodično (npr. na 30 sek), čak i kada nema promena
- Oglašavanje rute u jednom smeru utiče na rutiranje ka oglašenoj mreži u drugom smeru



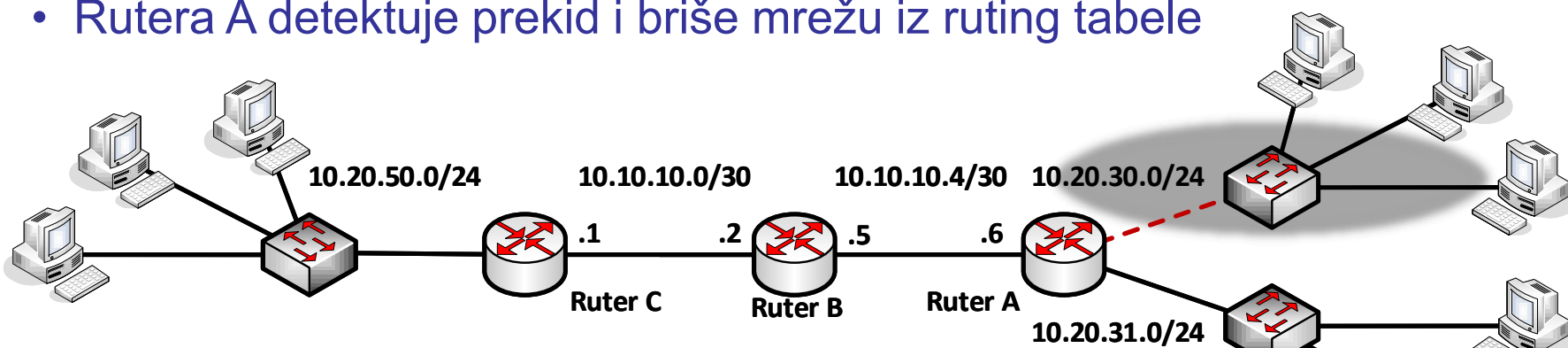
Distance Vector protokoli rutiranja

- Konvergencija – proces uspostavljanja stabilnog i konzistentnog stanja na svim ruterima u mreži
 - Stabilno stanje – ruting tabele se ne menjaju sa novim ruting apdejtima
 - Konzistentno stanje – sve rute su ispravne, nema nepravilnosti
- Konvergencija zavisi od:
 - Brzine propagacije ruting apdejta od rutera do rutera
 - Brzine računanja ruta i uspostavljanja ruting tabela
- Cilj - što brža konvergencija !



Ruting petlje

- Tokom konvergencije može nastati nekonzistentno stanje ruting tabela i petlje pri rutiranju, tzv. ruting petlje
- Primer:
 - Ispravno popunjene ruting tabele
 - Prekida se veza mreže 10.20.30.0/24
 - Ruter A detektuje prekid i briše mrežu iz ruting tabele



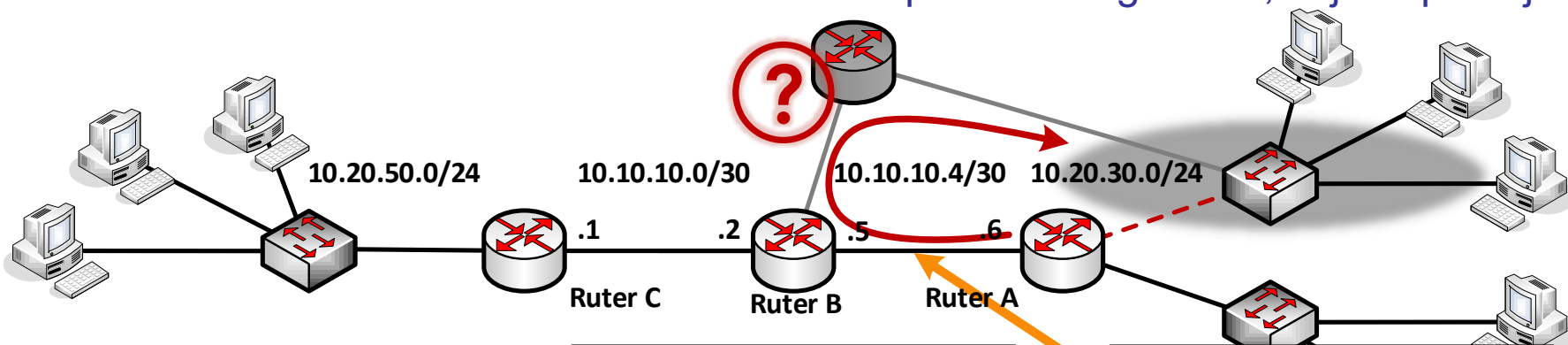
Ruter C: Ruting tabela		
Mreža	Met	Next-hop
10.10.10.0/30	0	Connected
10.10.10.4/30	1	10.10.10.2
10.20.30.0/24	1	10.10.10.2
10.20.31.0/24	2	10.10.10.2
10.20.50.0/24	0	Connected

Ruter B: Ruting tabela		
Mreža	Met	Next-hop
10.10.10.0/30	0	Connected
10.10.10.4/30	0	Connected
10.20.30.0/24	1	10.10.10.6
10.20.31.0/24	1	10.10.10.6
10.20.50.0/24	1	10.10.10.1

Ruter A: Ruting tabela		
Mreža	Met	Next-hop
10.10.10.0/30	1	10.10.10.5
10.10.10.4/30	0	Connected
10.20.30.0/24	0	Connected
10.20.31.0/24	0	Connected
10.20.50.0/24	2	10.10.10.5

Ruting petlje

- Naredni ruting apdejt od Ruteru B prema Ruteru A
 - Ruter B ima u ruting tabeli vezu prema 10.20.30.0/24, sa metrikom 1
 - Ruter A prihvata ovaj apdejt
 - Povećava metriku iz apdejta za 1 i postavlja na 2
 - Upisuje *next-hop* Ruteru B – 10.10.10.5
 - Smatra se da Ruter B ima vezu do mreže preko trećeg ruteru, koji ne postoji !



Ruter C: Ruting tabela		
Mreža	Met	Next-hop
10.10.10.0/30	0	Connected
10.10.10.4/30	1	10.10.10.2
10.20.30.0/24	1	10.10.10.2
10.20.31.0/24	2	10.10.10.2
10.20.50.0/24	0	Connected

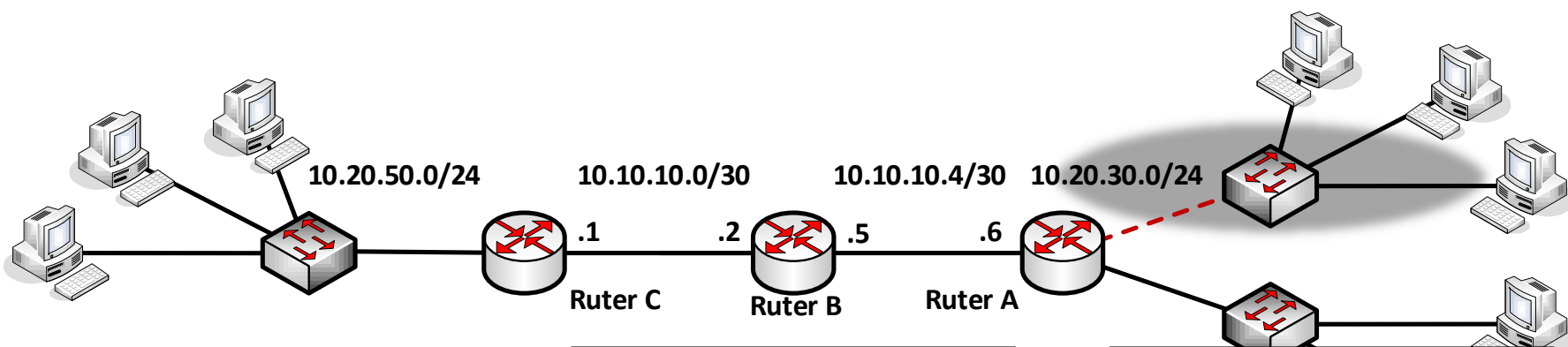
Ruter B: Ruting tabela		
Mreža	Met	Next-hop
10.10.10.0/30	0	Connected
10.10.10.4/30	0	Connected
10.20.30.0/24	1	10.10.10.6
10.20.31.0/24	1	10.10.10.6
10.20.50.0/24	1	10.10.10.1

Ruter A: Ruting tabela		
Mreža	Met	Next-hop
10.10.10.0/30	1	10.10.10.5
10.10.10.4/30	0	Connected
10.20.30.0/24	2	10.10.10.5
10.20.31.0/24	0	Connected
10.20.50.0/24	2	10.10.10.5



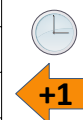
Ruting petlje

- Naredni ruting apdejt od Ruteru A prema Ruteru B
 - Ruter A ima u ruting tabeli vezu prema 10.20.30.0/24, sa metrikom 2
 - Ruter B prihvata ovaj apdejt
 - Povećava metriku iz apdejta za 1 i postavlja na 3
 - Upisuje *next-hop* Ruteru A – 10.10.10.6



Ruter C: Ruting tabela		
Mreža	Met	Next-hop
10.10.10.0/30	0	Connected
10.10.10.4/30	1	10.10.10.2
10.20.30.0/24	1	10.10.10.2
10.20.31.0/24	2	10.10.10.2
10.20.50.0/24	0	Connected

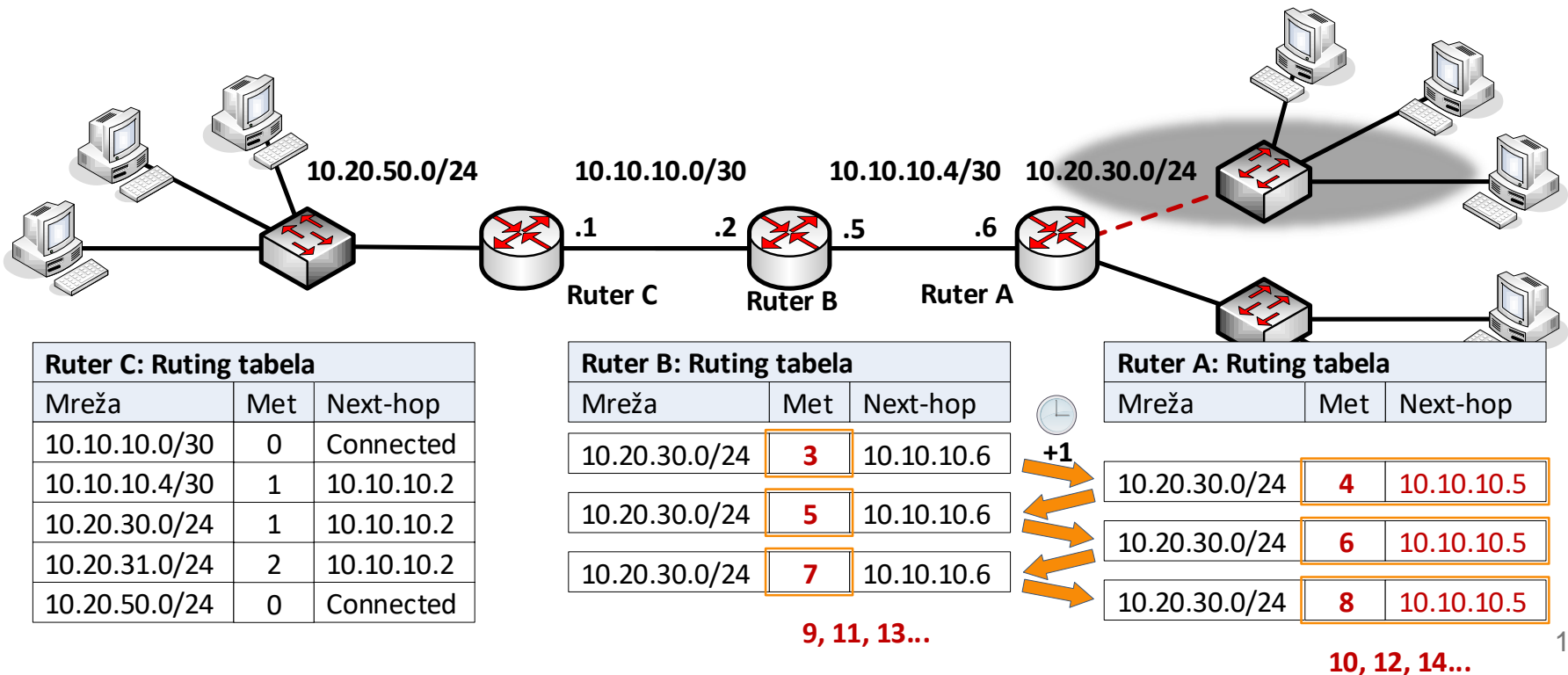
Ruter B: Ruting tabela		
Mreža	Met	Next-hop
10.10.10.0/30	0	Connected
10.10.10.4/30	0	Connected
10.20.30.0/24	3	10.10.10.6
10.20.31.0/24	1	10.10.10.6
10.20.50.0/24	1	10.10.10.1



Ruter A: Ruting tabela		
Mreža	Met	Next-hop
10.10.10.0/30	1	10.10.10.5
10.10.10.4/30	0	Connected
10.20.30.0/24	2	10.10.10.5
10.20.31.0/24	0	Connected
10.20.50.0/24	2	10.10.10.5

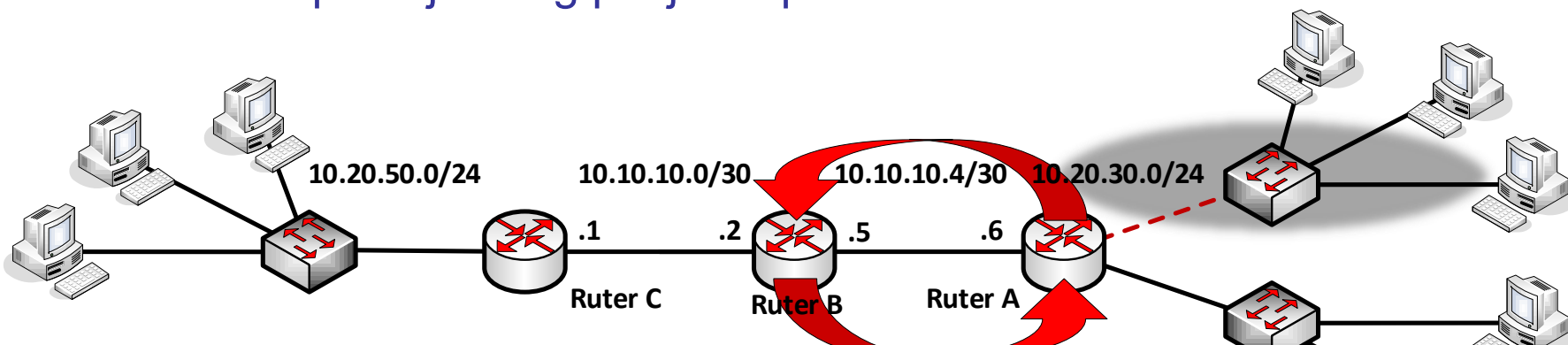
Ruting petlje

- Naizmenično se nastavlja apdejti između Rutera A i Rutera B
- Metrika se povećava do „beskonačnosti“
 - Ruter A: 0, 2, 4...
 - Ruter B: 1, 3, 5...
- Problem: „*Count-to-Infinity*“



Ruting petlje

- Problem: „*Count-to-Infinity*“
 - Povećanje metrike do „beskonačnosti“
 - Fiksna maksimalne vrednosti, npr. 16
 - Nakon toga obe rute postaju nevalidne i brišu se iz ruting tabala Rutra A i Rutra B
 - Sve vreme postoji ruting petlja za paketa do mreže 10.20.30.0/24



Ruter C: Ruting tabela		
Mreža	Met	Next-hop
10.10.10.0/30	0	Connected
10.10.10.4/30	1	10.10.10.2
10.20.30.0/24	1	10.10.10.2
10.20.31.0/24	2	10.10.10.2
10.20.50.0/24	0	Connected

Ruter B: Ruting tabela		
Mreža	Met	Next-hop
10.10.10.0/30	0	Connected
10.10.10.4/30	0	Connected
10.20.30.0/24	1	10.10.10.6
10.20.31.0/24	1	10.10.10.6
10.20.50.0/24	1	10.10.10.1

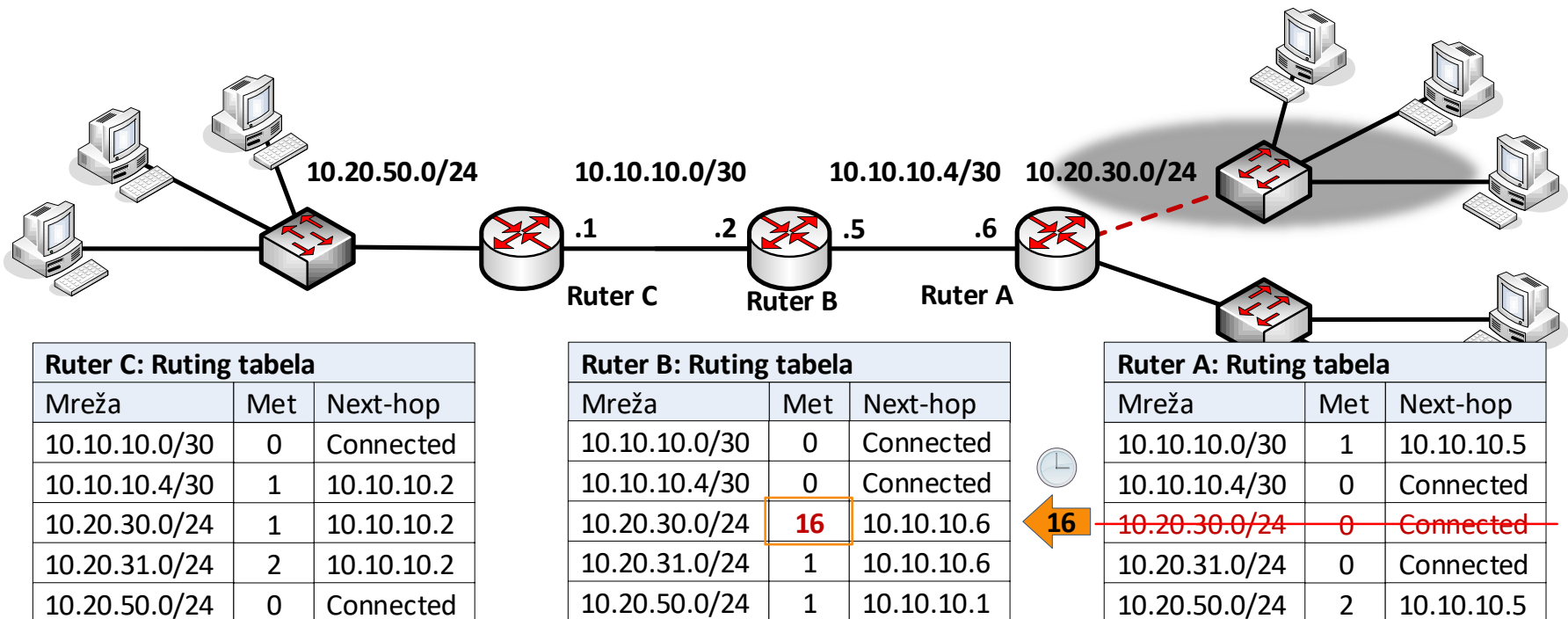
Ruter A: Ruting tabela		
Mreža	Met	Next-hop
10.10.10.0/30	1	10.10.10.5
10.10.10.4/30	0	Connected
10.20.30.0/24	2	10.10.10.5
10.20.31.0/24	0	Connected
10.20.50.0/24	2	10.10.10.5

Tehnike zaštite od rutining petlji

- Na nivou IP protokola
 - *Time to Live*
- Na nivou rutining protokola
 - *Route Poisoning*
 - *Triggered update*
 - *Split horizon*
 - *Holddown Timer*

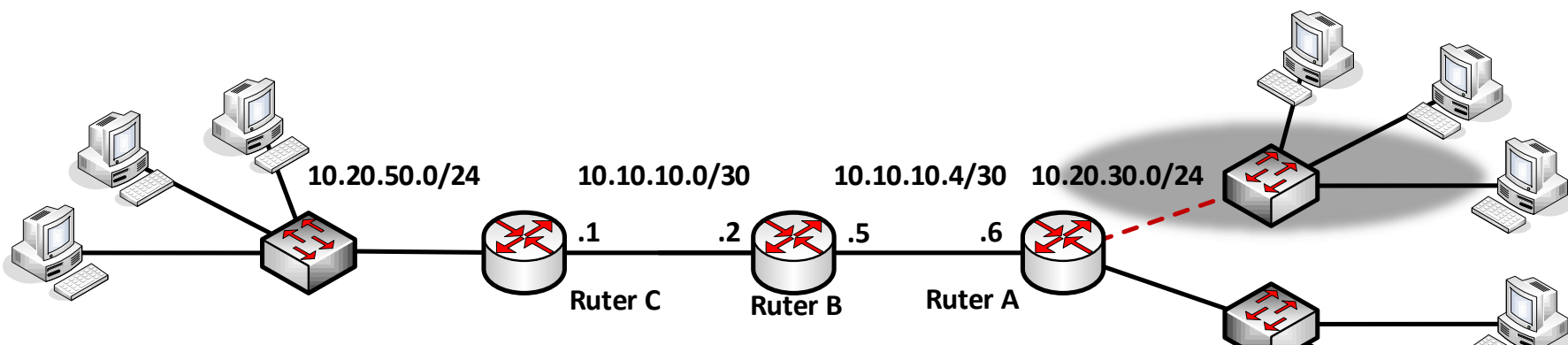
Route Poisoning

- Oglašavanje da je mreža postala nedostupna (*unreachable*)
 - Ruta se briše iz ruting tabele i oglašava se sa “beskonačnom” metrikom
- Kada ostali ruteri dobiju rutu sa “beskonačnom” metrikom
 - Upisuju ovu rutu u ruting tabelu – ruta je nevalidna
 - Čuvaju rutu u ruting tabeli određeno vreme



Triggered update

- Kada ruta postane nedostupna
 - Ne čeka se sledeći periodični rutinški apdejt
 - Istog trenutka se oglašava da je nedostupna
- Oglašava se samo jedna ruta, a ne cela *routing tabela*
- Konvergencija se značajno ubrzava



Ruter C: Routing tabela		
Mreža	Met	Next-hop
10.10.10.0/30	0	Connected
10.10.10.4/30	1	10.10.10.2
10.20.30.0/24	1	10.10.10.2
10.20.31.0/24	2	10.10.10.2
10.20.50.0/24	0	Connected

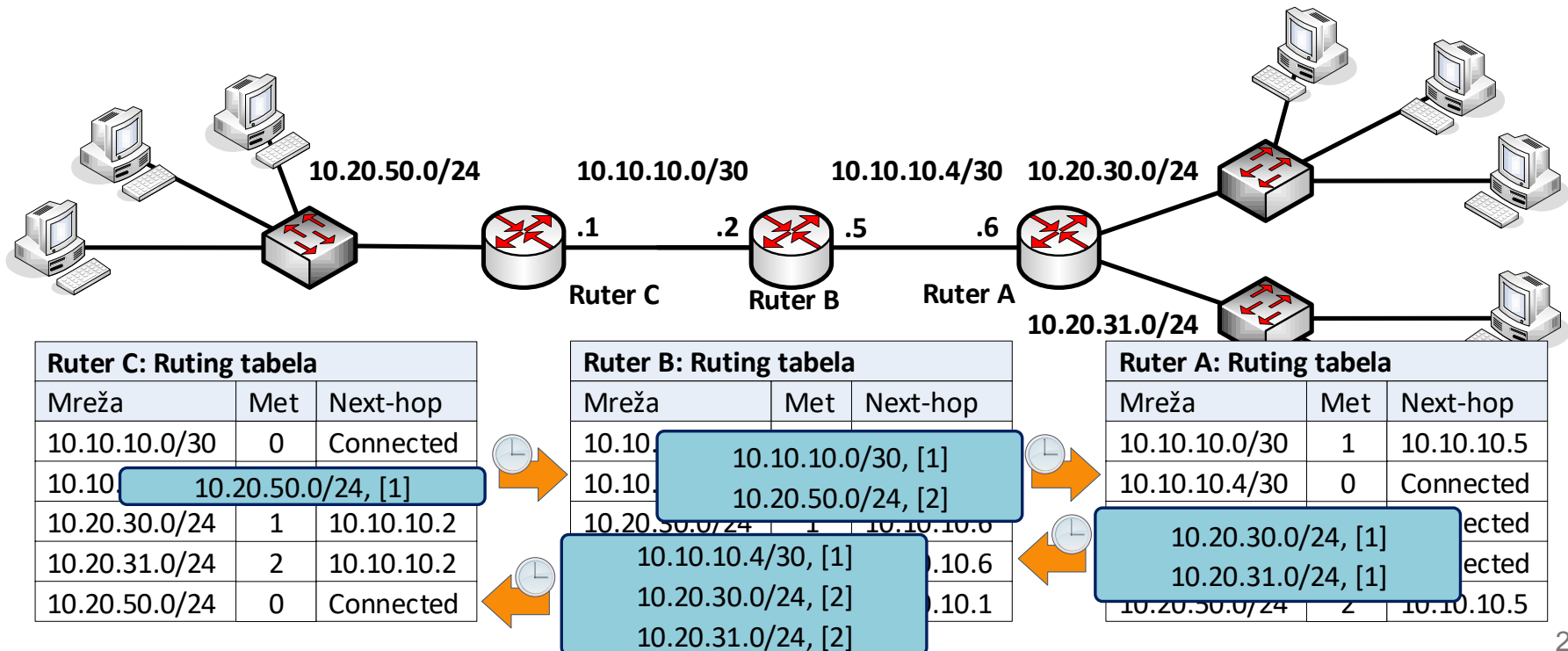
Ruter B: Routing tabela		
Mreža	Met	Next-hop
10.10.10.0/30	0	Connected
10.10.10.4/30	0	Connected
10.20.30.0/24	16	10.10.10.6
10.20.31.0/24	1	10.10.10.6
10.20.50.0/24	1	10.10.10.1

Ruter A: Routing tabela		
Mreža	Met	Next-hop
10.10.10.0/30	1	10.10.10.5
10.10.10.4/30	0	Connected
10.20.30.0/24	0	Connected
10.20.30.0/24, [16]		ected
10.20.50.0/24	2	10.10.10.5

16

Split Horizon

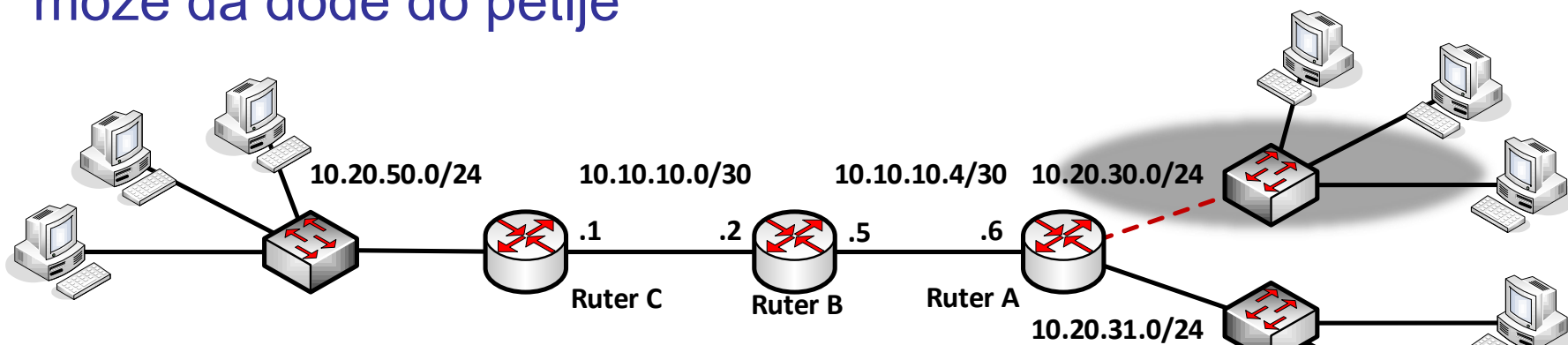
- **Pravilo Split Horizon:**
 - Nikada se ne oglašava rutu na interfejs preko koga je ta ruta pristigla



Split Horizon & Poison Reverse

- *Poison Reverse*

- Nevalidna ruta se ipak oglašava na interfejsu preko kojeg je ta ruta pristigla - suspenduje se pravilo *Split Horizont* samo za ovaj slučaj
- Koristi se *Triggered Update*
- Ruter potvrđuje da nema bolju rutu - ruta je nevalidna, pa ne može da dođe do petlje



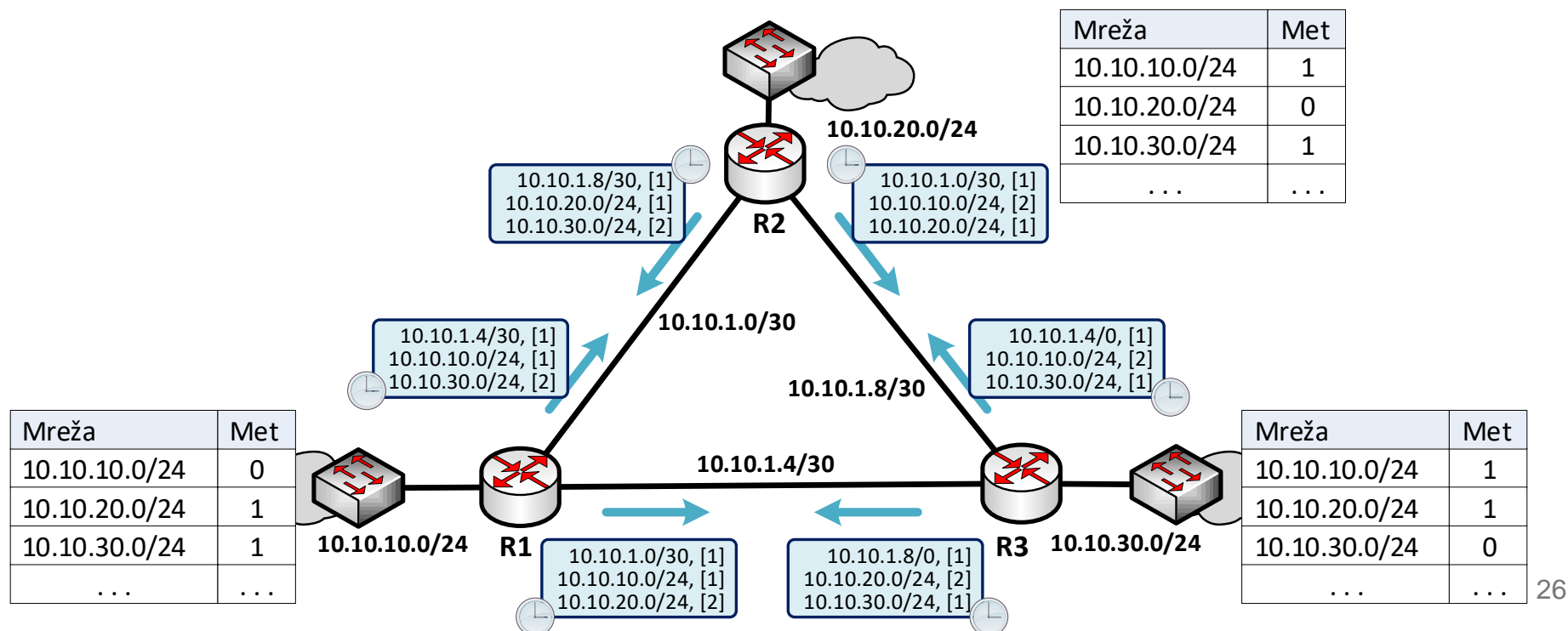
Ruter C: Routing tabela		
Mreža	Met	Next-hop
10.10.10.0/30	0	Connected
10.10.10.4/30	1	10.10.10.2
10.20.30.0/24	1	10.10.10.2
10.20.31.0/24	2	10.10.10.2
10.20.50.0/24	0	Connected

Ruter B: Routing tabela		
Mreža	Met	Next-hop
10.10.10.0/30	0	Connected
10.10.10.4/30	0	Connected
10.20.30.0/24	16	10.10.10.6
10.20.31.0/24	1	10.10.10.6
10.20.50.0/24	2	10.10.10.2

Ruter A: Routing tabela		
Mreža	Met	Next-hop
10.20.30.0/24	[16]	10.10.10.5
10.10.10.0/30	1	10.10.10.5
10.10.10.4/30	0	Connected
10.20.30.0/24	16	Connected
10.20.31.0/24	[16]	Connected
10.20.31.0/24	[1]	10.10.10.5

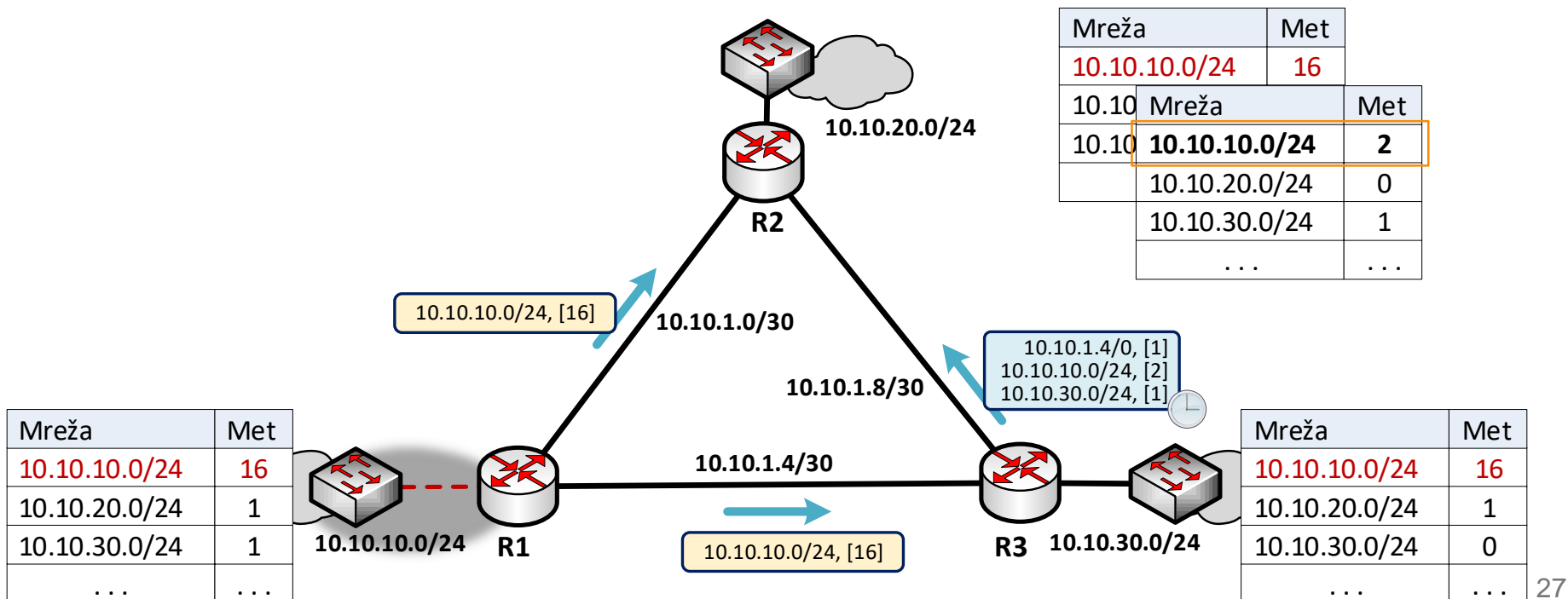
Primer sa redundantnim vezama

- Stacionarno stanje
 - Svi ruteri oglašavaju rute prema pravilu *Split Horizon*
 - R1 i R2 međusobno ipak razmenjuju rutu do mreže 10.10.30.0/24, jer su tu rutu naučili od R2



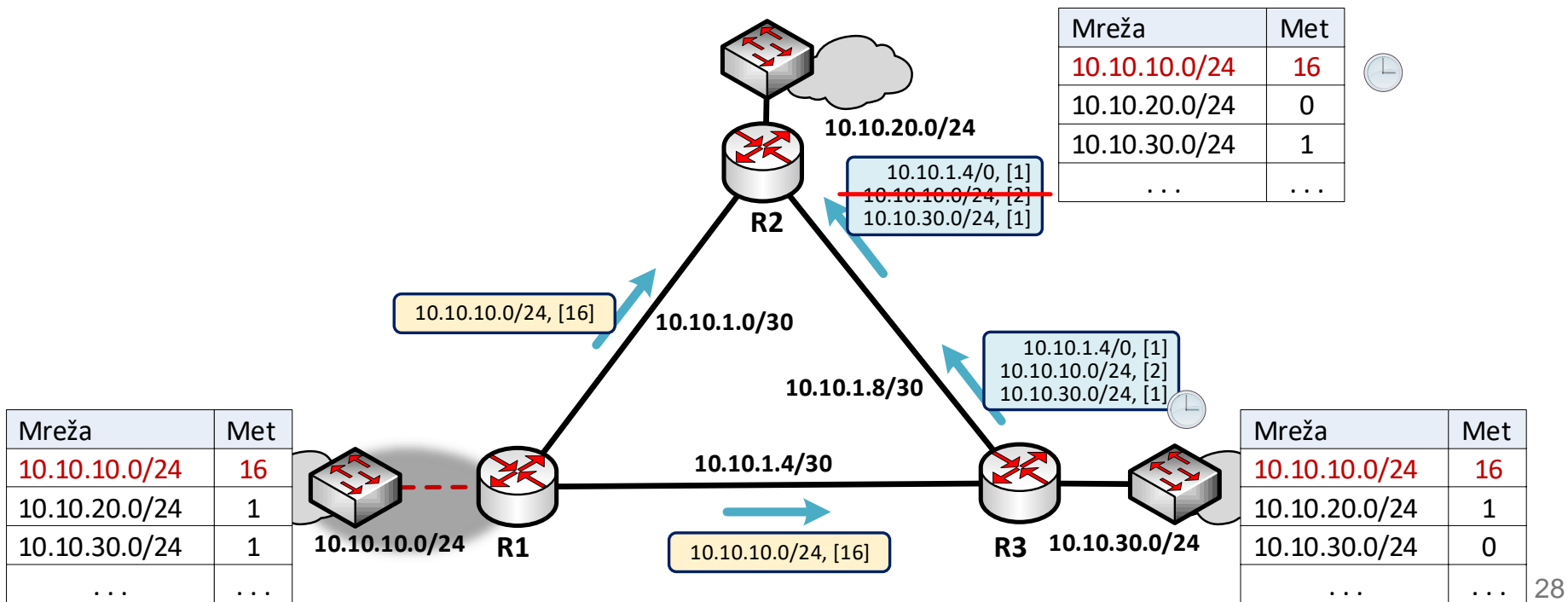
Primer sa redundantnim vezama

- *Route Poisoning, Triggered update i Split horizon* ipak nisu dovoljni:
 - Poslat *Route Poisoning* i *Triggered update* za mrežu 10.10.10.0/24 do R2
 - R3 šalje regularni updejt neposredno pre nego što stigne triggerovana ruta
 - U ruting tabelu R2 se upisuje beskonačna metrika 16
 - Pristiže regularni updejt sa zastarelom informacijom – metrika 2!



Holddown timer

- Smisao – čeka se određene vreme da bi se informacija o promeni propagirala do svih rutera
- Kada ruter dobije *Route Poisoning Triggered update*
 - Startuje se *Holddown timer*
 - Tokom *Holddown* vremena ignorišu se sve nove rute za tu mrežu



Routing Information Protocol – RIPv1

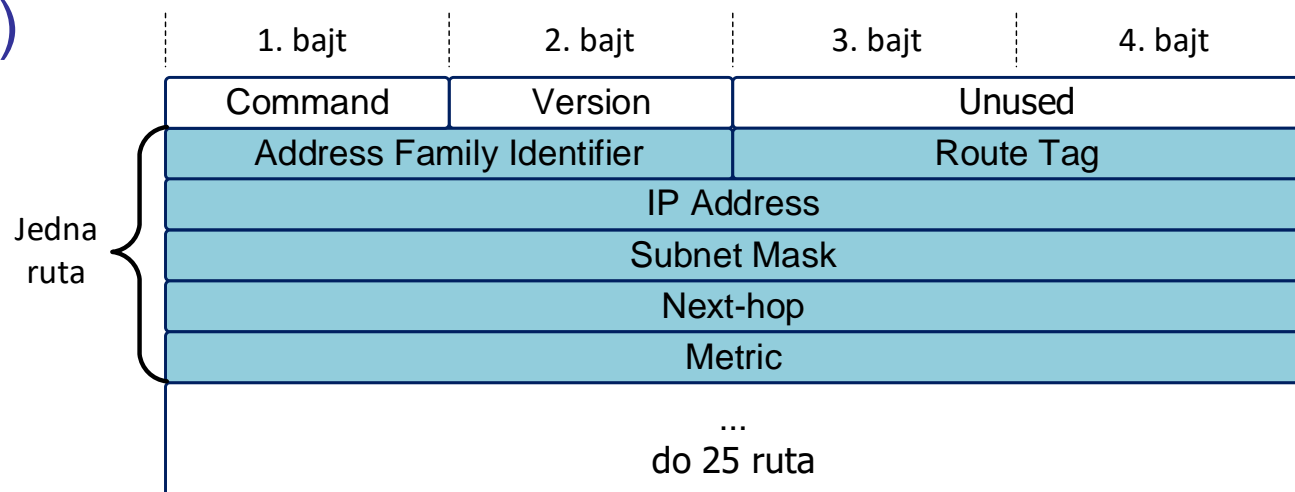
- **RIP verzija 1** - RFC 1058, 1988.
- Administrativna distanca - 120
- *Classful* – ne podržava VLSM, automatska autosumarizacija
- Metrika – *hop-count*, max. 16
- RIP radi na aplikativnom nivou
 - RIP poruke se prenosu unutar UDP poruka na 4. nivou – UDP port 520
- Komunikacija u dva koraka, na svakih 30 sekundi:
 1. *RIP Request* poruka
 - Navodi se mrežna adresa za koju se traže rute – tipično 0.0.0.0 za sve rute
 - Slanje na broadcast adresu 255.255.255.255 („*This network*“)
 2. *RIP Response* poruka
 - Odgovora se na upit – obično sve rute (cela ruting tabela)
 - Do 25 ruta u jednoj poruci
 - Slanje na unicast adresu rutera koji je poslao upit

Routing Information Protocol – RIPv2

- **RIP verzija 2** – RFC 1723, 1993.
- Kompatibilan sa RIPv1
- Razlike u odnosu na RIPv1
 - „*Classless*“ – *Classless Inter-Domain Routing* (CIDR), od 1998.
 - Podrška za VLSM – maska se prenosi u rutin g apdejtima
 - Komunikacija
 - Multikast *adresa* – 224.0.0.9, *adresa* na kojoj „*slušu*ju“ svi RIPv2 *ruteri*
 - Međusobna autentifikacija susednih *rutera* od 1997.
 - Zajednički ključ (*lozinka*)
 - Niz ključeva (*Key Chain*) – definisan ključ i promenljiv indeks (*broj*)
 - Razmenjuju se korišćenjem sigurnosne heš funkcije MD5
 - Periodična promena indeksa (*novi šifrovani ključ*) u toku rada

Format RIP paketa

- *Command* – 1 za *Request*, 2 za *Response*
- *Version* – 1 za RIPv1, 2 za RIPv2
- *Address Family Identifier* – 2 za IP adrese (što se i koristi)
- *IP Address* – mrežna adresa za koju se odnose rute
 - 0.0.0.0 – sve rute, cela ruting tabela
- *Subnet mask* – samo za RIPv2, ne koristi se za RIPv1
- *Next-hop* – samo za RIPv2, ne koristi se za RIPv1
- *Metric* – broj koraka, od 1 do 16 (+1 u odnosu na vrednost iz ruting tabelu)



Distance Vector protokoli rutiranja

- Prednosti *Distance Vector* rutirg protokola
 - jednostavna implementacija, konfigurisanje i održavanje
 - nisu zahtevni u pogledu snage CPU i memorije
 - malo zauzeće linka za manje mreže
- Nedostaci *Distance Vector* rutirg protokola
 - Nedovoljna skalabilnost
 - Veće mreže zahtevaju bolju metriku, brži mehanizam propagiranja informacija
 - Spora konvergencija, posebno za veće mreže i pored *Triggered Update* mehanizma

Literatura

- Wendell Odom
„CCNA - Cisco official exam certification guide“
Cisco Press
- James Kurose, Keith Ross
„Computer Network - A Top-Down Approach“
- James Kurose, Keith Ross
„Umrežavanje računara: Od vrha ka dnu“
prevod 7. izdanja
CET

