

**Računarske mreže**  
(2OER5O03)

# **Algoritmi rutiranja**

## **Auditivne vežbe**



## Klasifikacija

- **Globalni** algoritmi rutiranja – mora postojati znanje o čitavoj mreži
- **Decentralizovani (distribuirani)** algoritmi rutiranja – svaki čvor zna samo o svojim susedima, sa kojima razmenjuje informacije u najkraćim putevima

# Link State algoritam

## Open Shortest Path First (OSPF)

- Spada u grupu globalnih algoritama za rutiranje jer zahteva znanje o svim vezama u datoj oblasti
- Koraci algoritma
  1. Prevođenje topologije mreže u usmereni graf
  2. Formiranje SPF-stabla za svaki ruter
  3. Popuna tabela rutiranja

# 1. korak: Prevođenje topologije mreže u usmereni graf

## 1.1. Čvorove grafa čine:

1.1.1. Ruteri

1.1.2. Mreže, koje mogu biti:

a) Tranzitne (povezane na bar 2 rutera)

b) Terminalne (povezane samo na 1 ruter) – ne utiču na tok algoritma

## 1.2. Grane grafa čine:

1.2.1. Point-to-point veze između 2 rutera

1.2.2. Veze rutera na (lokalnu) mrežu

## 1. korak: Prevođenje topologije mreže u usmereni graf

1.3. Sve veze su dvosmerne, pri čemu se težine iste grane u različitim smerovima **razlikuju**! Zato se najčešće svaka grana razbija (prilikom crtanja) na dva zasebna usmerena potega, svaki sa svojom pridruženom težinom.

1.3.1 Izlazne grane iz rutera imaju težinu koju dodeljuje sistem-administrator (ili se izračunava na osnovu kašnjenja/protoka kroz vezu)

1.3.2 Grane koje vode od mreže ka ruterima imaju težinu 0. (Ne mora se eksplicitno pisati labela)

## Ispitni zadatak

- Za globalnu mrežu, zadatu tabelom, skicirati mrežu i odrediti sadržaj routing tabele u ruteru B primenom Link-State algoritma. Parametri u tabeli zadati su u sledećem formatu: [Oznaka čvora, interfejs, IP adresa, težina izlazne grane].

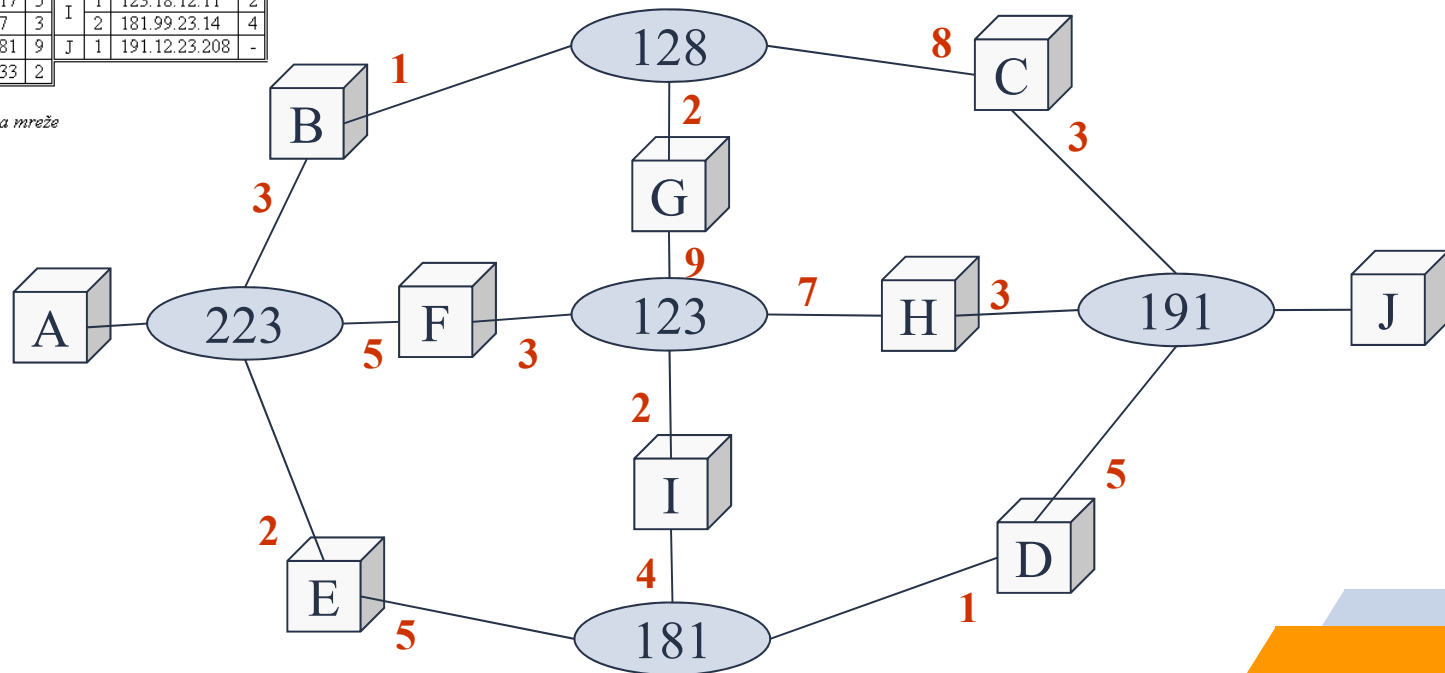
A	1	223.18.43.227	-	E	1	181.99.23.181	5	H	1	191.12.23.128	3
	2	223.18.43.12	3		2	223.18.43.200	2		2	123.15.41.211	7
B	1	128.77.23.110	1	F	1	223.18.43.117	5	I	1	123.18.12.11	2
	2	128.77.23.220	8		2	123.27.43.77	3		2	181.99.23.14	4
C	1	191.12.23.14	3	G	1	123.27.55.181	9	J	1	191.12.23.208	-
	2	191.12.23.207	5		2	128.77.180.33	2				
D	1	181.99.27.44	1								
	2	181.99.27.44	1								

Tabela 1. Konfiguracija mreže

# 1. korak - Crtanje mreže

A	1	223.18.43.227	-	E	1	181.99.23.181	5	H	1	191.12.23.128	3
B	1	223.18.43.12	3		2	223.18.43.200	2		2	123.15.41.211	7
	2	128.77.23.110	1	F	1	223.18.43.117	5	I	1	123.18.12.11	2
C	1	128.77.23.220	8		2	123.27.43.77	3		2	181.99.23.14	4
	2	191.12.23.14	3	G	1	123.27.55.181	9	J	1	191.12.23.208	-
D	1	191.12.23.207	5		2	128.77.180.33	2				
	2	181.99.27.44	1								

Tabela 1. Konfiguracija mreže



## 2. korak: Formiranje SPF-stabla za svaki ruter

Polazeći od datog rutera, izračunava se putanja sa najnižom cenom do svake odredišne mreže. Za to se koristi **Dijkstrin** algoritam.

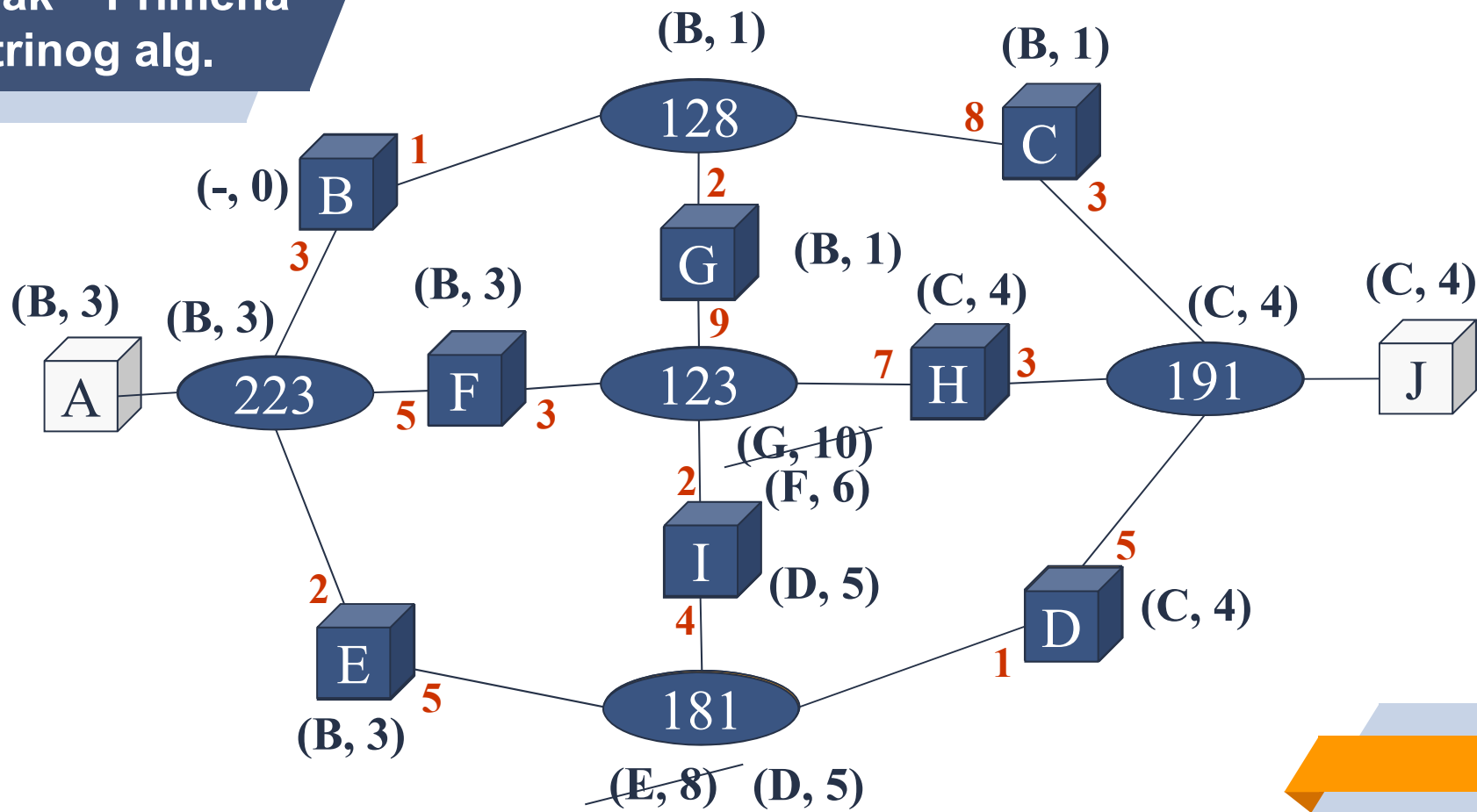
Rezultat ovog koraka je formiranje (jednostruko povezanog usmerenog grafa) **SPF** stabla za dati čvor (ruter).



# Algoritam

```
1 Inicijalizacija:  
2  $N = \{A\}$  // N-skup obrađenih čvorova, A – polazni čvor  
3 za sve čvorove  $v$   
4   if (susedi(A,  $v$ ))  
5     then  $D(v) = c(A, v)$  //  $D(v)$  cena puta od A do v  
6     else  $D(v) = \infty$  //  $c(A, v)$  cena direktne grane od A do v  
7  
8 loop  
9   nađi čvor  $w \notin N$  tako da je  $D(w)$  minimum  
10  dodaj  $w$  u N  
11  ažuriraj  $D(v)$  za sve čvorove  $v$  susedne sa  $w$  koji nisu u N:  
12     $D(v) = \min( D(v), D(w) + c(w, v) )$   
13    /* nova cena do v je ili stara cena do v ili cena poznatog  
14     najkraći puta do w plus cena od w do v */  
15 until svi čvorovi su u N
```

## 2. korak – Primena Dijkstringog alg.

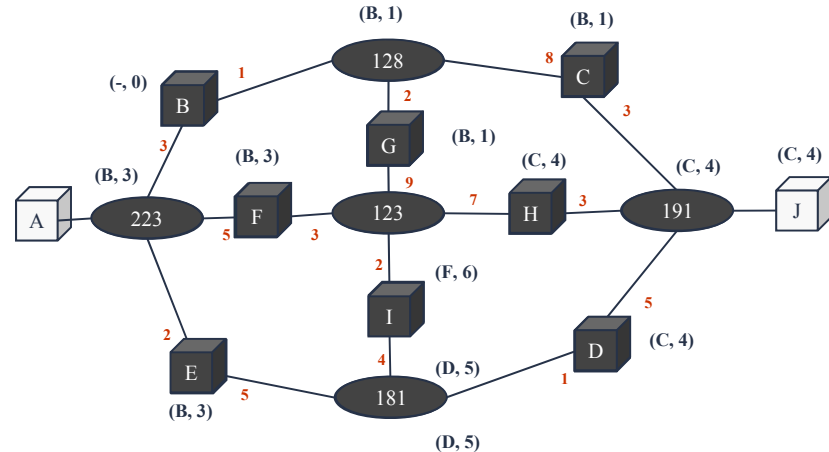


### 3. korak: Popuna tabela rutiranja

- Unose se sva odredišta u tabelu (tj. mreže!!!) i za svako odredište:
  - ▷ D/I flag (direct-indirect flag) – **D** ako je ruter direktno priključen na tu mrežu, **I** u suprotnom,
  - ▷ Adresa sledećeg rutera na putu ( *next hop router* ), ukoliko je prethodno postavljen D flag ostavlja se prazno ovo polje ili navodi “< >”
  - ▷ Interfejs (redni broj interfejsa, tj. mrežne kartice lokalnog rutera)
  - ▷ Rastojanje (vrednost dobijena Dijkstrinim algoritmom)

Network	Mask	D/I	Next hop (router)	Interface	Distance
223.45.12.0	255.255.255.0	D	< >	1	1
160.45.0.0	255.255.0.0	I	223.45.12.25	1	5

### 3. korak – Popunjavanje *routing* tabele



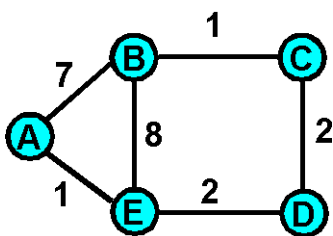
Network	Mask	D/I	Next hop (router)	Int.	Dist
223.18.43.0	255.255.255.0	D	< >	1	3
128.77.0.0	255.255.0.0	D	< >	2	1
191.12.0.0	255.255.0.0	I	128.77.23.220 (C)	2	4
181.99.0.0	255.255.0.0	I	128.77.23.220 (C)	2	5
123.0.0.0	255.0.0.0	I	223.18.43.200 (F)	1	6

# Distance Vector Routing

- DVR je:
  - ▷ iterativni
  - ▷ asinhroni i
  - ▷ distribuirani
- Svaki čvor, nezavisno od ostalih, vrši izračunavanja i prosleđuje ih svojim susedima
- Algoritam se samostalno završava (bez posebnog signala) kada iteracije više ne menjaju *Distance*-tabelu.

## Tabela rastojanja

*Distance*-tabela (rastojanja) je osnovna struktura koju koristi DV algoritam i nalazi se u svakom čvoru. Ima onoliko vrsta koliko i odredišta u mreži (broj\_čvorova-1, jer se ne unosi tekući čvor), a kolona koliko i direktnih suseda.



		cost to destination via		
d e s t i n a t.	$D^E()$	A	B	D
	A	1	14	5
	B	7	8	5
	C	6	9	4
	D	4	11	2

Tabela rastojanja čvora E

# Terminologija

- $C(x,z)$  – težina direktne veze  $x-z$
- Svaka stavka u tabeli  $D^x(y,z)$  predstavlja rastojanje od čvora  $x$  do čvora  $y$  preko čvora  $z$  ( $z$  je direktni sused čvora  $x$ ) i iznosi:

$$D^x(y,z) = C(x,z) + \min_w \{D^z(y,w)\}$$

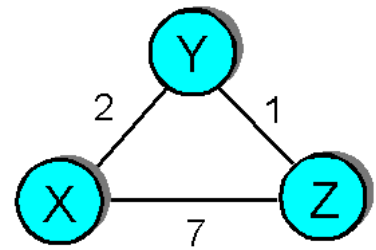
gde je  $\min_w \{D^z(y,w)\}$  minimalni element vrste  $y$  u tabeli čvora  $z$ , tj.  $z-y_{\min}$ .

# Algoritam

```
1  Inicijalizacija:
2  za sve susede čvora  $v$ :
3       $D^X(*,v) = \infty$  /* operator  $*$  znači "za sve vrste" */
4       $D^X(v,v) = c(X,v)$ 
5  za sva odredišta,  $y$ 
6      pošalji  $\min_w D(y,w)$  svakom od suseda /*  $w$  preko svih suseda  $X$ -a */
7
8  loop
9      wait (dok se ne desi promena cene linka ka susedu  $V$ 
10         ili dok se ne primi ažuriranje od suseda  $V$ )
11
12     if ( $c(X,V)$  je promenjeno za  $d$ )
13         /* promeni cenu ka svim odredištima preko suseda  $v$  za  $d$  */
14         /* mapomena:  $d$  može biti i pozitivan i negativan */
15         za sva odredišta  $Y$ :  $D^X(Y,V) = D^X(Y,V) + d$ 
16
17     else if (primljeno ažuriranje najkraćeg puta od  $V$  do odredišta  $Y$ )
18         /* najkraći put od  $V$  do nekog  $Y$  se promenilo */
19         /*  $V$  šalje novu vrednost za  $\min_w D^V(Y,w)$  */
20         /* nova vrednost je smeštena u prom. "newval" */
21         za odredište  $Y$ :  $D^X(Y,V) = c(X,V) + \text{newval}$ 
22
23     if ako se javi novi minimum  $\min_w D^X(Y,w)$  za bilo koje odredište  $Y$ 
24         pošalji novu vrednost  $\min_w D^X(Y,w)$  svim susedima
25
26 forever
```



# Primer 1



**$\min_w D^X(y,w)=2$**

**$\min_w D^X(y,w) = 7$**

$D^X$	cost via	
	Y	Z
d		
e	Y	<b>2</b> $\infty$
s		
t	Z	$\infty$ <b>7</b>

**$\min_w D^Y(x,w) = 2$**

**$\min_w D^Y(z,w) = 1$**

$D^Y$	cost via	
	X	Z
d		
e	X	<b>2</b> $\infty$
s		
t	Z	$\infty$ <b>1</b>

**$\min_w D^Z(x,w) = 7$**

**$\min_w D^Z(y,w) = 1$**

$D^Z$	cost via	
	X	Y
d		
e	X	<b>7</b> $\infty$
s		
t	Y	$\infty$ <b>1</b>

**$\min_w D^X(y,w)=2$**

$D^X$	cost via	
	Y	Z
d		
e	Y	<b>2</b> 8
s		
t	Z	<b>3</b> 7

**$\min_w D^Y(x,w) = 2$**

$D^Y$	cost via	
	X	Z
d		
e	X	<b>2</b> 8
s		
t	Z	9 <b>1</b>

**$\min_w D^Z(x,w) = 7$**

$D^Z$	cost via	
	X	Y
d		
e	X	7 <b>3</b>
s		
t	Y	9 <b>1</b>

**$\min_w D^X(y,w) = 7$**

$D^X$	cost via	
	Y	Z
d		
e	Y	<b>2</b> 8
s		
t	Z	<b>3</b> 7

**$\min_w D^Y(x,w) = 2$**

$D^Y$	cost via	
	X	Z
d		
e	X	<b>2</b> 4
s		
t	Z	5 <b>1</b>

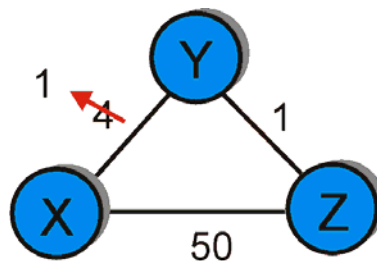
**$\min_w D^Z(x,w) = 7$**

$D^Z$	cost via	
	X	Y
d		
e	X	7 <b>3</b>
s		
t	Y	9 <b>1</b>

## Primer 2 – Promena težine

**Napomena:** Sa promenom težine direktne grane, menja se čitava kolona koja je sadrži !!!

Smanjenje težine grane



D <sup>Y</sup>		via	
		X	Z
X		4	6
Z		9	1

D <sup>Y</sup>		X		Z
		X	Z	
X		1	6	
Z		6	1	

D <sup>Y</sup>		X		Z
		X	Z	
X		1	6	
Z		6	1	

D <sup>Y</sup>		X		Z
		X	Z	
X		1	3	
Z		6	1	

D <sup>Z</sup>		via	
		X	Y
X		50	5
Y		54	1

D <sup>Z</sup>		X		Y
		X	Y	
X		50	5	
Y		54	1	

D <sup>Z</sup>		X		Y
		X	Y	
X		50	2	
Y		54	1	

D <sup>Z</sup>		X		Y
		X	Y	
X		50	2	
Y		54	1	

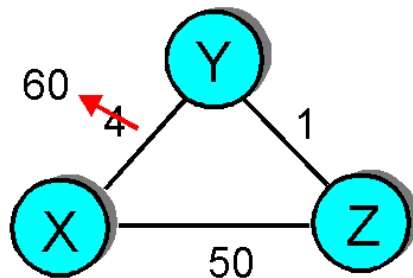
Promena  
 $c(X,Y)$

vreme  $\xrightarrow{t_0 \quad t_1 \quad t_2}$

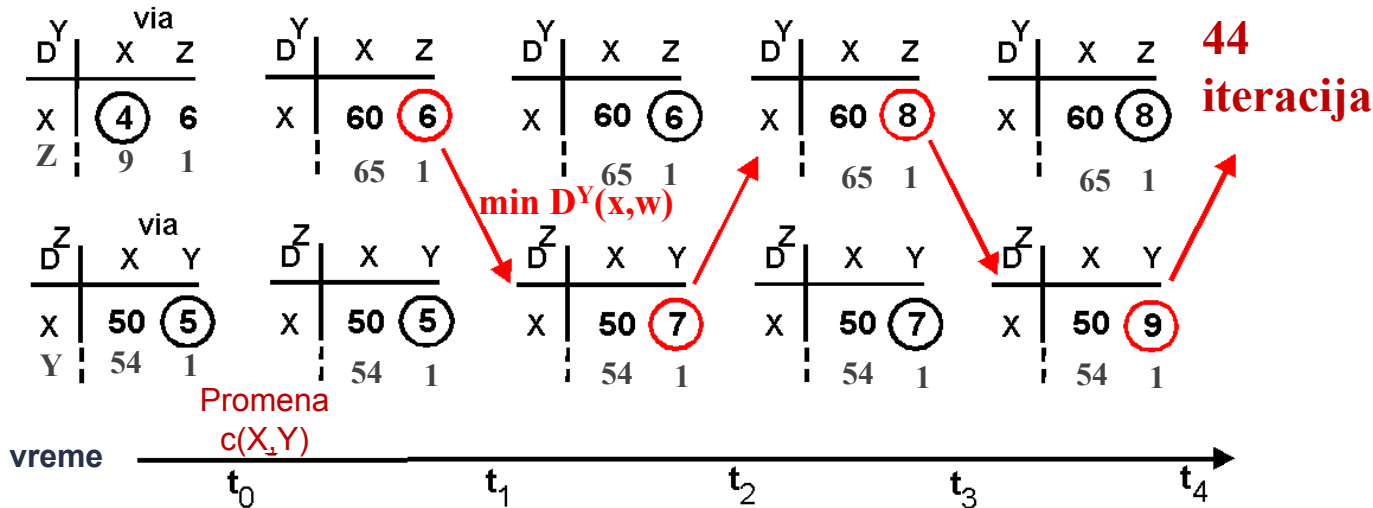
Opadanje težine se brzo uravnotežava!

## Primer 3 – Sporo uravnotežavanje

Povećanje težine grane

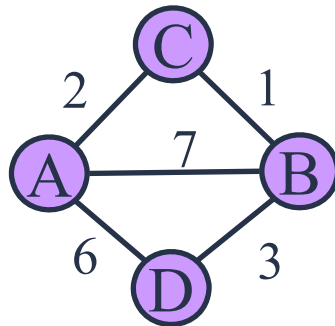


Povećanje težine (loše vesti) izaziva vrlo sporo uravnotežavanje, stvara oscilacije i zahteva mnogo iteracija!



## Primer 4

**Zadatak:** Za mrežu sa 4 čvora, prikazanu na slici, primenom *Distance Vector Routing* algoritma prikazati postupak punjenja tabela rastojanja u svim čvorovima. Ako se u trenutku  $t_0$ , nakon uspostavljanja ravnotežnog stanja, težina grane BC promeni sa 1 na 3, prikazati postupak uspostavljanja nove ravnoteže.



# Rešenje

D(A)	B	C	D	
B	7	-	-	7
C	-	2	-	2
D	-	-	6	6

D(A)	B	C	D	
B	7	3	9	3
C	8	2	-	2
D	11	-	6	6

D(A)	B	C	D	
B	7	3	9	3
C	8	2	10	2
D	10	6	6	6

D(A)	B	C	D
B	7	3	9
C	8	2	10
D	10	6	6

D(B)	A	C	D	
A	7	-	-	7
C	-	1	-	1
D	-	-	3	3

D(B)	A	C	D	
A	7	3	9	3
C	9	1	-	1
D	13	-	3	3

D(B)	A	C	D	
A	7	3	9	3
C	9	1	7	1
D	13	5	3	3

D(B)	A	C	D
A	7	5	9
C	9	3	7
D	13	7	3

D(C)	A	B	
A	2	-	2
B	-	1	1
D	-	-	

D(C)	A	B	
A	2	8	2
B	9	1	1
D	8	4	4

D(C)	A	B	
A	2	4	2
B	5	1	1
D	8	4	4

D(C)	A	B
A	2	6
B	5	3
D	8	6

D(D)	A	B	
A	6	-	6
B	-	3	3
C	-	-	

D(D)	A	B	
A	6	10	6
B	13	3	3
C	8	4	4

D(D)	A	B	
A	6	6	6
B	9	3	3
C	8	4	4

D(D)	A	B
A	6	6
B	9	3
C	8	4

## Ispitni zadatak

**Tabela.1.** Adresna šema globalne mreže

**Zadatak:** Za globalnu mrežu zadatu tabelom 1 prikazati postupak punjenja tabela rastojanja primenom *Distance Vector Routing* algoritma. Parametri u tabeli 1 zadati su u sledećem formatu: [Oznaka rutera, interfejs, IP adresa, težina izlazne grane]. Nakon uspostavljanja ravnotežnog stanja prikazati kako izgleda *routing* tabela u ruteru A. Za *routing* tabelu koristiti sledeći format: <IP adr.mreže> <maska> <dužina puta> <D/I> <sledeći skok> <interfejs>

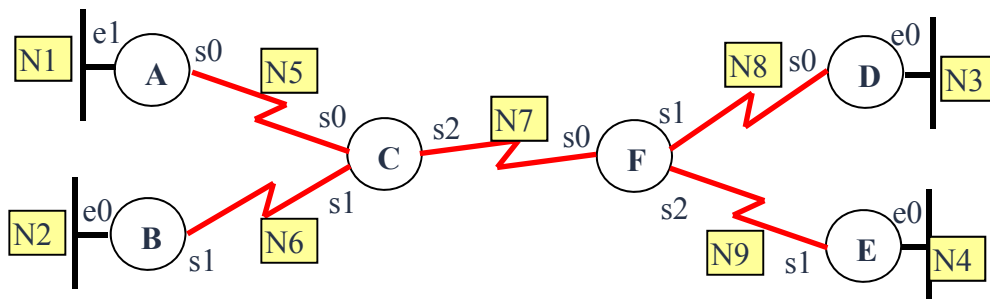
A	e1	191.18.64.1/18	3	D	e0	131.200.11.73/21	3
	s0	191.18.192.5/30	5		s0	216.61.12.202/30	5
B	s0	191.18.192.9/30	8	E	e0	191.18.128.1/18	3
	e0	191.27.64.1/18	3		s1	216.61.12.206/30	6
C	s0	191.18.192.6/30	5	F	s0	220.5.48.5/30	9
	s1	191.18.192.10/30	8		s1	216.61.12.201/30	5
	s2	220.5.48.6/30	9		s2	216.61.12.205/30	6

## Rešenje

Konfiguracija sadrži 9 mreža, i to:

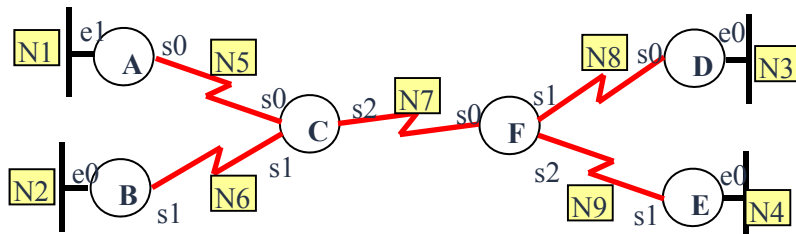
N1 – 191.18.64.0/18	N2 – 191.27.64.0/18	N3 – 131.200.8.0/21
N4 – 191.18.128.0/18	N5 – 191.18.192.4/30	N6 – 191.18.192.8/30
N7 – 220.5.48.4/30	N8 – 216.61.12.200/30	N9 – 216.61.12.204/30

Na sledećoj slici prikazan je prostorni raspored rutera i mreža, tj. način na koji su povezani.



U narednim tabelama sa **R** označena je vrsta sa rastojanjima do susednih rutera, a **Dir** kolona u kojoj se nalaze rastojanja (težine) do direktno povezanih mreža. (Moguće je navesti i oznake svih rutera kao oznake vrsta u DV tabelama, ali je za ovo rešenje to irelevantno i zbog kraćeg zapisa postoji samo jedna vrsta – R.) **Da** predstavlja DV tabelu u ruteru A, **Db** u ruteru B, itd. Simbol **###** predstavlja beskonačno rastojanje.

# Rešenje



A	e1	191.18.64.1/18	3
	s0	191.18.192.5/30	5
B	s0	191.18.192.9/30	8
	e0	191.27.64.1/18	3
C	s0	191.18.192.6/30	5
	s1	191.18.192.10/30	8
	s2	220.5.48.6/30	9
D	e0	131.200.11.73/21	3
	s0	216.61.12.202/30	5
E	e0	191.18.128.1/18	3
	s1	216.61.12.206/30	6
F	s0	220.5.48.5/30	9
	s1	216.61.12.201/30	5
	s2	216.61.12.205/30	6

Da	C	Dir
R	5	
N1	3	3
N2		3
N3		
N4		
N5	5	5
N6		
N7		
N8		
N9		

Db	C	Dir
R	8	
N1		3
N2	3	3
N3		
N4		
N5		
N6	8	8
N7		
N8		
N9		

Dc	A	B	F	Dir
R	5	8	9	
N1				3
N2				3
N3				3
N4				3
N5			5	5
N6			8	8
N7			9	9
N8				3
N9				3

Df	C	D	E	Dir
R	9	5	6	
N1				3
N2				3
N3				3
N4				3
N5				3
N6				3
N7			9	9
N8			5	5
N9			6	6

Dd	F	Dir
R	5	
N1		3
N2		3
N3	3	3
N4		
N5		
N6		
N7		
N8	5	5
N9		

De	F	Dir
R	6	
N1		3
N2		3
N3		3
N4	3	3
N5		
N6		
N7		
N8		
N9	6	6





Da	C	Dir	
R	5		
N1	13	3	3
N2	16		16
N3	22		22
N4	23		23
N5	10	5	5
N6	13		13
N7	14		14
N8	19		19
N9	20		20

Db	C	Dir	
R	8		
N1	16		16
N2	19	3	3
N3	25		25
N4	26		26
N5	13		13
N6	16	8	8
N7	17		17
N8	22		22
N9	23		23

Dc	A	B	F	Dir	
R	5	8	9		
N1	8	24	26		8
N2	21	11	29		11
N3	###	###	17		17
N4	###	###	18		18
N5	10	21	23	5	5
N6	18	16	26	8	8
N7	19	25	18	9	9
N8	24	30	14		14
N9	25	31	15		15

Df	C	D	E	Dir	
R	9	5	6		
N1	17	###	###		17
N2	20	###	###		20
N3	26	8	20		8
N4	27	19	9		9
N5	14	24	26		14
N6	17	27	29		17
N7	18	19	21	9	9
N8	23	10	17	5	5
N9	24	16	12	6	6

Dd	F	Dir	
R	5		
N1	22		22
N2	25		25
N3	13	3	3
N4	14		14
N5	19		19
N6	22		22
N7	14		14
N8	10	5	5
N9	11		11

De	F	Dir	
R	6		
N1	23		23
N2	26		26
N3	14		14
N4	15	3	3
N5	20		20
N6	23		23
N7	15		15
N8	11		11
N9	12	6	6

Da	C	Dir	
R	5		
N1	13	3	3
N2	16		16
N3	22		22
N4	23		23
N5	10	5	5
N6	13		13
N7	14		14
N8	19		19
N9	20		20

Db	C	Dir	
R	8		
N1	16		16
N2	19	3	3
N3	25		25
N4	26		26
N5	13		13
N6	16	8	8
N7	17		17
N8	22		22
N9	23		23

Dc	A	B	F	Dir	
R	5	8	9		
N1	8	24	26		8
N2	21	11	29		11
N3	27	33	17		17
N4	28	34	18		18
N5	10	21	23	5	5
N6	18	16	26	8	8
N7	19	25	18	9	9
N8	24	30	14		14
N9	25	31	15		15

Df	C	D	E	Dir	
R	9	5	6		
N1	17	27	29		17
N2	20	30	32		20
N3	26	8	20		8
N4	27	19	9		9
N5	14	24	26		14
N6	17	27	29		17
N7	18	19	21	9	9
N8	23	10	17	5	5
N9	24	16	12	6	6

Dd	F	Dir	
R	5		
N1	22		22
N2	25		25
N3	13	3	3
N4	14		14
N5	19		19
N6	22		22
N7	14		14
N8	10	5	5
N9	11		11

De	F	Dir	
R	6		
N1	23		23
N2	26		26
N3	14		14
N4	15	3	3
N5	20		20
N6	23		23
N7	15		15
N8	11		11
N9	12	6	6

## Routing tabela A:

Network	Mask	D/I	Next hop	Interf.	Dist.
191.18.64.0	255.255.192.0	D	< >	e0	3
191.27.64.0	255.255.192.0	I	191.18.192.6	s0	16
131.200.11.8	255.255.248.0	I	191.18.192.6	s0	22
191.18.128.0	255.255.192.0	I	191.18.192.6	s0	23
191.18.192.4	255.255.255.252	D	< >	s0	5
191.18.192.8	255.255.255.252	I	191.18.192.6	s0	13
220.5.48.4	255.255.255.252	I	191.18.192.6	s0	14
216.61.12.200	255.255.255.252	I	191.18.192.6	s0	19
216.61.12.204	255.255.255.252	I	191.18.192.6	s0	20

# Pitanja

