

Računarske mreže

Algoritmi rutiranja

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].

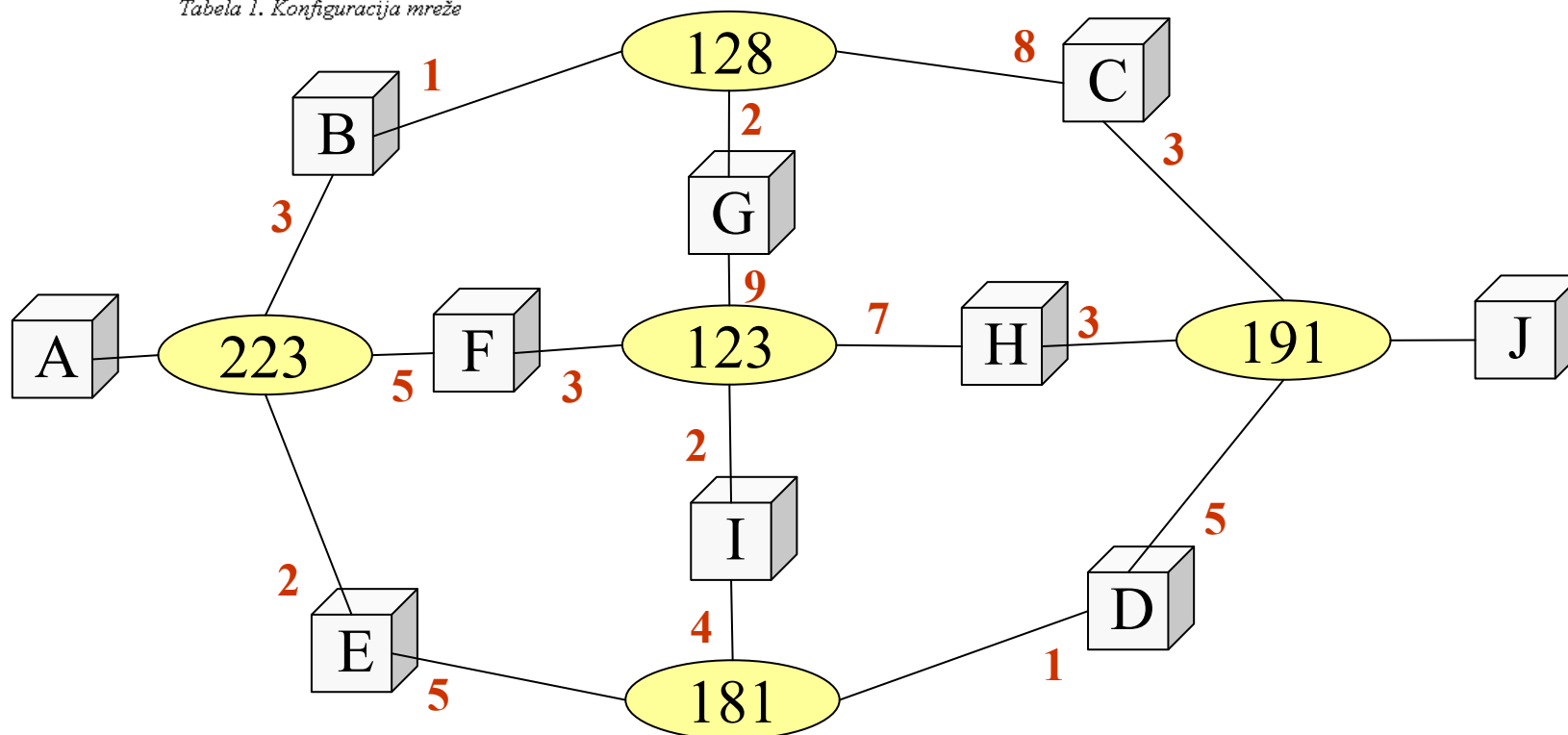
A	1	223.18.43.227	-	E	1	181.99.23.181	5	H	1	191.12.23.128	3
	2	128.77.23.110	1		2	223.18.43.200	2		2	123.15.41.211	7
B	1	223.18.43.12	3	F	1	223.18.43.117	5	I	1	123.18.12.11	2
	2	128.77.23.220	8		2	123.27.43.77	3		2	181.99.23.14	4
C	1	128.77.23.220	8	G	1	123.27.55.181	9	J	1	191.12.23.208	-
	2	191.12.23.14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

11 ažuriraj $D(v)$ za sve čvorove v susedne sa w koji nisu u N:

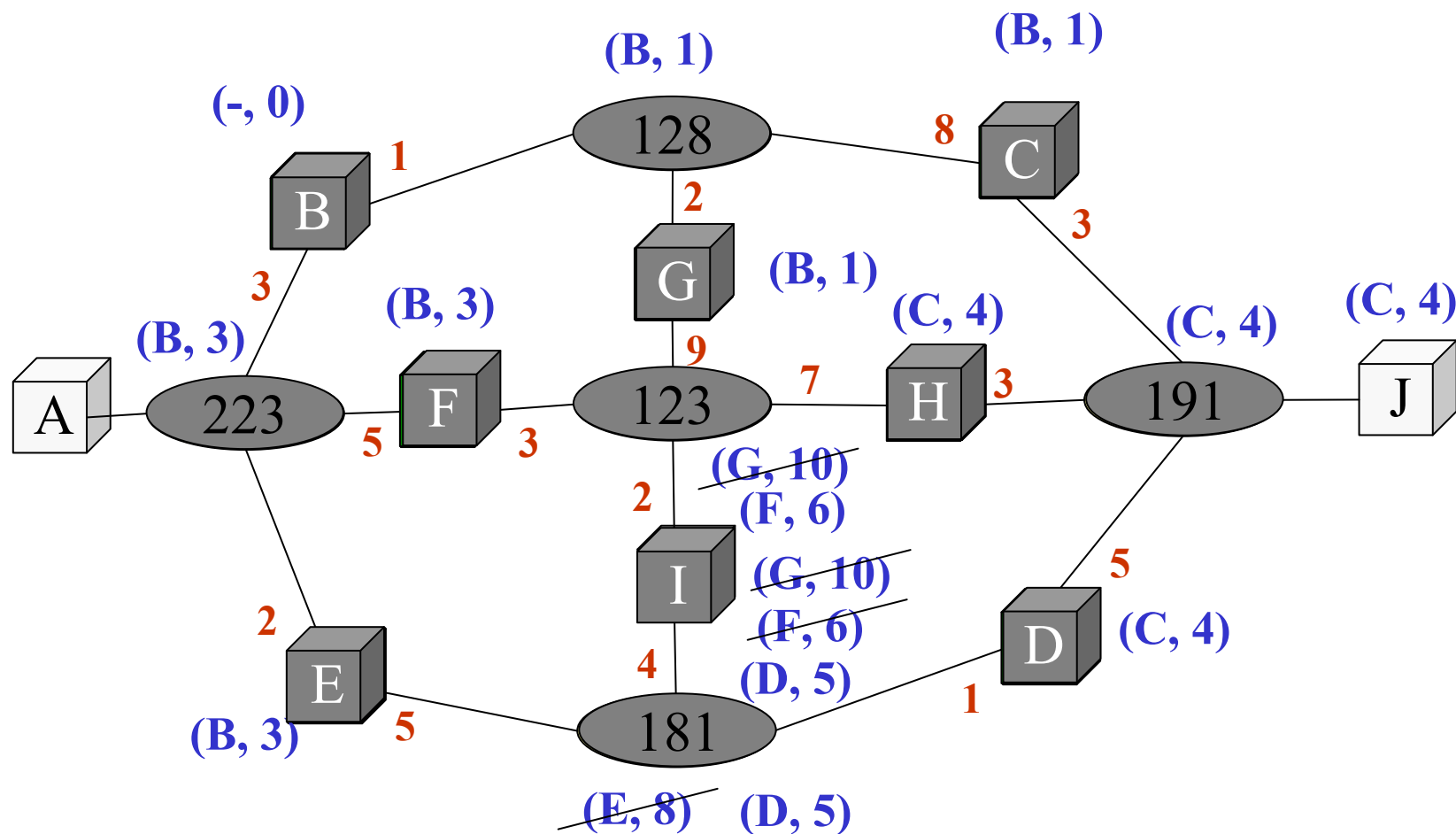
12 $D(v) = \min(D(v), D(w) + c(w, v))$

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* all nodes in N

2. korak – Primena Dijkstrinog 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

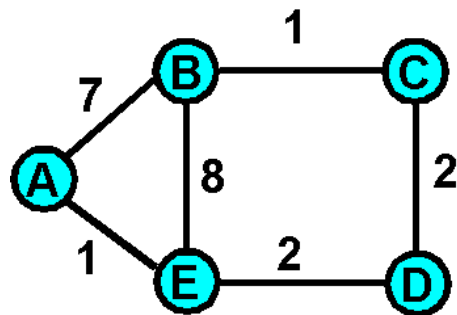
Network	Mask	D/I	Next hop (router)	Int.	Dist
223.18.43.0	255.255.255.0	D	< >	1	3
128.77.0.0	255.255.0.0	D	< >	2	1
191.12.0.0	255.255.0.0	I	128.77.23.220 (C)	2	4
181.99.0.0	255.255.0.0	I	128.77.23.220 (C)	2	5
123.0.0.0	255.0.0.0	I	223.18.43.200 (F)	1	6

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.



	D ^E ()	cost to destination via		
		A	B	D
d e s t i n a t.	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:

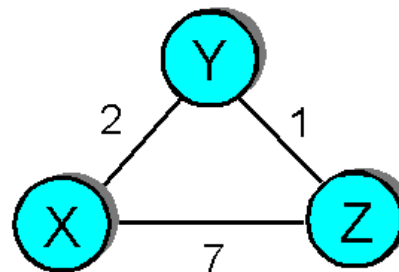
$$D^x(y,z) = C(x,z) + \min_w \{D^z(y,w)\}$$

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       $D^X(*,v) = \text{infty}$       /* 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  $\min_w DV(Y,w)$  */
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



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

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

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

	D^X	cost via	
		Y	Z
d			
e	Y	2	∞
s			
t	Z	∞	7

	D^X	cost via	
		Y	Z
d			
e	Y	2	8
s			
t	Z	3	7

	D^X	cost via	
		Y	Z
d			
e	Y	2	8
s			
t	Z	3	7

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

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

	D^Y	cost via	
		X	Z
d			
e	X	2	∞
s			
t	Z	∞	1

	D^Y	cost via	
		X	Z
d			
e	X	2	8
s			
t	Z	9	1

	D^Y	cost via	
		X	Z
d			
e	X	2	4
s			
t	Z	5	1

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

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

	D^Z	cost via	
		X	Y
d			
e	X	7	∞
s			
t	Y	∞	1

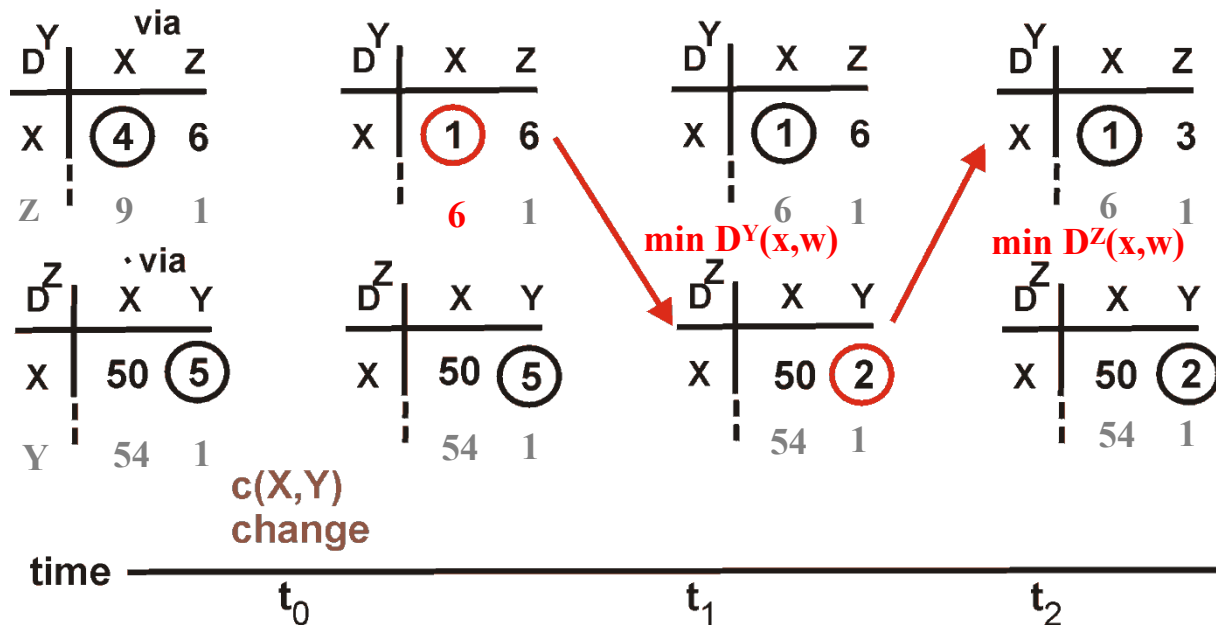
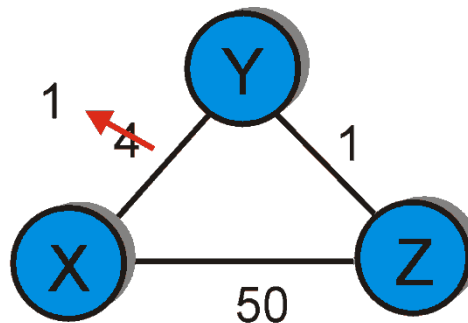
	D^Z	cost via	
		X	Y
d			
e	X	7	3
s			
t	Y	9	1

	D^Z	cost via	
		X	Y
d			
e	X	7	3
s			
t	Y	9	1

Primer 2 – Promena težine

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

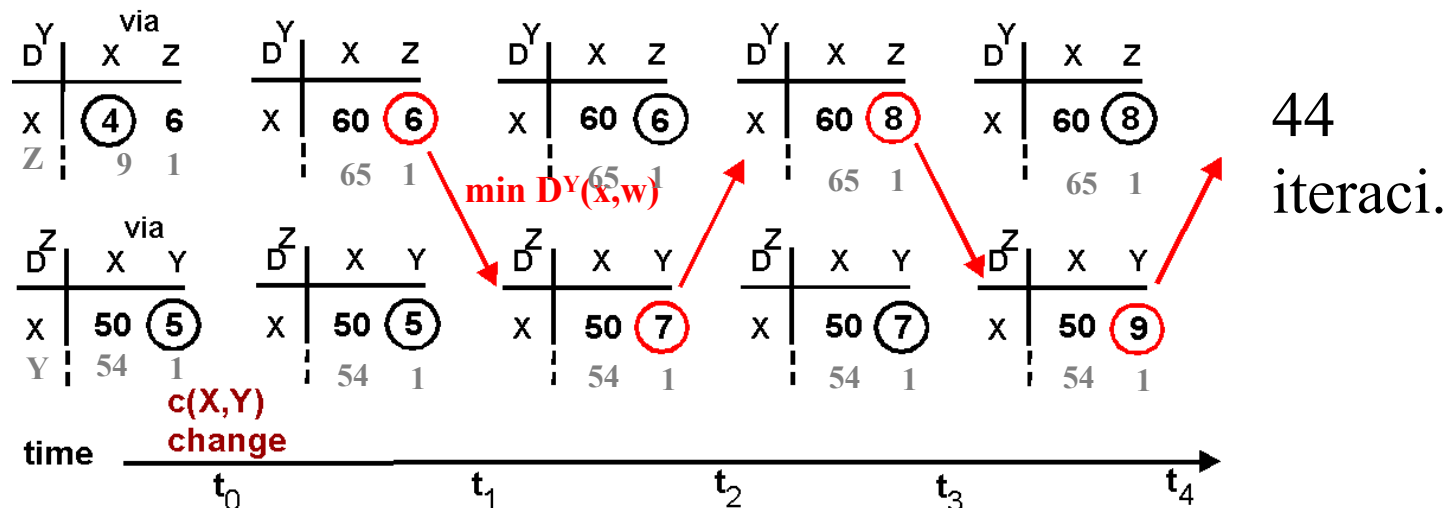
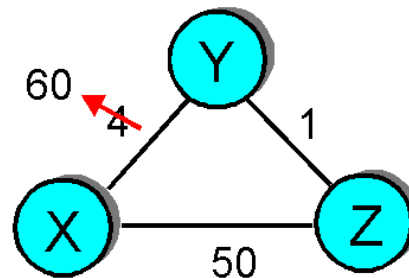
Smanjenje težine grane



Opadanje težine se brzo uravnotežava!

Primer 3 – Sporo uravnotežavanje

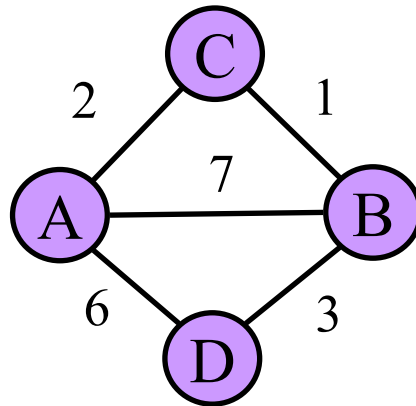
Povećanje težine grane



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

Ispitni zadatak

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

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

Tabela.1. Adresna šema globalne mreže

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

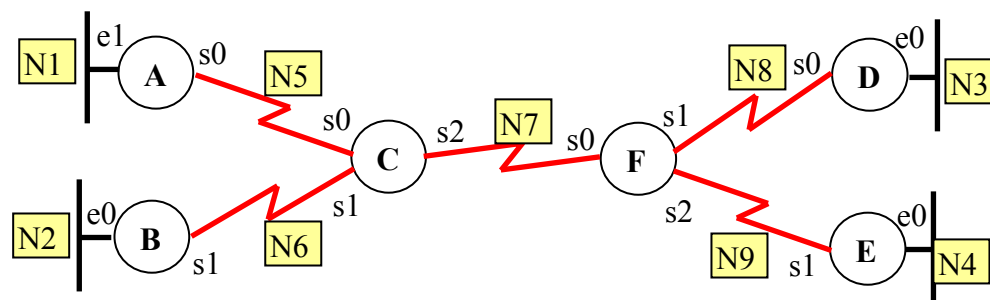
N6 – 191.18.192.8/30

N7 – 220.5.48.4/30

N8 – 216.61.12.200/30

N9 – 216.61.12.204/30

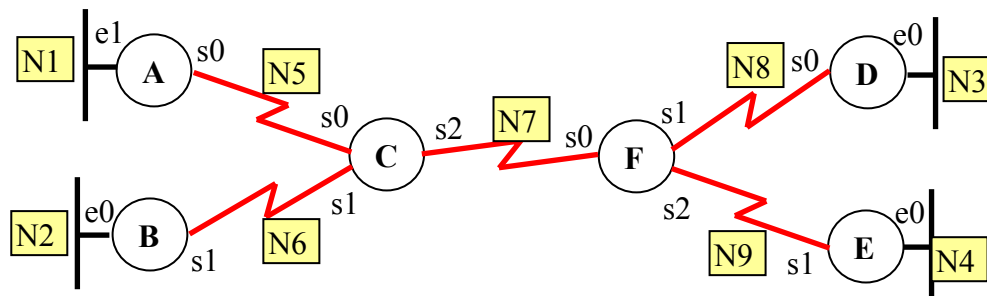
Na sledećoj slici prikazan je prostorni raspored rutera i mreža, tj. način na koji su povezani.



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.

Rutiranje

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
N2	###	###
N3	###	###
N4	###	###
N5	###	5
N6	###	###
N7	###	###
N8	###	###
N9	###	###

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

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

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

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

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

Rutiranje

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

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

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

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

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

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

Da	C	Dir
R	5	
N1	###	3
N2	###	###
N3	###	###
N4	###	###
N5	10	5
N6	13	13
N7	14	14
N8	###	###
N9	###	###

Db	C	Dir
R	8	
N1	###	###
N2	###	3
N3	###	###
N4	###	###
N5	13	13
N6	16	8
N7	17	17
N8	###	###
N9	###	###

Dc	A	B	F	Dir
R	5	8	9	
N1	8	###	###	8
N2	###	11	###	11
N3	###	###	###	###
N4	###	###	###	###
N5	10	###	###	5
N6	###	16	###	8
N7	###	###	18	9
N8	###	###	14	14
N9	###	###	15	15

Df	C	D	E	Dir
R	9	5	6	
N1	###	###	###	###
N2	###	###	###	###
N3	###	8	###	8
N4	###	###	9	9
N5	14	###	###	14
N6	17	###	###	17
N7	18	###	###	9
N8	###	10	###	5
N9	###	###	12	6

Dd	F	Dir
R	5	
N1	###	###
N2	###	###
N3	###	3
N4	###	###
N5	###	###
N6	###	###
N7	14	14
N8	10	5
N9	11	11

De	F	Dir
R	6	
N1	###	###
N2	###	###
N3	###	###
N4	###	3
N5	###	###
N6	###	###
N7	15	15
N8	11	11
N9	12	6

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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