

## TOPOLOŠKA ANALIZA TELEKOMUNIKACIONIH MREŽA

Jevtović V. *Milojko*, Jugoslovenska inženjerska akademija,  
Beograd,

Pavlović Z. *Boban*, Vojna akademija, Katedra vojnih  
elektronskih sistema, Beograd

UDK: 515.14:621.39

### Sažetak:

*U radu je izložena metodologija analize topološke strukture telekomunikacionih mreža. Prikazane se metode grafičkog predstavljanja i dati osnovni topološki oblici mreža. Izvršena je matematička analiza topologije i na primeru mreže sa šest čvorova određeni su pokazatelji pouzdanosti. U radu su analizirani aspekti efikasnosti telekomunikacione mreže i predložena nova definicija efikasnosti uvođenjem pojma funkcionalne otpornosti telekomunikacionih mreža.*

*Ključne reči: mrežna topologija, efikasnost, pouzdanost, funkcionalna otpornost.*

### Uvod

Topološka analiza strukture telekomunikacionih i računarskih mreža prisutna je kao predmet istraživanja i razvoja, čiji je cilj da se sagledaju mogućnosti realizacije pouzdanih, funkcionalno otpornih i ekonomičnih konfiguracija mreža. Problem je kako topologiju mreže prilagoditi realnim potrebama korisnika. To je ne samo istraživački, već i ključni problem projektovanja i planiranja telekomunikacione mreže. Zadovoljavanje više kriterijuma za izbor lokacija komutacionih čvorova i njihovo povezivanje određenim vrstama linikova i prenosnih sistema, uz uvažavanje postavljenih zahteva za kapacitet, brzine prenosa, povezanost mreže, pouzdanost, raspoloživost, ekonomičnost, kao i niza drugih zahteva, predstavlja ozbiljan projektantski problem.

Bavljenje topologijom mreža podstaknuto je potrebom da se dođe do optimalnih rešenja u projektovanju mreža, ali i do metoda za ocenu efikasnosti i ekonomičnosti upotrebe već projektovanih mreža.

## Osnovna analiza topologije mreža

Može se reći da topologija predstavlja način na koji se povezuju i razmeštaju geografski udaljeni čvorovi i linkovi (linije povezivanja čvorova) mreže. Postoje tri osnovna načina da se grafički predstavi topologija telekomunikacione mreže, pomoću tabela, matrica ili grafova.

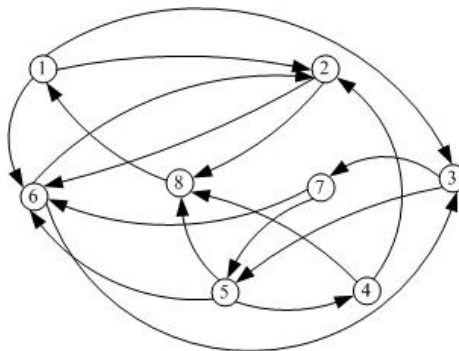
**Metoda tabela.** Metodom tabela moguće je predstaviti mrežu određene topologije. Primena metode tabela pogodna je pri predstavljanju mreža, koje imaju relativno mali broj čvorova u odnosu na broj spojnih puteva (linkova). Za mrežu sa osam čvorova, čiji je izgled predstavljen grafom na slici 1, definisana je tabela 1, u kojoj su dati podaci o vezama između čvorova.

Tabela 1

Table 1

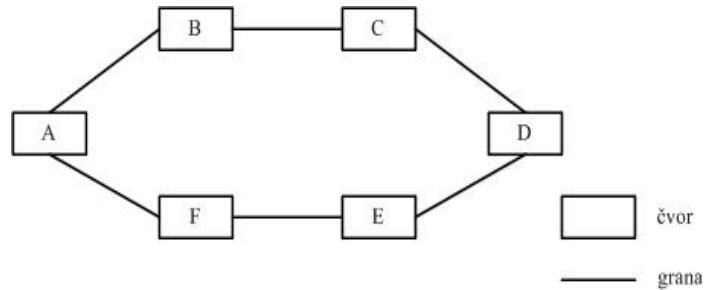
Veze između čvorova mreže  
Connections between network nodes

1	2	3	4	5	6	7	8
2, 3, 6	6, 8	5, 7	8, 2	4, 6, 8	2, 3	5, 6	1



Slika 1 – Primer mreže predstavljene metodom tabela  
Figure 1 – Example of the network with the table method

**Matrična metoda.** Topologija jedne mreže može se predstaviti pomoću tzv. *konekcionih matrica* (matrice povezivanja) u kojoj su u *koloni matrice* predstavljeni čvorovi (*komutacioni sistemi*) izvora saobraćaja, a *redovima matrice* – komutacioni sistemi odredišta. Tako, na primer, mreža prikazana na slici 2 može se predstaviti konekcionom matricom (slika 3).



Slika 2 – Graf mreže  
Figure 2 – Network graph

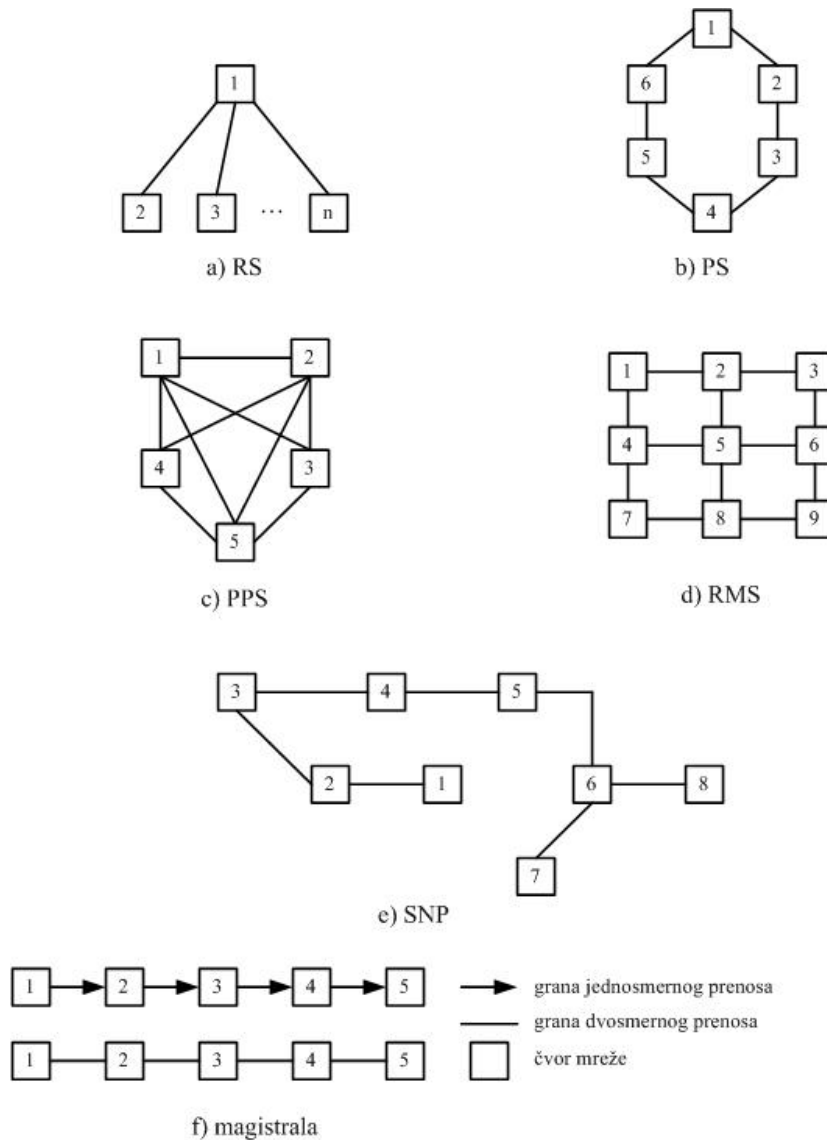
		odredišta					
		A	B	C	D	E	F
IZVORI	A	0	1	0	0	0	0
	B	0	0	1	0	0	0
	C	0	0	0	1	0	0
	D	0	0	0	0	1	0
	E	0	0	0	0	0	1
	F	1	0	0	0	0	0

Slika 3 – Matrica konekcije  
Figure 3 – Connection matrix

U matrici konekcije sa „0“ je označeno da ne postoji veza, dok se sa „1“ označava da veza postoji. Umesto „1“ u konekcionu matricu mogu da se unesu rastojanja između čvorova izražena u kilometrima, pa tako dobijamo *matricu gustine* čvorova. Takođe, umesto „1“ mogu se uneti podaci o spojnom putu između čvorova, kao što su: slabljenje signala, kašnjenje, varijacija kašnjenja, verovatnoća bitske greške, itd. Na taj način dobijamo *matricu kvaliteta*.

**Tipovi topoloških oblika.** Razlikuje se više tipova topoloških oblika telekomunikacionih mreža. Na slici 4 prikazani su osnovni tipovi topoloških oblika (struktura):

- zvezdasta ili radijalna struktura (RS),
- prstenasta struktura (PS),
- petljasta potpuno povezana struktura (PPS),
- rešetkasta mrežna struktura (RMS),
- stablo najkraćeg puta (SNP) ili magistrala kao njen specijalni oblik.



Slika 4 – Tipovi topoloških oblika mreža  
 Figure 4 – Types of the topological network shapes

Zvezdasta ili radijalna struktura mreže (RS), prikazana na slici 4a, najjednostavniji je tip mreže u kojoj je jedan od  $n$  čvorova mreže povezan sa svim ostalim čvorovima.

Prstenasta mreža (PS), prikazana na slici 4b, predstavlja mrežu u kojoj je svaki čvor povezan sa dva susedna čvora.

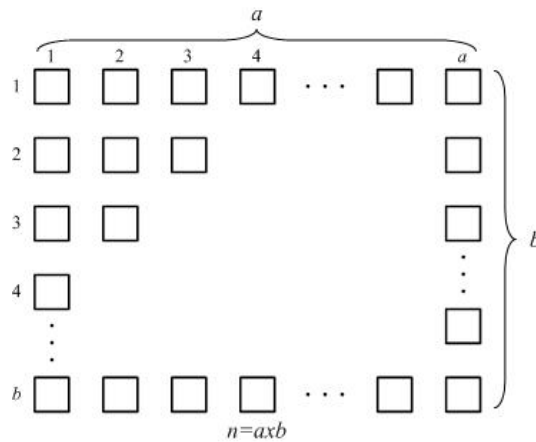
*Petljasta potpuno povezana mreža* (PPS), prikazana na slici 4c, spada u složene mreže u kojima je ostvarena veza svakog čvora sa svakim čvorom.

*Rešetkasta ili matična struktura mreže* (RMS), prikazana na slici 4d, predstavlja mrežu u kojoj su ostvarene nepotpune veze između čvorova.

*Stablo najkraćeg puta* (SNP), slika 4e, jeste mreža gde je veza između pojedinih čvorova ostvarena po najkraćem prenosnom putu kroz mrežu. Specijalni oblik (slika 4f) predstavlja *magistrala*, koja može da omogućiti jednosmernu ili dvosmernu komunikaciju.

## Matematička analiza topologije

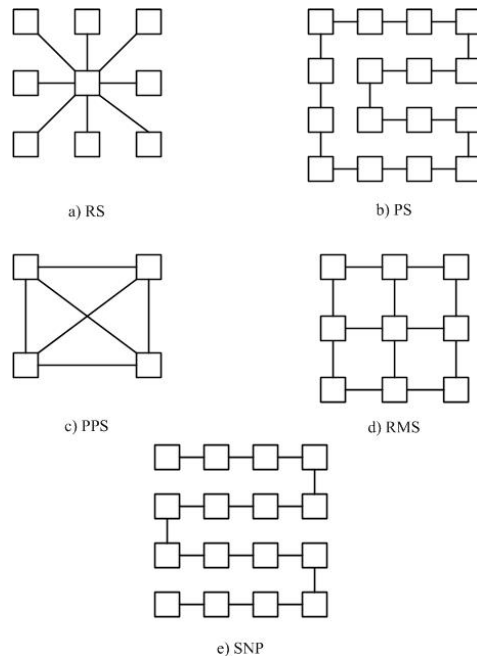
U analizi topologije mreža čvorovi u mreži se uobičajeno označavaju sa  $N$  ili  $n$ , i predstavljaju komutacione sisteme, a linije ili grane grafa se označavaju sa  $L$  ili  $l$ . Grane predstavljaju spojne puteve između komutacionih sistema. Za matematičku analizu i softversko modeliranje (simulacije) od interesa je da se prethodno definisane topološke strukture mreža tretiraju i posmatraju sa pravilno i ravnomerno (ekvidistantno) raspoređenim čvorovima mreže. Na slici 5 prikazana je ravnomerna ili matična raspodela  $n = a \times b$  čvorova.



Slika 5 – Matična ravnomerna raspodela čvorova mreža

Figure 5 – Unique matrix distribution of the network nodes

Polazeći od matične raspodele čvorova, tipovi topoloških oblika mreža mogu se predstaviti geometrijski ekvidistantno, na način kako je to prikazano na slici 6.



Slika 6 – Matrična ekvidistantna raspodela čvorova  
 Figure 6 – Matrix equal distance distribution of the network nodes

Geometrijsko predstavljanje pomenutih topoloških struktura (oblika) mreža daje mogućnost da se numeričkom metodologijom uporede njihove osnovne, tzv. strukturne karakteristike. Strukturne karakteristike pomenutih tipova mreža: broj grana, srednji stepen povezanosti čvorova, srednja dužina puta i srednja dužina grane su matematičkom metodologijom izračunate i prikazane u tabeli 2 u kojoj je broj čvorova označen sa  $n$ , a njihov broj se dobija preko  $n = a \times b$ .

Tabela 2  
 Table 2

Strukturne karakteristike topoloških tipova mreža  
 Structured characteristics of the topological network shapes

Topološki oblik mreže	Broj grana ( $l$ )	Srednji stepen povezanosti	Srednja dužina puta	Srednja dužina grane
Radialna (RS)	$n-1$	$2(n-1)/n$	2	$(0,24a+0,1b)/\sqrt{n}$
Prstenasta (PS)	$n$	2	$n^2/4(n-1)$	$(a+b)/(2\sqrt{n})$
Petljasta potpuno povezana (PPS)	$n(n-1)/2$	$n-1$	1	$0,32a+0,13b$
Rešetkasta matrična (RMS)	$2\sqrt{n}(\sqrt{n}-1)$	$4(\sqrt{n}-1)/\sqrt{n}$	$2\sqrt{n}/3$	$(a+b)/(2\sqrt{n})$
Stablo najkraćeg puta (SNP)	$n-1$	$2(n-1)/n$	$(n+1)/3$	$(a+b/n)/(1+\sqrt{n})$

Napomena: broj čvorova  $n = a \times b$

Analizom strukturnih karakteristika topoloških oblika mreža mogu se doneti sledeći zaključci:

- prednost imaju mreže sa potpunom povezanošću, koje obezbeđuju maksimalnu funkcionalnu otpornost. Nedostatak ovakvog tipa mreže ogleda se u neekonomičnosti ulaganja u maksimalno razgranatu mrežu;
- ekonomski je povoljnija rešetkasta struktura mreže, koja obezbeđuje uštedu broja linkova – grana (prenosnih puteva između čvorova). Povezanost u rešetkastoj mreži je konkurentna ostalim tipovima mrežnih konfiguracija;
- zbog porasta broja deonica (grana) i dužine puta između čvorova mreže raste kašnjenje u paketskom prenosu poruka (govor, video slika, podaci, tekst, itd.). To nastaje zbog toga što se u svakom čvoru uspostavlja signalizacija pri traženju puta ka sledećem čvoru. Zbog toga srednja dužina puta i srednja dužina grane (linka) predstavljaju kritične veličine pri izboru konfiguracije funkcionalno otporne mreže;
- maksimalna povezanost i minimalna povredivost predstavljaju inherentne karakteristike pouzdanosti i raspoloživosti telekomunikacione mreže. Optimalne strukture mreže imaju veliku važnost, pa se o tome mora voditi računa pri izboru topološke strukture mreže.

## Topološka analiza primenom teorije grafova

Model telekomunikacione mreže može se predstaviti *povezanim multigrafom*  $G(V, E)$ , čiji čvorovi  $G$  odgovaraju čvorovima, odnosno komutacionim sistemima mreže, a grane  $E$  vezama, odnosno linkovima  $l$  između čvorova telekomunikacione mreže [1].

Skup čvorova  $V=\{n\}$  i skup grana  $E=\{l\}$  mogu formirati mrežu najviše na  $K$  načina:

$$K = n \left[ \frac{(n-1)!}{2^{l-1} \{n(n-1)/2 - l\}!!} \right] \quad (1)$$

Naime, toliko postoji načina razmeštaja  $l$  grana između  $n$  čvorova u grafu  $G$ .

Kod složenijih mreža sa  $n > 10$  čvorova broj kombinacija mogućih povezivanja veoma raste, pa je mala korist od upotrebe brojnih kombinacija. U većini slučajeva praktična ograničenja i potrebe korisnika isključuju najveći broj nekonkurentnih kombinacija.

Za vrednovanje topološke strukture telekomunikacione mreže u pogledu povezanosti, a implicitno i pouzdanosti, koriste se pojmovi i teoreme iz teorije grafova.

U razmatranju topologije telekomunikacione mreže polazi se od toga da graf mreže  $G(V, E)$  pripada klasi tzv. bestežinskih grafova. S obzirom na to da je pouzdanost mreže u korelaciji sa njenom topologijom, ona se može opisati topološkim parametrima grafa mreže.

Za određivanje pouzdanosti mreže potrebni su sledeći parametri grafa mreže:

- broj čvorova  $n$  i grana  $l$  povezanog grafa definiše se kao skup parova celobrojnih vrednosti  $(n, l)$ ;

- povezanost u odnosu na čvorove  $\chi(G)$  definiše se kao najmanji broj čvorova koje treba izbaciti iz grafa da bi on postao nepovezan, tj. da ne postoji komunikacija između svih čvorova mreže;

- povezanost u odnosu na grane  $\lambda(G)$  definiše se kao najmanji broj grana koje treba izbaciti da bi graf postao nepovezan;

- prečnik ili dijametar  $D(G)$  definiše se kao najveće rastojanje dva čvora u grafu; rastojanje između dva čvora  $d$  u grafu jednako je dužini najkraćeg puta između ta dva čvora merenog brojem pređenih grana;

- venac  $g(G)$  definiše se kao najmanja dužina ciklički zatvorenog puta, kada su polazni i završni čvor koincidentni;

- kohezija grafa po čvorovima  $\delta_{(n_0)}^n$  definiše se kao minimalan broj čvorova koje treba izostaviti iz grafa, pa da se iz njega izdvoji ma koji podgraf sa  $n_0$  čvorova;

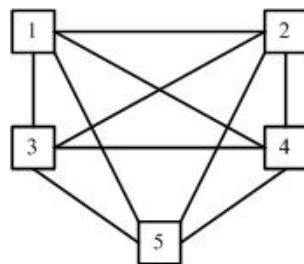
- kohezija grafa po granama  $\delta_{(n_0)}^l$  definiše se kao minimalan broj grana koje treba izostaviti iz grafa da bi se iz njega izdvojio ma koji podgraf sa  $n_0$  čvorova;

- artikulacija grafa nivoa  $m$  po granama i čvorovima  $\chi^l(m)$  i  $\chi^n(m)$  definiše se kao minimalna grupa od  $\chi^l(m)$  grana/čvorova koja, ako se izdvoji, uzrokuje transformaciju grafa u dva međusobno nepovezana grafa;

- gustina grafa  $\Gamma(G)$  definiše se kao odnos broja postojećih grana i broja grana potpuno povezanog grafa sa istim brojem čvorova;

- broj kružnih puteva  $h(G)$  koji imaju dužinu jednaku vencu grafa.

Na slici 7 prikazana je petljasta potpuno povezana mreža, kao primer na kojem se može pokazati postupak topološke analize mreže metodom teorije grafova.



Slika 7 – Petljasta potpuno povezana struktura mreže (PPS)  
 Figure 7 – Fully connected loop network strukture (FCL)



Za ovaj tip mreže izrazi koji daju matematičku interpretaciju opisanih parametara grafa dati su u tabeli 3.

Tabela 3  
Table 3

Topološki parametri grafa PPS mreže sa pet čvorova  
Topological parameters of the FCN graph with five nodes

Parametar	$(n, l)$	$\chi(G)$	$\lambda(G)$	$D(G)$	$g(G)$	
Izraz	–	$\min_{i,j} \chi_{ij}$	$\min_{i,j} \lambda_{ij}$	$\max_{i,j} d_{ij}$	$\min_{i,j} g_{ij}$	
Vrednost	(5, 10)	2	4	4	4	
Parametar	$\delta^n(n_o)$	$\delta^l(n_o)$	$\chi^n(m)$	$\chi^l(m)$	$\Gamma(G)$	$h(G)$
Izraz	$\min \delta_{ij}^n$	$\min \delta_{ij}^l$	$\max \chi_{ij}^n$	$\max \chi_{ij}^l$	$\frac{l}{n(n-1)}$	–
Vrednost	2	6	2	6	1	6

U tabeli 3 sa  $i$  i  $j$  označeni su parovi čvorova grafa.

## Vrednovanje strukture mreže na osnovu topoloških parametara pouzdanosti

Prema radovima autora navedenih u literaturi za vrednovanje topologije telekomunikacione mreže preporučuju se heuristički pokazatelji koji objedinjavaju opisane parametre grafa u odnosu na pouzdanost, operativnost i funkcionalnu otpornost mreže. Ovde se pod operativnošću telekomunikacione mreže podrazumeva blagovremeni prenos informacija (poruka) po direktnim i redundantnim putevima mreže [2].

Na osnovu topoloških parametara definišu se integralni i raspodeljeni topološki pokazatelji definisani sledećim relacijama:

a) integralni pokazatelj:

$$P_\alpha = \frac{g + \delta^n + \alpha \chi}{D + \chi^n + \chi^l} + \frac{2l}{n}; \quad \alpha = 0 \text{ ili } \alpha = 1 \quad (2)$$

b) pokazatelji raspodeljeni na grane i čvorove:

$$P_l = \frac{\lambda + \delta^l}{D} + \frac{l}{c_n^2} + \frac{h}{c_n^g (g-1)! / 2} \quad (3)$$

$$P_n = \frac{\chi + \delta^n}{D} + \frac{l}{c_n^2} + \frac{h}{c_n^g (g-1)!/2} \quad (4)$$

gde  $c_n^g$  označava operaciju određivanja broja kombinacija.

Pokazatelji  $P_l$  i  $P_n$  su pogodniji za primenu jer pružaju mogućnost optimizacije mreže, posebno po broju čvorova, odnosno po broju grana. Za potpuno povezanu petljastu mrežu, koja je prikazana na slici 7, a na osnovu podataka datih u tabeli 2, dobijaju se sledeće vrednosti pokazatelja pouzdanosti:

$$P_{(\alpha=0)}=4,5; P_{(\alpha=1)}=4,66; P_l=6,6; P_n=3,6;$$

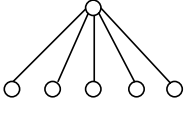
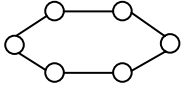
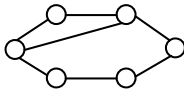
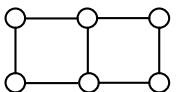
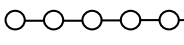
Ovi pokazatelji, uz činjenicu da je  $\Gamma(G)=1$ , jasno ukazuju na visoku pouzdanost pomenute petljaste mreže.

Pažnju zaslužuje pitanje kako se na bazi topoloških parametara pouzdanosti može vrednovati struktura mreže. Pokazatelji pouzdanosti  $P_\alpha$ ,  $P_l$  i  $P_n$ , dati u prethodno navedenim relacijama 2, 3 i 4, koriste se za globalnu ocenu tipičnih topoloških struktura mreže (zvezdasta, prstenasta, petljasta, rešetkasta, stablo najkraćeg puta). Formalna identifikacija pouzdanosti mreže sa pouzdanošću grafa znači da se pri ovakvom razmatranju stohastički karakter pouzdanosti iskazuje, odnosno predstavlja, samo kroz mogućnost slučajnih prekida grana ili ispada čvorova.

Treba imati u vidu da je cilj optimizacije topologije telekomunikacione mreže u tome da se postigne: minimalna složenost, maksimalni kapacitet, najkraći putevi prenosa poruka, maksimalna brzina komuniciranja, maksimalna ekonomičnost, itd. Ovako definisan cilj, u suštini, predstavlja predmet teorije grafova.

Kao primer vrednovanja strukture mreže na osnovu topoloških pokazatelja pouzdanosti uzeti su tipični oblici mreža koje se mogu formirati sa šest čvorova. Za te primere mreža topološki parametri pouzdanosti prikazani su u tabeli 4, a na osnovu podataka iz tabele 2. Uočljiva je pogodnost rešetkaste mreže, izuzimajući petljaste strukture mreža veće povezanosti.

Tabela 4  
Table 4Primeri topoloških parametara pouzdanosti tipičnih struktura mreža  
Examples of the topological parameters reliability within typical networks structure

Struktura mreže	Topološki oblik mreže	Topološki parametri	Pokazatelji pouzdanosti u odnosu na grane i čvorove
Zvezdasta		$(n, l) = (6, 5); \Gamma = 0, 3;$ $\chi = \lambda = \delta^n = \delta^l = 1;$ $D = 2; g = 0; h = 0;$	$P_l = 1, 50$ $P_n = 1, 50$
Prstenasta		$(n, l) = (6, 6); \Gamma = 0, 4;$ $\chi = \lambda = \delta^n = \delta^l = 2;$ $D = 3; g = 6; h = 1;$	$P_l = 1, 75$ $P_n = 1, 75$
Petljasta (nepotpuna)		$(n, l) = (6, 7); \Gamma = 0, 46;$ $\chi = \lambda = \delta^n = \delta^l = 2;$ $D = 3; g = 3; h = 1;$	$P_l = 1, 84$ $P_n = 1, 84$
Rešetkasta		$(n, l) = (6, 7); \Gamma = 0, 46;$ $\chi = \lambda = \delta^n = \delta^l = 2;$ $D = 3; g = 4; h = 2;$	$P_l = 1, 84$ $P_n = 1, 84$
Stablo najkraćeg puta		$(n, l) = (6, 5); \Gamma = 0, 3;$ $\chi = \lambda = \delta^n = \delta^l = 1;$ $D = 5; g = 0; h = 0;$	$P_l = 0, 74$ $P_n = 0, 74$

## Efikasnost telekomunikacione mreže

U stručnoj literaturi *efikasnost mreže* kao tehničkog sistema definiše se kao proizvod njene pouzdanosti, raspoloživosti i adekvatnosti za određenu namenu. Ova definicija efikasnosti telekomunikacione mreže prihvaćena je ne samo u publikovanim naučno-stručnim radovima, već je našla primenu u državnim i vojnim standardima.

Prema prethodnoj definiciji, *efikasnost telekomunikacione mreže*, kao tehničkog sistema, data je izrazom:

$$E = R \times A \times D \quad (5)$$

gde je:

*R* – pouzdanost mreže, definisana kao verovatnoća ispravnosti u toku određenog perioda i pri određenim uslovima;

*A* – raspoloživost (spremnost), definisana kao verovatnoća ispravnosti mreže u određenom momentu;

*D* – adekvatnost (prikladnost) za izvršenje misije telekomunikacione mreže.

Može se reći da *efikasnost* kao integralna karakteristika predstavlja merilo zadovoljenja specifičnih zahteva misije (adekvatnost) u toku vremena (pouzdanost) i u određenom momentu (raspoloživost) [3].

Međutim, danas se od telekomunikacione mreže traži još više, a to je da, pored prethodno definisanog, mreža radi u izuzetno ekstremnim uslovima. Zahteva se da bude *funkcionalno otporna* u najtežim mogućim uslovima, a to su:

- velike poplave koje zahvataju široka prostranstva, posebno poplave u primorskim krajevima, izazvane zemljotresima sa epicentrima u moru („cunami“),

- katastrofalni zemljotresi velike jačine i razorne moći na širokim prostranstvima, koji dovode do rušenja komunikacionih čvorišta i kidanja kablovskih sistema (metalni i optički kablovi, radio-relejni čvorišta),

- šumski požari velikih razmera, koji pored šumskih površina zahvataju slabije naseljena područja, mesta i gradove,

- snažna elektromagnetna ometanja sa satelita, koja onemogućavaju propagaciju elektromagnetnih talasa na zemlji, a u određenim uslovima ometaju i prenos signala preko bežičnih sistema veza,

- bombardovanja iz aviona ili daljinski navođenim raketnim sistemima, koji precizno pogađaju vitalne delove stacionarnih telekomunikacionih sistema (mrežna čvorišta, komutacioni sistemi, centrale, vitalne kablovske instalacije, mobilni radio-predajnici i antenski sistemi, itd.

U ekstremno nenormalnim uslovima od telekomunikacione mreže se zahteva da bude funkcionalno raspoloživa. Funkcionalna otpornost telekomunikacione mreže (engl. *Network Survivability*) definiše se kao sposobnost mreže da (u ekstremno teškim uslovima) održi komunikacione karakteristike pri uspostavljanju, održavanju i raskidanju veza. Pri tome treba da obezbedi zahtevani nivo kvaliteta usluga u slučaju otkaza segmenata mreže ili dela komunikacione opreme (linkovi, komutacioni čvorovi, radio-relejni sistemi ili kablovski sistemi prenosa).

U vezi s tim, može se predložiti potpunija definicija *efikasnosti* mreže:

*Efikasnost mreže* kao tehničkog sistema definiše se kao proizvod nje-  
ne pouzdanosti, raspoloživosti, adekvatnosti za određenu namenu i funkci-  
onisanja u ekstremno teškim uslovima (*Survivability*). Na osnovu nove de-  
finicije *efikasnost telekomunikacione mreže* je data sledećim izrazom:

$$E = R \times A \times D \times S; \quad 0 \leq \{E, R, A, D, S\} \leq 1 \quad (7)$$

gde je sa *S* označena funkcionalna otpornost mreže u ekstremnim uslovima.

Sada se može reći da *efikasnost* kao integralna karakteristika telekomu-  
nikacione mreže predstavlja merilo zadovoljenja specifičnih zahteva misije  
(adekvatnost) u toku vremena (pouzdanost), u određenom momentu vreme-  
na (raspoloživost) i u ekstremno teškim uslovima (funkcionalna otpornost).

## Zaključak

U radu su detaljno predstavljeni topološki oblici telekomunikacionih  
mreža i prikazana matrična ekvidistantna raspodela mrežnih čvorova. Tabe-  
larno su prikazane karakteristike topoloških tipova mreža (broj grana, srednji  
stepen povezanosti, srednja dužina puta i srednja dužina grana). Navedeni  
su parametri za određivanje pouzdanosti mreža i na primeru petljaste potpu-  
no povezane mreže sa pet čvorova određena je njihova vrednost.

Za različite strukture mreža sa šest čvorova (zvezdasta, prstenasta,  
petljasta – nepotpuna, rešetkasta i stablo najkraćeg puta) izvršena je kom-  
parativna analiza integralnog pokazatelja pouzdanosti u odnosu na čvorove  
i grane, pri čemu je dokazana pogodnost primene rešetkaste mreže.

Predložena je potpunija definicija *efikasnosti telekomunikacione mreže*  
uvođenjem pojma funkcionalne otpornosti (*network survivability*), koja predsta-  
vlja sposobnost mreže da održi funkcionalnost u ekstremno teškim uslovima.

## Literatura

- [1] Cvetković, D., *Teorija grafova i njene promene*, Naučna knjiga, Beograd, 1981.
- [2] Soi, I. M., Aggarval, K. K., *Reliability Indices for Topological Design of Computer-Communications Networks*, IEEE Transactions on Reliability, Vol. R-20, No5, december 1995.
- [3] Catanuanu, V. M., Popentiu, F., *New reliability Indices for Topological Design*, Microelectronics and Reliability, Vol. R-27, No 1, January 1997.
- [4] Pundamale, S. S., *Survivable Networks*, Special Volume, Department of Computer Science, University of Helsinki, 2004.
- [5] Grover, W. D., Doucette, J. D., *Topological Design of Survivable Mesh-Based Transport Network*, Annals of Operations Research, Volume 106, pages 79–125, 2001.

## TOPOLOGICAL ANALYSIS OF TELECOMMUNICATIONS NETWORKS

### Summary:

*A topological analysis of the structure of telecommunications networks is a very interesting topic in the network research, but also a key issue in their design and planning. Satisfying multiple criteria in terms of locations of switching nodes as well as their connectivity with respect to the requests for capacity, transmission speed, reliability, availability and cost are the main research objectives.*

*There are three ways of presenting the topology of telecommunications networks: table, matrix or graph method. The table method is suitable for a network of a relatively small number of nodes in relation to the number of links. The matrix method involves the formation of a connection matrix in which its columns present source traffic nodes and its rows are the switching systems that belong to the destination. The method of the topology graph means that the network nodes are connected via directional or undirectional links. We can thus easily analyze the structural parameters of telecommunications networks.*

*This paper presents the mathematical analysis of the star-, ring-, fully connected loop- and grid (matrix)-shaped topology as well as the topology based on the shortest path tree. For each of these topologies, the expressions for determining the number of branches, the middle level of reliability, the medium length and the average length of the link are given in tables.*

*For the fully connected loop network with five nodes the values of all topological parameters are calculated. Based on the topological parameters, the relationships that represent integral and distributed indicators of reliability are given in this work as well as the values of the particular network. The main objectives of the topology optimization of telecommunications networks are: achieving the minimum complexity, maximum capacity, the shortest path message transfer, the maximum speed of communication and maximum economy.*

*The performance of telecommunications networks is analyzed in particular. Efficiency as an integral feature of reliability represents a measure of satisfying specific requirements of the mission (adequacy) over time (reliability) in a certain moment of time (availability).*

*Today, modern telecommunications networks face another condition: the operation in extreme conditions (major floods, catastrophic earthquakes, forest fires, electromagnetic jamming and bombing from aircraft or remote control posts). In order to realize communication in such circumstances, it is necessary to introduce a new parameter - network survivability. The network survivability is defined as the ability of a network to maintain communication features while establishing, maintaining and terminating connections in extremely difficult conditions.*

*This paper proposes a comprehensive definition of telecommunications networks including the network survivability as a very important factor.*

*The best results in terms of network survivability are obtained by the network with full connection, but the drawback is its high implementation cost. The grid network is more favorable since it results in reducing the number of links between network nodes. With the number of branches increasing, the delay in the network also increases. The previous analysis shows that the average path length and the average length of links are critical values when selecting a configuration of functionally resistant telecommunications networks.*

*Key words: topology, efficiency, reliability, network survivability.*

Datum prijema članka: 24. 11. 2009.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 27. 11. 2009.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 28. 11. 2009.