

Simulacija uticaja ostatka mreže i redundantnosti terminalnih čvorova na 2-terminalnu raspoloživost

Radomir Janković
Univerzitet Union
Računarski fakultet
Beograd, Srbija
rjanković@raf.edu.rs

Slavko Pokorni
ITS Visoka škola strukovnih studija
za informacione tehnologije
Beograd, Srbija
slavko.pokorni@its.edu.rs

Sadržaj — U radu je prikazan pristup proceni uticaja ostatka mreže i redundantnosti terminalnih čvorova na 2-terminalnu raspoloživost komunikacionih mreža koje se sastoje od popravljivih čvorova i linkova, primenom metode simulacije diskretnih događaja. Opisani su simulacioni model, algoritam programa-simulatora za procenu 2-terminalne raspoloživosti mreže i algoritam generatora otkaza redundantnih terminalnih čvorova. Data je analiza rezultata 2 eksperimenata izvedena pomoću realizovanog simulatora.

Ključne reči-komunikaciona mreža; raspoloživost; simulacija

I. UVOD

Komunikacione mreže su složeni sistemi, sa velikim brojem sastavnih elemenata – čvorova i linkova - koji su po svojoj prirodi skloni povremenim otkazima. Sa povećanjem broja mrežnih elemenata povećava se verovatnoća narušavanja veza između učesnika koji razmenjuju informacije preko mreže. Mreža može da opstane u vršenju svoje funkcije ponovnim uspostavljanjem prekinute veze izborom neke od alternativnih putanja koja je na raspolaganju u trenutku otkaza nekog od mrežnih elemenata.

Pokazatelj koji najbolje opisuje sposobnost komunikacione mreže od opravljivih elemenata da opstaje u vršenju svoje funkcije jeste njena raspoloživost. Ona može da bude [1]:

- **2-terminalna raspoloživost (2TA):** verovatnoća da u svakom trenutku t postoji bar 1 operativna putanja između 2 terminalna čvora u mreži, N_s (izvora) and N_d (odredišta);
- **k -terminalna raspoloživost (kTA):** verovatnoća da u svakom trenutku t postoji bar 1 operativna putanja između najmanje k definisanih čvorova u mreži;
- **totalna raspoloživost (ATA):** verovatnoća da se u svakom trenutku t mogu povezati svi čvorovi u mreži (bilo koja 2).

Koja od ovako definisanih mera raspoloživosti treba da se upotrebi zavisi prvenstveno od namene same mreže. U ovom radu razmatra se 2-terminalna raspoloživost (2TA) koja se obično koristi u situacijama kada je primarna funkcija komunikacione mreže da obezbedi neometan informacioni saobraćaj između 2 važna terminalna čvora - N_s (izvora) i N_d

(odredišta). Sav ostali saobraćaj u takvoj mreži je od sekundarnog značaja: ako je potreban neki od elemenata mreže (čvor ili link na nekoj od u posmatranom trenutku mogućih putanja između N_s i N_d), sav drugi saobraćaj kroz njega se obustavlja, a on se stavlja na raspolaganje za protok informacija između N_s i N_d .

Postoje analitičke metode za izračunavanje ili procenu raspoloživosti i pouzdanosti tehničkih sistema, ali se samo mali broj njih može primeniti na složenu komunikacionu mrežu, posebno ako su njeni elementi koji otkazuju popravljivi, što je čest slučaj. Ti metodi se u suštini svode na prebrojavanje stanja u kojima sistem radi i sumiranje verovatnoća da se sistem nađe u tim stanjima [2]. Kod složenih mreža broj tih stanja može da bude vrlo veliki što otežava i/ili onemogućava dolaženje do upotrebljivih analitičkih rešenja za izračunavanje raspoloživosti. To je razlog zašto se za rešenje ovakvih problema može primeniti metoda simulacije [3], [4], [5].

U radu [6], primenjene su 2 metode simulacije za procenu pouzdanosti složene komunikacione mreže koja se sastoji od čvorova i linkova okarakterisanih njihovim srednjim vremenima između otkaza (MTBF). Daljim istraživanjem došlo se do zaključka da bi za korisnike popravljivih komunikacionih mreža bolji pokazatelj kvaliteta usluga koje one podržavaju bila njihova raspoloživost.

U radovima [7] i [8], dat je pristup proceni 2TA mreža koje se sastoje od popravljivih elemenata, primenom simulacije diskretnih događaja. Rezultati eksperimenata izvršenim sa realizovanim simulatorima na pokaznom primeru pokazali su da:

- Mreža poboljšava 2TA u odnosu na direktnu vezu terminalnih čvorova, ali ne u očekivanoj meri, zato što N_s i N_d imaju MTBF slično kao i ostali mrežni elementi, pa je njihov uticaj na direktnu putanju veliki, a što su ostale putanje složenije, to je veća i mogućnost njihovog otkaza.
- U odnosu na direktnu vezu terminalnih čvorova, mreža više utiče na svoju 2TA kada se sastoji od manje kvalitetnih čvorova i linkova, sa kraćim MTBF.

Cilj ovog rada je da se pokažu mogućnosti simulatora za ispitivanje uticaja ostatka mreže i uvođenja redundantnosti terminalnih čvorova na 2-terminalnu raspoloživost mreže.

Ovaj rad realizovan je u okviru projekata III-40027 i TR 35026, delimično podržanih od strane Ministarstva za prosvetu, nauke i tehnološki razvoj Republike Srbije.

II. SIMULACIONI MODEL ZA PROCENU 2-TERMINALNE RASPOLOŽIVOSTI

Raspoloživost (A) nekog tehničkog sistema je verovatnoća da će taj sistem, kada se koristi pod zadatim uslovima, zadovoljavajuće funkcionisati u bilo kom trenutku vremena [9], što se može izraziti na sledeći način:

$$A = \frac{t_{kor}}{t_{kor} + t_z} \quad (1)$$

gde je t_{kor} vreme korišćenja, a t_z vreme zastoja sistema.

Pristup određivanju raspoloživosti komunikacionih mreža u ovom radu sastoji se u tome da se formuliše simulacioni model za određivanje 2-terminalne raspoloživosti mreže, napravi program-simulator, pomoću njega simulira rad mreže i odgovarajući događaji u odabranom vremenskom periodu T , prikupi podaci o ukupnim vremenima t_{kor} i t_z za vreme simulacije i izračuna raspoloživost mreže prema izrazu (1).

Model za procenu 2-terminalne raspoloživosti složenih komunikacionih mreža spada u klasu simulatora diskretnih događaja. Glavni događaji u sistemu su:

- Zahtev za uslugom mreže – uspostavljanje informacionog saobraćaja između čvorova N_s i N_d .
- Oslobađanje mreže po završenoj usluzi – obustavljanje tog saobraćaja između čvorova N_s i N_d .
- Otkaz mrežnog elementa (čvora ili linka) i početak njegove popravke.
- Završetak popravke neispravnog mrežnog elementa.

Vreme u simulacionom modelu definisano je osnovnim vremenskim intervalom t_0 u kome se zatečeno stanje sistema ne menja i ukupnim simuliranim vremenskim periodom T .

Pokretni delovi simuliranog sistema u modelu su jedinice saobraćaja informacija kroz mrežu i otkazi mrežnih elemenata.

Program-simulator realizovan je pomoću simulacionog jezika GPSS World [10]. Taj jezik je upotrebljen zbog svoje široke rasprostranjenosti, ekonomičnosti i već uspešne primene u raznim analizama i sintezama složenih komunikacionih mreža, na primer u [11] i [12]. Algoritam programa-simulatora prikazan je na sl. 1.

Prilikom inicijalizacije programa, biraju se izvorni čvor N_s , određišni čvor N_d , osnovni vremenski interval t_0 i ukupno simulirano vreme rada mreže T .

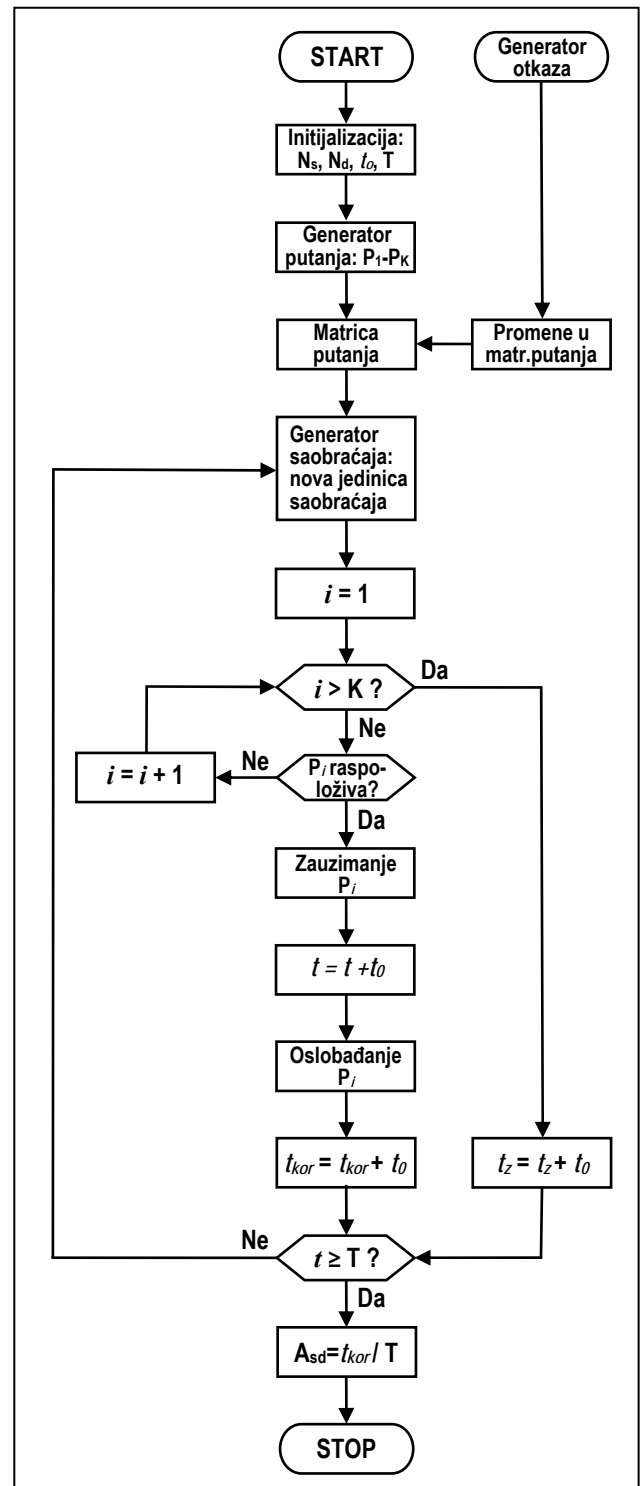
Na osnovu konfiguracije mreže i njenih trenutno ispravnih elemenata, modul generator putanja formira matricu putanja u kojoj se nalaze sve raspoložive putanje P_i , $i=1, \dots, K$ koje vode od N_s do N_d . Matrica je sortirana prema složenosti tih putanja S_i , meri koja je uvedena za potrebe ovog istraživanja, radi određivanja redosleda prihvatljivosti putanje za ostvarivanje veze. Složenost putanje definisana je izrazom:

$$S_i = N_i + L_i = 2N_i - 1 \quad (2)$$

gde su N_i i L_i broj čvorova i linkova u putanji P_i . Upravljanje mrežom prilikom pokušaja uspostavljanja veze između dva

terminalna čvora razmatra sve raspoložive putanje, redom prema njihovoj rastućoj složenosti.

U modelu se razmatra najgori slučaj, kada se od mreže zahteva neprestana usluga – informacioni saobraćaj između izvornog čvora N_s i određišnog čvora N_d .



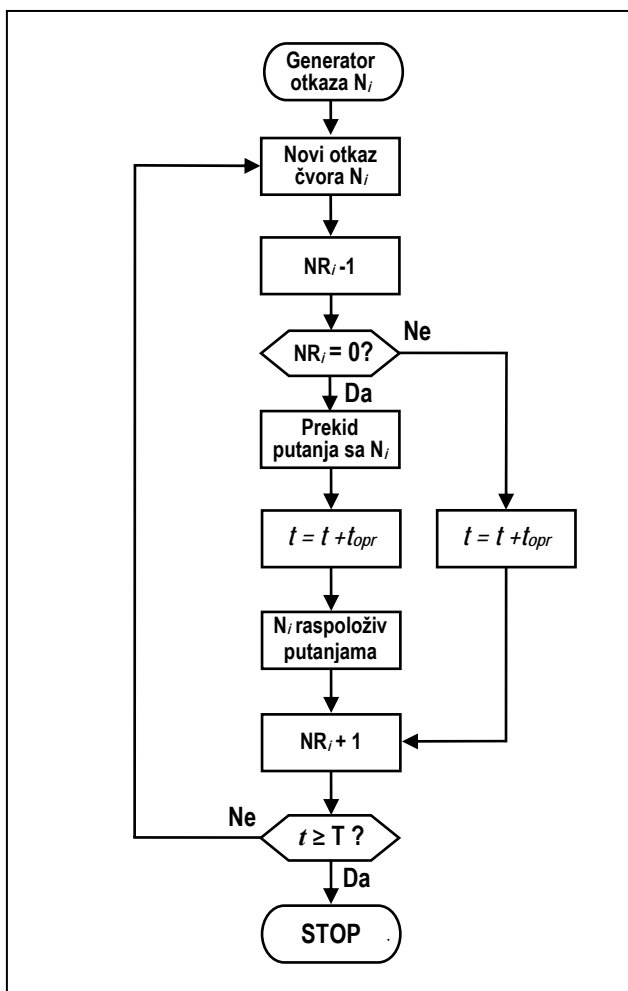
Slika 1. Algoritam simulatora za procenu 2-terminalne raspoloživosti

To se u programu-simulatoru postiže tako što modul generator saobraćaja na svaki osnovni vremenski interval t_0 stvara nove jedinice saobraćaja, predstavljene GPSS transakcijama [10]. Na pojavu svake nove jedinice saobraćaja, ispituje se sadržaj matrice putanja, redom po složenosti putanja, od jednostavnijih ka složenijima.

Ako od N_s do N_d postoji raspoloživa putanja P_i , jedinica saobraćaja je zauzima, drži zauzetom za 1 interval t_0 , zatim je oslobađa, povećava brojač vremena t_{kor} korišćenja mreže za 1 interval t_0 i najzad napušta simulaciju.

Ako ne postoji raspoloživa putanja P_i , jedinica saobraćaja povećava brojač vremena t_z korišćenja mreže za 1 interval t_0 i zatim napušta simulaciju.

Nezavisno od generisanja saobraćaja u mreži, modul za generisanje otkaza stvara otkaze koji se takođe predstavljaju GPSS transakcijama. U simulatoru ima onoliko nezavisnih generatora otkaza koliko ima elemenata u mreži. Na sl. 2 prikazan je primer algoritma generatora otkaza grupe redundantnih čvorova, koja je okarakterisana stepenom redundantnosti NR - ukupnim brojem čvorova u grupi, uključujući i osnovni čvor, koji su povezani paralelno.



Slika 2. Algoritam generatora otkaza grupe redundantnih čvorova

Generator otkaza stvara novu GPSS transakciju kojom se simulira otkaz jednog od takvih čvorova, u skladu sa njegovim MTBF i eksponencijalnom raspodelom tog vremena.

Kada dođe do otkaza čvora, NR redundantne grupe se smanjuje za 1 i ispituje se da li je NR = 0. Ako nije, pristupa se popravci čvora koji je otkazao, a saobraćaj se neometano nastavlja kroz ostale redundantne čvorove u okviru grupe. Ako je NR = 0, svi čvorovi u grupi su otkazali, pristupa se opravci čvora koji je otkazao, a saobraćaj preko putanja kojima pripada grupa se obustavlja.

Kada se čvor popravi, stavlja se grupi na raspolaganje za dalji saobraćaj, a NR grupe se povećava za 1.

Ovakav generator se može upotrebiti za simulaciju otkaza, kako neredundantnih mrežnih elemenata, kada je početni NR u simulaciji jednak 1, tako i redundantnih mrežnih elemenata, kada je početni NR ≥ 2 , zavisno od toga koliko je takvih elemenata u redundantnoj grupi.

Stavljanje neredundantnog mrežnog elementa, ili cele redundantne grupe, u stanje neispravnosti, u simulaciji ima za posledicu promenu u matrici putanja, koja se sastoji u tome da se sve putanje koje prelaze preko neispravnog mrežnog elementa ili grupe stavljaju u stanje neraspoloživosti za saobraćaj u mreži.

Popravka neispravnog mrežnog elementa ili grupe simulira se povećavanjem brojača simuliranog vremena t za vreme popravke t_{opr} , koje se izračunava na osnovu srednjeg vremena za popravku tog elementa MTTR_i i eksponencijalne raspodele tog vremena. Po okončanju popravke, transakcija koja predstavlja otkaz ažurira matricu putanja stavljanjem svih putanja koje prelaze preko popravljenog mrežnog elementa u stanje raspoloživosti za saobraćaj u mreži.

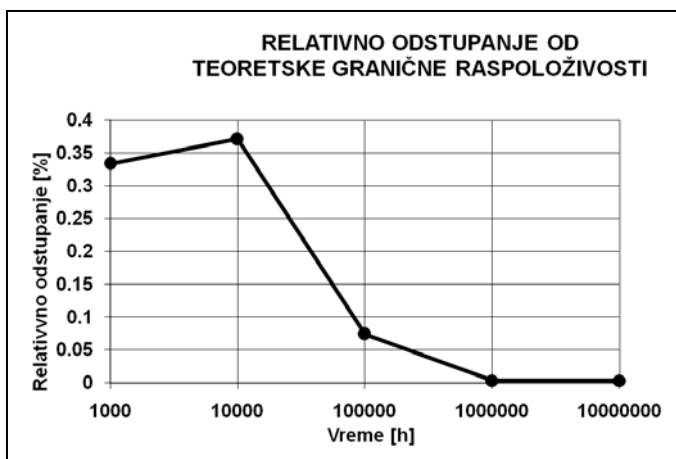
Kada istekne simulirano vreme T, simulacija se završava, a 2-terminalna raspoloživost mreže izračunava se na osnovu izraza (1).

Validacija algoritma izvršena je poređenjem rezultata realizovanog simulatora sa onima koje daju teoretski rešeni slučajevi, kao što se to predlaže u [2]. Jedan od takvih primera jeste serijska veza 2 opravljiva elementa, sa istim MTBF = $1/\lambda = 3000$ h i istim MTTR = $1/\mu = 5$ h.

Teoretska granična vrednost raspoloživosti takvog sistema u [7] definisana je izrazom:

$$A(t) = \frac{\mu^2}{\mu^2 + 2\lambda\mu + 2\lambda^2} = 0.9966766 \quad (3)$$

Relativno odstupanje u procentima izlaza realizovanog simulatora 2TA od te teoretske granične vrednosti prikazano je na sl. 3. U prvih 1000 h simuliranog vremena, to odstupanje je konstantno (0,35%), zato što se u tom intervalu, zbog MTBF od 3000 h nije dogodio nijedan simulirani otkaz. Posle tog trenutka u simuliranom vremenu, relativno odstupanje izlaza simulatora 2TA je bilo manje od 0,4% u najgorem slučaju, a konvergencija ka teoretskoj graničnoj vrednosti raspoloživosti je evidentna.



Slika 3. Validacija: odstupanje izlaza simulatora od teoretske vrednosti

III. SIMULACIJA UTICAJA OSTATKA MREŽE I REDUNDANTNOSTI TERMINALNIH ČVOROVA NA 2TA

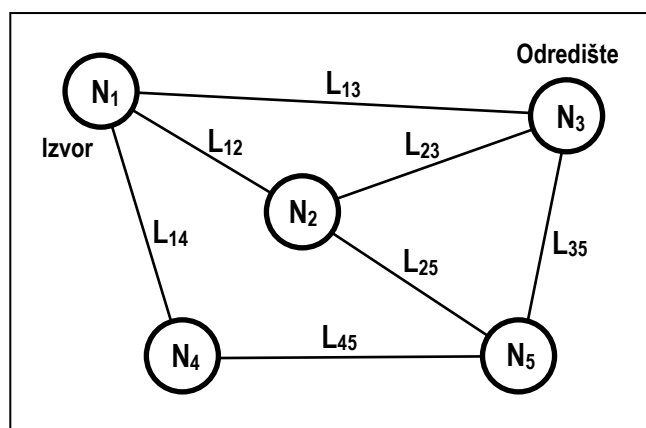
A. Primer komunikacione mreže

Na sl. 4 prikazan je primer komunikacione mreže koja se razmatra u ovom radu. Ona se sastoji od 5 čvorova i 7 linkova, a simulacija je izvršena u cilju ispitivanja uticaja ostatka mreže i uvođenja redundantnosti terminalnih čvorova na 2-terminalnu raspoloživost mreže između čvorova N_1 i N_3 .

Ekspерimenti su izvršeni sa 2 konfiguracije takve mreže (1. i 2. mreža), od mrežnih elemenata čije su karakteristike date u tabeli I.

TABELA I. PRIMER: KARAKTERISTIKE MREŽNIH ELEMENATA

Mrežni element	Vrsta	Karakteristike				
		Vreme otkaza (MTBF)			Vreme popravke (MTTR)	
		1. mreža (h)	2. mreža (h)	Ras-podela	1. i 2. mreža [h]	Ras-podela
N_1	čvor	300	30	Eksp.	5	Eksp.
N_2	čvor	300	30	Eksp.	5	Eksp.
N_3	čvor	300	30	Eksp.	5	Eksp.
N_4	čvor	300	30	Eksp.	5	Eksp.
N_5	čvor	300	30	Eksp.	5	Eksp.
L_{12}	link	400	40	Eksp.	3	Eksp.
L_{13}	link	400	40	Eksp.	3	Eksp.
L_{14}	link	400	40	Eksp.	3	Eksp.
L_{23}	link	400	40	Eksp.	3	Eksp.
L_{25}	link	400	40	Eksp.	3	Eksp.
L_{45}	link	400	40	Eksp.	3	Eksp.
L_{35}	link	400	40	Eksp.	3	Eksp.



Slika 4. Primer komunikacione mreže: 5 čvorova i 7 linkova

Moguće putanje između čvorova N_1 i N_3 , sortirane prema rastućoj složenosti svog sastava, date su u tabeli II.

Uticaj otkaza pojedinih mrežnih elemenata na matricu raspoloživih putanja dat je u tabeli III.

TABELA II. SORTIRANE PUTANJE IZMEĐU ČVOROVA N_1 I N_3

Putanja	Karakteristike			
	Sastav	N	L	S
P_1	$N_1-L_{13}-N_3$	2	1	3
P_2	$N_1-L_{12}-N_2-L_{23}-N_3$	3	2	5
P_3	$N_1-L_{12}-N_2-L_{25}-N_5-L_{53}-N_3$	4	3	7
P_4	$N_1-L_{14}-N_4-L_{45}-N_5-L_{53}-N_3$	4	3	7
P_5	$N_1-L_{14}-N_4-L_{45}-N_5-L_{52}-N_2-L_{23}-N_3$	5	4	9

TABELA III. UTICAJ OTKAZA MREŽNIH ELEMENATA NA PUTANJE

Mrežni element ^a	Putanja				
	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5
N_1	0	0	0	0	0
N_2	X	0	0	X	0
N_3	0	0	0	0	0
N_4	X	X	X	0	0
N_5	X	X	0	0	0
L_{12}	X	0	0	X	X
L_{13}	0	X	X	X	X
L_{14}	X	X	X	0	0
L_{23}	X	0	X	X	0
L_{25}	X	X	0	X	0
L_{45}	X	X	X	0	0
L_{35}	X	X	0	0	X

a. 0 znači da je mrežni element otkazao, što ukida sve putanje koje ga sadrže; X znači da mrežni element ne utiče na raspoloživost putanje

U slučaju otkaza nekog mrežnog elementa, čvora ili linka, pojavljuje se vrednost 0 u koloni svake putanje koja sadrži taj čvor ili link. Sve takve putanje će biti neraspoložive, dok se neispravan mrežni element ne popravi.

Kada se mrežni element popravi, svaka putanja kojoj on pripada, vratiće se u stanje raspoloživosti za mrežni saobraćaj, pod uslovom da u njoj ne postoji još neki element, ili elementi, u stanju neraspoloživosti. U tom poslednjem slučaju, putanja se vraća u stanje raspoloživosti tek kada se popravi i poslednji neispravan element koji joj pripada.

B. Analiza rezultata eksperimenata

Radi sagledavanja mogućnosti simulatora za ispitivanje uticaja ostatka mreže i uvođenja redundantnosti terminalnih čvorova na 2TA, izvršena su 2 eksperimenta (EKS-1 i EKS-2), čiji su osnovni rezultati dati u tabeli IV i na sl. 5 i sl. 6.

U svakom od eksperimenata, simulirano je ukupno vreme od $T = 10000000$ sati rada mreže, a osnovna vremenska jedinica simulatora, u kojoj se ne menja zatečeno stanje mreže, bila je $t_0 = 1$ minut.

U tabeli IV, u okviru eksperimenta EKS-1, vidi se da je za $T=10000000$ simuliranih sati rada 1. mreže postignuta vrednost njene 2-terminalne raspoloživosti između čvorova N1 i N3 od $2TA = 84,7333\%$. Simulirana mreža je najčešće koristila najjednostavniju putanju P_1 , koja povezuje terminalne čvorove N_1 i N_3 direktnim linkom L_{13} . Iskorišćenje ove putanje bilo je $I_{P_1} = 96,0196\%$. Iskorišćenja alternativnih putanja su bila znatno manja, a putanja P_5 je upotrebljena u zanemarljivom broju slučajeva.

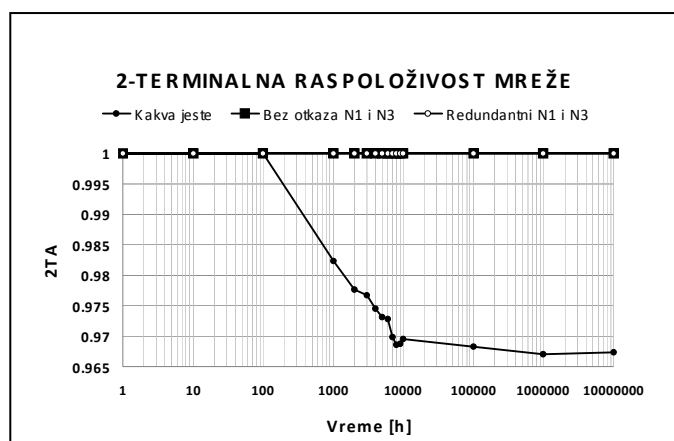
Kriva dinamičkog razvoja 2TA 1. mreže prikazana je na sl. 5. Vidi se da je u prvih 100 sati simuliranog vremena, $2TA=100\%$, a zatim opada, da bi konvergirala ka vrednosti postignutoj na kraju ukupnog simuliranog vremena T.

Da bi se ispitao uticaj ostatka mreže, u EKS-1 je simuliran slučaj kada se koriste terminalni čvorovi koji ne otkazuju, što je postignuto isključivanjem generatora otkaza čvorova N1 i N3.

Postignuta je $2TA = 99,9988\%$, uz iskorišćenja putanja slična kao u prethodnom slučaju. Kriva dinamičkog razvoja 2TA (sl.5) sada je praktično konstantna u celom vremenskom intervalu T.

TABELA IV. SIMULACIJA 10000000 SATI RADA MREŽE

Oznaka	Rezultati eksperimenata					
	EKS-1			EKS-2		
	1.mreža kakva jeste	Bez otkaza N1 i N3	Redundantni N1 i N3	2.mreža kakva jeste	Bez otkaza N1 i N3	Redundantni N1 i N3
2TA [%]	84,7333	99,9988	99,9987	71,0333	99,2580	99,2558
I_{P_1} [%]	96,0196	99,2518	99,2617	66,4006	92,7594	92,8011
I_{P_2} [%]	0,6927	0,7251	0,7152	3,7569	5,2742	5,2420
I_{P_3} [%]	0,0056	0,0052	0,0057	0,2179	0,3040	0,3019
I_{P_4} [%]	0,0156	0,0166	0,0156	0,6379	0,9035	0,8941
I_{P_5} [%]	0	0	0	0,0120	0,0170	0,0167



Slika 5. Eksperiment EKS-1: dinamički razvoj 2TA u 1. mreži

Može se zaključiti da se, uz idealne terminalne čvorove, uticaj ostatka mreže u posmatranom slučaju svodi na link koji ih direktno spaja. Imajući u vidu karakteristike linkova i ostalih čvorova u mreži, proizilazi da bi upotreba čvorova sa idealnim karakteristikama presudno uticala na raspoloživost sistema koji ih povezuje.

S obzirom da nije opravdano tražiti rešenje u idealnim karakteristikama čvorova, u okviru EKS-1 simulirano je uvođenje redundantnih terminalnih čvorova N1 i N3, što je postignuto uključivanjem generatora otkaza za redundantne grupe tih čvorova (sl. 2) i postavljanjem početnih vrednosti njihovih stepena redundantnosti na $NR_1 = NR_3 = 2$.

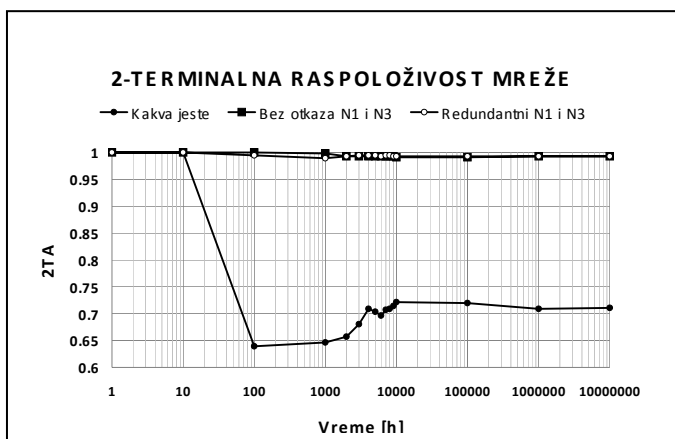
Rezultati simulacije pokazuju da je u tom slučaju postignuta $2TA = 99,9987\%$, uz iskorišćenja putanja slična kao i u slučaju upotrebe N1 i N3 koji ne otkazuju. Krive dinamičkog razvoja 2TA (sl.5) se praktično poklapaju u celom vremenskom intervalu T, pa se može zaključiti da bi u 1. mreži bilo opravdano upotrebiti redundantne čvorove N1 i N3.

Eksperiment EKS-2 izvršen je sa ciljem da se ispita kako bi se u istim uslovima ponašala 2. mreža, sa istom topologijom, ali sastavljena od manje kvalitetnih elemenata sa 10 puta kraćim srednjim vremenima između otkaza.

U tabeli IV se vidi da je za $T = 10000000$ simuliranih sati rada 2. mreže postignuta vrednost $2TA = 71,0333\%$. I u ovom slučaju se najčešće koristila putanju P_1 , ($I_{P_1} = 66,4006\%$), ali sada znatno manje nego u odgovarajućem slučaju u eksperimentu EKS-1. Pored toga, porasla su iskorišćenja alternativnih putanja, uključujući i iskorišćenje putanje P_5 .

Kriva dinamičkog razvoja 2TA 2. mreže prikazana je na sl. 6. Vidi se da je u prvih 10 sati simuliranog vremena, $2TA=100\%$, a zatim opada do $63,9439\%$, da bi kasnije konvergirala ka vrednosti postignutoj na kraju ukupnog simuliranog vremena T.

Isključivanjem generatora otkaza N1 i N3, na kraju T postignuta je $2TA = 99,2580\%$. Najčešće je korišćena putanja P_1 ($I_{P_1} = 92,7594\%$), a iskorišćenja ostalih putanja su takođe povećana u odnosu na prethodni slučaj. U prvih 100 sati simuliranog vremena, $2TA = 100\%$, a zatim neznatno opada i konvergira ka vrednosti postignutoj na kraju T.



Slika 6. Eksperiment EKS-2: dinamički razvoj 2TA u 2. mreži

Kada su u simulaciju uvedu redundantni terminalni čvorovi, postiže se $2TA = 99,2558\%$, uz iskorišćenja putanja slična kao u slučaju upotrebe N1 i N3 koji ne otkazuju. Krive dinamičkog razvoja 2TA (sl.6) se praktično poklapaju u celom vremenskom intervalu T, pa se može zaključiti da bi i u 2. mreži bilo opravdano upotrebiti redundantne čvorove N1 i N3

IV. ZAKLJUČAK

Realizovan je simulator diskretnih događaja za određivanje 2-terminalne raspoloživosti komunikacione mreže.

Izvršena su dva eksperimenta u cilju prikaza mogućnosti simulatora za ispitivanje uticaja ostatka mreže i uvođenja redundantnosti čvotova izvora i odredišta na njenu 2-terminalnu raspoloživost.

Razmatrane su 2 konfiguracije mreže čiji se kvalitet elemenata, izražen preko njihovih srednjih vremena između otkaza, razlikuje za red veličine. Politika održavanja mreže je da se odmah po otkazu nekog od elemenata mreže pristupa njegovoj popravci.

Rezultati eksperimenata pokazuju da u oba razmatrana slučaja, na 2-terminalnu raspoloživost više utiče kvalitet terminalnih čvorova od ostatka mreže.

Sa opadanjem kvaliteta mrežnih elemenata, povećava se uticaj ostatka mreže.

U oba slučaja, uvođenjem redundantnih terminalnih čvorova, postiže se gotovo ista 2-terminalna raspoloživost kao i kada bi se upotrebili idealni terminalni čvorovi koji ne otkazuju, pa se uvođenje redundantnosti na nivou izvora i odredišta može smatrati preporučljivim rešenjem za postizanje prihvatljive 2-terminalne raspoloživosti mreže.

Rezultati eksperimenata su potvrdili upotrebljivost simulatora kao softverskog alata za određivanje 2-terminalne raspoloživosti komunikacionih mreža.

LITERATURA

- [1] M. Čabarkapa, Đ. Mijatović and N. Krajnović, "Network Topology Availability Analysis", Telfor Journal, Vol. 3, No. 1, pp. 23-27, 2011.
- [2] M.L. Shooman, "Reliability of Computer Systems and Networks", John Wiley & Sons, Inc., 2002.
- [3] H. K. Ping, "Network Reliability Estimation", PhD thesis, University of Adelaide, 2005.
- [4] M. Luby, "Monte-Carlo Methods for Estimating System Reliability", University of California Berkeley, 1984.
- [5] Y. Jiang et al. "Monte-Carlo Methods for Estimating System Reliability", proceedings of ICQRMS 2012 - International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering, 2012.
- [6] S. Pokorni and R. Janković, "Reliability Estimation of a Complex Communication Network by Simulation", 19th Telecommunications Forum TELFOR 2011, Belgrade, 2011.
- [7] R. Janković, S. Pokorni, L. Lazić, "Pristup proceni raspoloživosti složenih komunikacionih mreža pomoću simulacije", XII Međunarodni naučno-stručni simpozijum INFOTEH-JAHORINA 2013, Jahorina, 2013.
- [8] R. Janković, S. Pokorni, N. Nikolić, "Simulation Approach to Communication Networks Two-terminal Reliability and Availability Estimation", 6th International Scientific Conference on Defensive Technologies, Belgrade, 2014.
- [9] N. Vujanović "Teorija pouzdanosti tehničkih sistema", VINC, Beograd, 1990.
- [10] Minuteman Software, "GPSS World Reference Manual", raspoloživo na www.minutemansoftware.com
- [11] R. Janković "Armed Mobile platform Group Searming and Networking Simulation", chapter in "Embedded Systems and Wireless Technology: Theory and Practical Applications", editors R.A.Santos and A.E.Block, CRC Press, 2012.
- [12] S.T.Akhavan Niaki and Z. Besharati-Rad, "Sesigning a Communication Network Using Simulation", Scientia Iranica, Vol.11, No.3, 2004.

ABSTRACT

An approach to estimation of the impacts of the rest of network and the redundancy of terminal nodes to 2-terminal availability of communication network consisting of repairable nodes and links by means of the discrete events simulation has been presented in the paper. The simulation model elements, the algorithm of the program-simulator for 2-terminal network availability estimation, and the algorithm of the redundant terminal nodes failure generator have been described. A brief analysis of the results of the two executed experiments by means of the realised simulator has also been presented.

SIMULATION OF THE IMPACTS OF THE REST OF NETWORK AND THE REDUNDANCY OF TERMINAL NODES TO 2-TERMINAL AVAILABILITY

Dr Radomir Janković
Dr Slavko Pokorni