

Uticaj promene ulaznih parametara na rezultat proračuna pouzdanosti metodom simulacije

Dušan Ostojić, Slavko Pokorni, Dragoljub Brkić

Sadržaj- U radu je primenjena aproksimativna simulaciona metoda Monte Karlo za određivanje pouzdanosti komunikacione mreže. Na ilustrativnim primerima data je analiza osetljivosti rezultata proračuna pouzdanosti na promenu ulaznih parametara. Poređenje rezultata dobijenih simulacionom i analitičkim metodom pokazali su adekvatnost primene simulacione metode za proračun pouzdanosti složene komunikacione mreže.

Gljučne reči- Komunikaciona mreža, metoda Monte Karlo, pouzdanost, simulacija, ulazni parametri.

I. UVOD

Pouzdanost složene komunikacione mreže teško je odrediti analitičkim putem jer zahteva postavljanje i rešavanje sistema od velikog broja jednačina.

U radu [1] je razvijena i primenjena aproksimativna simulaciona metoda Monte Karlo za određivanje pouzdanosti mreže uz primenu eksponencijalne raspodele, što podrazumeva konstantan intenzitet otkaza i može se primeniti kada se radi o uređajima koji se sastoje od velikog broja različitih elektronskih elemenata.

Međutim, u realnim mrežama, u njihovim linijama veza, moguće je i prisustvo elektromehaničkih komponenti kod kojih funkcija intenziteta otkaza raste sa vremenom. Radi toga, u radu [2] primenjena je Weibull-ova raspodela pri određivanju pouzdanosti mreže simulacionom metodom Monte Karlo.

Polazeći od rezultata u radovima [1, 2], razvijen je odgovarajući matematički simulacioni model kao i softver koji ga podržava, tako da omogućava određivanje pouzdanosti mreže uz pretpostavku primene Weibull-ove kao i eksponencijalne raspodele.

S obzirom da su se u radovima [1, 2] javljala odstupanja u rezultatima dobijenim analitičkom metodom (Markovljevi modeli) i aproksimativnom simulacionom metodom Monte Karlo, javila se potreba da se dalje ispituju uzroci ovih odstupanja, i dogradi simulaciona metoda. U tu svrhu ispitivan je i uticaj ulaznih parametara.

U ovom radu je, na konkretnim primerima analizirana osetljivost rezultata proračuna pouzdanosti konkretne komunikacione mreže (mreža u obliku mosta, sa četiri čvora i pet linkova – veza između čvorova) na promenu ulaznih parametara primenom Weibull-ove i eksponencijalne raspodele.

Spoljne smetnje (ometanje) prenošenju informacija kao ni mogući otkazi softvera nisu uzeti u razmatranje ni u ovom radu.

Dušan Ostojić, Dragoljub Brkić, Tehnički opitni centar, Beograd (telefon: 011/3951-420)

Slavko Pokorni, Visoka škola strukovnih studija za informacione tehnologije, 11080 Zemun, Cara Dušana 34, (telefon: 381-11-3168929; e-mail: slavko.pokorni@its.edu.rs).

II. OPIS MODELA KOMUNIKACIONE MREŽE

Predmet razmatranja je komunikaciona mreža sa četiri čvora i pet linija veza povezanih u mostnu vezu prema slici 1. Ako se usvoji da čvorovi ne otkazuju, tj. da imaju beskonačno dugo vreme rada do/između otkaza, onda ova mreža odgovara mostnoj vezi elemenata, slika 2., za koju postoji i analitički izraz za pouzdanost [3], [4]:

$$R(t) = R_1 R_2 + R_3 R_4 + R_1 R_4 R_5 + R_2 R_3 R_5 - (R_1 R_2 R_3 R_4 + R_1 R_2 R_3 R_5 + R_1 R_2 R_4 R_5 + R_1 R_3 R_4 R_5 + R_2 R_3 R_4 R_5) + 2R_1 R_2 R_3 R_4 R_5,$$

gde je

$$R_i = R_{ij} = e^{-\frac{t}{m_{ij}}}$$

ako se radi o eksponencijalnoj raspodeli, a

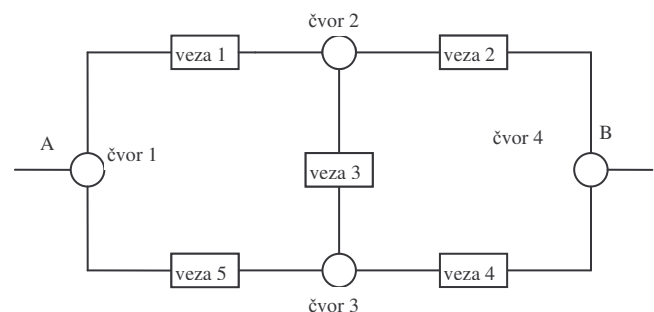
$$R_i = R_{ij} = e^{-\left(\frac{t}{b_{ij}}\right)^{c_{ij}}}$$

gde je

$$b_{ij} = \frac{m_{ij}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{c_{ij}}\right)}.$$

ako se radi o Weibullovoj raspodeli.

Funkcija pouzdanosti za dvoparametarsku Weibullovu raspodelu (radi lakšeg proračuna usvojeno je da je parametar položaja $a = 0$) definisana je sa b - parametar razmere, c - parametar oblika, Γ - gama funkcija i m = MTBF srednje vreme do/između otkaza.



Sl. 1. Komunikaciona mreža sa elementima u mostnoj vezi

Pretpostavka da čvorovi ne otkazuju, usvojena je da bi razmatrani primer mreže odgovarao primeru za koji već postoji analitičko rešenje za pouzdanost, pa se rezultati

dobijeni simulacijom mogu uporediti sa rezultatima dobijenim analitičkim proračunom.

Srednja vremena rada do/između otkaza čvorova su $m_1 = m_2 = m_3 = m_4 = 10\ 000\ 000$ h (praktično beskonačno duga), a parametri oblika su $c_1 = c_2 = c_3 = c_4 = 1$.

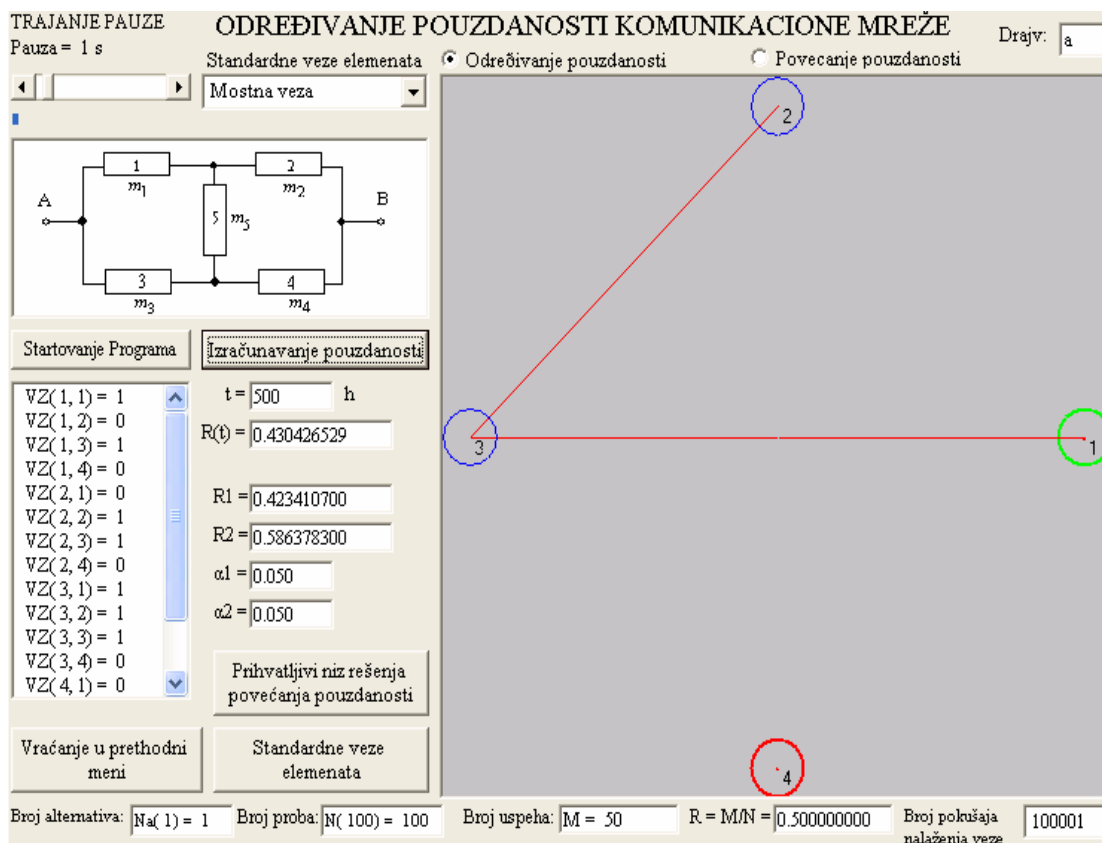
Za linije veza srednja vremena rada do/između otkaza su $m_{12} = m_{13} = m_{24} = m_{34} = 600$ h i $m_{23} = 1600$ h, a parametri oblika su $c_{12} = c_{13} = c_{24} = c_{34} = c_{23} = 1$.

Zahtevano bezotkazno vreme rada mreže je $T_0 = 500$ h, a broj iteracija prilikom simulacije $N = 100$.

Pored tačkaste ocene za pouzdanost \hat{R} , određuje se i intervalna ocena, tj. granice poverenja R_1 i R_2 , a u tu svrhu je usvojeno da su rizici jednaki i iznose: $\alpha_1 = \alpha_2 = 0,05$.

Posle izvršenih $N = 100$ iteracija dobijaju se rezultati prikazani na slici 2.

Primenom simulacione metode Monte Karlo dobijena vrednost za pouzdanost ove veze je $R = M/N = 0,50$, a analitičkim rešenjem je $R(t) = 0,4304$.



Sl. 2. Prikaz komunikacione mreže (mostna veza elemenata), i uporedni pregled rezultata proračuna pouzdanosti analitičkim putem i simulacionom metodom Monte Karlo

III. ANALIZA OSETLJIVOSTI REZULTATA PRORAČUNA POUZDANOSTI MREŽE NA PROMENU ULAZNIH PARAMETARA

A. Primer 1. - promena broja iteracija

Za linije veza srednja vremena rada do/između otkaza su:

$$m_{12} = m_{13} = m_{24} = m_{34} = 600 \text{ h i } m_{23} = 1600 \text{ h,}$$

a vrednosti parametara oblika su:

$$c_{12} = c_{13} = c_{24} = c_{34} = c_{23} = 1.$$

Zahtevano bezotkazno vreme rada mreže je

$$T_0 = 500 \text{ h,}$$

Broj iteracija se menja počev od $N = 100$, a zadate granice poverenja su $\alpha_1 = \alpha_2 = 0,05$.

Iz tabele 1., uočava se, za pet proba sa po $N = 500$ iteracija, prilično rasipanje rezultata proračuna pouzdanosti dobijenih metodom simulacije (od 39.80 % do 45.20 %). Ova razlika posledica je činjenice da se u procesu simulacije koristi pseudoslučajni niz dobijen po

ravnomernoj raspodeli koji nije ponovljiv i zato se dobijaju različiti rezultati.

Izračunata srednja vrednost za tih pet proba iznosi 43,09 % što je vrlo blisko analitičkom rešenju od 43,04 %, što upućuje na zaključak da se može koristiti srednja vrednost rezultata dobijenih iz nekoliko simulacija.

Međutim, u tri probe po hiljadu iteracija ($N = 1000$) uopšte nema rasipanja rezultata, dobijenih po simulacionoj metodi, a razlika između simulacionog i analitičkog rešenja je ispod 1 % što ukazuje na zadovoljavajuću tačnost primenjene metode Monte Karlo.

Što je veći broj iteracija to je veća podudarnost rezultata proračuna pouzdanosti dobijenih metodom simulacije sa analitičkim rešenjem.

Vreme trajanja rada softverskog paketa za izvršenje 100 iteracija ($N = 100$) je oko 5 minuta a za 1000 iteracija oko 46 minuta, što ukazuje na zaključak o relativno linearnom odnosu između vremena trajanja izvršenja iteracija i broja iteracija. Radi vizuelnog praćenja procesa uspostavljanja/gubljenja veza podešeno je da trajanje

pauze između dve iteracije bude 1 sekunda (maksimalno trajanje pauze je 20 sekundi).

TABELA 1: REZULTATI PRORAČUNA POUZDANOSTI SIMULACIJOM PRI PROMENI BROJA ITERACIJA

Red. broj	N	$R(M/N)$	$R_{\text{analitičko}}$	Vreme trajanja N iteracija
1	100	50.00 %	43.04 %	5 min.
1	500	43.40 %	43.04 %	23 min.
2	500	39.80 %	43.04 %	
3	500	43.20 %	43.04 %	
4	500	45.20 %	43.04 %	
5	500	44.20 %	43.04 %	
1	1000	44.30 %	43.04 %	46 min.
2	1000	44.30 %	43.04 %	
3	1000	44.30 %	43.04 %	
1	1400	43.85%	43.04 %	
1	1500	42.80%	43.04 %	
1	3000	43.57%	43.04 %	2 h i 18 min.

B. Primer 2. - promena parametra $m = MTBF$

U ovom primeru za linije veza srednja vremena do/između otkaza se povećavaju počev od $m_{12} = m_{13} = m_{24} = m_{34} = 300$ h i $m_{23} = 1300$ h, a parametri oblika su $c_{12} = c_{13} = c_{24} = c_{34} = 1,5$ i $c_{23} = 2,5$ (Weibullova raspodela).

Zahtevano bezotkazno vreme rada mreže je $T_0 = 500$ h, broj iteracija $N = 100$, a granice poverenja $\alpha_1 = \alpha_2 = 0,05$.

Vrednosti za m linija veza povećavaju se za 100 sati po iteraciji (tabela 2.). U ovom primeru primenjena je Weibullova raspodela za proračun pouzdanosti primenom aproksimativne simulacione metode Monte Karlo, definisana vrednošću parametra oblika c .

Iz tabele 2. se vidi da za 100 iteracija ($N=100$), uz neprestano povećavanje m , rezultati proračuna pouzdanosti metodom simulacije prate analitička rešenja.

TABELA 2. REZULTATI PRORAČUNA POUZDANOSTI SIMULACIJOM PRI PROMENI MTBF

Red. broj	N	m_{12}	m_{23}	$R(M/N)$	$R_{\text{analitičko}}$
1	100	300	1300	13.00 %	8.23 %
2	100	400	1400	30.00 %	25.75 %
3	100	500	1500	49.00 %	44.12 %
4	100	600	1600	57.00 %	58.84 %
5	100	700	1700	72.00 %	69.60 %
6	100	800	1800	78.00 %	77.25 %
7	100	900	1900	85.00 %	82.69 %
8	100	1000	2000	86.00 %	86.61 %
9	100	1100	2100	89.00 %	89.47 %
10	100	1200	2200	93.00 %	91.59 %
11	100	1300	2300	94.00 %	93.19 %
12	100	1400	2400	97.00%	94.42%

Ukoliko se želi postići bolja podudarnost rezultata ove dve metode, onda za duže vreme zahtevanog bezotkaznog rada mreže (tj. vreme za koje se proračunava pouzdanost) potrebno je srazmerno i veći broj iteracija kako bi rešenje dobijeno simulacijom bilo blisko analitičkom rešenju.

C. Primer 3. - promena vremena za koje se vrši proračun pouzdanosti

Za linije veza srednja vremena do/između otkaza su:

$$m_{12} = m_{13} = m_{24} = m_{34} = 600 \text{ h i } m_{23} = 1600 \text{ h,}$$

a parametri oblika su (eksponencijalna raspodela):

$$c_{12} = c_{13} = c_{24} = c_{34} = c_{23} = 1.$$

Zahtevano bezotkazno vreme rada mreže se menja a početna vrednost je $T_0 = 100$ h, broj iteracija $N = 100$, a granice poverenja $\alpha_1 = \alpha_2 = 0,05$.

Iz tabele 3. vidi se da promena proračuna pouzdanosti mreže dobijena metodom simulacije prati analitičko rešenje pouzdanosti pri promeni vremena za koje se vrši proračun. Izvesna odstupanja rezultata analitičkih i simulacionih rešenja posledica su relativno malog broja iteracija.

D. Primer 4. - promena vrednosti parametra oblika c

Za linije veza srednja vremena do/između otkaza su:

$$m_{12} = m_{13} = m_{24} = m_{34} = 1000 \text{ h i } m_{23} = 2000 \text{ h,}$$

a vrednost parametra oblika se menja počev od:

$$c_{12} = c_{13} = c_{24} = c_{34} = c_{23} = 0,1.$$

Zahtevano bezotkazno vreme rada mreže je $T_0 = 500$ h, broj iteracija $N = 100$, a granice poverenja $\alpha_1 = \alpha_2 = 0,05$.

TABELA 3: REZULTATI PRORAČUNA POUZDANOSTI SIMULACIJOM PRI PROMENI VREMENA ZA KOJE SE RAČUNA POUZDANOST

Red. br.	N	T	$R(M/N)$	$R_{\text{analitičko}}$
1	100	100	95.00 %	95.14 %
2	100	200	81.00 %	83.61 %
3	100	300	73.00 %	69.48 %
4	100	400	60.00 %	55.49 %
5	100	500	38.00 %	43.04 %
6	100	600	31.00 %	32.67 %
7	100	700	22.00 %	24.39 %
8	100	800	18.00 %	17.98 %
9	100	900	10.00 %	13.13 %
10	100	1000	8.00 %	9.52 %

U primenjenoj Weibullovoj raspodeli za proračun pouzdanosti menja se parametar oblika c za linije veza. Iz tabele 4. vidi se da promenu vrednosti parametra oblika c prate analogne promene vrednosti proračunatih pouzdanosti dobijenih metodom simulacije i analitičkim putem.

Radi procene vremena trajanja simulacije, navodimo i osnovne podatke o računaru na kome je implementiran program za simulaciju, odnosno obavljena simulacija.

U pitanju je laptop računar MSI (Micro- Star International), sa operativnim sistemom Windows XP Professional sa dva procesora frekvencije 1800 MHz.

TABELA 4. REZULTATI PRORAČUNA POUZDANOSTI SIMULACIJOM PRI PROMENI PARAMETARA WEIBULOVE RASPODELE

Red. br.	C_{12}	$R(M/N)$	$R_{analitičko}$
1	0.1	0.00 %	0.043 %
2	0.3	13.00 %	9.71 %
3	0.5	31.00 %	30.57 %
4	0.8	57.00 %	56.92 %
5	1.0	66.00 %	68.91 %
6	1.5	90.00 %	86.02 %
7	2.0	93.00 %	93.54 %
8	2.5	98.00 %	96.95 %
9	3.0	98.00 %	98.54 %
10	3.5	98.00 %	99.29 %

IV. ZAKLJUČAK

Na primeru mostne komunikacione mreže, u četiri numerička primera, analizirani su uticaji promene ulaznih parametara pri određivanju pouzdanosti simulacionom metodom Monte Karlo.

Obzirom da za ovaj relativno jednostavan primer komunikacione mreže postoji analitičko rešenje za pouzdanost, to je bilo moguće uporediti rezultate dobijene simulacionom metodom sa rezultatima dobijenim analitičkom metodom. Rezultati dobijeni analitičkom metodom su smatrani za tačne rezultate.

Za sve moguće promene ulaznih parametara utvrđene su promene rezultata proračuna pouzdanosti dobijene metodom simulacije kao i analitičkim putem.

Rezultati dobijeni poređenjem pokazuju da je korektno primeniti simulacionu metodu Monte Karlo za određivanje pouzdanosti mreže.

Rezultati dosadašnjih istraživanja preporuka su za primenu metode Monte Karlo pri određivanju pouzdanosti realnih komunikacionih mreža.

LITERATURA

- [1] D. Ostojić, D. Brkić, S. Pokorni, „Obezbeđenje zahtevanog nivoa raspoloživosti telekomunikacione mreže metodom simulacije“, 15. međunarodni forum, TELFOR 2007., Beograd, 2007. god
- [2] D. Ostojić, D. Brkić, S. Pokorni, „Primena Weibullove raspodele u određivanju pouzdanosti komunikacione mreže metodom simulacije“, Zbornik radova 11. međunarodne konferencije Upravljanje kvalitetom i pouzdanošću DQM-2008, Beograd, 2008. god.
- [3] S. Pokorni, R. Ramović, N. Parčina, *Pouzdanost tehničkih sistema, zbirka rešenih zadataka*, Vojna akademija Beograd, 1977.
- [4] D. Brkić, R. Nikolić, *Terminološki rečnik pouzdanosti, monografija*, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 2007.

ABSTRACT

The approximate Monte Carlo simulation method for reliability determination of a communication network is described in this paper. The influence of input data to the results of reliability determination by simulation method on some examples is analyzed. Comparison of the results gained by simulation method and with results gained by analytical method is approved the adequacy of application of the simulation method for reliability determination of a complex telecommunication systems.

THE INFLUENCE OF INPUT DATA TO RESULTS OF RELIABILITY DETERMINATION BY SIMULATION METHOD

Dušan Ostojić, Slavko Pokorni, Dragoljub Brkić