

Analiza raspoloživosti mrežne topologije i česte zablude

Milan Čabarkapa, *dipl. ing.*, *ETF Beograd*, Đorđe Mijatović, *ETF Beograd*,

Mr Nenad Krajnović, *dipl.ing.*, *ETF Beograd*

Sadržaj — U ovom radu će biti analizirana raspoloživost mrežne topologije iz više aspekata i na nekim primerima, biće ukazano na propuste koji su napravljeni prilikom izračunavanja raspoloživosti tokom projektovanja jezgra mreže. Takođe, na osnovu našeg pristupa za računanje raspoloživosti i softvera koji smo napravili, daćemo svoja rešenja i rezultate.

Ključne reči – raspoloživost, mreža, topologija

I. UVOD

Teorija raspoloživosti je jako interesantno istraživačko polje i ima primenu u puno oblasti, na različitim nivoima. U ovom radu teorija raspoloživosti će biti primenjena na jezgro mreže čije je dobro funkcionisanje glavni preduslov za dobar rad mreže. Danas, više nego ikada, postoji potreba za visokom raspoloživosti u raznim vrstama telekomunikacionih mreža, na nivou komunikacionih uređaja, ali i na nivou mreže u celini. Raspoloživost je očekivano srednje vreme u kome uređaj ili mreža u celini radi. Svakodnevno možemo čuti da mrežni provajderi, operatori i proizvođači imaju za cilj da njihove mreže i uređaji imaju raspoloživost 99,999% (“5 nine” *availability*). Ovo znači 5 minuta otkaza u toku godine. Oni očekuju da dobiju odgovor kako da dizajniraju svoju mrežu (uređaj) tako da ima visoku raspoloživost sa što je moguće manje ulaganja. Takođe, provajderi su svesni toga da im u budućnosti moderni korisnici neće oprostiti bilo kakav gubitak servisa i zbog toga oni žele da njihove mreže daju kontinualni servis.

Pojam raspoloživost se koristi za popravljive sisteme i definiše se kao verovatnoća da u trenutku t sistem radi. Podsećanja radi, pouzdanost je definiše kao verovatnoća da između 0 i t nema kvara sistema. Oznaka koja se koristi za raspoloživost je $A(t)$ i ona predstavlja uniju događaja:

$$A(t) = P(\text{nema otkaza između } 0 \text{ i } t + 1 \text{ otkaz i } 1 \text{ popravka u interval od } 0 \text{ do } t + 2 \text{ otkaza i } 2 \text{ popravke u interval od } 0 \text{ do } t + \dots) \quad (1)$$

Zbog toga što su događaji u prethodnoj jednačini međusobno isključivi, jednačina (1) postaje suma verovatnoća:

Milan Čabarkapa, *dipl. ing.*, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Srbija (telefon: 064 35-95-686 ; e-mail: cabmilan@yahoo.com).

Đorđe Mijatović, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Srbija (telefon: 064 35-99-446; e-mail: djjoem@gmail.com).

Mr Nenad Krajnović, *dipl. ing.*, asistent na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu, Srbija (telefon: 011 3221-419; e-mail: krajko@etf.bg.ac.rs).

$$A(t) = P(\text{nema otkaza između } 0 \text{ i } t) + P(1 \text{ otkaz i } 1 \text{ popravka u interval od } 0 \text{ do } t) + P(2 \text{ otkaza i } 2 \text{ popravke u interval od } 0 \text{ do } t) + \dots \quad (2)$$

što je detaljno opisano u [1].

Da raščistimo:

- Prvi izraz u jednačini (2) je pouzdanost, $R(t)$
- $A(t) = R(t) = 1$ u trenutku $t = 0$
- Za $t > 0$, $A(t) > R(t)$
- $R(t) = 0$ kada $t \rightarrow \infty$
- Kao što je pokazano u [1], $A(t) = Ass$ kada $t \rightarrow \infty$, dakle dokle god je moguća popravka $Ass > 0$, gde je Ass asimptotska vrednost za raspoloživost
- Raspoloživost mrežnog čvora je:

$$Ass = \frac{\mu}{\mu + \lambda} \quad (3), \text{ gde je } \mu \text{ intenzitet opravki}$$

po času, a λ intenzitet otkaza po času

- Raspoloživost optičkog linka je:

$$Ass = \frac{\mu}{\mu + \lambda * L / 100} \quad (4), \text{ gde je } \mu \text{ intenzitet}$$

opravki po času, λ intenzitet otkaza po času na 100 km, a L je dužina optičkog linka i ove formule ćemo koristiti za naše proračune, a iste su korišćene u radu [2].

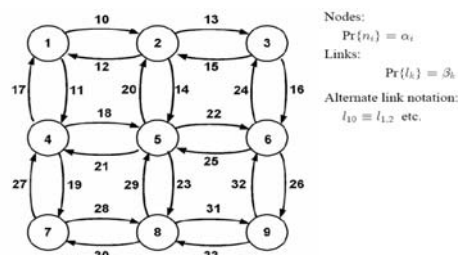
II. METRIKE ZA OCENU RASPOLOŽIVOSTI MREŽNE TOPOLOGIJE

Raspoloživost mreže bi trebalo da nam kaže u kom je stepenu mreža sposobna da nam pruži odgovarajući nivo kontinualnog rada. Metrike koje se na istraživačkom polju, ali i praksi koriste da bi se opisala raspoloživost su: *two-terminal availability* (2TA), *k-terminal availability* (kTA), *all-terminal availability* (ATA), i *all-operating node availability* (AoTA). Svaka od ovih metrika se definiše na sledeći način:

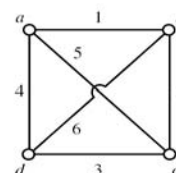
- *Two-terminal availability* (2TA) – Verovatnoća da postoji putanja koja konektuje definisani startni i ciljani čvor. Drugim rečima, jedinstvena komponenta grafa G koji opisuje mrežu sadrži i startni i ciljani čvor
 $Ast = P$ (da su čvorovi s i t konektovani)
- *k-terminal availability* (kTA) – Verovatnoća da postoji putanja najmanje između definisanih k čvorova. Drugim rečima, u grafu G koji opisuje mrežu postoji komponenta koja povezuje najmanje k definisanih čvorova

$Ak = P$ (da je izabranih k ili više čvorova konektovano)

- *All-terminal availability* (ATA) – Verovatnoća da su svi čvorovi konektovani. Drugim rečima, postoji putanja između svaka dva čvora u grafu G koji opisuje mrežu
- *All operating terminal availability* (AoTA) – Slično kao ATA, ovo je verovatnoća da su svi operativni čvorovi u mreži konektovani. Drugim rečima, u grafu G koji opisuje mrežu, postoji komponenta koja sadrži sve čvorove koji su u operativnom stanju. Ova metrika i njena vrednost mogu varirati i postoji više različitih tumačenja kako izmeriti to što je jedan čvor operativan, ali više nije konektovan, zbog toga što čvor preko koga je bio konektovan sada nije u operativnom stanju. Ova metrika nema smisla ako čvorove posmatramo kao idealne.



Slika 1. Mrežna topologija predstavljena usmerenim grafom, [4]



Slika 2. Mrežna topologija predstavljena neusmerenim grafom, [1]

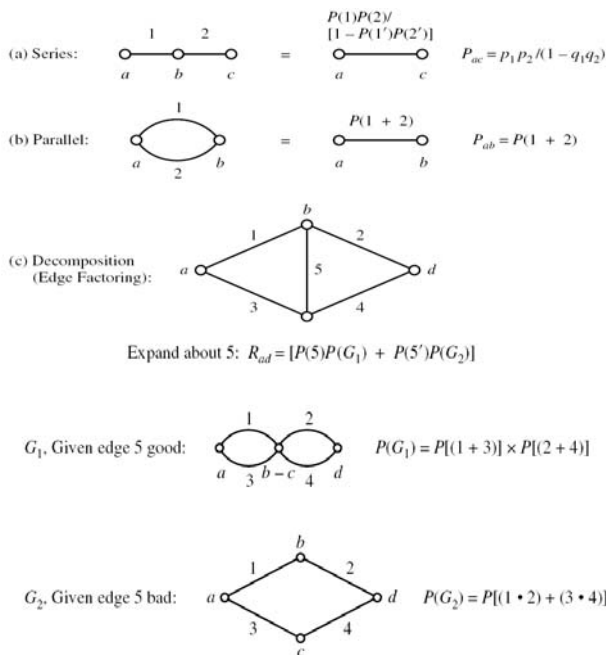
Koju ćemo metriku da izaberemo, tj. koja je metrika najbolja u kom trenutku je pomalo subjektivno pitanje i obično zavisi od situacije koja je u pitanju. *Two-terminal availability* bi trebalo koristiti u situacijama kada je mreža napravljena primarno za dva čvorovišta: izvor saobraćaja i destinaciju koja će da obrađuje dobijene informacije. Ostali čvorovi u mreži imaju samo funkciju da proslede saobraćaj ka odredištu i nazivaju se *relay* čvorovi. Dobar primer mogu biti pojedine bežične senzorske mreže, ali i neke mobilne *wireless ad-hoc* mreže. Dakle, u ovim slučajevima, kontroler za prijem i obradu informacija i merni čvor predstavljaju odredišni i izvorišni čvor prilikom *two-terminal* analize. *K-terminal* je korisna kada postoji $k < n$ čvorova za koje mreža teži da obezbedi međusobnu konektivnost. Na ovaj način se može uvesti i malo manje strog kriterijum po pitanju raspoloživosti. Jedan dobar primer kada treba koristiti *k-terminal* su vojne mobilne bežične mreže, kada u toku vremena neki čvorovi iz nekog razloga ispadaju iz borbe, njih možemo isključiti iz ovih k čvorova koji su od interesa i oni mogu postati obični *relay* čvorovi, [3]. *All-terminal* je najstrožiji kriterijum i koristi se kada su zahtevi za raspoloživošću izuzetno visoki. Ovako oštar kriterijum bi u budućnosti mogao da predstavlja izuzetno veliki problem za projektante, kada mreže budu imale jako veliki broj čvorova, čega ćemo se dotaći u poglavlju u kojem analiziramo rezultate koje smo dobili. *All operating terminal* (za razliku od *all-terminal*) metrika uzima u obzir i nastavak mrežnog rada nakon ispadanja nekog čvora, tačnije uzima u obzir preostalu limitiranu mrežnu funkciju, tj. preostalu operativnost mreže na određenom stepenu.

III. ALGORITMI ZA RAČUNANJE RASPOLOŽIVOSTI

Za modelovanje mrežne topologije nekada se koriste usmereni grafovi (Slika 1), dok je češći slučaj da je raspoloživost linka ista u oba smera, pa se za modelovanje mogu koristiti prostiji neusmereni grafovi (Slika 2), koje smo opravdano koristili prilikom našeg modelovanja i izračunavanja.

Da bismo izračunali raspoloživost mogu se koristiti različiti algoritmi. U engleskoj terminologiji ovo računanje se često naziva *network analyzing*. Neki algoritmi su egzaktni (*State-Space Algoritam*, *Graph-reduction Algoritam*), dok su drugi aproksimativni i najčešće procenjuju gornju i donju granicu (eng. *bounds*). Takvi su (*Equivalent Link Algoritam*, *Cut-Set Algoritam*, *Tie-Set Algoritam*). Detalji se mogu videti u [1] i [4]. Sada ćemo u najkraćim crtama opisati *All-terminal Graph-reduction Algoritam*, najčešće preporučeni egzaktni algoritam za računanje *All-terminal* raspoloživosti. To je rekursivni algoritam, prilično težak za realizaciju i ima eksponencijalno vreme izvršavanja.

Pre nego što krenemo sa transformacijama grafa, za *all-terminal* raspoloživost, kojim smo modelovali mrežu, prvo moramo izabrati dva čvora, s i t (*start* i *target*) i raditi transformacije sve dok mrežu dovedemo na tzv. *st* granu. Naravno, svaki put kada zamenimo redne i paralelne veze radimo rastavljanje mreže po nekoj grani i od jedne mreže dobijamo dve nove. Prva je mreža u slučaju da izabrana grana po kojoj radimo rastavljanje radi, a druga je kada ona ne radi. Algoritam se završava kada svaku granu rekursivno dovedemo na ekvivalentnu *st* granu. Raspoloživost svake moguće mrežne topologije možemo izračunati koristeći tri transformacije prikazane na Slici 3. Kada je u pitanju *All-terminal* slučaj redna transformacija ima u imeniocu dodatni član $[1 - P(1')P(2')]$, koji predstavlja verovatnoću da je čvor koji smo izbacili rednom transformacijom i dalje konektovan na mrežu. Ostale transformacije su iste kao u *two-terminal* slučaju [1], [5] i [6]. Takođe, za *all-terminal* slučaj, kada se process transformisanja završi, moramo rezultatnu verovatnoću pomnožiti sa verovatnoćom da su svi čvorovi koji su izbačeni prilikom transformisanja i dalje konektovani na mrežu, [1] i [6].



Slika 3. Transformacije koje koristi egzaktni *All-terminal Graph-reduction Algoritam*, [1]

IV. SOFTVER

Jedan deo softvera koji smo razvili za potrebe šireg istraživanja ćemo iskoristiti i u ovom radu za testiranje topologija mreže Jug Telekom Srbija, [2]. Softver se sastoji iz više modula koji su realizovani na programskim jezicima Java i C++. Velika prednost ovog softvera je njegova modularnost, kao i sposobnost da testira bilo koju mrežnu topologiju bez bilo kakve promene u programskom kodu, što nije moguće postići korišćenjem Markovljevih lanaca, jer tu je svaka nova mrežna topologija, novi sistem diferencijalnih jednačina. Korišćenje ovog pristupa je veoma važno za buduće istraživanje. Softver napravljen na programskom jeziku C++ će automatski pozivati naš modul twoall.1.3.jar napravljen na Javi i na taj način dobijamo veliku fleksibilnost pri testiranju.

U ovom radu se fokusiramo na korišćenje dela twoall.1.3.jar modula za računanje *all-terminal* raspoloživosti i pomoću njega ćemo testirati topologije mreže Jug Telekom Srbija.

V. REZULTATI TESTIRANIH TOPOLOGIJA

Posebno ćemo se fokusirati na testiranje tri topologije date u radu [2] i ukazaćemo na propuste koji su napravljeni prilikom proračuna. U tom radu je navedena sledeća definicija:

Raspoloživost mreže predstavlja mogućnost konekcije ili prenosa paketa između bilo koja dva interfejsa na ivičnim ruterima mreže.

Takođe, rad se poziva na radove [7] i [8], koji raspoloživost definišu na sledeći način:

Smatra se da je sistem ispravan ako postoji veza svakog TK centra sa svakim i ako su svi TK centri ispravni, [8].

Na osnovu svega navedenog vidi se da je raspoloživost u radu [2] definisana kao mogućnost konektivnosti svaka dva čvorišta, tj. konektivnosti svakog čvorišta sa svakim. Iz rada [2] se takođe može zaključiti na osnovu pominjanja

mehanizama potrebnih za ostvarivanje kvalitet servisa (mehanizama oporavka mreže, garantovanje propusnog opsega i izbegavanje drastičnog porasta kašnjenja nakon preusmeravanja) da je dobijena raspoloživost praktično raspoloživost na nivou servisa.

Jedna od glavnih loše uvedenih pretpostavki u radu [2] je:

Intenziteti opravki linkova su određeni brzinama konvergencije mehanizama oporavka tj. brzinama prelaska saobraćaja na alternativne putanje.

Dokaz:

U našem proračunu ćemo pretpostaviti da je vreme konvergencije 0 (dakle imamo automatsko preusmeravanje saobraćaja), da je propusni opseg uvek dovoljan i da je kašnjenje uvek zadovoljavajuće. Naravno ovo u praksi nikada nije slučaj i ova činjenica ide u prilog da će raspoloživost na nivou servisa biti manja od one koju ćemo mi računati. Na osnovu parametara datih u radu [2], na osnovu jednačina (3) i (4) možemo izračunati raspoloživosti svih elemenata mreže pojedinačno. Račun za raspoloživost mreže je sledeći:

$$A_{all} = \left(\prod_{i=1}^n A_n(i) \right) * A_{all}(\text{Network} / \text{perfectNodes}) \quad (5)$$

Prvi član u formuli (5) je proizvod raspoloživosti svih čvorova, a drugi je raspoloživost mreže sa idealnim čvorovima i realnim linkovima koju računa naš softver twoall.1.3.jar na osnovu modela datih u [1], [5] i [6].

Dokaz formule:

Raspoloživost mreže se računa metodom rastavljanja po nekom čvorištu mreže na dve podmreže na sledeći način:

$$A_{all} = A(R1) * A_{all}(\text{mreže}/R1) + A(\overline{R1}) * A_{all}(\text{mreže}/\overline{R1}) \quad (6)$$

gde je $A(R1)$ raspoloživost čvorišta $R1$, a $A(\overline{R1}) = 1 - A(R1)$ njegova neraspoločivost. Kako je $A_{all}(\text{mreže}/\overline{R1}) = 0$ zbog toga što čvor $R1$ ne radi, to će se ponavljanjem ovog postupka rastavljanja po svim ruterima dobiti formula (5). Kao što možemo uočiti ova formula predstavlja proizvod dva člana:

$$\left(\prod_{i=1}^n A_n(i) \right) * A_{all}(\text{Network} / \text{perfectNodes}) \quad (7)$$

Uočićemo da na raspoloživost predloženih topologija mreže Jug Telekom Srbije iz rada [2] veoma značajan uticaj ima i član (7), a to se vidi iz rezultata koje ćemo priložiti. Ako razvijemo član (7) dobićemo da raspoloživost topologije, član (8), ima ekvivalentni uticaj na *All terminal* raspoloživost mreže kao jedan čvor te iste mreže u posmatranom slučaju.

Sada dajemo naše rezultate testiranih topologija. Uzeli smo iste vrednosti za λ i μ kao u radu [2] za čvorove i linkove.

Softver je izračunao da ako bi čvorovi u mreži bili idealni, topologije iz rada [2] bi imale sledeće raspoloživosti:

Topologija 1

Two terminal : 0.9999980

All terminal : 0.9999951

Topologija 2

Two terminal : 0.9999975

All terminal : 0.9999983

Topologija 3

Two terminal : 0.9999977

All terminal : 0.9999964



Slika 4. Topologija 3 mreže Jug Telekoma Srbije data u radu [2]

Sada je te rezultate potrebno pomnožiti sa članom (7), i na osnovu podataka datih u radu [2] dobijamo da su konačne All terminal raspoloživosti:

A(t)	Topologija1	Topologija2	Topologija3
Neredundantni čvorovi	0,9860789	0,9860821	0,9860802
Redundantni čvorovi	0,9999251	0,9999283	0,9999264

Napominjemo da su ovo maksimalne vrednosti za raspoloživosti pri automatskom preusmeravanju saobraćaju i svim ostalim idealnim vrednostima ostalih parametara za QoS (*Quality of Service*). U realnim mrežama zbog toga što ove vrednosti nisu idealne, to dodatno ide u prilog da će raspoloživost na nivou servisa biti još manja i još više odstupiti od vrednosti dobijenih u radu [2] (iako su već sada dobijene daleko manje vrednosti za raspoloživost), što ide u prilog tome da modeli u radu [2] nisu dobri. Dodatno smo uočili da poprečni link u topologiji 3 (u radu [2]), jako malo poboljšava raspoloživost, tako da je ako se kao kriterijum uzme samo raspoloživost, najbolja topologija prstena, jer daje praktično istu raspoloživost kao i topologija 3, a još se štedi na ukupnoj dužini optičkih linkova. Takođe, u radu [2] je dobro izveden zaključak da u topologijama 1 i 2 (datim u radu [2]) mreže Jug Telekoma Srbije je vođeno neopravdano mnogo linkova, a mi smo sada to i precizno dokazali razvijajući softver twoall.1.3.jar i koristeći ga za testiranje.

VI. ZAKLJUČAK

Analizirajući mrežne topologije iz rada [2] izvedeni su sledeći zaključci koji se mogu koristiti i u drugim složenim mrežnim topologijama:

1. Iz izraza (5) se vidi da nije dovoljno razvijati samo jedan od elemenata mreže (samo topologiju sa linkovima ili samo čvorove) već da je potrebno ravnomerno podizati raspoloživost svih elemenata mreže.
2. Ukupna raspoloživost mreže će sigurno biti manja od raspoloživosti samo čvorova ili samo mrežne topologije.
3. Često se u analizama prave greške zbog nepravilne interpretacije raspoloživosti i pod kojim uslovima se ona računa.
4. Pokazali smo da vreme konvergenције protokola i raspoloživost linka ne zavise jedno od drugog.
5. Postavljen je temelj za šire, dalje istraživanje, koje će u budućnosti dati predlog za optimalni metod projektovanja jezgra mreže sa stanovišta visoke raspoloživosti, a što je moguće niže cene realizacije. U budućim mrežama koje će biti dosta kompleksnije i veće, postavlja se pitanje da li je All-terminal suviše oštar kriterijum i možda bi ga trebalo olabaviti, na šta ćemo u budućnosti obratiti pažnju i pokušati da damo odgovore i dokaze. Takođe, na osnovu onoga što smo videli prilikom izrade ovog rada, da bi se došlo do optimalno projektovane mrežne topologije, treba insistirati na egzaktnim modelima i algoritmima sa što je moguće većom preciznošću.

LITERATURA

- [1] RELIABILITY OF COMPUTER SYSTEMS AND NETWORKS, Martin, L. Shooman, Polytechnic University and Martin L. Shooman & Associates, A Wiley-Interscience Publication, JOHN WILEY & SONS, INC.
- [2] Matić, M. Dukić, M. Janković, M. "Projektovanje i optimizacija IP/MPLS mreža", Telfor 2008
- [3] RELIABILITY OF MOBILE AD-HOC WIRELESS NETWORKS, Author: Jason L. Cook, Advisor: Dr. Jose Emmanuel Ramirez-Marquez, PhD thesis, <http://sse.stevens.edu/fileadmin/sse/academics/dissertations/JasonCook.pdf>
- [4] L. E. Miller, J. J. Kelleher, and L. Wong, "Assessment of Network Reliability Calculation Methods," J. S. Lee Associates, Inc. report JC-2097-FF under contract DAAL02-92-C-0045, January 1993, <http://www.antd.nist.gov/wctg/netanal/EvalNetRel.pdf>
- [5] Shooman, A. M. "Exact Graph-Reduction Algorithms for Network Reliability Analysis." Ph.D. thesis, Polytechnic University, 1992.
- [6] Shooman, A. M., and A. Kershenbaum. Exact Graph-Reduction Algorithms for Network Reliability Analysis. *Proceedings IEEE/ GLOBECOM Conference*, December 1991. IEEE, New York, NY.
- [7] Matić, M. Ramović, R. „Ugradnja pouzdanosti i raspoloživosti u projektovanje IP/MPLS mreža“, Telfor 2006
- [8] Matić, M. Ramović, R. „Analiza opravdanosti povećanja redundantnih veza u TK sistemu sa stanovišta raspoloživosti“, Telfor 2004

ABSTRACT

In this paper we analyse and calculate availability of network topology. As a result of that analyse we found some wrong hypothesis and model mistakes which caused bad availability results and wrong conclusions. Finally, we developed software using exact All-terminal Graph reduction Algoritam and demonstrated our results, conclusions and solutions.

Network topology availability analyses and often mistakes

Milan Cabarkapa, George Mijatovic, Nenad Krajnovic