

Projektovanje i optimizacija IP/MPLS mreža

Mirko Matić, *Telekom Srbija a.d.*, Miroslav Dukić, *ETF Beograd*, Milan Janković, *RATEL*, *ETF Beograd*

Sadržaj – Ukratko su prikazani trendovi u projektovanju i optimizaciji IP/MPLS mreža. Opisan je značaj i načini postizanja visoke raspoloživosti mreže i servisa. Analizirana je primena redundantnih čvorova i linkova, kao i mehanizama oporavka mreže (MOM) na primeru planirane IP/MPLS mreže regije Jug „Telekoma Srbije“. Dat je uporedni prikaz raspoloživosti za tri različite topologije mreže i predložena optimalna upotreba MOM.

I. UVOD

U liberalizovanom telekomunikacionom sektoru, briga o zadovoljstvu poslovnih i rezidencijalnih korisnika klasičnih i multimedijalnih servisa sve više dolazi u centar pažnje javnosti. Cene, kvalitet i fleksibilnost su ključ uspeha. Korisnici ne praštaju nijedan prekid servisa. Otkazi mreže diskredituju operatere i servis provajdere na tržištu. Ukupna količina podataka koja se razmenjuje je u neprekidnom porastu i društveno-ekonomski život se sve više oslanja na telekomunikacione servise. Stoga, posledice otkaza mreže mogu biti drastične.

U tradicionalnim javnim telefonskim mrežama operatera, dostupnost između bilo koja dva kraja mreže (interfejsa) je bila omogućena u 99,999% slučajeva. Korisnici očekuju da takav nivo pruža i mreža nove generacije. Uvođenjem optičkih vlakana i savremenih digitalnih i optičkih komutatora saobraćaj se koncentriše na sve manji broj elemenata mreže (na primer, vlakno koje prenosi trideset dva 10 Gbps opsega može da prenosi oko 4 miliona telefonskih razgovora istovremeno). To povećava osetljivost mreže [1].

II. METODE POVEĆANJA RASPOLOŽIVOSTI

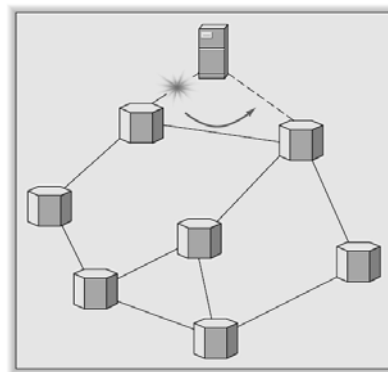
Raspoloživost mreže predstavlja mogućnost konekcije ili prenosa paketa između bilo koja dva interfejsa na ivičnim ruterima mreže.

Različite vrste otkaza se mogu pojaviti u mreži [1]. Veliki broj servisa zahteva visoku raspoloživost mreže. Da bi se uskladile ove suprotnosti, preduzima se mnoštvo mera.

Prva mera je prevencija otkaza. Na primer, verovatnoća prekida kabla se može smanjiti polaganjem kabla dublje u tlo ili upotrebom specijalnih armiranih kablova, broj otkaza u centralama se može smanjiti planiranjem zaštite od požara ili ograničavanjem pristupa objektu. Otkazi opreme mogu se smanjiti bezbednijim dizajnom, dodatnom zaštitom ili sa više testiranja hardvera i softvera pre puštanja u upotrebu. Brza detekcija otkaza ili opasnih

situacija, upotrebom detektora dima, automata za gašenje požara ili direktnom vezom sa vatrogascima, može povećati raspoloživost.

Druga strategija je da se udvoje osetljivi elementi mreže. Na primer, u slučaju otkaza čvora mreže (ruter), sav saobraćaj može biti prebačen na identični aktivni rezervni čvor (hot standby-vruća rezerva). Takođe, pristupni linkovi mogu se udvojiti tako da se korisnički pristup obezbedi od otkaza jednog elementa mreže (linka). Ovaj princip je poznat pod nazivom „dual homing“ i dat je na sl. 1. Pristup mreži je obezbeđen i u slučaju kad se dogodi otkaz.



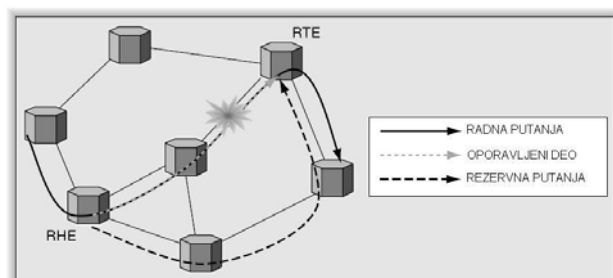
Sl. 1. Princip „dual-homing“

Iako pomenute metode mogu da ublaže problem, u mnogim slučajevima nisu dovoljne da bi se obezbedio nivo raspoloživosti mreže koji zahtevaju korisnici. Šta više, često su skupe i ne obezbeđuju razdvajanje kritičnog saobraćaja (koji zahteva visok nivo raspoloživosti) i manje bitnog koji koriste korisnici osnovnog servisa.

Da bi predupredili ove mane, većina telekomunikacionih mreža koriste tzv. **mehanizme oporavka mreže (MOM)**.

Čim se uoči kvar u mreži, ovi mehanizmi automatski preusmeravaju tok saobraćaja na alternativnu putanju koja je ispravna. Na kraju, ovaj saobraćaj stiže na odredište. Ove mehanizmi mogu značajno unaprediti raspoloživost servisa koji se prenosi mrežom. Nasuprot ranije pomenitim mehanizmima, mehanizmi oporavka rade na nivou mreže, a ne na nivou pojedinih elemenata mreže.

Osnovni principi mehanizmi oporavka su ilustrovani na sl. 2.



Sl. 2. Princip mehanizma oporavka

Mirko Matić, mr, Telekom Srbija, Bulevar kralja Aleksandra 84, 11000 Beograd, Srbija, tel. +381 11 3023 050, e-mail: mirkomat@telekom.rs,

Milan Janković, Prof. dr, RATEL, Višnjičeva 8, 11000 Beograd, Srbija, tel.: +381 11 3229 970, e-mail: milan.jankovic@ratel.org.yu, ETF Beograd, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11000 Beograd, Srbija

Miroslav Dukić, Prof. dr, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11000 Beograd, Srbija, e-mail: dukic@etf.bg.ac.yu,

U uslovima potpuno ispravne mreže, saobraćaj se prenosi duž radne (primarne) putanje. Ako se uoči kvar na toj putanji, mehanizam oporavka se aktivira. Deo radne putanje (ili cela, u zavisnosti od mehanizma oporavka), tzv. **oporavljeni deo**, biće izbegnut upotrebom rezervne (alternativne) putanje. Saobraćaj će biti preusmeren u čvoru koji upravlja oporavkom (RHE-Recovery head-end) na rezervnu putanju. Pri prolasku kroz zadnji čvor na alternativnoj putanji (RTE-Recovery tail-end), saobraćaj se ponovo prenosi radnom putanjom ka odredištu.

U najvećem broju slučajeva upotrebljava se raštrkano rutiranje koje obezbeđuje zaštitu toka podataka od otkaza jednog mrežnog elementa (čvora ili linka). Mehanizmi oporavka su veoma zahtevni za TK mrežu.

Za svaki oporavak od otkaza, mora da postoji alternativna putanja koja služi kao putanja oporavka. Mreža mora biti projektovana tako da otkazom pojedinog elementa deo mreže ne postane nedostupan.

Dodatni zahtevi se postavljaju pred mrežu ako je potrebno zadovoljiti ekvivalentan nivo kvaliteta servisa (QoS-Quality of Service) u slučaju otkaza čvora ili linka:

- Potrebno je obezbediti dovoljno raspoloživog opsega na rezervnoj putanji (zahtev za kapacitetom),
- Potrebno je izbeći drastičan porast kašnjenja pri prenosu podataka duž alternativne putanje.

Mehanizam oporavka predstavlja deo mrežne tehnologije, a aktivan je samo ako mrežni nivo podržava tu tehnologiju. Najznačajnije tehnike oporavka su implementirane u SONET/SDH, OTN, IP i MPLS [2].

III. ANALIZA RASPOLOŽIVOSTI IP/MPLS MREŽE REGIJE JUG TELEKOMA SRBIJE

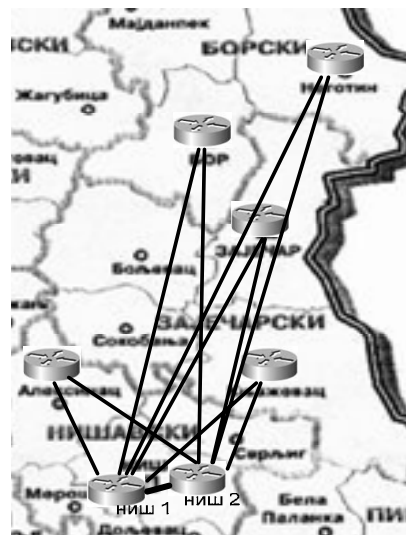
Za regionalni nivo IP/MPLS mreže regije „Jug“ predložene su tri topologije. Prva je sastavni deo osnovne varijante IP/MPLS mreže Telekoma Srbije planirane do 2010. god.(sl. 3), druga pripada alternativnoj varijanti planirane mreže (sl. 4), a treća je autorski predlog (sl. 5). Ukupna dužina linkova:

- Varijanta 1 - 964 km,
- Varijanta 2 - 842 km,
- Varijanta 3 - 428 km.

Date topologije su upoređene za različite skupove parametara sa aspekta raspoloživosti mreže.

Analiza raspoloživosti je izvršena na osnovu Modela Markovljevih lanaca koja je opisana u [3] i [4]. Na osnovu analize razvijen je program u MATLAB-u za proračun raspoloživosti mreža sa pomenutim topologijama.

U skupu promenljivih parametara su intenziteti otkaza i popravki čvorova i linkova mreže. Intenziteti otkaza i opravke čvorova su pretpostavljeni na osnovu statističkih podataka dobijenih iz studije navedene u [5], gde je prosečno vreme otkaza ruterskog interfejsa 955 minuta godišnje, što predstavlja raspoloživost od 99,8%. Data vrednost predstavlja raspoloživost neredundovanih čvorova koji nemaju mogućnost nadogradnje radnog *software*-a (*upgrade*) bez prekida protoka podataka i sesija rutiranja.



Sl. 3. Varijanta 1 topologije mreže „Jug“



Sl. 4. Varijanta 2 topologije mreže „Jug“



Sl. 5. Varijanta 3 topologije mreže „Jug“

Takva raspoloživost se može predstaviti sa intenzitetima otkaza l_p i opravke čvora mp u vrednosti $l_p=1,141 \cdot 10^{-4}$ otk/h, $mp=0,3$ opr/h, respektivno.

U mreži Telekom Srbije svi veliki čvorovi (PoP-Point of Presence) su u potpunosti udvojeni, čime je postignuta, prema proračunu iz [6], referentna raspoloživost sa pet devetki (99,999%). Ona je predstavljena intenzitetom otkaza $l_p=1,141 \cdot 10^{-4}$ otk/h i opravke $mp=12$ opr/h. Svi čvorovi imaju mogućnost nadogradnje radnog *software*-a (*upgrade*) bez prekida protoka podataka i sesija rutiranja. Takođe, i mali PoP-ovi podržavaju neprekidno prosleđivanje u slučaju otkaza kontrolne ravni rutera.

Intenzitet otkaza na 100 km linka je $l_{v100}=10^{-3}$ otk/h, što predstavlja prosečno 8,7 otkaza godišnje.

Intenziteti opravki linkova su određeni brzinama konvergencije mehanizmi oporavka tj. brzinama prelaska saobraćaja na alternativne putanje. Za većinu mehanizama je intenzitet opravki nezavisan od dužine linkova.

Intenzitet opravke linka **$mv=1$ opr/h** odgovara mreži koja nema nikakav automatski mehanizam preusmeravanja na alternativne putanje već je potrebno zaista otkloniti smetnju manuelnim putem za koji je pretpostavljeno prosečno vreme od 1 časa po otkazu.

Intenzitet opravke linka **$mv=1000$ opr/h** predstavlja vreme konvergencije od 3,6 s što je uobičajeno vreme za OSPF mehanizam zaštite linka. U tom slučaju ne postoji SDH mehanizam zaštite ili MPLS TE brzo preusmeravanje (FRR- Fast ReRoute), već je upotrebljena samo zaštita na IP nivou.

Intenzitet opravke linka **$mv=10000$ opr/h** predstavlja vreme konvergencije od 0,36 s što je uobičajeno vreme konvergencije multicast protokola, a može se primeniti i za IS-IS konvergenciju. U tom slučaju ne postoji SDH mehanizam zaštite ili MPLS TE FRR zaštita, već je upotrebljena samo zaštita na IP nivou.

Intenzitet opravke linka **$mv=100000$ opr/h** predstavlja vreme konvergencije od 36ms, što je uobičajeno vreme najboljih mehanizama zaštite linka. U tom slučaju postoji SDH mehanizam zaštite ili MPLS TE FRR zaštita.

Rezultati analiza su prikazani u tabelama i grafički. Parametri intenziteta otkaza l_p i l_v su izraženi u broju otkaza po času, a intenziteti opravki mp i mv u broju opravki po času.

TABELA 1. RASPOLOŽIVOST MREŽE SA PRVOM VARIJANTOM TOPOLOGIJE ZA RAZLIČITE SKUPOVE PARAMETARA

A (t)	bez automatskog preusmeravanja	IP preusmeravanje	multicast, IS-IS oporavak	SDH APS, MPLS FRR
neredundovani čvorovi	0.999466	0.999619	0.999619	0.999624
redundovani čvorovi	0.999836	0.999990	0.999990	0.999996

TABELA 2. RASPOLOŽIVOST MREŽE SA DRUGOM VARIJANTOM TOPOLOGIJE ZA RAZLIČITE SKUPOVE PARAMETARA

A (t)	bez automatskog preusmeravanja	IP preusmeravanje	multicast, IS-IS oporavak	SDH APS, MPLS FRR
neredundovani čvorovi	0.999618	0.999619	0.999620	0.999624
redundovani čvorovi	0.999989	0.999990	0.999990	0.999991

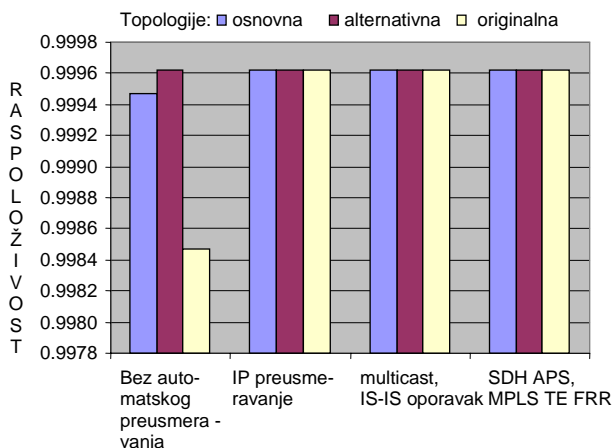
TABELA 3. RASPOLOŽIVOST MREŽE SA TREĆOM VARIJANTOM TOPOLOGIJE ZA RAZLIČITE SKUPOVE PARAMETARA

A (t)	bez automatskog preusmeravanja	IP preusmeravanje	multicast, IS-IS oporavak	SDH APS, MPLS FRR
neredundovani čvorovi	0.998467	0.999619	0.999620	0.999620
redundovani čvorovi	0.998837	0.999990	0.999990	0.999990

Na osnovu rezultata proračuna raspoloživosti mreže koji su prikazani tabelarno i grafički za sve tri varijante topologije može se zaključiti sledeće:

1. Referentna raspoloživost (99,999%) mreže ne može se postići bez potpuno redundovanih čvorova ($mp=12$ opr/h),
2. Referentna raspoloživost (99,999%) mreže ne može se postići bez mehanizama opravke mreže ($mp=0,3$ opr/h i $mp=12$ opr/h) – IP, MPLS, SDH,
3. Referentna raspoloživost (99,999%) mreže može se postići zajedničkom primenom mehanizama opravke mreže – IP, MPLS, SDH i udvajanjem čvorova mreže ($mp=12$ opr/h),
4. Primenom MPLS FRR i SDH mehanizama opravke mreže ne dobija se značajno poboljšanje raspoloživosti u odnosu na primenu nekog od IP mehanizama (OSPF, IS-IS, multicast).
5. Nije neophodna upotreba čvorova koji podržavaju MPLS FRR i SDH mehanizme zaštite u ovakvoj topologiji mreže pošto postoji značajna redundansa linkova.

IV. UPOREDNI PRIKAZ REZULTATA



Sl 6. Uporedni prikaz raspoloživosti za sve tri varijante topologije bez redundanse čvorova

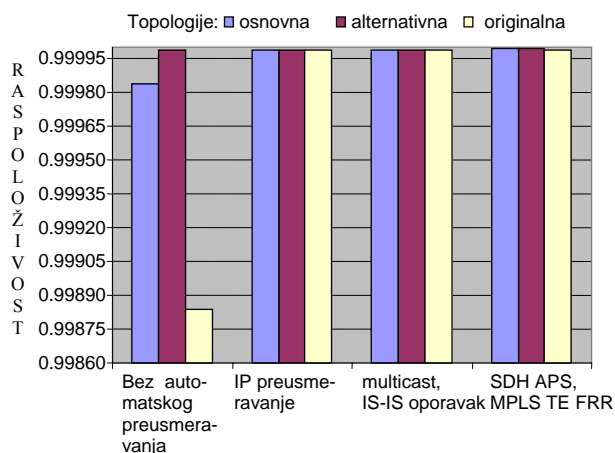
Uporednom analizom rezultata proračuna raspoloživosti mreža sa navedenim varijantama topologije bez redundanse čvorova, datoj na sl. 6, može se zaključiti sledeće:

1. Referentna raspoloživost (99,999%) mreže ne može se postići ni u jednoj varijanti topologije mreže tj. bez upotrebe redundanse čvorova nije moguće postići potreban nivo raspoloživosti mreže,
2. Maksimalna raspoloživost (99,9624%) postiže se sa prvom i drugom varijantom topologije mreže i upotrebom SDH ili MPLS TE mehanizama oporavka mreže, s tim što

je upotreba MPLS FRR mehanizama u prednosti sa stanovišta cene,

3. Primenom MPLS FRR i SDH mehanizama opravke mreže ne dobija se značajno poboljšanje raspoloživosti u odnosu na primenu nekog od IP mehanizama (99,9620%) (OSPF,IS-IS,multicast).

4. Primena mreže sa nivoom raspoloživosti od 99,962% može biti opravdana samo u kraćem vremenskom periodu tj. kada operater želi da pruži neki servis što pre iako nije izgradio potpunu arhitekturu mreže. Tada nije moguće garantovati visok kvalitet servisa, jer može doći do čestih degradacija i otkaza servisa.



Sl. 7. Uporedni prikaz raspoloživosti za sve tri varijante topologije sa redundantnim čvorovima

Uporednom analizom rezultata proračuna, datoj na sl. 7, raspoloživosti mreža sa navedenim varijantama topologije sa redundantnom čvorovima, datoj na sl. 7, može se zaključiti sledeće:

1. Referentna raspoloživost (99,999%) mreže, a samim tim i visok nivo kvaliteta servisa, može se postići u sve tri varijante topologije uz upotrebu bilo kog mehanizma opravke mreže – IP,MPLS FRR,SDH.
2. Maksimalna raspoloživost (99,9996%) postiže se sa prvom varijantom topologije mreže i upotrebom SDH ili MPLS mehanizama oporavka mreže, s tim što je upotreba MPLS FRR mehanizama u prednosti sa stanovišta cene,
3. Primenom MPLS FRR i SDH mehanizama opravke mreže ne dobija se značajno poboljšanje raspoloživosti u odnosu na primenu nekog od IP mehanizama (99,999%)-OSPF,IS-IS,multicast).

4. Redundansa čvorova, implementiranje neprekidnog prosledivanja i mehanizam prelaska na rezervni ruter sa očuvanim stanjem ruta smanjuje potrebu za redundantovanjem linkova, što smanjuje cenu mreže. Varijanta 3 je optimalno rešenje zbog najmanje ukupne dužine linkova - 428 km.

V. ZAKLJUČAK

Visoka raspoloživost je jedan od najbitnijih saobraćajnih zahteva koje mreža mora da ispuni, jer je preduslov za dostupnost i visok kvalitet servisa.

Stoga, raspoloživost se mora uzeti u obzir pri planiranju i projektovanju mreže. Nije dovoljno razmatrati raspoloživost svakog elementa mreže zasebno.

Neophodna je upotreba mehanizama oporavka mreže (MOM).

U mreži Telekom Srbije do sada nije vršena optimizacija mreže sa aspekta raspoloživosti. Prethodna analiza pokazuje neopravdano redundantovanje mrežnih elemenata i mehanizama oporavka. To dovodi do dodatnih troškova pri izgradnji i usložnjavanju konfigurisanja i održavanja mreže.

Optimizacija mora uzeti u razmatranje i raspoloživost, a upotreba programa uz koji su vršene prethodne analize bi upotpunila softver za planiranje IP/MPLS mreže koji precizno dimenzioniše linkove prema saobraćajnim zahtevima čija je nabavka u toku.

LITERATURA

- [1] Jean Philippe Vasseur, Mario Pickavet, Piet Demeester: *Network Recovery – Protection and Restoration of Optical, SONET-SDH, IP and MPLS*, Morgan Kaufmann, 2004
- [2] Iftekhar Hussain, *Fault Tolerant IP and MPLS Networks*, Cisco Press, nov 2004
- [3] Ramović, R., „Pouzdanost sistema - elektronskih, telekomunikacionih i informacionih ”, <http://nobeldev.etf.bg.ac.yu/studiranje/kursevi/fe4ps/materijali/pouzdanost.pdf>
- [4] Matić,M. Ramović,R. „Analiza opravdanosti povećanja redundantnih veza u TK sistemu sa stanovišta raspoloživosti“, Telfor 2004
- [5] Guichard J.,Faucheur F.,Vasseur P., *Definitive MPLS Network Designs*, Cisco Press,2006
- [6] Matić,M. Ramović,R. „Ugradnja pouzdanosti i raspoloživosti u projektovanje IP/MPLS mreža“, Telfor 2006

Abstract – *This paper introduces IP/MPLS network design and optimization trends. Importance and of network availability is discussed. Planning of IP/MPLS network of Telekom Srbija with optimal deployment of network recovery mechanisms and redundant nodes and links is described.*