

## PROJEKTOVANJE MREŽE U USLOVIMA NESIGURNOSTI PROGNOZE TELEKOMUNIKACIONOG SAOBRAĆAJA

Valentina Radojičić, Aleksandra Kostić-Ljubisavljević  
Saobraćajni fakultet u Beogradu

**Sadržaj:** *Neizbežan problem u procesu projektovanja telekomunikacione mreže je postojanje različitih vidova nesigurnosti. Nesigurnost je problem koji se javlja usled toga što se telekomunikaciona mreža projektuje na osnovu prognoziranih vrednosti više različitih parametara. Jedan od najvažnijih parametara za sam proces planiranja mreže, a samim tim i ključni parametar koji utiče na nesigurnosti, je prognozirani telekomunikacioni saobraćaj. U radu će biti objašnjen pojam nesigurnosti kao i načini koji se mogu koristiti za rešavanje problema projektovanja mreže u uslovima nesigurnosti prognoze saobraćaja.*

**Ključne reči:** *nesigurnost, prognoza saobraćaja, planiranje i projektovanje mreže*

### 1. Uvod

Da bi se na pravilan način izvršilo planiranje i dimenzionisanje telekomunikacione mreže potrebno je posedovati sve podatke o relevantnim parametrima mreže koji mogu uticati na sam proces. Najvažniji parametar koji se koristi u te svrhe je saobraćaj koji se generiše između čvorova mreže i čiji je intenzitet važan na adekvatan način prognozirati. Posledica nepouzdanosti prognoziranih rezultata je nedovoljno ili preveliko dimenzionisanje određenih kapaciteta mreže. Obe navedene posledice rezultuju znatnim gubicima operatora, a takođe i smanjenjem zadovoljstva korisnika kvalitetom usluga koje plaća.

Planiranje mreže predstavlja skup svih aktivnosti vezanih za utvrđivanje daljeg razvoja mreže, čija je osnovna funkcija opsluživanje saobraćajnih zahteva koje generišu korisnici. Ulazne podatke za proces planiranja mreže treba obezbediti adekvatnim prognoziranjem relevantnih parametara mreže. Međutim, nesigurnost je problem koji se ovde uvek javlja usled toga što se telekomunikaciona mreža projektuje na osnovu prognoziranih vrednosti više različitih parametara. Jedan od najvažnijih parametara za sam proces planiranja mreže, a samim tim i ključni parametar koji utiče na nesigurnosti, je prognozirani telekomunikacioni saobraćaj u nekoj mreži.

Greške prognoze su uvek prisutne u procesu projektovanja mreže. One nastaju ili preceanjivanjem ili potcenjivanjem budućih saobraćajnih zahteva u mreži. Da bi se korigovale ove greške, koristi se procedura projektovanja ruta. Ona se primenjuje za

period od jedne nedelje kod dinamičkog rutiranja sa prethodnim planiranjem, ili se radi u realnom vremenu kod dinamičkog rutiranja u realnom vremenu. Modeli projektovanja ruta procenjuju postojeći saobraćaj u mreži i utvrđuju da li se mogu napraviti izmene u rutiranju, kako bi se greške, koje su rezultat nesigurnosti prognoze saobraćaja, uklonile ili barem ublažile.

## 2. Pojam nesigurnosti u telekomunikacijama

U procesu planiranja i donošenja odluka sasvim je neizbežno suočavanje sa problemom nesigurnosti. Nesigurnost je glavni razlog zašto je planiranje telekomunikacione mreže toliko složeno i zašto izabrane strategije najčešće nisu optimalna rešenja. Veoma je važno identifikovati i razumeti pojam nesigurnosti, naročito ključne nesigurnosti da bi se sagledale negativne posledice koje one mogu da prouzrokuju, odnosno, da bi se otkrilo gde je korisno investirati dodatne napore u cilju njenog smanjenja.

Pojam nesigurnosti se po definiciji [1] koristi za opisivanje nečega čiji je tačan uticaj nepoznat u sadašnjem trenutku vremena. Nesigurnost raste zbog nekompletnih informacija, kao što su nepreciznost ili nedostatak informacija. Nekompletne informacije su rezultat uprošćavanja i aproksimacija koje su neophodne da bi se modeli mogli prilagoditi postojećoj problematici.

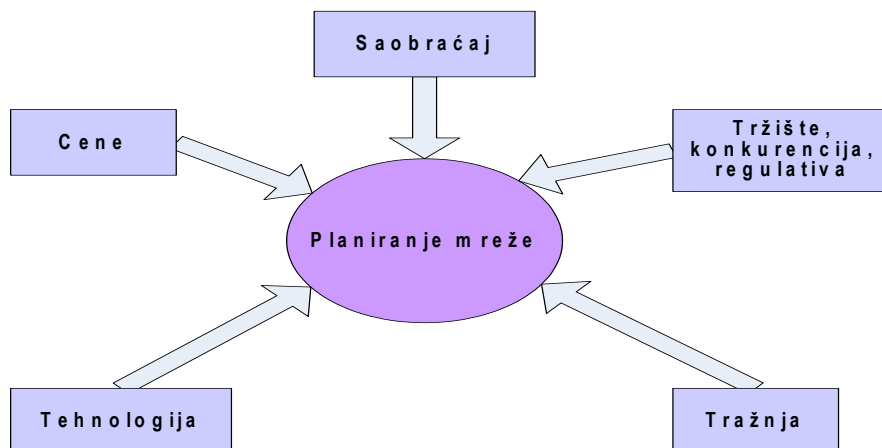
U procesu projektovanja telekomunikacione mreže mogu se identifikovati različiti izvori nesigurnosti:

- Nesigurnost okoline, koja obuhvata sve one nesigurnosti izazvane okruženjem u kome se dešava planiranje. Okruženje može prouzrokovati pojedinačne, nepredvidive i nekvantifikovane nesigurnosti. Faktori koji utiču na ovu vrstu nesigurnosti se pri projektovanju mreže izostavljaju iz modela, a o njima se posebno vodi računa;
- Parametarska nesigurnost, koja se odnosi na sve nesigurne parametre koji predstavljaju ulaz modela. One su slabe, predvidljive i uglavnom se mogu kvantifikovati tako da se mogu koristiti u modelu projektovanja mreže;
- Nesigurnost modela se uvodi samim izborom određenog modela za proces projektovanja mreže. Ova nesigurnost je prouzrokovana vremenskim ili prostornim ograničenjima modela, nivoom detaljnosti ili uopšte bilo kakvim drugim pretpostavkama koje su uvedene u model projektovanja;
- Nesigurnosti projektanta se javljaju kao uticaj projektanta na sam tok procesa projektovanja (na primer nedostatak iskustva, izbor načina formalizacije nesigurnosti, izbor određenih tehnika modelovanja i sl.)

Najznačajnije nesigurnosti koje se javljaju u projektovanju telekomunikacionih mreža se odnose na faktore, koji su prikazani na slici 1:

- Cene – konkurencija i uticaj zahteva za propusnim opsegom su od značaja za cene telekomunikacionih servisa;
- Tržište, konkurencija, regulativa i makroekonomski rizici – ovi rizici povećavaju nivo nesigurnosti u procesu investicionog održavanja i proširenja mreže i kao takvi treba da se posmatraju odvojeno od procesa planiranja parametara telekomunikacione mreže. Ipak, cena kapitala će biti pod uticajem ovih faktora, tako da su ove nesigurnosti direktno vezane za planiranje i strategiju samih investicija;
- Tehnologija – izuzetno širok spektar i brz razvoj modernih tehnologija koje omogućavaju isti servis;

- Tražnja – procenjeni nivo očekivane tražnje za telekomunikacionim servisima je izuzetno značajna veličina za planiranje mreže. Njena nesigurnost može rezultovati nedovoljno ili previše dimenzionisanim kapacitetima mreže.
- Saobraćaj – procenjeni intenzitet saobraćaja u mreži zavisi od nivoa tražnje za određenim servisima. Takođe je i raspodela saobraćaja podložna nesigurnosti, i može se razlikovati od prognozirane.



Slika 1. Nesigurnosti koje se javljaju u projektovanju mreže

Navedeni faktori su međusobno zavisni i od velikog su uticaja na planiranje mreže. Ipak, među njima se može izdvojiti jedan čija nesigurnost utiče na sve ostale, a to je saobraćaj, koji osim što ima značajnu ulogu u planiranju mreže, takođe značajno utiče i na ostale navedene parametre u većoj ili manjoj meri.

U planiranju telekomunikacione mreže mogu se okarakterisati tri ortogonalna saobraćajna parametra, od kojih je svaki podložan nesigurnosti: intenzitet saobraćaja, raspodela saobraćaja i vrste servisa. Najbolja procena ove tri veličine sačinjava predikciju saobraćaja, u odnosu na koju se vrši projektovanje mreže sa minimalnim troškovima.

Svaki od navedenih parametara je podložan evoluiranju tokom razvoja mreže. Ovo je važno istaći iz razloga što je planiranje koje se odnosi na duži vremenski period najpodložnije uticaju nesigurnosti prognoze saobraćaja, koja je zavisna od toga za koji se period vremena vrši.

### 3. Značaj prognoziranja za proces planiranja i projektovanja mreže

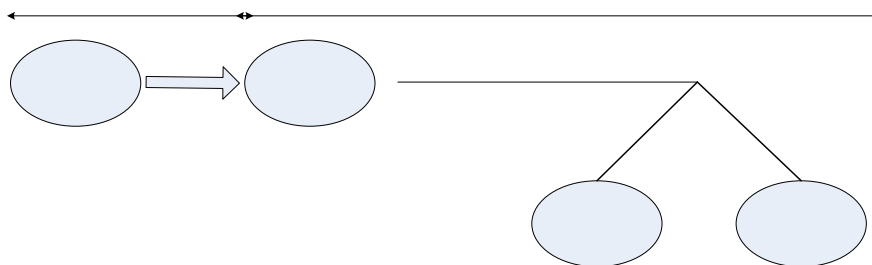
Nekada su predviđanja saobraćaja bila mnogo tačnija nego danas. Mrežni operatori su bili monopolisti, a saobraćaj, i to uglavnom telefonski, se godišnje povećavao za 5 do 10%. Takođe je i raspodela saobraćaja bila konstantna. Danas, u konkurentskom okruženju, sa više operatora koji se takmiče oko pridobijanja korisnika, raspodela saobraćaja može značajno da varira tokom funkcionisanja mreže. Izuzetno brzi rast saobraćaja uzrokovan internetom samo još više potvrđuje činjenicu da je u današnje vreme jako teško predvideti intenzitet saobraćaja. Porast saobraćaja se kreće negde od 20

do 150% godišnje, u zavisnosti od vrste servisa koji se uvode i koriste. Svaki od servisa ima različite zahteve vezane za QoS, što dodatno otežava proces projektovanja mreže.

Fokusirajući se na "najverovatnijem" scenariju budućnosti, radije nego na konkretnim predikcijama saobraćaja, planeri su u obavezi da razrade najpogodniju pretpostavku i da testiraju njeno ponašanje u ekstremnim uslovima. Često se u literaturi mogu sresti dva osnovna pristupa procesu planiranja telekomunikacione mreže. Prvi, statički pristup se bazira na pretpostavci da se planiranje zasniva na postojećoj saobraćajnoj matrici. Drugi, vrši procenjivanje mrežne arhitekture u uslovima promenljivog saobraćaja, odnosno saobraćaja koji nije unapred poznat, već je planeru dostupna samo informacija o statističkom ponašanju mogućeg saobraćaja.

Prognoze pružaju važnu osnovu za proces planiranja a samim tim i proces projektovanja telekomunikacione mreže. Na osnovu odluka koje se na osnovu njih donose formuliše se radni program, koji zahteva detaljno planiranje svih aktivnosti koje moraju biti preuzete sve dok kompletna planirana oprema ne bude u funkciji. Sve vrste planiranja (dugoročno, srednjoročno i kratkoročno) imaju svoje zahteve koji se tiču detalja obrađenih u radnom programu. Svaka vrsta planiranja, manje ili više, koristi detaljne prognoze veličina koje su za njenu realizaciju neophodne.

Odnos između navedenih pojmova se može šematski prikazati kao na slici 2.



*Slika 2. Šematski prikaz odnosa prognoze i plana*

Pošto su radni program i investicije zasnovani na prognozama, veoma je važno da one budu što preciznije. Takođe je važno da se definiše i stepen nesigurnosti prognoze, koji omogućava planeru određenu fleksibilnost u procesu planiranja.

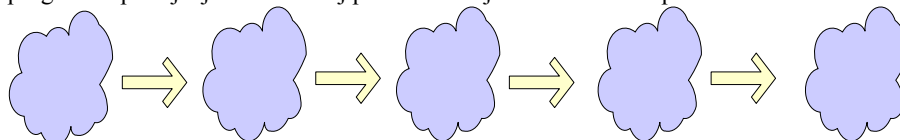
Da bi se podržali svi aspekti procesa planiranja telekomunikacione mreže izuzetno su značajne sledeće vrste prognoza:

- Prognoza tražnje servisa;
- Prognoza tražnje unapređenih servisa;
- Identifikacija tražnje novih servisa;
- Prognoza obima saobraćaja za servise i aplikacije;
- Prognoza glavnog saobraćajnog časa za servise i aplikacije;
- Prognoza bazirana na segmentaciji tržišta;
- Prognoze koje vode računa o konkurenciji i podeli tržišta;
- Prognoze koje se odnose na nacionalni, regionalni i lokalni nivo;
- Prognoze koje se tiču različitih mreža;
- Prognoze koje se tiču transportne, regionalne i pristupne mreže.

Konkretne prognoze se definišu kombinovanjem različitih stavki sa ove liste kako bi se zadovoljili zahtevi kompleksnog telekomunikacionog tržišta. Zbog izuzetne

kompleksnosti telekomunikacionog tržišta sve je veća potreba da se u modele za prognoziranje uvrste uslovi koje diktira okruženje.

Proces prognoziranja je kontinuirani proces, koji obuhvata rereviziju ranijih prognoza i pravljenje novih. U taj proces su uključene aktivnosti prikazane na slici 3.



Slika 3. Šematski prikaz procesa prognoziranja

Prvi korak se odnosi na definisanje problema, odnosno utvrđivanje svrhe i uslova prognoziranja. Drugi korak je akvizicija podataka, kojom se prikupljaju podaci sa različitih izvora informacija: podaci o izmerenom saobraćaju, podaci o broju stanovnika, o ekonomskom razvoju, kao i rezultati prethodnih prognoza. Ove aktivnosti su često deo svakodnevnih operacija koje se izvode u mreži. U trećem koraku se vrši izbor metode za prognoziranje. Zahtevi u pogledu tačnosti podataka, kao i u pogledu perioda prognoziranja utiču na izbor metode, od koje zavisi vreme i podaci potrebni za prognoziranje. Četvrti korak se odnosi na analizu i samo prognoziranje. Prikupljeni podaci se obrađuju u skladu sa izabranom metodom. Ovde takođe spada i podešavanje i

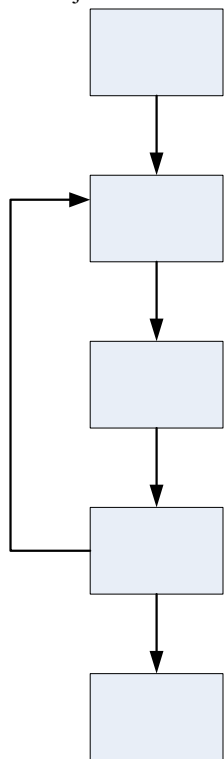
usaglašavanje sa drugim prognozama i periodima prognoziranja. Peti korak predstavlja dokumentovanje prognoze u jednostavnoj i razumljivoj formi.

Prema preporuci ITU-T [2] sama procedura kreiranja modela za prognoziranje se može opisati kroz četiri međusobno povezana koraka.

Prvi korak se sastoji od pronalazjenja klase modela koji može biti pogodan za opisivanje konkretne situacije. Primeri takvih modela su: ekstrapolacija vremenskih serija, ARIMA (Auto Regressive Integrated Moving Average), regresioni modeli ili ekonometrijski modeli i dr. Pre izbora klase modela, mora se izvršiti analiza uticaja faktora okruženja. Ako neki od njih ima značajan uticaj na saobraćajne zahteve, onda bi ih trebalo uključiti u model prognoziranja i obezbediti dovoljno podataka iz prethodnog perioda.

Sledeći korak je identifikovanje jednog od modela iz izabrane klase modela.

Treći korak je provera modela. Ova se procedura često naziva dijagnostička provera. U te svrhe mogu se koristiti koeficijenti korelacije, testiranje značajnosti vremenskih parametara kao i ispitivanje sistematskih grešaka. Cilj je proveriti kako se podaci uklapaju u izabrani model i u slučaju da postoje značajnija odstupanja, da se drugi adekvatan model.



Slika 4. Šematski prikaz procesa prognoziranja

Definisane  
problema

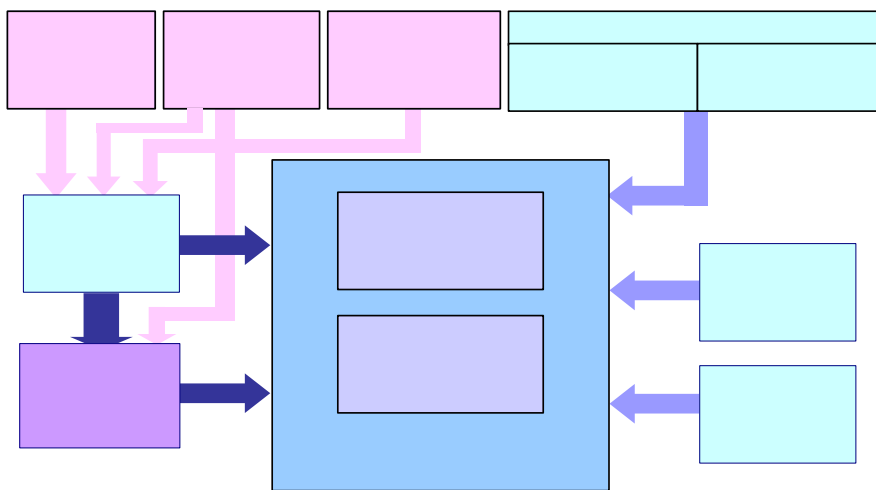
Nakon toga sledi prihvatanje odgovarajućeg modela. Ukoliko to nije slučaj potrebno je vratiti se na prethodni korak. Šematski prikaz ove procedure je dat na slici 4.

#### 4. Načini za rešavanje problema nesigurnosti prognoze saobraćaja

Nekada je kratkoročno planiranje mreže bilo uobičajeno za period od 5 godina. Međutim, zbog izuzetne dinamike razvoja u oblasti rasta i raspodele saobraćaja, dostupnih tehnologija ili zahteva za propusnim opsegom, ovaj period planiranja se skraćuje na svega nekoliko meseci. Gde je uloga i značaj procesa prognoziranja korisnika i saobraćaju u procesu projektovanja mreže može se uočiti na slici 5.

U literaturi se mogu sresti različita predviđanja razvoja novih telekomunikacionih tehnologija, servisa, saobraćaja i sličnih veličina. Svim tim predviđanjima je zajedničko postojanje nesigurnosti koja u velikoj meri utiče na proces projektovanja mreže.

U cilju karakterisanja nesigurnosti raspodele saobraćaja uvodi se veličina DFA-tačnost prognozirane raspodele [3,4]. Ova se veličina zasniva na statističkoj korelaciji dve saobraćajne matrice: matrice prognoziranih intenziteta saobraćaja (F) i matrice stvarnog intenziteta saobraćaja (A).



Slika 5. Proces planiranja telekomunikacione mreže

Statistička korelacija između ove dve matrice se uspostavlja na osnovu sledeće relacije:

$$DFA = P_{F,A} = \frac{\text{cov}(F, A)}{\sigma_F \cdot \sigma_A}$$

Ako je DFA=1, matrice F i A se savršeno uklapaju i nema nesigurnosti saobraćaja. Ako je DFA = -1 nesigurnost saobraćaja je maksimalna. Prednost uvođenja veličine DFA je u tome što ona uzima u obzir raspodelu saobraćaja u mreži, pa njena vrednost, pri istom ukupnom saobraćaju, može da, u zavisnosti od toga gde je raspodeljen saobraćaj, varira u granicama od 0 do 1. Pokazalo se da za isti ukupni saobraćaj u mreži, ali sa

različitim vrednostima DFA se mogu dobiti različiti procenti opsluženog saobraćaj u istoj mrežnoj konfiguraciji. Takav jedan primer je prikazan na slici 6.

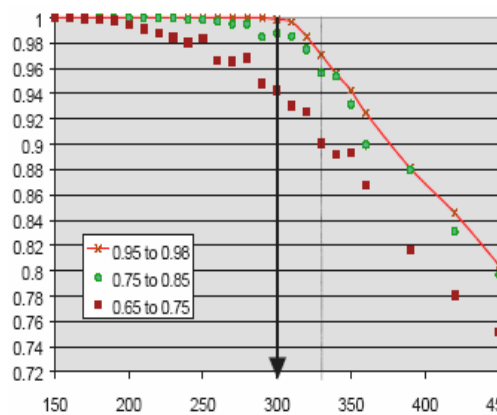
Osim toga veličina DFA se može koristiti i u slučaju kada se sume ukupnih prognoziranih vrednosti polaznog i dolaznog saobraćaja razlikuju. Nedostatak se ogleda u nemogućnosti uočavanja ekstremnih varijacija saobraćaja. Rezultati primene ove statističke metode ukazuju na to da su veće mreže manje otporne na nesigurnost prognoze saobraćaja nego manje.

Procedura modelovanja mreže pod uticajem nesigurnosti saobraćaja obezbeđuje pouzdanije ulazne informacije za proces poslovnog modelovanja. Takođe može da pomogne u kvantifikovanju rizika investiranja u mrežu. Neisgurna promenljiva se može posmatrati kao predviđena (prognozirana) vrednost koja poseduje nerazdvojni nesigurni segment. Načini za kreiranje modela nesigurnih promenljivih mogu biti "apriori", "aposteriori" i statistička aproksimacija promenljive, tj. predstavljanje promenljive pomoću statističkih parametara kao što su srednja vrednost i raspodela verovatnoća. Prva dva načina su u širokoj upotrebi i to često "ad hoc". Oni koriste takozvanu sigurnosnu marginu pri čemu se za "apriori" prilagođenje ta margina dodaje prognoziranoj vrednosti nesigurne promenljive pre početka računanja, dok se, sa druge strane, za "aposteriori" prilagođenje sigurnosna margina dodaje na kraju svih preračunavanja koja se vrše tokom procesa planiranja mreže. [5]

Potrebno je nekoliko parametara da bi se opisala nesigurna promenljiva koja je data u prethodno opisanim modelima. Prognozirana vrednost  $v$  je očekivana vrednost nesigurne promenljive koja se razmatra. Metod prilagođenja (korekcije) apriori i aposteriori koristi sigurnosnu marginu  $m$ , koja predstavlja procenat predviđene vrednosti. Njena funkcija je zamišljena tako da na određen način uzme u obzir nesigurni karakter prognoze. Kod apriori prilagođenja, kao što je već istaknuto, sigurnosna margina se dodaje ulaznim parametrima da bi se odmah uzeo u obzir i nesigurni efekat svakog od njih. Margina se dodaje svakoj ulaznoj promenljivoj. Na primer, ako se prognozira saobraćaj za sledeću godinu između Pariza i Londona od 4000 Mbit/s, može se odrediti sigurnosna margina od 10% i dalje nastaviti proračun za saobraćaj od 4400 Mbit/s. Kod "aposteriori" prilagođenja sigurnosna margina se dodaje već proračunatim rezultatima. U tom slučaju se koristi samo jedna sigurnosna margina, nezavisno od broja ulaznih

veličina. Primer takvog prilagođenja bi bio sledeći. Ako se kao rezultat proračuna dimenzionisanja (sa sirovim prognoziranim podacima) dobije da kapacitet nekog linka treba da bude 3000 Mbit/s, i ako se donese odluka o korišćenju sigurnosne margine od 10% tada će predviđeni kapacitet linka biti 3300 Mbit/s.

U modelu statističke aproksimacije nesigurne promenljive, ta se promenljiva može predstaviti kao slučajna promenljiva kojoj je dodeljena određena raspodela verovatnoća. Vrednost koja je dobijena prognoziranjem se koristi kao



Slika 6. Primer zavisnosti verovatnoće opsluge saobraćaja od veličine parametra DFA [3]

srednja vrednost te raspodele. Standardna devijacija  $s$  raspodele verovatnoća se može posmatrati kao indikator nesigurnosti koji je povezan sa srednjom vrednošću. Ova nesigurnost će verovatno rasti sa porastom prognozirane vrednosti, pa se, stoga, standardna devijacija bira tako da predstavlja neki procenat predviđene vrednosti. Na primer, ako je predviđeni saobraćaj za narednu godinu na nekom linku 3000 Mbit/s i ako se izabere da je standardna devijacija jednaka 10 %, onda se budući saobraćaj na posmatranom linku može predstaviti statističkim modelom kao slučajna promenljiva sa srednom vrednošću 3000 Mbit/s i standardnim odstupanjem od 300 Mbit/s. Iako se ovaj model može kreirati korišćenjem svih vrsta raspodele verovatnoća, prognozirane veličine koje su dobijene višestrukim ekspertskim prognozama se uvek predstavljaju normalnom raspodelom. Zaiste, u idealnom slučaju, bi se konsultovalo (beskonačno) mnogo eksperata, koji bi izradili svoje prognoze nezavisno jedan od drugog. U skladu sa centralnom graničnom teoremom, prosečna vrednost tih prognoza bi bila približno normalno raspodeljena. To, naravno, ne znači da rezultati koji su dobijeni obradom tako definisanih nesigurnih promenljivih, takođe imaju normalnu raspodelu. Ponekad se dešava da je neizvodljivo utvrditi egzaktnu analitičku formu veličine dobije preračunavanjem statistički aproksimiranih veličina. Tada se koristi parcijalna linearna aproksimacija funkcije gustine verovatnoća.

Još jedan važan parametar modela nesigurne promenljive je takozvani parametar poverenja  $c$ . Ako je, na primer planer zainteresovan za veličinu kapaciteta koji treba predvideti da bi se sa nekom (zahtevanom) verovatnoćom opslužio budući saobraćaj, ta se verovatnoća izražava kao parametar poverenja. Matematički, to se može predstaviti kao granična vrednost  $y_{gr}$  koja će biti veća ili jednaka realnoj budućoj vrednosti nesigurne promenljive sa verovatnoćom  $c$ .

$$y_{gr} = y_{progn} + y_{marg} \quad P_r[y \leq y_{gr}] = c$$

gde je  $y_{gr}$  zahtevana granična vrednost koja se dobija kao rezultat proračuna korišćenjem nekog od predloženih modela. Veličina  $y_{progn}$  predstavlja prognoziranu vrednost dobijenu zanemarivanjem nesigurnosti (ne uzimajući u obzir sigurnosnu marginu ili standardnu devijaciju). Veličina  $y_{marg}$  se određuje upotrebom modela nesigurnosti, i može se razlikovati za sve tri implementacije modela. Parametar poverenja je procentualna vrednost intervala poverenja, koji je izuzetno važan za SLA (*Service Level Agreement*). Penali koji treba da se plate zbog nedovoljno dimenzionisane mreže mogu biti enormni, pa je stoga izuzetno važno biti spreman na nesigurne promene saobraćaja.

Jasno je da svi parametri treba da budu pozitivni da bi preloženi kontekst imao smisla. Ovaj uslov ne ograničava praktičnu primenu predloženih metoda. I dalje ostaje moguće modelovanje, na primer, negativne stope rasta, kao što je to slučaj sa klasičnim telefonskim saobraćajem.

Još jedan način za rešavanje problema nesigurnosti prognoze se pokazao kao pogodan za široku primenu u telekomunikacionim mrežama, a to je primena dinamičkog rutiranja telekomunikacionog saobraćaja.

Rutiranje predstavlja neophodnu funkciju telekomunikacionih mreža koja omogućuje prosljeđivanje poziva od izvorišta do odredišta i suštinski utiče na arhitekturu, planiranje i upravljanje mrežom, kao organizacijom komutacionih sistema međusobno povezanih transmisionim linkovima. Dinamičko rutiranje, u odnosu na fiksno, ima dve osnovne prednosti. Prvo, povećava efikasnost korišćenja resursa mreže promenom šema



rutiranja u skladu sa promenom saobraćajnih zahteva. Drugo, neograničavanjem broja mogućih ruta, što je slučaj u hijerarhijskoj strukturi sa fiksnim rutiranjem, povećava fleksibilnost. Prednosti dinamičkog nad fiksnim rutiranjem se ogledaju i u tome što praktično nema blokiranja tokom normalnih radnih dana i vikendom, poboljšane su performanse pri opterećenjima i oštećenjima mreže, smanjuju se kapitalni troškovi primenom boljih rešenja pri projektovanju i planiranju mreže, a takođe i kroz centralizaciju i automatizaciju upravljanja mrežom i sveukupno povećanje kvaliteta i fleksibilnosti servisa. Dinamičko rutiranje pruža mogućnost za samostalni oporavak mreže obezbeđenjem selekcije ruta širom mreže. Ono podrazumeva dinamičku izmenu tabela rutiranja, i to u unapred planiranim trenucima vremena, ili on-line u realnom vremenu. Postoji veći broj kategorija dinamičkog rutiranja u telekomunikacionim mrežama, kako operativnih tako mnogih drugih, koje se preporučuju preko raznih kriterijuma, poput efikasnosti planiranja mreže, cene i kompleksnosti implementacije, performansi. Kod metoda dinamičkog rutiranja sa prethodnim planiranjem šeme rutiranja, koje se nalaze u tabelama, mogu se menjati na svaki sat ili bar nekoliko puta dnevno da bi odgovorili poznatim promenama saobraćajnog opterećenja. Unapred planirane tabele dinamičkog rutiranja se menjaju u određenim vremenskim intervalima koji su uobičajeno mnogo veći od trajanja poziva.

Projektovanje mreža sa dinamičkim rutiranjem se vrši na osnovu modela optimizacije tokova. Prema ITU-T preporukama [6] postoje tri vrste modela višecasovnog projektovanja mreže: modeli optimizacije toka na bazi diskretnih događaja, modeli optimizacije tokova virtuelnih kanala i modeli optimizacije toka saobraćaja.

Modeli optimizacije toka saobraćaja vrše optimizaciju rutiranja saobraćajnih tokova i kapaciteta odgovarajućih linkova. Takvi modeli tipično rešavaju matematičke jednačine koje analitički opisuju rutiranje saobraćajnih tokova, i ako se koriste za projektovanje mreža sa dinamičkim rutiranjem, često rešavaju modele optimizacije linearnim programiranjem. Postoje različiti tipovi modela optimizacije toka saobraćaja, u zavisnosti od toga kako se tok dodeljuje linkovima, putanjama ili rutama. U fiksnom mrežnom projektovanju, tok saobraćaja se dodeljuje direktnim linkovima, a prelivni sa njih se rutira alternativnim putanjama kroz mrežu. U dinamičkom mrežnom projektovanju, modeli toka saobraćaja su često zasnovani na putanji, i tada se tok saobraćaja dodeljuje pojedinim putanjama, ili su zasnovani na ruti, kada se tok saobraćaja dodeljuje rutama.

Rutiranje po najkraćoj/najjeftinijoj putanji daje pristup putanjama po redosledu troškova, tako da se prioritet daje direktnim vodovima u odnosu na skuplje alternativne putanje. Rute se konstruišu po specifičnim pravilima izbora putanja. Model optimizacije toka linearnim programiranjem teži u najvećoj meri ka podeli kapaciteta linka u skladu sa promenama opterećenja u mreži. To se postiže ujednačavanjem opterećenja linkova tokom najopterećenijih perioda rada mreže, tako da svaki link bude maksimalno iskorišćen tokom svih vremenskih perioda. U postupku projektovanja ruta se pronalazi najkraća putanja između čvorova u mreži, vrši se njihovo rangiranje kao potencijalnih ruta, i koristi se linearno programiranje za dodelu toka saobraćaja potencijalnim rutama.

Pogodnom modifikacijom tog modela moguće je izvršiti optimizaciju dodatnih kapaciteta koji su potrebni u mreži da bi se smanjio uticaj nesigurnosti prognoze saobraćaja.

U mrežama sa dinamičkim rutiranjem sa prethodnim planiranjem, moguće je projektovati dodatak sa minimalnim troškovima u postojećem kapacitetu mreže. Za

dinamičko rutiranje sa prethodnim planiranjem, modifikovani višečasovni model optimizacije dozvoljava projektovanje kapaciteta i ruta sa inicijalnim kapacitetima linka na donjoj granici projektovanih. Model uzima u obzir težnju za ne pomeranjem vodova. Ova procedura ograničava dodavanje vodova na one koji su potrebni za zadovoljenje prognoziranog saobraćaja i stoga postiže manji rezervni kapacitet. Generalizacija ovog projektovanja procedurom upravljanja kapacitetom je podešena na minimalne veličine linkova da bi bilo omogućeno isključivanje (diskonekcija) vodova. To se postiže određivanjem donje i gornje granice veličine za svaki link i korišćenjem ovih granica se prave inicijalna podešavanja veličina linkova pre projektovanja upravljanja kapacitetom.

Inicijalna mreža koja je na ovaj način definisana se koristi kao početna mreža za projektovanje kapaciteta, i poređenjem rezultata sa postojećom mrežom mogu se odrediti stvarna dodavanja i smanjenja kapaciteta koja moraju biti učinjena u procesu projektovanja kapaciteta. U normalnim uslovima rasta, trenutni vodovi (a ne gornje i donje njihove granice) se najčešće koriste u inicijalnim mrežama, čime se postiže primarni efekat korišćenja za rutiranje saobraćaja po stvarnim (postojećim) vodovima i time se minimizira preuređenje.

Model optimizacije tokova se sastoji od iterativne procedure sa četiri osnovna koraka: selekcija isplativih putanja saobraćaja, optimizacija tokova po putanjama, dimenzionisanje linkova tako da odgovaraju optimalnim tokovima i ažuriranje inkrementalne jedinice troškova i optimalnog blokiranja za sledeću iteraciju. Procedure za projektovanje kapaciteta u slučaju projektovanja ruta sa prethodnim planiranjem obuhvataju modifikacije koraka projektovanja ruta i projektovanja kapaciteta da bi se omogućilo postojećim kapacitetima linkova da budu iskorišćeni kao donje granice projektovanih kapaciteta linkova.

Nakon primene projektovanja kapaciteta uključujući projektovanje sa prethodnim planiranjem, ako realizovani saobraćaj pređe prognoziranu vrednost i uzrokuje neprihvatljivo blokiranje, potrebna je brza korekciona akcija u obliku kratkoročnog projektovanja kapaciteta. U mrežama sa fiksnim rutiranjem kratkoročno projektovanje kapaciteta je ograničeno na dopunjavanje linka. U mrežama sa dinamičkim rutiranjem saobraćaja sa prethodnim planiranjem, šablon unapred planiranog rutiranja se može modifikovati u procesu kratkoročnog projektovanja kapaciteta tako da se izvrši redukcija mrežnog dopunjavanja.

## **5. Zaključak**

Ulazne podatke za proces projektovanja telekomunikacione mreže treba da obezbedi adekvatno sproveden postupak prognoziranja svih relevantnih parametara mreže. Postojanje nesigurnosti je prateća i neizbežna pojava u ovom postupku. U radu su navedeni mogući izvori nesigurnosti među kojima je najznačajniji procenjeni intenzitet saobraćaja. Međutim, adekvatnim načinima, koji su opisani u radu, posledice pojave nesigurnosti saobraćaja se mogu otkloniti ili ublažiti. Svi navedeni postupci ukazuju na potrebu sprovođenja projektovanja telekomunikacione mreže sa korektno odabranim intervalom poverenja za ključne parametre, koji će obezbediti optimalne kapacitete sistema, tako da projektovani sistem funkcioniše obezbeđujući zahtevani kvalitet.

## Literatura

- [1] V.G. Fisher *Evolutionary Design of Corporate Networks under Uncertainty*, Technischen Universität München, 2000.
- [2] ITU-T Recommendation E.507, *Models for forecasting international traffic*, ITU-T Geneva, 1993
- [3] N. Geary, A. Antonopoulos, E. Drakopoulos, J. Reilly, J. Mitchel: A Framework for Optical Network Planning under Traffic Uncertainty, *Design of Reliable Communication Networks 2001, Proceedings, IEEE 2001*.
- [4] N. Geary, A. Antonopoulos, J. Mitchel: Network and business modelling under traffic forecast uncertainty: a case study, *Design of Reliable Communication Networks 2003, Proceedings, IEEE 2003*.
- [5] S. Verbrugge, D. Colle, M. Pickavet, P. Demeester, Common planning practices for network dimensioning under traffic uncertainty, *Design of Reliable Communication Networks 2003, Proceedings, IEEE 2003*
- [6] ITU-T Recommendation E.360.6: *QoS routing and related traffic engineering methods – Capacity management methods*, Geneva 2003.
- [7] Aleksandra Kostić-Ljubisavljević, Goran Marković, Vladanka Aćimović-Raspopović, Projektovanje ruta u telekomunikacionim mrežama sa dinamičkim rutiranjem saobraćaja, *Etran2005 Zbornik radova*
- [8] Vladanka Aćimović-Raspopović, Aleksandra Kostić-Ljubisavljević, Valentina Radojičić, "Dynamic Routing Design under Forecast Uncertainty", *Telsiks 2003*, Niš, October 2003., pg 30-34.

**Abstract:** *The task of planning and decision making almost inevitably has to deal with uncertainties. It is important to identify and understand uncertainties, especially key uncertainties. Uncertainty is a problem for network planning since networks are dimensioned around traffic forecast. In this paper we identify some parameters to describe an uncertain traffic forecast, and present some methods which can be used in process of decreasing uncertainty influence in telecommunication network design.*

**Keywords:** *Uncertainty, Traffic Forecast, Network Planning and Design*

## TELECOMMUNICATION NETWORK DESIGN UNDER TRAFFIC FORECAST UNCERTAINTY

Valentina Radojičić, Aleksandra Kostić-Ljubisavljević