

METODOLOGIJA PLANIRANJA MREŽE

Valentina Radojičić, Goran Marković, Aleksandra Kostić-Ljubisavljević
Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu

Sadržaj: *Planiranje i dizajniranje telekomunikacione mreže je iterativni proces, koji objedinjuje projektovanje topologije i komponenata mreže, u cilju njenog optimalnog funkcionisanja, tako da se zadovolje zahtevi korisnika i operatora. Ovaj proces treba prilagoditi postojećoj telekomunikacionoj mreži a treba ga uvek sprovoditi pre uspostavljanja nove telekomunikacione mreže ili servisa. U radu je detaljno opisan proces planiranja telekomunikacione mreže, koji se bazira na rešavanju osnovnih zadataka: projektovanje topologije mreže, projektovanje komponenata mreže i realizacija mreže. Opisani su osnovni kriterijumi i neophodni ulazni parametri za sam proces planiranja mreže.*

Ključne reči: *dizajniranje topologije, dimenzionisanje, planiranje, prognoziranje, optimizacija;*

1. Uvod

Planiranje i projektovanje telekomunikacione mreže je iterativni postupak, koji objedinjuje projektovanje topologije mreže i sastavnih komponenata mreže, u cilju optimalnog funkcionisanja mreže, tako da se zadovolje zahtevi korisnika i operatora mreže. Ovaj postupak treba prilagoditi postojećoj telekomunikacionoj mreži a treba ga uvek sprovoditi pre uspostavljanja nove telekomunikacione mreže ili servisa.

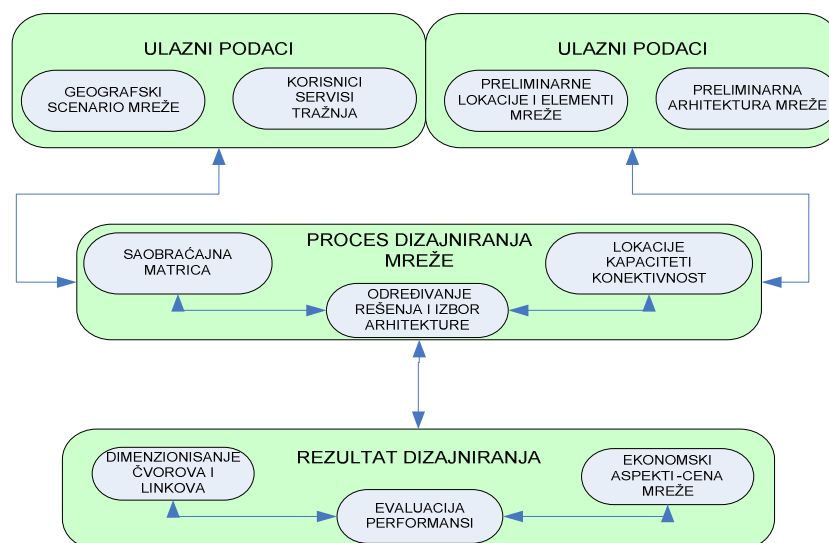
Kriterijumi koje je neophodno ispoštovati kod projektovanja telekomunikacione mreže mogu se svesti na sledeće:

- zadovoljiti procenjenu tražnju za servisima i projektovano saobraćajno opterećenje u posmatranom vremenu, pri čemu se opterećenje čvorova i linkova bazira na rezultatima merenja saobraćaja i prognoziranim vrednostima;
- pronaći kompromis imedju zahteva kvaliteta servisa-QoS (Quality of service) i troškova, što praktično podrazumeva modeliranje saobraćaja za zadati kvalitet, efikasnost i zaštitu od zagađenja;
- predvideti potreban kapacitet kao funkciju rasta zahteva za servisima; predvideti optimalni period proširenja sistema kao i adekvatnu rezervu sistema;

Proces planiranja i projektovanja mreže je veoma kompleksan i multidisciplinaran postupak koji u osnovi uključuje sledeće korake:

- definisanje ulaznih podataka,
- projektovanje optimalne topologije mreže,
- izbor i dimenzionisanje elemenata mreže i
- realizacija mreže.

Ovi koraci su medjusobno povezani i zbog toga se sprovode u iterativnom postupku i/ili uporedo jedan sa drugim, kao što je prikazano na Slici 1.



Slika 1. Iterativni postupak planiranja mreže

Proces planiranja mreže može se sprovoditi prema različitim aspektima: prema nivou detaljnosti (nivo mreže, nivo prenosnog puta, nivo elemenata mreže), prema hijerarhijskom nivou mreže (pristup, jezgro, okosnica), prema tipu tehnologije (PSTN, SDH, ATM, IP itd.) ili servisa (POTS, podaci, VoIP, video itd.). Na bilo kom nivou planiranje se obavezno sprovodi za odgovarajuću dimenziju vremena (kratkoročno, srednjeročno i dugoročno). Dugoročno planiranje je strateškog karaktera i predstavlja obvojnici za sva druga planiranja. Kratkoročno planiranje je najdetaljnije i mora se sprovoditi u koordinaciji sa vremenom ispunjavanja svake predviđene aktivnosti. Svaki vid planiranja mora koristiti manje ili više detaljnu prognozu zahtevanih veličina. Planiranje pristupnog dela telekomunikacione mreže se zasniva direktno na prognoziranom raspodeli broja korisnika. Na višim nivoima mreže, prognoza broja korisnika nije potrebna u postupku planiranja mreže, planiranje mreže se zasniva na prognoziranim vrednostima saobraćaja.

U radu su opisani osnovni koraci u postupku planiranja telekomunikacione mreže. Definisani su osnovni kriterijumi i neophodni ulazni parametri za sam proces planiranja mreže. Pored toga, opisani su neki optimizacioni modeli/problemi koje je neophodno rešavati u okviru procedure dizajniranja mreže.

2. Ulazni parametri za planiranje

Planiranje mreže počinje prikupljanjem odgovarajućih podataka koji se mogu svrstati u sledeće grupacije: Geografski scenariji; Korisnici, servisi i saobraćaj; Tehnološke karakteristike; Postojeća mreža; Performanse i Ekonomski aspekti.

Geografski scenario podrazumeva tip i strukturu svakog saobraćajnog područja (gradsko, ruralno, mešovito i dr.), broj servisnih područja, razdaljinu do jezgra servisnog područja i dr. Svako posmatrano saobraćajno područje se analizira preko broja i gustine stanovnika ili broja i raspodele domaćinstava. Za prikazivanje saobraćajnog područja mogu se koristiti digitalne mape u različitim razmerama (od 1:5000 do 1:1000). U okviru geografskih scenarija neophodno je unapred definisati pristupne tačke interkonekcije i regulatorna ograničenja.

Korisnici, servisi i saobraćaj se predstavljaju za odgovarajuće kategorije korisnika: rezidencijalni i poslovni (npr. male kućne kancelarije, manje kompanije i velike institucije i korporacije). Saobraćaj se posmatra za različite tipove servisa: POTS, ISDN bazni/primarni pristup, iznajmljene linije (64, n x 64, 2 Mb/s), xDSL, SDH, VoIP, IPTV i sl.

Izbor odgovarajuće tehnologije se bazira na proceni buduće tražnje i planiranom proširenju mreže. Pri izboru tehnologija za novu ili postojeću mrežu, veoma veliki broj različitih faktora se mora uzeti u razmatranje, što proces planiranja čini neizvesnim, a ponekada i izuzetno rizičnim. U razvijenim zemljama, zahtevi u mreži se mogu značajno razlikovati u urbanim i ruralnim oblastima, što za posledicu ima različite infrastrukturne i tehnološke zahteve.

Postojeća mreža uzima u obzir postojeće lokacije čvorova mreže, granice i veličine saobraćajnih područja, postojeće linkove i njihove kapacitete, stepen iskorišćenosti, lokacije objekata, rezerve i mogućnosti proširenja i sl.

Performanse mreže obuhvataju parametre QoS (protok, kašnjenje, varijacija kašnjenja, verovatnoća gubitka paketa, i dr.), raspoloživost (MTBF, MTTR, isl.) celokupnog sistema i pojedinih komponenata, stepen bitske greške-BER i dr.

Ekonomski aspekt planiranja obuhvata pored opštih troškova (zajedničkih za sve primenjene tehnologije) i prikaz troškova svake predložene solucije (troškove NE, troškove radne snage, troškove projektovanja, instalacije i testiranja, operativne i troškove održavanja, troškove interkonekcije, marketinga i dr.

3. Projektovanje optimalne topologije mreže

Projektovanje optimalne topologije mreže, kao faza procesa planiranja opredeljuje kako se komponente mreže međusobno povezuju. Optimalna topologija mreže se bazira na primeni teorije grafova. Ove metode treba da uključe udaljenost između čvorova, troškove prenosa i komutacije kao kriterijume za optimizaciju. Ključno pitanje koje je neophodno rešiti u postupku optimizacije se odnosi na izbor najboljih lokacija na koje treba postaviti čvorove jezgra mreže, tako da se ukupni troškovi međusobnog povezivanja svih čvorova u datoj mreži minimiziraju. Postoje dva osnovna tipa problema koji se rešavaju u okviru procedure dizajniranja topologije mreže.

- Prvi tip se uobičajeno naziva *lokacijski problem* i ne uzima u obzir saobraćajne zahteve između pojedinih parova čvorova u mreži. Ovaj tip problema spada u

klasične probleme dizajniranja fizičke topologije mreže i rešava se u ranim fazama planiranja mreže, kada saobraćajni zahtevi u mreži nisu poznati ili se ne mogu adekvatno proceniti. Pri rešavanju ovog problema u obzir se uzimaju samo osnovni troškovi (nezavisni od kapaciteta) linkova i čvorova mreže. Cilj rešavanja ovog tipa problema je određivanje najboljih lokacija čvorova i potencijalnih linkova u mreži tako da se dobije odgovarajuća topologija koja poseduje zahtevani stepen konektivnosti uz minimalne troškove.

- Drugi tip problema dizajniranja topologije mreže objedinjeno uzima u obzir i vrednosti saobraćajnih zahteva i troškove koji zavise od kapaciteta opreme. Pri rešavanju ovog tipa problema, simultano se određuju lokacije pojedinih čvorova/linkova, kao i vrednosti tokova saobraćaja i potrebnih kapaciteta elemenata mreže.

3.1. Problem određivanja lokacija čvorova

U procesu dugoročnog planiranja inicijalne konfiguracije mreže, jedan od ključnih problema se odnosi na određivanje lokacija čvorova u mreži. Pod pojmom čvora mreže generalno se može podrazumevati različita oprema, kao što su komutaciona oprema, ruteri, hab-ovi ili tačke pristupa. Problem određivanja lokacija čvorova (*node location problem*) može se formulisati na sledeći način: *potrebno je povezati N čvorova za pristup (access nodes) preko M potencijalnih lokacija tranzitnih čvorova (core nodes) u mreži, tako da se minimiziraju ukupni troškovi mreže*. Matematički se ovaj problem može formulisati preko zadatka celobrojnog linearnog programiranja (ILP, Integer Linear Programming) u sledećoj formi:

$$\min F = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M c_{i,j} x_{i,j} + \sum_{j=1}^M w_j y_j.$$

pri ograničenjima:

$$\sum_{j=1}^M x_{i,j} = 1, \forall i = 1, 2, \dots, N \quad \text{i} \quad \sum_{i=1}^N x_{i,j} \leq K_j \cdot y_j, \quad \forall j = 1, 2, \dots, M$$

gde su:

- N - broj (*access*) čvorova u mreži,
- i - redni broj *access* čvora, $i=1, 2, \dots, N$
- M - broj tranzitnih (*core*) čvorova u mreži,
- j - potencijalne lokacije *core* čvorova, $j=1, 2, \dots, M$
- $c_{i,j}$ - cena povezivanja para čvorova (i, j),
- K_j - kapacitet *core* čvora j (maksimalni broj *access* čvorova koji se mogu povezati na dati *core* čvor),
- w_j - cena instalacije *core* čvora na lokaciji j ,

Celobrojne (binarne) promenljive u ovoj formulaciji imaju sledeća značenja:

$x_{i,j} = 1$, ako je čvor i povezan sa čvorom j , 0, u suprotnom
 $y_j = 1$, ako je *core* čvor otvoren na lokaciji j , 0, u suprotnom

Kriterijumska funkcija F ima za cilj da minimizira ukupne troškove mreže, koje čine troškovi povezivanja *access* i *core* čvorova, kao i troškove instalacije *core* čvorova na izabranim lokacijama. Prvi skup ograničenja obezbeđuje da svaki *access* čvor bude povezan sa po jednim tranzitnim čvorom. Drugi skup ograničenja se odnosi na činjenicu da svaki tranzitni čvor (ukoliko je instaliran na nekoj lokaciji) raspolaže sa ograničenim resursima, tj. na njega se, u zavisnosti od raspoloživog kapaciteta, može povezati ograničeni broj *access* čvorova. Sve celobrojne promenljive su binarnog tipa (0-1). Prikazani kombinatorni optimizacioni problem se može rešavati egzaktno (u slučaju manjih dimenzija problema), primenom aproksimativnih tehnika ili heurističkih algoritama [1] [3].

3.2. Kombinovani problem lokacije čvorova i konektivnosti mreže

Osim rešavanja klasičnog problema lokacije *core* čvorova radi povezivanja *access* čvorova, tranzitni (*core*) čvorovi se takođe moraju međusobno povezati kako bi formirali mrežu. Pri tome, svakom linku koji povezuje *core* čvorove takođe se pridružuju odgovarajući troškovi. Problem, koji se u vezi sa tim mora rešavati, odnosi se na izbor optimalnih lokacija *core* čvorova tako da se minimiziraju ukupni troškovi konektivnosti (povezivanja *access* i *core* čvorova, kao i međusobnog povezivanja *core* čvorova) i troškovi instalacije (otvaranja) čvora na nekoj lokaciji. Opisani problem naziva se kombinovanim problemom određivanja optimalnih lokacija čvorova i konektivnosti mreže.

Za razliku od klasičnog problema lokacije čvorova (formulisanog u 3.1), u kojem se pretpostavlja da su lokacije *core* čvorova unapred definisane skupom potencijalnih lokacija, ovim problemom se određuju optimalne lokacije *core* čvorova iz skupa svih mogućih lokacija čvorova u mreži.

Dakle, za potencijalne lokacije *core* čvorova smatraju se sve lokacije na kojima se nalaze pojedini *access* čvorovi. Rešavanjem ovog problema određuje se optimalan skup lokacija na kojima treba instalirati *core* čvorove tako da se minimizira ukupna cena mreže. Svakom paru čvorova (i,j) u mreži pridružuje se odgovarajuća cena povezivanja, $c_{i,j}$. Uobičajeno se podrazumeva da se vrednosti c_{ii} razlikuju za svako i (tj, $c_{ii} \neq c_{kk}$, ako je $i \neq k$). Zbog uslova simetričnosti ($c_{i,j}=c_{j,i}$), važi da je $x_{i,j}=x_{j,i}$, tj. rešavanje problema se može ograničiti samo na promenljive $x_{i,j}$, za koje važi da je $i \leq j$, pri čemu je $i, j = 1, 2, \dots, N$.

Ako sa P označimo ukupan broj *core* čvorova u mreži, $P < N$, opisani optimizacioni problem može se matematički formulisati u sledećoj formi:

$$\min F = \sum_{i=1}^N \sum_{j=i}^N c_{ij} x_{ij} + \sum_{j=1}^N w_j y_j$$

pri ograničenjima

$$\sum_{i=1}^N x_{ij} - (P - 1) \cdot y_j \geq 1, \quad \forall j = 1, 2, \dots, N$$

$$\sum_{i=1}^N x_{ij} - (K_j + P - 2) \cdot y_j \leq 1, \quad \forall j = 1, 2, \dots, N$$

$$\sum_{j=1}^N y_j = P$$

$$\sum_{i=1}^N x_{ii} = P$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=i}^N x_{ij} = N + P(P - 1)/2$$

$$x_{i,j}, y_j \in \{0, 1\}, \quad \forall i, j = 1, 2, \dots, N.$$

Ograničenja u prikazanoj formulaciji mogu se detaljnije objasniti na sledeći način. Inicijalno se podrazumeva da svaka lokacija može biti potencijalna lokacija i za *access* čvor i za *core* čvor, pa je neophodno za svaki čvor mreže posebno razmotriti svaku od ovih mogućnosti. Ukoliko se neka lokacija *i*, posmatra kao potencijalna lokacija za *access* čvor, tada je neophodno da ona bude povezana najviše sa jednim *core* čvorem, tj:

$$\sum_{j=1}^N x_{i,j} = 1, \quad \forall i = 1, 2, \dots, N$$

što se može ekvivalentno zapisati u sledećoj formi:

$$\sum_{j=1}^N x_{i,j} \geq 1 \quad \text{ i } \quad \sum_{j=1}^N x_{i,j} \leq 1, \quad \forall i = 1, 2, \dots, N$$

Sa druge strane, ukoliko je neka lokacija *j*, izabrana kao lokacija za *core* čvor, tada ona mora da omogući povezivanje sa najmanje jednim *access* čvorem (uključujući i mogućnost da taj *core* čvor bude ujedno i *access* čvor). S obzirom na zahtev da svi *core* čvorovi budu međusobno potpuno povezani, tj. da svaki čvor *j* bude povezan sa preostalim *P-1* *core* čvorova, dobija se skup ograničenja :

$$\sum_{i=1}^N x_{i,j} \geq P, \quad \forall j = 1, 2, \dots, N$$

Uzimajući u obzir uslov simetričnosti ($x_{i,j} = x_{j,i}$), kombinacija prethodnih ograničenja i promenljive y_j , dovodi do skupa ograničenja:

$$\sum_{i=1}^N x_{i,j} \geq P \cdot y_j + (1 - y_j), \quad \forall j = 1, 2, \dots, N$$

Svaki *core* čvor na lokaciji *j* može biti povezan sa najviše K_j *access* čvorova i *P-1* preostalih *core* čvorova, što se opisuje sledećim skupom ograničenja:

$$\sum_{i=1}^N x_{i,j} \leq K_j + P - 1, \quad \forall j = 1, 2, \dots, N$$

Prethodna relacija se može, uvođenjem promenljive y_j , i uz uslov simetričnosti, izraziti u sledećem obliku:

$$\sum_{i=1}^N x_{i,j} \leq (K_j + P - 1) \cdot y_j + (1 - y_j), \quad \forall j = 1, 2, \dots, N$$

Ukupan broj lokacija na kojima mogu da se nalaze *core* čvorovi mora biti jednak P , što je zadovoljeno skupom ograničenja :

$$\sum_{j=1}^N y_j = P$$

Takođe, *access* čvorovi koji se nalaze na lokacijama *core* čvorova, moraju biti sa njima povezani, što je definisano sledećim skupom ograničenja:

$$\sum_{i=1}^N x_{i,i} = P$$

Ograničenje vezano za ukupan broj linkova u mreži (po jedan link između svakog *access* i odgovarajućeg *core* čvora, i $P(P-1)/2$ linkova u potpuno povezanoj *core* mreži), uzimajući u obzir i uslov simetričnosti, dato je izrazom:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=i}^N x_{i,j} = N + P(P-1)/2$$

Konačno sve promenljive su celobrojne binarne promenljive, što je definisano poslednjim ograničenjem u definisanom skupu ograničenja:

$$x_{i,j}, y_j = \{0, 1\}, \quad \forall i, j = 1, 2, \dots, N.$$

3.3 Integralni pristup dizajniranja topologije mreže

U opisanim problemima određivanja lokacija čvorova i linkova u mreži (razmatranim u 3.1 i 3.2) u obzir nisu uzimani saobraćajni zahtevi između pojedinih parova čvorova, s obzirom da se u procesu planiranja mreže, saobraćajni zahtevi uobičajeno razmatraju tek nakon završetka procedure određivanja lokacija čvorova i linkova u *core* mreži. Međutim, integralna formulacija problema dizajniranja topologije mreže, koja u okviru jedinstvenog modela rešava probleme određivanja lokacija čvorova, konektivnosti mreže i alokacije tokova saobraćaja/kapaciteta linkova je od posebnog značaja, s obzirom da obim saobraćaja ima direktan uticaj na optimalno dimenzionisanje linkova i čvorova mreže. Pretpostavljajući da se čvorovi za pristup nalaze na prethodno definisanim lokacijama, moguće je formulisati sledeća dva scenarija dizajniranja topologije mreže, koji u obzir uzimaju i vrednosti saobraćajnih zahteva između njih:

1. *core* čvorovi su već instalirani (ili se nalaze na definisanim lokacijama), tako da je cilj pronaći plan konektivnosti *core* mreže, kao i odgovarajuće tokove saobraćaja po pojedinim linkovima i njihove kapacitete,
2. poznate su jedino lokacije *access* čvorova, pri čemu se istovremeno moraju odrediti optimalne lokacije *core* čvorova i linkova koji ih povezuju, zajedno sa tokovima saobraćaja i potrebnim kapacitetima pojedinih linkova u *core* mreži.

U prvom slučaju, neophodno je odrediti između kojih *core* čvorova treba uspostaviti linkove, za date saobraćajne zahteve između *access* čvorova, dok je u drugom slučaju neophodno odrediti i optimalne lokacije *core* čvorova.

Uvodeći sledeće notacije:

- $d=1, 2, \dots, D$ - redni broj saobraćajnog zahteva
 $p=1, 2, \dots, P$ - potencijalne rute za saobraćajni zahtev d

$e=1,2,\dots,E$	- linkovi u mreži
h_d	- obim saobraćaja zahteva d
δ_{edp}	- uzima vrednost 1 ukoliko link e pripada ruti p za zahtev d , u suprotnom 0,
c_e	- marginalni troškovi kapaciteta na linku e
k_e	- troškovi instalacije (uspostavljanja) linka e
M_e	- maksimalni raspoloživi kapacitet na linku e
x_{dp}	- vrednost toka saobraćajnog zahteva d koji se dodeljuje ruti p (nenegativna promenljiva)
y_e	- kapacitet linka e (nenegativna promenljiva)
u_e	- ima vrednost 1, ukoliko je link e uspostavljen, 0 u suprotnom (binarna promenljiva)

matematička formulacija problema dizajniranja topologije mreže, koja u obzir uzima i saobraćajne zahteve između pojedinih čvorova u mreži, može se izraziti u sledećem obliku:

$$\min F = \sum_{e=1}^E c_e y_e + \sum_{e=1}^E k_e u_e$$

pri ograničenjima,

$$\sum_{p=1}^{P_d} x_{dp} = h_d, \quad d = 1, 2, \dots, D$$

$$\sum_{d=1}^D \sum_{p=1}^{P_d} \delta_{edp} x_{dp} \leq y_e, \quad e = 1, 2, \dots, E$$

$$y_e \leq M_e u_e, \quad e = 1, 2, \dots, E$$

Kriterijumska funkcija F obezbeđuje minimizaciju ukupne cene mreže, kako sa aspekta potrebnih kapaciteta (troškova) na pojedinim linkovima, tako i sa aspekta instalacionih troškova mreže. Prikazanom formulacijom se određuju optimalne lokacije linkova u *core* mreži, uz pretpostavku da su lokacije *core* čvorova prethodno definisane. Prvi skup ograničenja obezbeđuje, da se vrednost ukupnog saobraćaja za pojedinačni zahtev d , raspodeljuje na skup potencijalnih ruta za dati par čvorova. Drugi skup ograničenja obezbeđuje da kapacitet nekog linka e ne bude manji od zbira pojedinačno dodeljenih tokova saobraćaja tom linku. Poslednjim ograničenjem se postiže da kapaciteti neuspostavljenih linkova budu jednaki 0. Prikazana formulacija se može (uvođenjem dodatnih ograničenja i promenljivih) proširiti i na slučaj određivanja lokacija *core* čvorova, ali se time značajno povećava kompleksnost rešavanja problema.

4. Izbor i dimenzionisanje komponentata mreže

Izbor i dimenzionisanje komponentata mreže bazira se na sledećim aktivnostima:

- *Opis saobraćajnih karakteristika* za servise i tokove saobraćaja u mreži;
- *Prognoziranje saobraćaja* na pojedinim elementima mreže;
- *Modelovanje arhitekture mreže*;

- *Dimenzionisanje elemenata mreže;*
- *Merenja saobraćaja na nivou mreže, putanje i elemenata mreže;*

Opis saobraćajnih karakteristika - ima za cilj da prikaže karakter tražnje za pojedinim servisima. Najčešće se prikazuje kroz: dnevne saobraćajne profile različitih servisa, čas glavnog opterećenja, zbirni prikaz saobraćajnih tokova različitih servisa i interesne faktore između saobraćajnih područja. Snimanje saobraćaja se može sprovoditi na nivou poziva, sesije ili na paketskom nivou, uz moguće dodatne klasifikacije različitih tipova saobraćaja (npr. CBR-Constant Bit Rate, VBR-Variable Bit Rate, UBR-Unspecified Bit Rate). Za sam postupak snimanja saobraćaja važno je pravilno definisati referentne periode merenja, kao prave reprezentе ponašanja saobraćajnih tokova. Neophodno je razmotriti referentni period u slučaju podudaranja ili nepodudaranja perioda pojačanog intenziteta saobraćaja različitih servisa. Generalno, moguće je modeliranje tokova saobraćaja za odgovarajući stepen nailazaka zahteva i srednje vreme trajanja razgovora ili sesije (arrival rates, mean holding time).

Prognoziranje saobraćaja – je procena budućih saobraćajnih potreba. Saobraćaj se procenjuje od tačke do tačke, posebno za svaki pravac i kategoriju korisnika. S obzirom na veoma izražen trend porasta obima saobraćaja, posebno širokopojasnih servisa, neophodno je posvetiti posebnu pažnju prognoziranju saobraćaja u domenu transportnih mreža. Za prognoziranje ukupnog saobraćaja u transportnim mrežama, koji je generisan od strane različitih segmenata telekomunikacionog tržišta, neophodno je primeniti *bottom-up* pristup prognoziranju ukupnog obima saobraćaja, tako što se najpre prognozira obim saobraćaja po pojedinačnim segmentima tržišta [8]. Odvojeno se posmatra rezidencijalno, poslovno i tržište mobilnih servisa. Navedenim segmentima tržišta pridodat je i saobraćaj koji generišu ostali učesnici na tržištu.

Za prognoziranje rezidencijalnih korisnika kao osnovna razvojna promenljiva posmatra se broj domaćinstava i stepen penetracije. Kod prognoziranja saobraćaja poslovnih korisnika, kategorizacija se vrši na osnovu kapaciteta pristupnih linija. Za prognoziranje ukupnog broja poslovnih korisnika na posmatranom području poželjno je koristiti nekoliko različitih metoda, koje bi trebalo kombinovati. Idealno bi bilo kombinovati regresione metode zasnovane na socio-ekonomskom razvoju, trend metode, kao i komparativne pristupe uz subjektivnu procenu eksperata [7]. Broj poslovnih linija u svakoj saobraćajnoj zoni se prognozira na bazi razvojnih i urbanističkih planova grada, informacijama od srednjih i velikih kompanija, institucija i službenih organizacija. Prognozirani saobraćaj koji generiše tržište mobilnih korisnika se dobija tako što se pojedinačno prognozira saobraćaj svakog operatora na tržištu. Faktori koncentracije saobraćaja, iskorišćenost pristupnih kapaciteta kao i srednji kapacitet pristupa se posmatraju posebno za različite generacije mobilnih korisnika. Ukupan saobraćaj koji se generiše ka transportnoj mreži se dobija agregacijom prognoziranih vrednosti saobraćaja pojedinih segmenata tržišta [6].

Modelovanje arhitekture mreže – podrazumeva tehnologiju korišćenu za izgradnju same mreže. Pogodnosti mreže zavise od odabrane arhitekture i same konfiguracije mreže. Arhitektura mreže se može posmatrati: (1) na nivou globalne mreže - koja uključuje celokupnu topologiju mreže, uključujući rutiranje i procedure upravljanja saobraćajem; (2) na nivou putanje s kraja na kraj mreže - koja uključuje scenarije za različite tipove korisnika (npr. VoIP - VoIP, VoIP – POTS) i segmente mreže (npr.

korisnik do GW); (3) na nivou elemenata mreže - za pojedine čvorove mreže (npr. RSU, POP, GW, IP ruter itd.) i linkove na funkcionalnom, prenosnom i fizičkom nivou.

Arhitektura mreže sadrži četiri podnivoa [9]:

- QoS arhitektura (Quality of service architecture);
- Arhitektura prosleđivanja podataka (Data Forwarding Architecture);
- Signalizaciona arhitektura (Signaling Architecture) i
- Sigurnosna arhitektura (Security Architecture).

QoS arhitektura opisuje tehničke postupke koji treba da obezbede odgovarajući kvalitet servisa. Po samoj prirodi QoS arhitektura ima striktne posledice na arhitekturu prosleđivanja podataka i signalizacionu arhitekturu (npr. *Intserv* kao QoS arhitektura podrazumeva korišćenje RSVP protokola kao dela signalizacione arhitekture, a može biti praćeno sa IP ili MPLS, kao arhitekturom prosleđivanja podataka). Signalizaciona arhitektura objedinjuje različite signalizacione i kontrolne protokole za upravljanje mrežom, uključujući interne i eksterne protokole rutiranja saobraćaja, QoS signalizacione protokole, protokole za distribuciju labela i sl. Sigurnost same mreže zavisi od nivoa implementacije sigurnosne arhitekture mreže. Ona zavisi od mnogo faktora, kao na primer, od nivoa kvaliteta servisa, sigurnosti operativnog sistema rutera, fizičke sigurnosti same mreže i sl. Sigurnost na nivou samog paketa obuhvata zaštitu podataka, autentifikaciju, poverljivost i nivo zaštite same mreže od neovlašćenih napada.

Dimenzionisanje mreže - Svrha dimenzionisanja resursa mreže je odredjivanje minimalnog zahtevanog kapaciteta tako da se zadovolje zahtevi QoS (Quality of service). Dimenzionisanje se sprovodi za period vršnog opterećenja, ali se zahteva stalno praćenje saobraćajnih zahteva kako bi se blagovremeno proširili resursi mreže. Postupak dimenzionisanja mreže obuhvata odredjivanje optimalne topologije mreže, plana rutiranja, prognozirane saobraćajne matrice, zahteve QoS, na osnovu kojih se odredjuje maksimalni kapacitet elemenata mreže. Osnovne metode za dimenzionisanje mreže mogu se svrstati u *analitičke* (bazirane na gubicima, na kašnjenju i hibridne), metode zasnovane na poznatim *statističkim raspodelama* (Poisson-ove, eksponencijalne, logonormalne, Self-similar, Generalizovane i sl.) i *simulacione* (na bazi diskretnih događaja i na bazi analognih tokova saobraćaja). U ove svrhe mogu se koristiti i poznati softverski alati (OPNET, WANDL, VPISystems i dr.) [2].

Merenja saobraćaja - su potrebna da bi se proverila adekvatnost opreme i dobili pouzdani ulazni podaci kao dobra osnova za dimenzionisanje i planiranje, odnosno prognoziranje rasta telekomunikacione mreže. Adekvatno planiranje telekomunikacione mreže omogućava poboljšanje funkcionisanja celokupne mreže, poboljšanje kvaliteta servisa kao i pravovremeno uvođenje novih servisa, što opravdava troškove merenja, prikupljanja i analiziranja saobraćajnih podataka.

Proces merenja saobraćaja obuhvata: generisanje, sakupljanje i memorisanje podataka o saobraćaju, obradu i analizu podataka (analiza saobraćajnih profila, analiza saobraćajnih tokova, analiza vremena zauzeća, detekcija uskih grla i nivoa zagušenja u mreži, procena izgubljenog prihoda zbog korisnika koji su na listi čekanja, klasifikacija područja po prioritetu u zavisnosti od profitabilnosti i dr.) i predstavljanje rezultata analize.

Merenja se mogu sprovoditi za svako saobraćajno područje posebno, za svaki element mreže, za svaki servis i za pojedine kategorije korisnika. Ovo nije samo zbog

toga što se različiti servisi nalaze na različitom stepenu razvoja životnog ciklusa (od uvođenja do zasićenja na tržištu), već zato što svaki od njih može imati svoj stepen rasta ili razvojni trend. Različite korisničke kategorije iskazuju svoje zahteve potpuno različito, sa različitim uticajnim faktorima.

5. Realizacija mreže

Realizacija mreže podrazumeva aktivnosti projektovanja i upravljanja saobraćajem u cilju očuvanja zahtevane pouzdanosti mreže za zadati projektovani kapacitet mreže. To podrazumeva prikupljanje svih relevantnih informacija vezanih za saobraćaj, troškove i pouzdanost, a potom korišćenje tih informacija za određivanje aktuelnog plana rutiranja saobraćaja. Za razliku od pristupa projektovanju mreža, koje ima za cilj proširenje postojećih resursa mreže (kao što su linkovi, ruteri i sl.), projektovanje saobraćaja ima za cilj promenu saobraćajnih tokova u postojećoj mreži, u cilju izbegavanja mogućeg zagušenja ili zadovoljenja novih ili povećanih zahteva korisnika.

Osnovni zadaci upravljanja i kontrole saobraćaja su: optimalno iskorišćenje resursa mreže, zaštita mreže od zagušenja, aktiviranje mehanizama za uobličavanje saobraćaja, prilagođavanje celokupnog saobraćaja trenutnom stanju u mreži, formiranje redova čekanja koji obezbeđuju protok saobraćaja po prioritetima, u slučaju potrebe odbacivanje ili tagovanje paketa, obezbeđivanje garantovanog QoS korisniku i dr.

Analiziranjem mrežnih statistika može se odrediti kada dolazi do kritičnih trenutaka. Na primer, u mrežama sa paketskom komutacijom kontrola zagušenja treba da obezbedi da podmreža prenese sve ponuđene pakete. Ona je globalna, jer obuhvata ponašanje svih računara, rutera i sve druge činioce koji utiču na smanjenje propusnog kapaciteta podmreže. Kontrola toka se odnosi na saobraćaj od tačke do tačke između određenog pošiljaoca i određenog primaoca. Njen zadatak je da spreči brzog pošiljaoca da podacima zatrpa sporog primaoca. Moguća su dva pristupa problemu kontrole zagušenja: pre nego nastane zagušenje (proširiti resurse ili smanjiti opterećenje odbijanjem usluga određenim korisnicima, sniženjem kvaliteta usluga nekim ili svim korisnicima i prisiljavanje korisnika da svoje zahteve postavljaju na predvidljiv način) i kada zagušenje nastane (usporiti slanje paketa, privremeno obustaviti slanje paketa, odbacivanje paketa, rerutiranje paketa i sl.).

6. Zaključak

Arhitekture telekomunikacionih mreža danas se rapidno menjaju u cilju zadovoljenja stalno rastućih zahteva za implementacijom novih servisa/aplikacija, kao što su: *broadband*, *IP*, *multimedia*, *streaming*, *multicasting*, mobilni servisi i dr. Različite potencijalne solucije arhitekture mreža se moraju uzeti u obzir u cilju što efikasnijeg prelaska postojećih arhitektura (PSTN/PLMN) ka mrežama naredne generacije (NGN), kao rezultat procesa konvergencije različitih aplikacija/servisa koji egzistiraju u okviru iste infrastrukture mreže. Planiranje mreža u takvom okruženju predstavlja izazovan i važan proces za operatore mreža. Različita potencijalna rešenja mrežne arhitekture moraju biti analizirana, koristeći više različitih alata za planiranje. Vodeće telekomunikacione kompanije se obično oslanjaju na softverske alate koji obezbeđuju

brzo ažuriranje podataka. U opštem slučaju, da bi se proces planiranja sa uspehom realizovao, neophodno je ispoštovati sve korake u iterativnom postupku planiranja koji su opisani u radu. Koordinisanost usvojenih planova sa vremenom realizacije je od izuzetne važnosti. Planiranje odgovarajuće topologije mreže zasniva se na rešavanju različitih optimizacionih problema u zavisnosti od definisanih kriterijuma i ograničenja. Celokupna procedura planiranja mreža treba da zavisi od usvojenih kriterijuma za planiranje i adekvatno procenjenih ulaznih parametara.

Literatura

- [1] M. Pioro, D. Medhi, *Routing, Flow, and Capacity Design in Communication and Computer Networks*, The Morgan Kaufmann Series in Networking, Elsevier, 2004.
- [2] S. Raghavan, G. Anandalingam, *Telecommunication planning*, Springer, 2006.
- [3] G. Mauricio, C. Resende, P. Pardalos, *Handbook of optimization in telecommunications*, Springer Science, 2006.
- [4] T. S. Piliouras, *Network design – management and technical perspectives* 2nd Edition, Auerbach Publications, 2005.
- [5] http://www.itu.int/ITU-D/tech/network-infrastructure/ITUVision_NP.pdf
- [6] V. Radojičić, G. Marković, "Prognoziranje saobraćaja u transportnim mrežama", 52. Konferencija ETRAN-a, CD, Palić, 8 - 12. juna 2008.
- [7] K. Stordahl, *Long-term telecommunication forecasting*, Faculty of Information Technology, Mathematics and Electrical Engineering, 2006.
- [8] M. Lyons, F. Burton, B. Egan, T. Lynch, S. Skelton, "Dynamic Modeling of Present and Future Service Demand", *Proceedings of the IEEE*, Vol. 85, No. 10, pp. 1544-1555, October 1997.
- [9] O. Heckman, "The competitive Internet Service Provider", *Technical University Darmstadt*, Germany, John Wiley & Sons, 2006.

Abstract: *Network planning methodology involves a large number of non-trivial issues to be resolved, including the technical, economic and operational aspects. All these issues typically give rise to an overall network planning problem that exhibits a tremendous complexity. Network planning is an iterative process, encompassing relevant input data acquisition, topological design, determining the size of the components subject to required performance criteria and the network-realization which implies determining how to meet the capacity requirements and ensure reliability within the network. This paper describes in detail the network planning methodology which has to be followed before the establishment of a new telecommunications networks or services.*

Keywords: *dimensioning, planning, forecasting, topological design, optimization*

NETWORK PLANNING METHODOLOGY

Valentina Radojičić, Goran Marković, Aleksandra Kostić-Ljubisavljević