

ANALIZA ETX METRIKE U REALNOM PROPAGACIONOM OKRUŽENJU MESH MREŽE

Nataša Nešković¹, Aleksandar Nešković¹, Marija Malnar²

¹Elektrotehnički fakultet u Beogradu,

²Saobraćajni fakultet u Beogradu

Sadržaj: U ovom radu izvršena je analiza ETX metrike primenjene u okviru mesh mreže. Za potrebe njene implementacije izvršeno je modelovanje realnog propagacionog okruženja. Rezultati merenja nivoa snage, dobijeni na realnoj mreži na Elektrotehničkom fakultetu, u frekencijskom opsegu 2.4 GHz, poslužili su kao osnova za utvrđivanje parametara indoor propagacionog modela. ETX metrika i indoor propagacioni model uključeni su u Glomosim simulator. U prethodno definisanom okruženju formirane su dve različite topologije mesh mreža i izvršena njihova analiza sa stanovišta ostvarivih protoka i kašnjenja.

Ključne reči: mesh mreže, rutiranje, ETX metrika, indoor propagacioni model

1. Uvod

Bežične mesh mreže (WMN, *Wireless Mesh Networks*) smatraju se tehnologijom koja obećava i imaće važnu ulogu u tehnologijama bežičnih mreža u budućnosti. WMN se primenjuju u različitim aplikacijama u javnim mrežama, javnoj bezbednosti, u rešavanju kriznih situacija, itd [1], [2]. Čvorovi mreže (*mesh routers*) obezbeđuju rutiranje i funkcionalnost mreže. Za WMN se može reći da je samo-organizovana, samo-konfigurisana, samo-obnavljajuća i do neke mere samo-optimizujuća mreža [3].

Protokol rutiranja ima jednu od najvažnijih uloga u formiranju mreže, konfigurisanju i kontrolisanju mrežne topologije. Metrika rutiranja, koju definiše protokol, odgovorna je za određivanje i kreiranje putanja u mreži. U procesu otkrivanja optimalne putanje od izvora do odredišta prenose se i proračunavaju različiti parametri pomoću kojih metrika rutiranja generiše težine mogućih putanja u mreži. Informacije koje mreža zahteva mogu biti podaci o čvorovima (vrsta čvora), radio interfejsu (domet radio veze, kanal), podaci o medijumu za prenos (odnos signal/šum, interferencija). Te informacije često se koriste u postojećim protokolima rutiranja radi generisanja težine linka [4]. Ovi parametri pažljivo se selektuju, sakupljaju i obrađuju da bi bili prosleđeni protokolu radi dobijanja optimalne konfiguracije pod specifičnim okolnostima [5].

U cilju dobijanja što optimalnijih, ali i realnijih rezultata prilikom rutiranja i implementacije različitih protokola rutiranja, mora se voditi računa i o uticaju raznih prepreka na prenos signala. Iz tog razloga, neophodno je definisati propagacioni model, koji će odgovarati realnim propagacionim uslovima, i koji će u prenos signala uključiti i slabljenja nastala usled prepreka koje postoje između dva čvora mreže.

U ovom radu analiziran je LQSR [7] (*Link Quality Source Routing*) protokol koji je modifikacija DSR [6] (*Dynamic Source Routing*) protokola i koristi ETX (*Expected Transmission Count*) metriku za određivanje optimalne putanje [8]. Za potrebe analize ETX metrike izvršeno je modelovanje realnog *indoor* propagacionog okruženja. Parametri ovog propagacionog modela određeni su na osnovu merenja nivoa snage signala na prijemu u realnoj mreži na Elektrotehničkom fakultetu, u frekvencijskom opsegu 2.4GHz.

Rad se sastoji od nekoliko celina. U drugom poglavlju ukratko su opisani LQSR i DSR protokoli, kao i način na koji se ovim protokolima pronalaze putanje između čvorova mreže. U trećem poglavlju dat je opis ETX metrike i način određivanja cene linka. U četvrtom poglavlju opisan je *indoor* propagacioni model. Data je njegova matematička formulacija, kao i način određivanja parametara modela. U petom poglavlju je definisana mreža, kao i ulazni parametri mreže za Glomosim simulacioni paket. U šestom poglavlju su dati rezultati simulacije i izvršena je njihova analiza. U sedmom poglavlju je dat zaključak kao i predlozi za dalja istraživanja.

2. LQSR i DSR protokol

Protokol rutiranja treba da vrši otkrivanje i proveru logičke topologije mreže, da definiše mehanizam za kreiranje i osvežavanje putanja. Metrika rutiranja je odlučujući činilac koji definiše efikasnost i robusnost protokola rutiranja, s obzirom da je ona osnovni mehanizam za računanje težine određene putanje korišćenjem relevantnih parametara.

DSR je jednostavan i efikasan protokol rutiranja posebno dizajniran za primenu u bežičnim mrežama [6]. Primenom DSR protokola mreža je potpuno samo-ogranizovana i može se sama konfigurisati, pa nema potrebe za dodatnom infrastrukturom u mreži, kao ni administriranjem mreže. Ako čvorovi mreže nisu susedni, prenos podataka ostvaruje se preko drugih čvorova mreže, koji su u radio dometu jedan drugom. DSR protokol može brzo da reaguje na promene u mreži. To je važno jer se topologija bežičnih mreža brzo menja usled česte promene uslova radio-linkova. LQSR [7-8] protokol je modifikacija DSR *routing* protokola, kod koga su zadržani svi osnovni mehanizmi koji postoje kod DSR protokola. Modifikacija se ogleda u tome što se, pored adrese čvorova kroz koje paketi prolaze, prenose i cene linkova između dva čvora koja su na toj putanji.

DSR i LQSR protokoli imaju dva osnovna mehanizma koji zajedno funkcionišu u cilju otkrivanja i kontrolisanja putanje od izvorišnog čvora (S) do odredišnog čvora (D) u bežičnim *mesh* mrežama. To su *Route Discovery* i *Route Maintenance*.

Route Discovery je mehanizam pomoću kojeg izvorišni čvor S, koji želi da pošalje paket ka odredišnom čvoru D, pronalazi putanju kojom će odredišnom čvoru D slati pakete. Ovaj mehanizam koristi se samo kada S pokušava da šalje pakete ka D, a ne zna nijednu putanju do čvora D. Pretraga putanja inicira se na zahtev, kada neki čvor želi da ostvari komunikaciju sa nekim drugim čvorom.

Route Discovery mehanizam sastoji se od *Route Request* i *Route Replay* kontrolnih paketa. Kada čvor S želi da pošalje paket ka čvoru D on inicira *Route Request*, koji difuziono emituje ka svim čvorovima mreže. Čvor koji primi *Route Request* može biti odredišni čvor ili neki međučvor koji se nalazi na putanji do odredišnog čvora.

Ako je *Route Request* stigao u odredišni čvor, on vraća *Route Replay* ka čvoru koji je inicirao traženje putanje, i u njega upisuje kopiju formirane putanje koja se nalazi u *Route Request*-u koji je pristigao. Kod LQSR protokola, odredišni čvor, osim kopije putanje, u *Route Replay* upisuje i odgovarajuće težine linkova koji odgovaraju putanji u pristigлом *Route Request* paketu. Kada čvor koji je inicirao komunikaciju, primi *Route Replay*, on upisuje putanju i niz težina linkova u svoj *Routing Cache*. Kada u izvorišni čvor stignu svi

Route Replay probni paketi, on bira u svom *Routing Cache*-u, putanju po kojoj će slati podatke. Kada se primenjuje DSR protokol on bira putanju sa najmanjim brojem čvorova, a kada se primenjuje LQSR protokol, bira putanju sa najmanjim zbirom težina linkova.

Ako čvor koji prima *Route Request* nije odredišni čvor, već neki međučvor u mreži, on prvo proverava u svom *Routing Cache*-u da li ima neku poznatu putanju do odredišnog čvora. Ako je ima, međučvor emituje *Route Replay*. U *Route Replay* upisuje putanju i niz težina linkova, koji se sastoje od dva dela. Prvi deo je putanja i niz odgovarajućih težina linkova, koji su upisani u pristiglom *Route Request* paketu. Na tu putanju i odgovarajući niz težina linkova, dodaju se putanja i njoj odgovarajući niz težina linkova, od ovog međučvora do odredišta, koji su pronađeni u *Routing Cache*-u. U slučaju da u svom *Routing Cache*-u međučvor nema putanju do odredišnog čvora, on proračunava težinu linka između čvora od kog je dobio *Route Request* (poslednja adresa koja je upisana u pristigli *Route Request*). Tako izračunatu težinu linka i svoju adresu, čvor upisuje u *Route Request* paket koji je pristigao. Tada on difuziono emituje *Route Request*. Kod DSR protokola se samo primenjuje upisivanje i prosljeđivanje adresa, a kod LQSR protokola i adresa i težina linkova.

Route Maintenance je mehanizam kojim izvorišni čvor S, koji već zna putanju do odredišnog čvora D, kome želi da pošalje paket, proverava da li putanja i dalje može da se koristi za slanje podataka, ili je neki link na toj putanji u prekidu. Do prekida linka može doći usled promene topologije mreže. Ukoliko čvor S otkrije da prvom putanjom u *Routing Cache*-u više nije moguće poslati paket, on će potražiti u *Routing Cache*-u da li ima neku drugu putanju do čvora D. Ako ima, proveriće tu putanju, i ako je ona funkcionalna, poslaće pakete tom putanjom. Ako ni ta putanja nije funkcionalna, tražiće novu putanju do čvora D u svom *Routing Cache*-u. Ovo se ponavlja sve dok čvor ne pronađe neku putanju putem koje može da pošalje podatke ili ne ustanovi da nema nijednu putanju preko koje može da pošalje podatke do čvora D. Ako čvor S otkrije da nema nijednu ispravnu putanju do čvora D, on zahteva ponovno otkrivanje putanje, odnosno *Route Discovery*. Ako neki čvor otkrije da je link, preko koga bi trebalo da se šalju podaci, u prekidu, on će generisati *Route Error* paket, koji će poslati po putanji, po kojoj je *Route Request* i stigao, nazad do čvora S.

3. ETX metrika

ETX metrika [8] računa broj potrebnih emisija *unicast* paketa pomoću merenja gubitka *broadcast* paketa između para susednih čvorova. U [8] je detaljno opisana ETX metrika.

Da bi se izračunala težina linka ETX, svaki čvor difuziono šalje probne pakete svakih τ sekundi. Ovaj probni paketi naziva se *Loss Probability Packet* - LPP. Neka izvorišni čvor S difuziono šalje LPP paket. U tom LPP paketu nalazi se podatak o broju LPP paketa koji je čvor S primio od svojih susednih čvorova u poslednjih ω sekundi. Svaki put kada čvor S primi LPP paket od nekog susednog čvora D, on poveća u svom LPP *cache*-u broj LPP paketa koje je primio od čvora D. Osim toga, čvor pročita podatak (iz LPP paketa koji je pristigao od čvora D) o broju paketa koji su iz čvora S stigli u čvor D, i taj podatak upiše u svoj LPP *cache*. Svaki put kada u čvor S stigne paket iz čvora D, čvor S poveća broj primljenih paketa od čvora D u svom *cache*. Verovatnoća p_r (*reverse probability*), da je paket koji je poslat od čvora D ka čvoru S, pristigao u čvor S računa se kao broj primljenih LPP paketa od čvora D podeljen sa ω/τ . Verovatnoća da je paket koji je poslat od S stigao u D računa se korišćenjem podatka iz pristiglog LPP paketa, o broju paketa koji su u D stigli od S. Direktna verovatnoća (*forward probability*) p_f računa se kao količnik podatka o broju LPP paketa (koji čvor S čita iz LPP paketa koji je pristigao od čvora D), i podeli ga sa ω/τ . Kada su poznate obe verovatnoće, ETX linka između čvora S i čvora D računa se po formuli $ETX =$

$1/(p_f^*p_r)$. Pokazalo se, pomoću empirijske metode i eksperimenata u [7], da vrednost $\omega=10\tau$ daje optimalne rezultate. Najčešće se uzima $\tau=1\text{sec}$.

U nastavku sledi primer proračuna verovatnoća koje utiču na težinu linka u okviru ETX metrike. Posmatraju se dva čvora X i Y. Pretpostavka je da je X primio 9 LPP paketa od čvora Y, u prethodnih 10 sekundi ($\tau=1\text{s}$), i da je u poslednjem LPP paketu, čvor Y izvestio da je primio 7 LPP paketa od čvora X u poslednjih 10 sekundi. Sada je verovatnoća da će paket uspešno biti emitovan od X do Y u jednom pokušaju $0.9*0.7=0.63$. Pretpostavka je da su gubici nezavisni, i onda je očekivani broj retransmisija duž lika od X ka Y $1/0.63=1.59$. Ovo je vrednost ETX težine linka za link od X ka Y. LQSR protokol nalazi putanju sa najmanjom sumom ETX.

Periodično slanje LPP paketa može dovesti do velike kolizije probnih paketa kada su vremena transmisije sinhronizovana. Iz tog razloga, da bi se izbegla moguća sinhronizacija transmisije probnih paketa, slučajna *jitter* se dodaje na periodu emitovanja probnih paketa. Tipična vrednost *jitter*-a je $\pm 0.1\tau$.

4. Indoor propagacioni model

U cilju dobijanja što adekvatnijih rezultata u nekom sistemu, neophodno je u proračun uključiti i realne propagacione uslove. Primenjena je modifikacija *indoor* propagacionog modela opisanog u [9] u skladu sa strukturom *indoor* okruženja u okviru koga je analizirana *mesh* mreža. Model razmatra dva slučaja: kada između predajnika i prijemnika postoji direktna optička vidljivost (LoS - *Line of Sight* propagacioni uslovi), i kada je prijemnik u „senci“ u odnosu na predajnik (NLoS - *Non Line of Sight* propagacioni uslovi). U slučaju NLoS uslova propagacije, nivo signala na ulazu u prijemnik uzima u obzir uticaje različitih tipova prepreka na propagacionom putu od predajnika do prijemnika.

U slučaju kada prijemnik ima direktnu optičku vidljivost sa predajnikom slabljenje između predajnika i prijemnika računa se po standardnoj formuli:

$$L_{los} = 20 \log \frac{4\pi d}{\lambda}, \quad \lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$

gde je f radna frekvencija predajnika, d rastojanje između predajnika i prijemnika, a c brzina svetlosti.

Nivo snage signala na ulazu u prijemnik P_r je:

$$P_r = P_t + G_t - L_{los} + G_r \quad (2)$$

gde su: P_t snaga signala na izlazu iz predajnika, G_t i G_r dobici predajne i prijemne antene, i L_{los} gubici na trasi između predajnika i prijemnika.

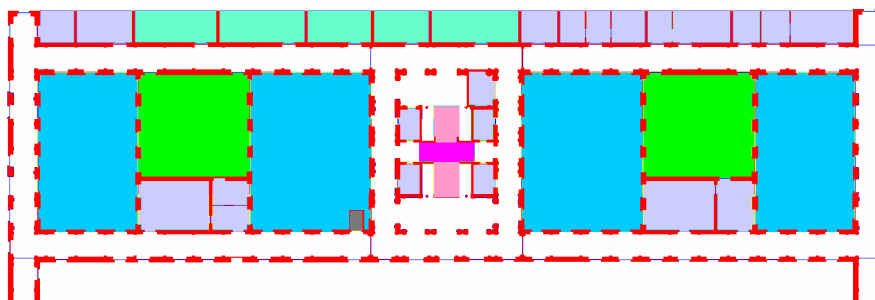
U slučaju NLoS uslova propagacije, matematički model koji opisuje slabljenje između predajnika i prijemnika u *indoor* propagacionom okruženju zasniva se na određivanju parametara modela za različite tipove enterijera. (laboratorije, učionice, prozori, vrata, zidovi...)

U cilju određivanja parametara *indoor* propagacionog modela izvršena su merenja na realnoj mreži realizovanoj na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu u frekvencijskom opsegu 2.4GHz. Mereni su nivoi snage signala na prijemu u 200 tačaka, za svaki od 8 predajnika i dobijeno je 1600 rezultata merenja. Svako merenje opisano je jednom jednačinom propagacije signala od predajnika do prijemnika.

Na slici (1) prikazan je plan prizemlja zgrade Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu, pri čemu su različite vrste propagacionih sredina i prepreka, kao elementa enterijera,

prikazane različitim bojama. Kao što se sa slike (1) vidi trebalo je odrediti parametre modela uključujući u analizu sledeće elemente enterijera:

- m_1 - parametar koji karakteriše propagaciju signala u laboratorijama (ljubičaste boje);
- m_2 - parametar koji karakteriše propagaciju signala u učionicama (tirkizne boje);
- m_3 - parametar koji karakteriše propagaciju signala u hodnicima (bele boje);
- m_4 - parametar koji karakteriše propagaciju signala u liftu (tamno sive boje);
- m_5 - parametar koji karakteriše propagaciju signala u amfiteatrima (zelene boje);
- m_6 - parametar koji karakteriše propagaciju signala u svetlarnicima (plave boje);
- m_7 - parametar koji karakteriše propagaciju signala na stepeništu koje vodi do podruma Fakulteta (tamno ljubičaste boje);
- m_8 - parametar koji karakteriše propagaciju signala na stepeništu koje vodi do prvog sprata Fakulteta (svetlo roze boje);
- m_9 - parametar koji karakteriše propagaciju signala kroz vrata (teget boje);
- m_{10} - parametar koji karakteriše propagaciju signala kroz prozore (svetlo žute boje);
- m_{11} - parametar koji karakteriše propagaciju signala kroz zidove (crvene boje).



Slika (1) Plan prizemlja u zgradi Elektrotehničkog fakulteta

Kako je potrebno odrediti 11 parametara, problem se svodi na rešavanje predimenzioniranog sistema jednačina koji ima $p=1600$ jednačina i $q=11$ nepoznatih. Svaka od p jednačina je oblika:

$$20 \log \frac{4\pi d_0}{\lambda} + m_1 \log d_1 + m_2 \log d_2 + \dots + m_q \log d_q = P_t + G_t + G_r - P_r \quad (3)$$

P_t i P_r su nivoi snage signala na predaji i prijemu, respektivno, G_t i G_r su dobiti predajne i prijemne antene, respektivno, λ talasna dužina, d_0 dužina propagacije signala do prve prepreke, $d_1 \dots d_q$ dužine propagacije signala kroz ostale prepreke. Jednačine se dalje svode na oblik (4):

$$m_1 a_1 + m_2 a_2 + m_3 a_3 + m_4 a_4 + \dots + m_q a_q = b \quad (4)$$

Tako se dobija sistem od m jednačina sa n nepoznatih (5):

$$\begin{aligned} m_1 a_{11} + m_2 a_{12} + m_3 a_{13} + m_4 a_{14} + \dots + m_q a_{1q} &= b_1 \\ m_1 a_{21} + m_2 a_{22} + m_3 a_{23} + m_4 a_{24} + \dots + m_q a_{2q} &= b_2 \\ &\dots \end{aligned} \quad (5)$$

...

$$m_1 a_{p1} + m_2 a_{p2} + m_3 a_{p3} + m_4 a_{p4} + \dots + m_q a_{pq} = b_p$$

Predimenzionirani sistem jednačina najpreciznije se rešava pronalazanjem svih sistema jednačina sa q nepoznatih [10]. Kako je broj jednačina p , različitih sistema jednačina

ima $\binom{p}{q}$. Kada se reše svi sistemi jednačina dobija se $\binom{p}{q}$ uređenih q -torki rešenja. Svaka

q -torka se dalje zamenjuje u svih p jednačina i bira se q -torka koja daje najmanju srednju kvadratnu grešku. Ovakav način rešavanja predimenzioniranog sistema jednačina je veoma komplikovan, pa je u okviru ovog rada primenjen drugi način, koji daje jednako tačno rešenje [10].

Formira se funkcija (6):

$$\begin{aligned} \varphi(m_1, m_2, m_3, \dots, m_q) = & \\ = (m_1 a_{11} + m_2 a_{12} + m_3 a_{13} + m_4 a_{14} + \dots + m_q a_{1q} - b_1)^2 + & \\ + (m_1 a_{21} + m_2 a_{22} + m_3 a_{23} + m_4 a_{24} + \dots + m_q a_{2q} - b_2)^2 + & \quad (6) \\ \dots & \\ + (m_1 a_{p1} + m_2 a_{p2} + m_3 a_{p3} + m_4 a_{p4} + \dots + m_q a_{pq} - b_p)^2 & \end{aligned}$$

Potom se traže parcijalni izvodi funkcije $\varphi(m_1, m_2, \dots, m_q)$ po svim koeficijentima. U cilju dobijanja koeficijenata koji daju najmanju srednju kvadratnu grešku, traže se minimumi ovako dobijenih parcijalnih izvoda. Odnosno, svaki parcijalni izvod se izjednačava sa nulom. Na ovaj način dobija se sistem od q jednačina i q nepoznatih koji daje jednoznačno rešenje i tako se dobijaju broјčane vrednosti parametara *indoor* propagacionog modela dati u Tabeli (1).

Tabela (1) Broјčane vrednosti parametara *indoor* propagacionog modela

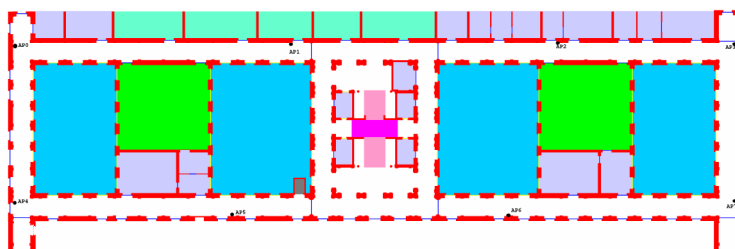
Parametar		m ₁	m ₂	m ₃	m ₄	m ₅
Vrednost		24.18	19.84	7.16	195.96	33.57
Parametar	m ₆	m ₇	m ₈	m ₉	m ₁₀	m ₁₁
Vrednost	10.06	-1.33	24.18	-2.23	-11.15	13.75

5. Definisane mreže i ulaznih parametara sistema u Glomosim simulacioni paket

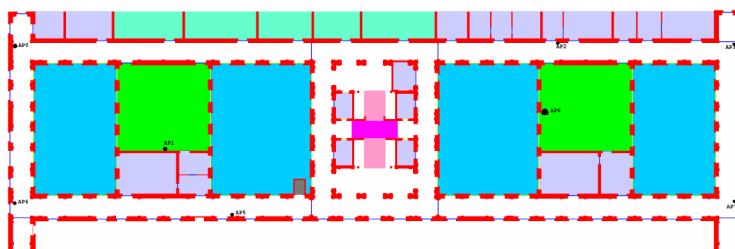
Analizirana je mreža koja ima 8 stacionarnih čvorova. Čvorovi su raspoređeni u prizemlju zgrade ETF-a, dimenzija 120m×42m. Za analizu protoka i kašnjenja u *mesh* mrežama različitih topologija korišćen je Glomosim [11] simulator. U simulator je implementiran *indoor* propagacioni model, kao i LQSR protokol i ETX metrika.

Koordinate čvorova su unapred zadate, i učitane iz posebne datoteke. Analizirane su dve topologije mreže, prva koja ima identičan raspored čvorova kao i mreža na Elektrotehničkom fakultetu koja je poslužila za formiranje *indoor* propagacionog modela, prikazana na Slici (2), i druga, prikazana na Slici (3) kod koje su čvorovi mreže AP1 i AP6, umesto u hodnicima, smešteni u amfiteatre. Na ovaj način postavljeni čvorovi AP1 i AP6 nemaju nijedan susedni čvor sa kojim imaju direktnu optičku vidljivost. Svaki čvor mreže ima jedan 802.11 kanal, koji radi na frekvenciji 2.4GHz. Kapacitet kanala 2Mbps. Izvršena je simulacija TCP prenosa podataka. Veličinu podataka za slanje Glomosim simulacioni paket sam generiše. Izvršena je simulacija kada se šalju 2 paketa, kao i simulacija kada se šalju 4 paketa, za svaki par čvorova. Kako mreža ima 8 čvorova simulacija je izvršena 56 (8×7) puta,

za svaku topologiju mreže, i za slanje 2 paketa i za slanje 4 paketa. Trajanje simulacije svakog prenosa je 400s.



Slika (2) Topologija mreže I



Slika (3) Topologija mreže II

6. Rezultati i analiza simulacije

Rezultati simulacije LQSR protokola korišćenjem ETX metrike uzimanjem u obzir realnih propagacionih uslova u *indoor* okruženju prikazani su na Slikama (4-7)

Na Slici (4) prikazana je medijana protoka koja se dobija kada je topologija mreže kao na Slici (2) i kada se kroz mrežu šalju 2 ili 4 paketa. Kada se šalju 2 paketa medijana protoka je 266.344kbps, a kada se šalju 4 paketa medijana protoka je 356.536kbps. Vidi se da je medijana protoka veća u slučaju kada se šalje više paketa. Ovo se može objasniti činjenicom, da čitava procedura oko otkrivanja optimalne putanje u mreži traje isto vreme, zauzima iste resurse, nezavisno od toga koliko se paketa šalje. Kada se jednom pronađe putanja, paketi korisnih podataka se šalju preko te putanje, i onda je logično da će i medijana protoka biti veća, kada se šalje više paketa.



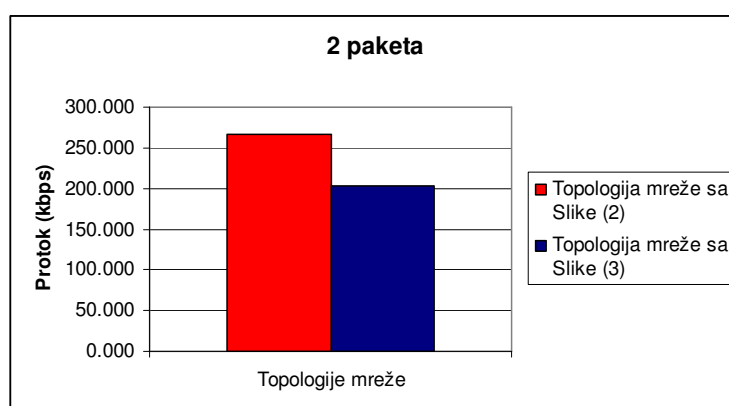
Slika (4) Medijana protoka za topologiju mreže sa Slike (2)

Na Slici (5) prikazana je medijana protoka koja se dobija kada je topologija mreže kao na Slici (3) i kada se kroz mrežu šalju 2 ili 4 paketa. Kada se šalju 2 paketa medijana protoka je 202.971kbps, a kada se šalju 4 paketa medijana protoka je 329.969kbps. Zaključak je isti kao i u slučaju prve topologije mreže, i u ovom slučaju je protok bolji kada se šalju 4 paketa, u odnosu na onaj kada se šalju 2.



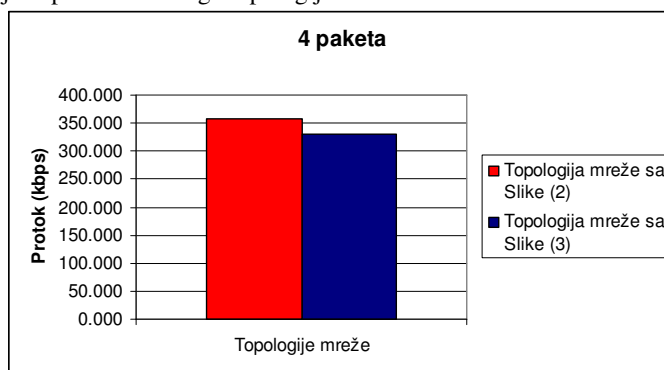
Slika (5) Medijana protoka za topologiju mreže sa Slike (3)

Na Slici (6) prikazana je medijana protoka koja se dobija kada se šalju 2 paketa za obe topologije mreže, prikazane na slikama (2) i (3). Kada je topologija mreže kao na Slici (2), dobija se da je medijana protoka 266.344kbps, a kada je topologija mreže kao na Slici (3) medijana protoka je 202.971kbps. Medijana protoka je bolja u prvom slučaju zato što je topologija mreže sa Slike (2) takva da su čvorovi raspoređeni po hodnicima Fakulteta i između susednih čvorova nema prepreka, tj. postoji direktna optička vidljivost, pa je propagaciono slabljenje na velikom broju putanja koje se formiraju između izvorišnog i odredišnog čvora manje, a samim tim je i medijana protoka veća. Kod topologije sa Slike (3) dva čvora se nalaze u amfiteatrima, i između njih, i nekog od susednih čvorova koji se nalaze u hodnicima ima prepreka u vidu zidova, prozora, vrata, uticaja propagacije kroz prostorije i sl, pa su samim tim i na pojedinim putanjama koje se formiraju između izvorišnog i odredišnog čvora propagacioni uslovi lošiji što kao posledicu ima smanjenje protoka.



Slika (6) Medijana protoka kada se šalju 2 paketa, za obe topologije mreže

Na Slici (7) prikazana je medijana protoka koja se dobija kada se šalju 4 paketa za obe topologije mreže. Slično kao i kod slanja 2 paketa, za topologiju sa Slike (2) dobija se medijana protoka od 356.535kbps, a za topologiju sa Slike (3) medijana protoka od 329.969kbps. Iz istih razloga kao i kod slanja 2 paketa je medijana protoka za prvu topologiju bolja od medijane protoka za drugu topologiju mreže.



Slika (7) Medijana protoka kada se šalju 4 paketa, za obe topologije mreže

Na Slici (8) prikazano je kašnjenje u sistemu kada se šalju 2, odnosno 4 paketa, u mreži sa prvom topologijom. Kašnjenje kada se šalju 2 paketa je 21ms, a kada se šalju 4 paketa je 52ms. Ovo se objašnjava time što se više podataka šalje kroz mrežu, pa je samim tim i više vremena potrebno da kompletni korisni podaci stignu od predajnika do prijemnika. Kada se koristila druga topologija mreže dobijena su neznatno različita kašnjenja od 22ms za slučaj slanja 2 paketa, odnosno 59ms za slučaj kada se kroz mrežu šalju 4 paketa.



Slika (8) Kašnjenje za topologiju mreže sa Slike (2)

7. Zaključak

U radu je data analiza ETX metrike koja je primenjena uzimajući u obzir realni propagacioni model. Analizirane su dve mrežne topologije, jedna kod koje je raspored čvorova takav da između susednih čvorova u mreži uvek postoje dva ili više čvorova sa kojima je ostvarena direktna optička vidljivost, i druga, kod koje su dva čvora premeštena na lokacije sa kojih se ne može ostvariti optička vidljivost ni sa jednim od čvorova u mreži. Zaključeno je da je medijana protoka za slučaj rada u mreži sa drugom topologijom manja. Nezavisno od broja paketa koji se šalju, topologija mreže u okviru koje postoje bar dva susedna čvora sa kojim postoji optička vidljivost daje bolje protoke, što je bilo i očekivano. U okviru topologije dva, čvorovi postavljeni tako da nemaju

optičku vidljivost ni sa jednim čvorom u mreži utiču na pad medijane protoka. Ako se prenose dva paketa ona iznosi 202.971kbps, dok je u mreži sa topologijom jedan bila 266.344kbps. Slično, kada se šalju 4 paketa, dobijaju se medijane protoka od 356.535kbps, odnosno 329.969kbps, za topologiju jedan, odnosno dva, respektivno. Osim protoka, upoređeno je i kašnjenje u sistemu, kada se koriste obe mrežne topologije. Dobijeno je da su kašnjenja približno ista, nezavisno od mrežne topologije, i to, u slučaju kada se šalju 2 paketa kašnjenja su 21ms kada se koristi prva, odnosno 22ms kada se koristi druga topologija. Prilikom slanja 4 paketa, kašnjenja su 52ms u slučaju prve, a 59ms u slučaju druge mrežne topologije.

U literaturi se mogu naći mnogobrojne modifikacije ETX metrike, koje kombinuju različite parametre mreže radi određivanja metrike koja će dati optimalno rešenje po pitanju protoka, kašnjenja, kvaliteta servisa i sl. Mnoge od metrika su implementirane na *mesh* mrežama čiji čvorovi imaju više od jednog radio kanala. Dalja istraživanja usmerena su ka implementiranju višekanalne *mesh* mreže u Glomosim simulacioni paket kao i analizi različitih modifikacija ETX metrike.

Literatura

- [1] I.F. Akyildiz, X.Wang, "A Survey on Wireless Mesh Networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 43, No. 9, Sept. 2005, pp. S23–S30.
- [2] M.Portmann, *Wireless Mesh Networks for Public Safety and Disaster Recovery Applications*, Auerbach Publications (CRC Press), 2006.
- [3] J.O. Kephart, D.M.Chess. "The Vision of Autonomic Computing," *IEEE Computer*, vol. 36, No. 1, Jan. 2003, pp. 41–50.
- [4] Y. Yang, J. Wang, R. Kravets, "Designing Routing Metrics for Mesh Networks," *Proceedings of the IEEE Workshop on Wireless Mesh Networks (WiMesh)*, 2005, dostupan na www.cs.ucdavis.edu/~prasant/WIMESH/p6.pdf
- [5] Y.Zhang, J.Luo and H.Hu. *Wireless mesh networking. Architectures, Protocols and Standards*, Auerbach Publications, 2007.
- [6] D. Johnson, "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks for IPv4," RFC 4728, *Microsoft Research*, Feb 2007.
- [7] D.De Couto, D. Aguayo, J. Bicket, and R.Morris. "High-throughput path metric for multi-hop wireless routing". In *MOBICOM*, Sep 2003.
- [8] Richard Draves, Jitendra Padhye and Brian Zill, "Routing in Multi-Radio, Multi-Hop Wireless Mesh Networks", *Proc. of ACM MobiCom*, Philadelphia, PA, Sep. 2004, pp. 114 - 128.
- [9] William C.Y. Lee, David J.Y. Lee, "Inbuilding Prediction", *Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, PIRMC, 7th IEEE International Symposium*, Taipei, Taiwan, Oct. 1996, vol 3, pp. 771 – 775.
- [10] J. Neter, M.H. Kunter, C. J. Nachtsheim, W. Wasserman, "*Applied Linear Statistical Model*", Chicago, Irwin, 1996.
- [11] Glomosim simulator, Available for download at: <http://pcl.cs.ucla.edu/projects/domains/glomosim.htm>.

Abstract: The analysis of ETX metric applied in wireless mesh network, is presented in this paper. For the purpose of implementation ETX metric, modeling of real propagation environment is done. Measurement results obtained on real network on Faculty of Electrical Engineering in Belgrade, in the frequency range of 2.4GHz, served as a basis for fine tuning of indoor propagation model. ETX metric as well as indoor propagation model are implemented in Glomosim simulator. Two different mesh network topologies are defined in previously chosen environment. Throughput and latency are analysed and discussed.

Keywords: mesh network, routing, ETX metrics, indoor propagation model

ANALYSIS OF ETX METRIC OF MESH NETWORKS IN REAL PROPAGATION ENVIRONMENT

Nataša Nešković, Aleksandar Nešković, Marija Malnar