

## MMW MESH - SOFTVER ZA ANALIZU GRANIČNOG PONAŠANJA RAČUNARSKE MREŽE POVEZANE RADIO-RELEJNIM VEZAMA U MILIMETARSKOM OPSEGU

Dragana Perić, Miroslav Perić - Insitut IMTEL, Beograd

**Sadržaj** - U ovom radu je predstavljen softver za simulaciju uticaja kiše u mreži milimetarskih linkova mesh topologije. Softver simulira u vremenskom domenu uticaj kretanja kišne čelije na stanje pojedinih linkova u mreži i topologiju mreže. Međusobna dostupnost čvorišta se određuje tzv. idealnim ruting protokolom koji testira povezanost grafa mreže. Takođe su na raspolaganju i moduli za automatsko generisanje same topologije mreže na osnovu zadatih parametara, kao i moduli za definisanje parametara simulatora realnih ruting protokola i realnog saobraćaja u računarskim mrežama kao što su opnet i ns-2 [10],[11]. Rad softvera demonstriran je na primeru.

### 1. UVOD

Primena radio-relejnih veza za povezivanja rutera se poslednjih godina pokazala kao veoma atraktivno rešenje zbog niske cene i brzine instalacije [1]. Upotreba milimetarskog talasnog opsega je praktično neophodna kada je potrebno ostvariti veće brzine prenosa iznad 100Mbit/s. Drugi razlog za atraktivnost ovog opsega je ostvarivanje relativno velikih dobitaka i uzanih snopova dijagrama zračenja atnenama malih dimenzija, što pojednostavljuje realizaciju gustih gradskih mreža i minimizira probleme interferencije. Kao glavni nedostatak ovih sistema javlja se velika podložnost uticaju kiše, što uzrokuje neraspoloživost veze. U literaturi [2] pokazano je da slabljenje usled kiše ima dominantnu ulogu na opsezima iznad 18GHz, te se mogu očekivati neraspoloživosti reda veličine 0.01% vremena po deonici. Kao kontra mera borbe protiv ovog uticaja predlaže se upotreba tzv. path diverzitija odnosno prostiranje signala po dve nekorelisane putanje. Napomenuto je da je korelisanost slabljenja između putanja slabo izražena ukoliko su one geografski razdvojene za više od 4km. Imajući u vidu da se praktična dužina deonica visokog kapaciteta na ovim opsezima kreće do 10-tak km, to praktično znači da se dati

uslovi mogu samo postići vezama iz nekoliko deonica.

Kao poseban problem javlja se formiranje kriterijuma za komutaciju saobraćaja. Kod klasičnih radio relejnih sistema susreću se dva mehanizma: nivo prijemnog polja i detekcija grešaka u prenosu [1]. Budući da veze moraju biti iz više deonica za prvi mehanizam je potrebno prenositi podatke o nivou polja sa više deonica preko sistema daljinskog nadzora, što dodatno poskupljuje sistem.

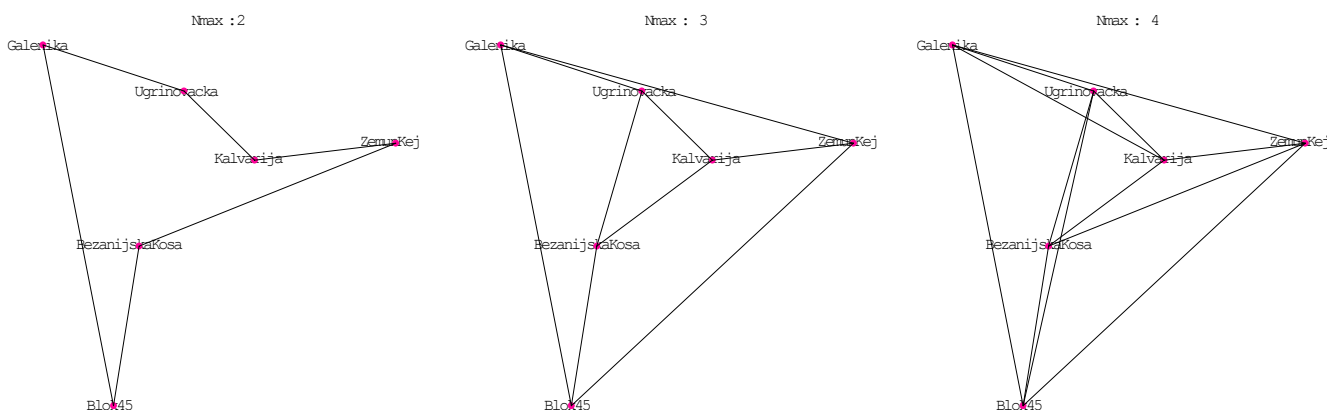
IP saobraćaj omogućava dodatnu fleksibilnost, budući da ruteri i odgovarajući ruting protokoli praktično obavljaju funkciju komutatora [3]. Dodatnu mogućnost predstavlja mogućnost prenosa signala po više putanja uz raspodelu saobraćaja (*load balancing*), tako da se za ovu vrstu saobraćaja mesh topologija nameće kao prirodno rešenje.

Jedan od problema koji se susreće kod mesh topologije milimetarskih linkova, je da pojava čelije kiše visokog intenziteta iznad čvorišta ne izazove prekid svih linkova koje dolaze do njega, te da praktičan dobitak mesh topologije bude zanemarljiv. Da bi se ova pojava istražila razvijen je paket *MMWmesh* u okruženju softvera *Wolfram Research Mathematica*. Za modelovanje kiše korišćeni su modeli dvodimenzionalne raspodele intenzeta kiše u prostoru iz [4][5][6][7][8].

Pored pomenutog problema u realnim računarskim mrežama susreće se i veoma bitan problem konačne brzine konvergencije ruting protokola. Za njegovo razmatranje potreban je softver za simulaciju ruting protokola i saobraćaja u realnim računarskim mrežama, kao što je na primer *OPNET* [9], što prevazilazi okvire ovog rada.

### 2. TOPOLOGIJA MREŽE

U realnim mrežama na milimetarskom talanom opsegu čvorišta se obično biraju na markantnim lokacijama u gradu sa kojih se lako može ostvariti uslov optičke vidljivosti, te izbor lokacija čvorišta praktično zavisi od konkretnog



Slika 1. Mreža hipotetičkog ISP za razne vrednosti  $N_{lc}$

slučaja. Kao primer smo uzeli segment računarske mreže hipotetičkog Internet provajdera lociranom na realnim lokacijama Zemuna i Novog Beograda. Mreža se sastoji od šest čvorišta: Galenika, Ugrinovačka, Zemunski kej, Kalvarija, Bežanijska kosa, Blok 45 koja su zbog svog geografskog položaja pogodna za instalaciju antenskih sistema. Geografski prostor na kome su smeštena čvorišta iznosi oko 5x5km.

Čvorišta se međusobno povezuju vezama u opsezima 26 i 38GHz. U okviru softvera način povezivanja se može definisati ili manuelno ili po sledećem automatskom algoritmu:

- Kao ulazni parametar uzima se maksimalni broj linkova koji polazi iz čvorišta  $Nlc$ . Ovaj parametar ima fizičko tumačenje kao broj WAN portova na ruteru.
- Čvorišta se međusobno prvo povežu stablom koje za datu individualnu neraspoloživost deonica zahtevaju minimalnu energiju linkova. Budući da je na milimetarskom talasnom opsegu kiša dominantan uzročnik neraspoloživosti, a da njeno slabljenje ima podužan karakter, ovaj kriterijum se svodi dužinu deonice.
- Zatim se dodaju redundantne putanje do najbližih čvorišta poštujući  $Nlc$  ograničenje. Struktura redundantnih putanja koje se dobijaju na ovaj način zavisi od redosleda čvorišta, te smo se odlučili za varijantu koja se dobija kad se čvorišta sortiraju po rastojanju od geografskog centra mreže.

Mreže generisane po datom algoritmu za slučajeve  $Nlc$  od 2 do 4 prikazane su na slici 1. Napomenimo da se u praksi često (gotovo uvek) sreće slučaj da uslov optičke vidljivosti nije ispunjen između svih čvorišta te je moguće dodati listu zabranjenih deonica, koje dati algoritam ignoriše i traži alternativne putanje.

U skladu sa ovim pretpostavkama modul softverskog paketa iscertava mrežu prikazanu na Slici 1. na kojoj su sva čvorišta povezana sa ukupno devet linkova.

### 3. MODEL KIŠE

U [2] dato je da se podužno slabljenje kiše može odrediti kao:

$$\gamma_R = K \cdot R^\alpha \quad (1)$$

gde su  $R$  intenzitet kiše (mm/h),  $K$  i  $\alpha$  parametri zavisnosti od frekvencije i polarizacije. Na taj način, intenzitet kiše duž deonice na kojoj pada kiša promenljivog intenziteta je:

$$A_R = \int_0^L K \cdot R(l)^\alpha \cdot dl \quad (2)$$

Pri proračunu procenta neraspoloživosti pojedinačne deonice od interesa je kumulativna raspodela intenziteta kiše koja predstavlja intenzitet kiše prevaziđen u određenom procentu vremena. Očigledno je da je ova funkcija lokalnog karaktera za određeno geografsko područje. U nedostatku ovih vrednosti mogu se koristiti podaci iz preporuke ITU-R 837 [12]. gde je data podela sveta na tzv. kišne zone. U preporuci P.530-8 [2] sama kumulativna raspodela kiše se aproksimira na osnovu jedne vrednosti intenziteta kiše prevaziđenog u 0.01% vremena, te se može proceniti intenzitet kiše prevaziđen u nekom drugom procentu vremena na osnovu čega se može odrediti podužno slabljenje kiše i

potrebna vrednost rezerve za feding. Takođe je moguć i obrnut postupak određivanja procenta vremena u kome je prevaziđena odgovarajuća vrednost slabljenja usled kiše. Činjenica da kiša ne pada istim intenzitetom modelirana je tzv. efektivnom dužinom deonice  $d_{eff}$ , koja uzima u obzir faktor skraćanja deonice:

$$d_{eff} = \frac{d}{1 + d / (35 \text{Exp}(-0.015R(0.01\%)))} \quad (3)$$

gde su:

$d$  - stvarna dužina deonice

$R(0.01\%)$  - intenzitet kiše prevaziđen u 0.01% vremena.

Pored ovog, danas zvaničnog modela za proračun RR veza, u literaturi se susreću i više drugih modela kiše. U literaturi [6][7] je opisano poređenje datog modela i nekih prethodno korišćenih modela sa eksperimentalnim rezultatima i pokazano je da neslaganja mogu biti značajna (u potrebnoj rezervi za feding do 5dB na različitim osam lokacija).

Za potrebe određivanja uticaja kiše na mesh topologiju potrebno je poznavanje dvodimenzionalne strukture kiše. U literaturi [4] je pokazano da postoje dva tipa kišne ćelije *stratiform* - koja ima mali (ispod 10mm/h) i pretežno konstantan u prostoru intenzitet kiše i *convective* - kiša velikog intenziteta koji opada sa rastojanjem od centra kišne ćelije. U istom radu prikazano je da funkcija prostorne raspodele intenziteta kiše može biti:

$$R(r) = (R_M + R_{low}) \exp(-r / \rho_0) - R_{low}, r < \rho_{max}, \quad (4)$$

$$\rho_{max} = \rho_0 \ln((R_M + R_{low}) / R_{low})$$

gde je  $R_M$  maksimum,  $\rho_0$  referentni radijus ćelije,  $R_{low}$  - intenzitet kiše na periferiji ćelije. Medijalni prečnik ćelije  $D_M$  je ključni parametar ove raspodele i na osnovu merenja u Evropi, Istočnoj Aziji i Istočnoj obali USA došlo se do zaključka da se može uzeti da za  $R_{max} > 50 \text{mm/h}$  iznosi 1.2km,  $R_{max}$  između 30 i 50mm/h iznosi 2km, 20-30mm/h 4km, 14-20, 8km. Za manje vrednosti priroda kiše više nije Convective. Ovaj tip ćelije kiše se kreće sa vetrom [5] i tipične brzine iznose oko 10m/s. U [5] su dati rezultati fitovanja podataka sa metereološkog radara u opisani model konvektivne kiše.

Pored ovog modela u literaturi se javlja i Gausovski model kišne ćelije [8], čiji se parametar standardne devijacije može fitovati na osnovu medijalnog prečnika kiše kao:

$$R(r) = R_{max} e^{-(r/r_{ref})^2} \quad (5)$$

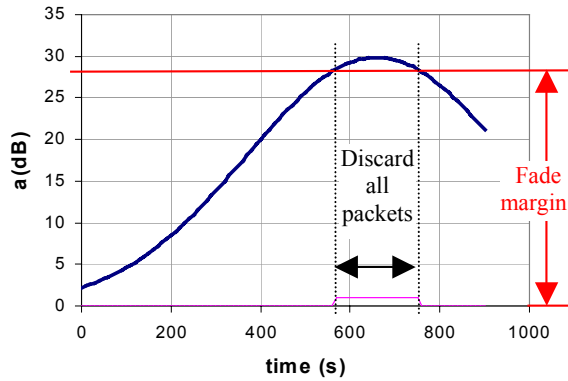
gde je  $R_{max}$  maksimalni intenzitet kiše, a  $r_{ref}$  referentni poluprečnik koji se određuje tako da bude ispunjen uslov dimenzija medijalnog prečnika ćelije.

Na osnovu datih podataka formiran je model kiše koji će se koristiti za analizu uticaja na IP mrežu. Usvojeno je da je intenzitet kiše prevaziđen u 0.01% vremena iznosi 42mm/h (ITU-R zona K, prema P.837 [12], kojoj dato geografsko područje pripada). Razmatran je slučaj ponašanja mreže pod dejstvom kišne ćelije maksimalnog intenziteta jednakog ovoj vrednosti (42mm/h), i medijalnog prečnika od 2km, brzine kretanja 10m/s i pravca severozapada NW.

Rezerve za feding svih deonica su dimenzionisane na osnovu modela ITU-R P.530 tako da imaju raspoloživost 0.01% vremena, odnosno da prekid veze nastaje kada intenzitet kiše 42mm/h deluje po efektivnoj dužini deonice. Na taj način u ovom graničnom slučaju ćemo imati

kratkotrajne prekide određenih linkova u zavisnosti od kretanja kiše.

Funkciju BER u zavisnosti od nivoa prijemnog polja smo modelirali kao potpuni prekid kad slabljenje kiše prevaziđe rezervu za feding i rad bez greške kada je manje. Napomenimo da se moderni linkovi sa FEC imaju ponašanje veoma blisko ovom uprošćenom modelu, jer se kod njih prekid veze i rad sa  $BER < 10^{-10}$  razlikuju za 1 do 2dB. Ovakvo ponašanje se može modelovati objektom kod koga su definisani početak i kraj vremenskog intervala u kome se odbacuju paketi (Slika 3). U terminologiji OPNET paketa ovakav objekat se naziva *packet discarder*.

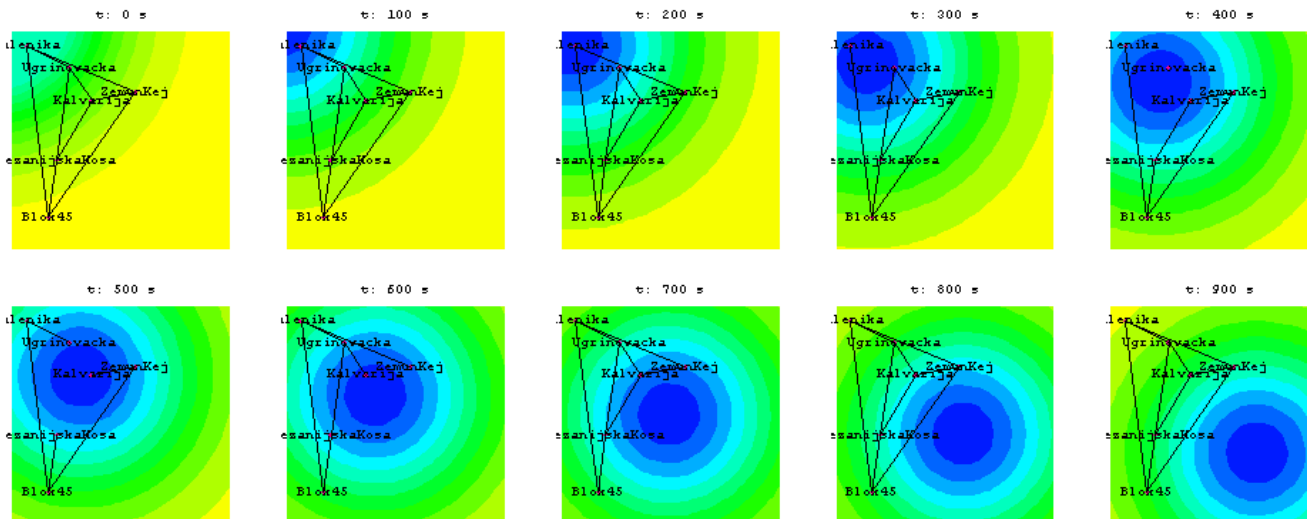


Slika 3. Promena slabljenja kiše duž deonice i definisanje *packet discardera*

Simulacija je pokazala da pod datim pretpostavkama nema značajnijih razlika u radu *packet discardera* za opsege 26 i 38GHz jer je parametar  $\alpha$  iz (1) vrlo blizak jedinici [12] tako da vrednost integrala slabljenja pod datim pretpostavkama za dimenzionisanje rezervi za feding praktično daje jednake rezultate za prevazilaženje rezerve za feding.

#### 4. SIMULACIJA

Simulacija se obavlja u vremenskom domenu. Vreme se diskretizuje sa zadatim korakom  $\Delta t$ . Imajući u vidu brzinu kretanja kiše uobičajeno  $\Delta t$  iznosi od 5 do 10s. U svakom trenutku  $t_k$  određuje se:



Slika 3. Vizualizacija promeranja kišne ćelije i promene stanja linkova

- Položaj centra kišne ćelije na osnovu vektora brzine njenog kretanja.
- Ukupno slabljenje usled kiše za svaki od linkova.
- Ukoliko slabljenje prevazilazi rezervu za feding, taj link se markira kao neraspoloživ
- Formira se lista raspoloživih linkova
- Na osnovu liste čvorišta i liste raspoloživih čvorišta ispituje se topologija preostale mreže. Određuje se broj podgrafova  $N_{pg}(t_k)$  i broj čvorišta u datom podgrafu  $N_{cpg}(i, t_k), i = 1, \dots, N_{pg}(t_k)$
- Predpostavlja se da je unutar svakog od podgrafova moguća komunikacija svakog sa svakim, te se broj uspešnih raspoloživih međuveza u podgrafu  $N_{pgmv}$  računa kao:

$$N_{pgmv}(i, t_k) = N_{cpg}(i, t_k) \cdot (N_{cpg}(i, t_k) - 1) / 2, \quad (6)$$

$$i = 1, \dots, N_{pg}(t_k)$$

odnosno zbir:

$$N_{mv}(t_k) = \sum_{i=1}^{N_{pg}(t_k)} N_{pgmv}(i, t_k) \quad (7)$$

predstavlja ukupan broj raspoloživih veza u mreži  $N_{mv}$ . Za poređenje je obično je od interesa njihov relativan broj u odnosu na maksimalni broj veza u potpuno povezanoj mreži, kada je:

$$N_{pg} = 1, N_{mv} = Nc \cdot (Nc - 1) / 2 = N_{mvmax} \quad (8)$$

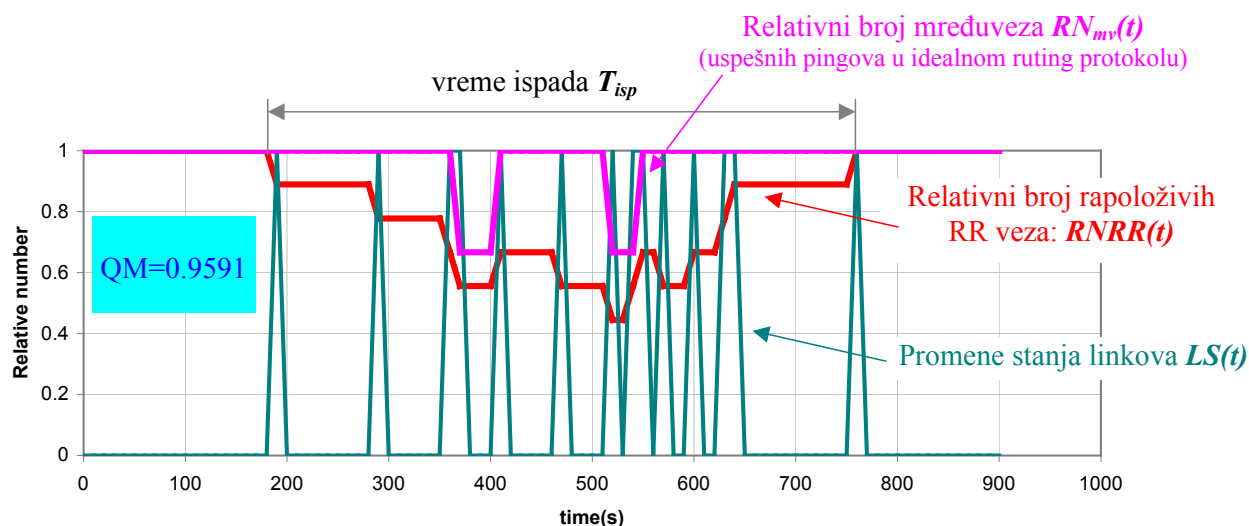
te kao krajnji rezultat imamo:

$$RN_{mv}(t_k) = N_{mv}(t_k) / N_{mvmax} \quad (9)$$

Ovakav model računanja broja raspoloživih veza u vremenu na samo osnovu grafa mreže definisali smo kao *idealni ruting protokol* i predstavlja graničnu vrednost mogućnosti uspešne komunikacije u realnoj mreži. U praktičnoj LAN mogućnost komunikacije se testira periodičnim slanjem ICMP Ping poruka iz svakog čvorišta mreže (rutera) ka svim ostalim čvorištima. Zbog propagacije ruting informacija kroz računarsku mrežu realni ruting protokoli imaju (značajno) lošije performanse nego idealni.

Pored promene relativnog broja raspoloživih veza za poređenje sa realnim ruting protokolom od posebnog značaja su i:

- dijagrami promene relativnog broja raspoloživih radio-relejnih veza  $RNRR(t)$ , definisan kao količnik trenutno raspoloživih RR veza i ukupnog broja RR veza, i



Slika 4. Relativni broj međuveza (uspešnih pingova), relativni broj raspoloživih radio-relejnih veza i promene stanje linkova

- dijagrami promene stanja linkova  $LS(t)$ , koji je jednak jedinici ako ima promene u trenutku  $t_k$ , a nuli ako nema.

Od posebnog značaja je trajanje vremena ispada  $T_{isp}$  koje počinje trenutkom ispada prvog linka u mreži a završava se kad kišna ćelija prođe mrežu i svi linkovi budu ponovo uspostavljeni. Kao mera kvaliteta mehanizama zaštite u datoj mreži možemo definisati parametar:

$$QM = \frac{\Delta t}{T_{isp}} \sum_{unutar T_{isp}} RN_{veza}(t_k) \quad (10)$$

koji predstavlja relativan broj ukupnih ispada u mreži u toku vremena  $T_{isp}$ . Očigledno je da je  $QM \leq 1$ .

Opisani tok simulacije za dati primer mreže i slučaj  $Ncl=3$  prikazani su na slikama 3 i 4. Data je vizualizacija pomeranja ćelije kiše u toku vremena sa naznačenim aktivnim linkovima, promena broja raspoloživih linkova, impulsi promene stanja linkova i broj raspoloživih veza u toku vremena.

## 6. ZAKLJUČAK

Softver MMW Mesh je veoma korisna alatka za analizu graničnih performansi radio-relejnih mreža za prenos podataka u milimetarskom talasnom opsegu i može se koristiti kako za projektovanje novih mreža tako i za analizu performansi postojećih sistema. Od posebnog značaja je mogućnost nalaženja slabih tački mreže i načina za njihovo prevazilaženje, kao što je na primer podizanje rezervi za feding na kratkim deonicama.

## LITERATURA

- [1] Ivanek F., editor: *Terrestrial Digital Microwave Communications*, Artech House, 1989.
- [2] ITU-R rec. P.530-8, "Propagation data and prediction methods required for design of terrestrial line of sight systems, 1999.
- [3] Alvaro Retana, Don Slice, Russ White, *Advanced IP network design (CCIE) professional development*, CISCO Press, 1999.
- [4] Bonati A. P., "Essential Knowledge of Rain Structure For Radio Application Based on Available Data and Models", Radio Africa 99, October 1999.

- [5] Matricciani E., Bonati A.P., "Statistical characteriyation of rainfall structure and occurrence for convective and stratiform rain inferred from long term point rain rate data", AP 2000 Millennium Conference on Antennas & Propagation, Davos, Switzerland, 9-14 April 2000.
- [6] Mayer W., "Comparison fo Fade Models form LMDS", IEEE 802.16cc-99
- [7] Feldhake G.S. , Sengers A., "Comparison of Multiple Rain Attenuation Models with Three Zeros of Ka Band Propagation Data Concurrently Taken at Eight Different Locations", www.spacejournal.org, Issue no.2 Fall 2002.,
- [8] Sinka C, Lakatos B, Bito J, "The Effects of Moving Rain Cell over LMDS Systems", COST A280, 1st International Workshop, July 2002.
- [10] <http://www.opnet.com>
- [11] <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [12] ITU-R rec. P.837-2"Characteristics of presipication for propagation modeling", 1999.

**Abstract** - In this paper we present a software package MMW MESH for simulation of rain influence in a mesh topology IP network made of milimeter wave radio links. The software simulates the movement of rain cell and its influence on each link state and on overall network topology. Individual node availability is tested by "ideal routing protocol" that only tests the network graph. The software also includes modules for network generating based on given parameters as well as interface for more sophisticated software for real LAN traffic simulation like opnet and ns-2. An example network is analyzed.

## MMW MESH - SOFTWARE FOR ANALYSIS OF BOUND BEHAVIOR OF LAN INTERCONNECTED BY MILLIMETER WAVE RADIO LINKS

Dragana Perić, Miroslav Perić