

Jedan pristup analizi performansi radio-relejnih uređaja na milimetarskom opsegu sa adaptivnom modulacijom

Dragana B. Perić, *Member, IEEE*, Miroslav V. Perić, *Member, IEEE*

Sadržaj — U radu je dat jedan novi pristup analizi performansi radio-relejnih uređaja na milimetarskom opsegu sa adaptivnom modulacijom koji bazira na određivanju ukupne količine podataka koja se može preneti datim linkom u prisustvu pomerajuće kišne čelije. Na karakterističnim primerima pokazano je da ovakva analiza mnogo bolji pokazatelj performansi linka koje oseća korisnik u odnosu na klasičan proračun procenta vremena u kome link ima odgovarajući kapacitet veze.

Ključne reči — milimetarski opseg, raspoloživost, analiza performansi IP linkova

I. UVOD

RADIO mreže realizovane na frekvencijskim opsezima iznad 60GHz predstavljaju atraktivno rešenje za realizaciju brzih linkova 1Gbit/s zbog pojednostavljene regulative i nekoliko puta manje godišnje naknade za korišćenje radio-spektra (mereno u odnosu na cenu po Gbit/s) [1]-[3]. Glavni nedostatak upotrebe opsega iznad 60 GHz je pojava značajnog procenta vremena nerasploživosti usled kiše. Dodatno na opsegu 60GHz se nalazi i lokalni maksimum apsorpcije kiseonika i vodene pare što još više smanjuje domet veze [4][5].

Standardni način proračuna radio-relejne veze podrazumeva određivanje procenta vremena u kome je prevaziđen unapred definisan prag prijema. U slučaju prenosa IP paketa za razliku od standardnih PDH i SDH veza uobičajeno je da se uzimaju niže vrednosti stepena greške u prenosu (BER-Bit Error Ratio) od tipično 10^{-8} do 10^{-12} . Uz upotrebu postupaka zaštitnog kodovanja razlika u nivoim signala koji odgovaraju datim pragovima prijema je manja od 1dB, što je za ovu primenu praktično zanemarivo, te možemo definisati jednu vrednost praga prijema n_R , koja odgovara režimu kada link prenosi pakete praktično bez greške (QeF -Quasi Error Free).

Zbog vrlo velikog kapaciteta uređaja i odgovarajućeg propusnog osega, pragovi prijema pri prenosu 1Gbit/s su relativno loši čak i za robusne modulacije i postupke kodovanja (na primer BPSK ili DBPSK sa Reed

Solomonovim zaštitnim kodovanjem) i iznose tipično oko -60dBm [6] [7]. Zbog toga su uzimajući u obzir standardne propagacijske modele [5] dometi ovakvih veza ograničeni na 1-2km na opsegu 60GHz i oko 3-5km na opsegu 70/80GHz, za nerasploživosti veze od 0.05%, uz pretpostavku klimatskih karakteristika koji ogovaraju teritoriji Srbije (ITU-R zona K).

Imajući to u vidu proizvođači radio-relejnih uređaja za prenos IP saobraćaja [8] se odlučuju za upotrebu postupaka adaptivnog protoka, koji se može kombinovati i sa postupcima adaptivne modulacije i adaptivnog kodovanja [6]. Na taj način se na račun smanjenja protoka dolazi do poboljšanja pragova prijema, čime se omogućava rad veze i pri pojavi većih intenziteta kiše, uz adekvatnu degradaciju kvaliteta prenosa. Za razliku od veza na nižim frekvencijskim opsezima [9][10] zbog održavanja stabilnosti mreže otrebno je imati veliku razliku između pragova prijema i adekvatno histerezisno odlučivanje [6]. Tipično 10 puta manji protok ostvaruje se poboljšanje praga prijema za oko 10dB.

Ovakva koncepcija sistema zahteva drugačiji način proračuna performansi sistema. Proizvođači opreme preporučuju da se određuje procenat vremena u kome će sistem imati odgovarajući kapacitet i u kome će veza biti nerasploživa. Tipičan primer ovakvog proračuna dat je u Tabeli 1. za trasu dužine $L=3$ km sa antenama prečnika 0.3 m i u Tabeli 2. za trasu dužine $L=6$ km sa antenama prečnika 0.6m. Parametri uređaja: izlazna snaga p_{Tx} , dobici antena G_a i G_b , pragovi prijema n_{RT} u funkciji kapaciteta veza za QeF prenos su uzeti su u skladu sa standardima [11]. Na osnovu propagacijskog modela definisanog u preporuci ITU-R P.530-12 i predpostavljene centralne frekvencije 80GHz sa vertikalnom polarizacijom određeni su procenti vremena $t_{1Gbit/s}$, $t_{100Mbit/s}$ i $t_{10Mbit/s}$ u kojima veza ima kapacitet od 1Gbit/s, 100Mbit/s i 10Mbit/s respektivno. Pri zadatim uslovima ovim vezama odgovaraju rezerve za feding $n_{rzf}(1Gbit/s)$, $n_{rzf}(100Mbit/s)$ i $n_{rzf}(10Mbit/s)$. Proračuni su urađeni za karakteristične vrednosti intenziteta kiše koji je prevaziđen u 0.01% vremena od 30, 42 i 60mm/h, kojima odgovaraju poduzna slabljenja od 12.3, 16.0 i 21.0dB/km respektivno. Napomenimo da prema ITU-R mapama za teritoriju Srbije odgovara vrednost od 42mm/s. Lokalna meteorološka merenja pokazuju da se u većini lokacija na teritoriji Srbije njegova stvarna vrednost nalazi unutar granica od 30-60mm/h.

Dragana.B. Perić, IMTEL Komunikacije a.d., Bul. Mihajla Pupina 165b, 11070 Beograd, Srbija (tel: 064 8236524, e-mail: dragana@insimtel.com)

Miroslav V. Perić, IMTEL Komunikacije a.d., Bul. Mihajla Pupina 165b, 11070 Beograd, Srbija (tel: 064 8236501, e-mail: micha@insimtel.com)

TABELA 1: LINK A, L=3KM, PREČNIK ANTENE 0.3M.

Ptx	17 dBm		
Ga+Gb	88 dBi		
n _{RT} (1Gbit/s)	-65 dBm		
n _{RT} (100M bit/s)	-75 dBm		
n _{RT} (10Mbit/s)	-85 dBm		
n _{rzt} (1 Gb/s)	27.8 dB		
n _{rzt} (100 Mbit/s)	37.8 dB		
n _{rzt} (10 Mbit/s)	47.8 dB		
R _{0.01%} (mm/h)	30	42	60
t _{Gbit/s} (%)	99.9829	99.9660	99.9322
t _{100Mbit/s} (%)	0.0099	0.0201	0.0406
t _{10Mbit/s} (%)	0.0032	0.0066	0.0134
t _{unavailable} (%)	0.0039	0.0072	0.0137

TABELA 2: LINK B: L=6KM, PREČNIK ANTENE 0.6M.

Ptx	17 dBm		
Ga+Gb	102 dBi		
n _{RT} (1Gbit/s)	-65 dBm		
n _{RT} (100M bit/s)	-75 dBm		
n _{RT} (10Mbit/s)	-85 dBm		
n _{rzt} (1 Gb/s)	34.6 dB		
n _{rzt} (100 Mbit/s)	44.6 dB		
n _{rzt} (10 Mbit/s)	54.6 dB		
R _{0.01%} (mm/h)	30	42	60
t _{Gbit/s} (%)	99.9502	99.9048	99.8253
t _{100Mbit/s} (%)	0.0266	0.0510	0.0936
t _{10Mbit/s} (%)	0.0103	0.0199	0.0368
t _{unavailable} (%)	0.0129	0.0243	0.0442

Međutim, predložene tabele, iako predstavlja značajno unapređenje u odnosu na klasičan pristup [4], ne pružaju dovoljan uvid u performanse prenosa iz dva razloga:

- Ne postoji očigledna veza između osećaja korisnika i parametara prikazanih u ovoj tabeli
- Parametri kiše su lokalna meteorološka karakteristika i po pravilu nepoznata, što je nedostatak i klasičnog modela ITU-R P.530-12

Imajući u vidu navedene probleme i dvodimenzionalne modele raspodele kišne ćelije u ovom radu je predložen drugačiji način za proračun performanse RR veze po ugledu na način definisanja glavnih indikatora performansi mobilnih mreža (KPI-key performance indicator), među kojima izdvajamo vreme trajanja sesije prenosa podataka [12].

II. MODEL KIŠNE ĆELIJE

Kod veza u milimetarskom opsegu do izražaja dolazi dvodimenzionalna priroda raspodele kiše [13]-[18]. U literaturi iz domena meteorologije je utvrđen model po kome raspodela kiše većeg intenziteta od 20mm/h ima jasno definisan centar u kome je intenzitet kiše najveći a opada ka periferiji. Ovakva struktura se naziva dvodimenzionalnom kišnom ćelijom i smatra se da se ona po prostoru pomera nošena vetrom. Različiti autori su definisali različite raspodele kišne ćelije i pokazali njihovo uklapanje u eksperimentalne rezultate [19]-[21]. U ovom radu usvojicemo Gausovski model [17], koji je dovoljno

precizan za ovu primenu. Formula za intenzitet kiše data je u (1):

$$R(d) = R_{max} \exp(-0.5 \left(3d / 0.8D_m\right)^2), d < D_m \quad (1)$$

gde je

- d - rastojanje od centra kišne ćelije
- R_{max} - Maksimalni intenzitet kiše (u centru ćelije)
- D_m - Granica kišne ćelije

Smatra se da se ovakva ćelija kreće nošena vetrom. Zbog Gausovske prirode funkcije, bez obzira na njen položaj i brzinu kretanja zadržava se Gausovski oblik, stim što se menja maksimalni intenzitet i medijalni prečnik. Na taj način sa dvodimenzionalnog modela se u prvoj aproksimaciji možemo svesti na jednodimenzionalni model pomeranja Gausovske funkcije raspodela intenziteta kiše duž radio-relejne deonice, te se slabljenje usled kiše računa po formuli (2).

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

gde su koeficijenti K i α zavisi od frekvencije i polarizacije i mogu se naći u [22]. U literaturi [13], [18] je definisana obrnuta proporcionalnost maksimalnog intenziteta kiše i medijalnog poluprečnika kišne ćelije.

III. PARAMETAR KVALITETA

Imajući u vidu da se zbog kretanja kišne ćelije slabljenje usled kiše menja duž cele deonice a(t), kao posledicu adaptivne modulacije imamo promenu kapaciteta veze u vremenu c(t). Da bi odredili kakvu će to imati posledicu po performanse mreže kao indikator performansi uzećemo ukupnu količinu prenetih podataka FL za vreme trajanja kišnog događaja Tk.

$$FL(R_{max}, D_m, v, p) = \int_0^{T_k} c(t) \cdot dt \quad (3)$$

Ova vrednost jako zavisi ne samo od parametara kišne ćelije Rmax i Dm, već i od početne pozicije kišne ćelije p i brzine njenog kretanja v.

Imajući u vidu predstavljenju raspodelu intenziteta kiše, očigledno je da se minimalna vrednost FL dobija kada je maksimalno trajanje najveće atenuacije, odnosno kad se centar kišne ćelije kreće blizu sredine deonice, odnosno:

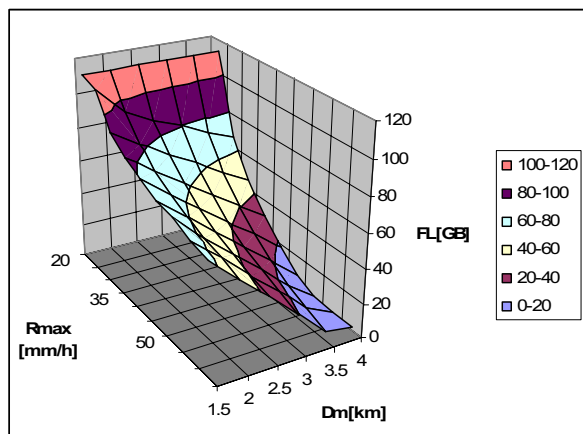
$$p \in \{L/2 - v \cdot Tk/2, L/2 + v \cdot Tk/2\} \quad (4)$$

te ćemo posmatrati ovaj najgori slučaj.

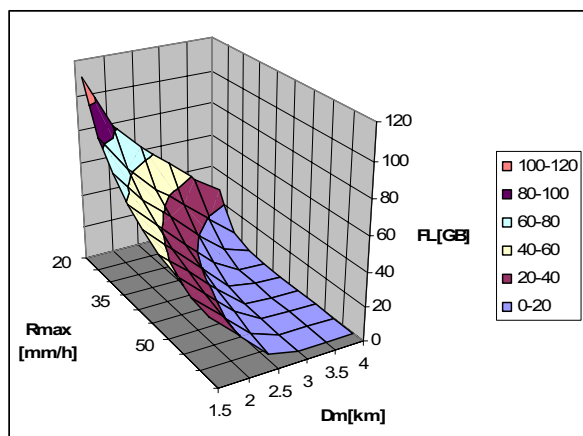
Sa druge strane, najlošiji slučaj je očigledno kad je predpostavljena brzina jednaka nuli, odnosno centar kišne ćelije se stalno nalazi na sredini trase. Empirijski znamo da ovakva predpostavka nema osnova, jer kišni događaj traje konačno i kišna ćelija se posmatra. U literaturi je pokazano da se kretanje kišne ćelije u potpunosti može modelirati različitim njenom početnom pozicijom i parametrima R_{max} i D_m, za predpostavljenu brzinu kretanja kišne ćelije. Pokazano je da se matematički model i izmerena raspodela kiše najbolje uklapa ako se predpostavi brzina kišne ćelije od oko 10m/s, te ćemo u našoj analizi uzeti ovu vrednost. Dobijenu vrednost funkcije FL označićemo kao FLmin(v=10m/s)

IV. NUMERIČKI REZULTATI

Za različite parametre kišne ćelije R_{max} i D_m određena je vrednost $FL_{min}(v=10m/s)$ za linkove Link A i Link B čije su karakteristike date u tabelama 1 i 2. Predpostavljeno je trajanje kišnog događaja od 15min i kretanje kišne ćelije opisane izrazom (4). Rezultati su prikazani na slikama 1 i 2.



Slika 1. Zavisnost FL u funkciji parametara kišne ćelije za Link A



Slika 2. Zavisnost FL u funkciji parametara kišne ćelije za Link B

Na osnovu rezultata prikazanih u tabelama 2 i 3 očekivali bi da performanse linka B budu oko dva do tri puta lošije u odnosu na performanse linka A, budući da su toliko puta veći procenti vremena u kojima link radi sa smanjenim kapacitetom ili ima stanje neraspoložive veze. Međutim analiza ponašanja linkova u prisustvu kišne ćelije pokazuje da je takvo ponašanje približno samo u slučajevima velikih intenziteta kiše koji se javljaju na relativno maloj površini u prostoru. Ovakve kišne ćelije se tipično javljaju u letnjem periodu.

Međutim, ponašanje u prisustvu ćelija relativno malog intenziteta kiše na većem prostoru, kakve se na teritoriji Srbije po pravilu javljaju u prolećnom i jesenjem periodu, drastično degradira performanse linka B, što se ne vidi na osnovu rezultata prikazanim u tabelama 1 i 2. Sa druge strane ovakav tip kišne ćelije praktično nema uticaja na ponašanje linka A koji radi sa svojim punim kapacitetom.

Na taj način će korisnik Linka A u većini kišnih događaja retko primećivati značajniju degradaciju performansi, dok će korisnik linka B primećati degradaciju performansi vrlo često pri pojavi kišnih događaja, što nije lako uočljivo iz procenta prevazilaženja odgovarajućeg slabljenja usled kiše koji su prikazani u tabelama.

V. ZAKLJUČAK

Opisan metod za analizu performansi linkova na milimetarskom talasnom opsegu pruža bolji uvid u stvarni osećaj korisnika, nego što daje klasičan metod proračuna procenta vremena u kome link ima odgovarajući kapacitet. Dobijeni rezultati pokazuju da linkovi na milimetarskom talasnom opsegu, koji imaju karakteristike u skladu sa ETSI standardima za dužine veze do oko 3km imaju vrlo dobre performanse. Sa porastom dužine deonice performanse individualnog linka vrlo brzo degradiraju te se moraju primeniti metode zaštite saobraćaja na nivou mreže.

ZAHVALNICA

Rad na ovom projektu delimično je finansiran sredstvima Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj republike Srbije po ugovoru ET-11038.

LITERATURA

- [1] J. Wells, "Multigigabit Wireless Technology at 70 GHz, 80 GHz and 90 GHz", *RF Design*, May 2006, pp.50-58
- [2] www.ratel.rs
- [3] www.ofocom.org.uk
- [4] Ivanek F., editor, *Terrestrial Microwave Communications*, Artech House, 1989.
- [5] ITU-R rec. P.530-12, "Propagation Data and Prediction Methods Required for Design of Terrestrial Line of Sight Systems", 2007
- [6] Xiong Fuqin *Digital Modulation Techniques*, Artech House, 2000
- [7] Shu Lin *Error Control Coding*, Prentice Hall 2004
- [8] Bridgewave AR80 Datasheet, www.bridgewave.com
- [9] Motorola Cannopy Data Sheet, www.motorola.com
- [10] Trango Systems Giga Series Datasheet, www.trangobroadband.com
- [11] ETSI TS 102 524 V1.1.1 (2006-07), Radio Equipment and Antennas for Use in Point-to-Point Millimeter Wave Applications in Fixed Services Frequency Bands 71 GHz to 76 GHz and 81 GHz to 86 GHz, 2007.
- [12] ETSI TS 132 450 V9.1.0 (2010-07), Key Performance Indicators (KPI) for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN): Definitions, European Telecommunication Standards Institute, 2010.
- [13] Bonati A. P., "Essential Knowledge of Rain Structure For Radio Application Based on Available Data and Models", *Radio Africa* 99, October 1999
- [14] E. Matricciani, A. Pawlina, "Statistical characterization 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
- [15] Mayer W., "Comparison of Fade Models for LMDS", IEEE 802.16cc-99
- [16] Feldhake G.S., Sengers A., "Comparison of Multiple Rain Attenuation Models with Three Years of Ka Band Propagation Data Concurrently Taken at Eight Different Locations", www.spacejournal.org, Issue no.2 Fall 2002
- [17] Sinka C, Lakatos B, Bito J, "The Effects of Moving Rain Cell over LMDS Systems", COST A280, 1st International Workshop, July 2002

- [18] Feral L, Lemorton J, Laurent C, Sauvageot H, "Hycell: A New Model of Rain Fields and Rain Cells Structure
- [19] Enjamio C..., "Dimensions and Dynamic Evolution of Microscale Rain Cells", 2nd International Workshop ES TEL, Noordwijk, The Netherlands, May 26-28 2003
- [20] A.Abdou, T. Lebel, A.Amani, "Invariance in the Spatial Structure of Sahelian Rain Fields at Climatological Scales", Journal of Hydrometeorology Vol.4, December 2003, American Meteorological Society
- [21] M. Cheffena, L. E. Bråten and T. Ekman, "On the Space-Time Variations of Rain Attenuation", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 57, No. 6, June 2009.
- [22] ITU-R rec. P.838-3, "Specific Attenuation Model for Rain for Use in Prediction Methods", 2005.

ABSTRACT

In this paper a new approach to performance analysis for millimeter wave radio equipment with adaptive

modulation is given. It is based on the calculation of total amount of data that can be transmitted over link realized with such equipment and in presence of moving rain cell. Characteristic examples were used to prove that proposed analysis is much better in link performance analysis since it gives insight in end-user experience, compared to classical link calculation of percentage of time in which link has given capacity.

**ONE APPROACH IN PERFORMANCE
ANALYSIS OF RADIO EQUIPMENT AT
MILLIMETER BAND WITH ADAPTIVE
MODULATION**

Dragana Perić, Miroslav Perić