

Model UWB kanala sa adaptivnom Nakagami-m raspodelom

Simić Mladen, Elektrotehnički fakultet, Univerziteta u Beogradu

Sadržaj — Ovaj rad je posvećen prirodi prostiranja UWB (*UltraWide Band*) signala i izobličjenjima koja degradiraju signal prilikom njegovog prostiranja. Različiti modeli UWB kanala imaju drugačiji pristup i daju svrsishodne i jedinstvene rezultate. Dat je pregled propagacionih i *multipath* modela kanala. Predložen je model UWB kanala sa adaptivnom Nakagami-m raspodelom kao modifikacija postojećih modela uz sasvim nove ideje, radi što boljeg uvida u UWB propagaciju. Dobijeni rezultati bi trebali da posluže kao smernica za dizajn i projektovanje kompleksnih UWB sistema.

Ključne reči — *multipath* propagacija, Nakagami-m raspodela, *UltraWide Band*.

I. UVOD

PRECIZNO poznavanje bežičnih propagacionih kanala je od velikog značaja prilikom projektovanja radio sistema. Realni model radio kanala koji pruža uvid u mehanizme prostiranja radio talasa je veoma bitan za dizajn i uspešan razvoj bežičnih sistema. Ako je dostupan tačan model kanala, moguće je dizajnirati algoritme u prijemniku, koji postižu dobre performanse iskorišćavanjem svojstava kanala.

U ovom radu su prezentovani propagacioni i *multipath* modeli UWB (*UltraWide Band*) kanala [1]–[3] za konkretan signal. Propagacioni modeli se zasnivaju na propagacijskom slabljenju i detektovanju nivoa prijemne snage: *path loss*, *two-ray* i SBY (*Siwiak, Bertoni, and Yano*) model; dok se *multipath* modeli bave višestrukom propagacijom UWB signala kroz radio interfejs: IEEE 802.11, Δ -K model i IEEE 802.15.3a model [4]–[7].

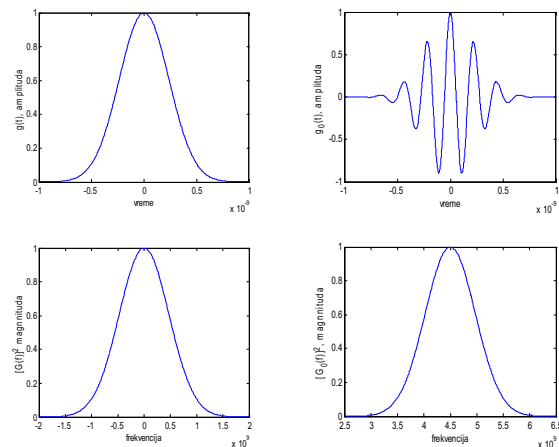
Dosadašnji modeli ne pružaju značajan uvid u propagaciju UWB signala, stoga je predložen model sa adaptivnom Nakagami-m raspodelom, umesto log-normalne raspodele primenjene u IEEE 802.15.3a modelu. Nakagami-m raspodela daje široku lepezu varijacija i mogućnost preciznog praćenja promena u impulsnom odzivu UWB signala [8]. Grupisanje *multipath* komponenti u klastere je odlika UWB kanala, stoga je uveden progresivni rast klastera, adaptivni koeficijenti opadanja i raspodela vremena dolazaka *multipath* komponenti.

Simić Mladen, NES Communications doo, Bulevar Despota Stefana 15, 11000 Beograd, Srbija; tel. 011/22-58-829; fax 011/22-58-801; (e-mail: mladen.simic@nes-communications.com)

II. STANDARDIZACIJA I OBLIK UWB SIGNALA

Standardi omogućavaju da različiti proizvođači stvaraju proizvode koji su kompatibilni jedni sa drugima. IEEE 802.15.3a je osnovni UWB standard, mada je u skoroj upotrebi i IEEE 802.15.4a standard. Frekvencijski opseg je 3.1-10.6GHz. Spektralna gustina srednje snage je ograničena na -41.3dBm/MHz (signal je potopljen u šum).

Signal koji je korišćen u ispitivanju i modelovanju UWB kanala je dat na Sl. 1 (desno). Centralna učestanost je 4.5GHz, širina opsega 2GHz (10dB opseg), a maksimalna EIRP (*Equivalent isotropically radiated power*) je -10.6dBm [1]–[3].



Sl. 1. Vremenski i frekvencijski oblik UWB signala u osnovnom (levo) i transponovanom-radio opsegu (desno).

Signal u transponovanom opsegu glasi:

$$g_0(t) = \exp\left(\frac{-0.5t^2}{u_B^2}\right) \cos(2\pi f_c t), \quad (1)$$

a njegov zapis u frekvencijskom domenu:

$$G_0(f) = \exp\left(-2(\pi(f \pm f_c)u_B)^2\right), \quad (2)$$

gde je f_c centralna učestanost, a u_B je definisano kao:

$$u_B = \left(2\pi f_B \left(\log(e)^{1/2}\right)\right)^{-1}. \quad (3)$$

III. PROPAGACIONI MODELI

A. Path loss model

Path loss propagacioni model se zasniva na istoimenom modelu uskopojasnih signala, Sl. 2. Pod pretpostavkom da je zracenje antene savršeno isotropno i na predajniku i na prijemniku [1]–[3], primljena snaga kao funkcija

frekvencije može se izraziti kao:

$$P_R(f) = \frac{P_T(f)G_T(f)G_R(f)c^2}{(4\pi d)^2 f^2}, \quad (4)$$

gde je $P_T(f)$ spektralna gustina srednje predajne snage, a $G_T(f)$ i $G_R(f)$ su dobici predajne i prijemne antene u funkciji od frekvencije, respektivno.

Ukupna srednja prijemna snaga je data sa:

$$P_{Rav} = P_{av}^{NB} \left[\frac{1}{1 - (W/2f_c)^2} \right], \quad (5)$$

gde je:

$$P_{av}^{NB} = \frac{P_{ave} G_R c^2}{(4\pi d)^2 f_c^2}. \quad (6)$$

B. Two-ray model

Two-ray model se zasniva na razmatranju uticaja reflektovanog talasa o podlogu na direktni talas [2]. Diferencijalna razlika u dužini putanja ova dva talasa određuje da li će doći do njihovog preklapanja, Sl. 2.

Postoje tri faze u ovom modelu:

1) kvadratna zavisnost od rastojanja

$$P_L = 20 \log \left(\frac{c}{4\pi d f_m} \right); \quad (7)$$

2) prelazni režim (prilagožavanje); tačka preloma:

$$d_t = \frac{4\pi f_m h_1 h_2}{c}; \quad (8)$$

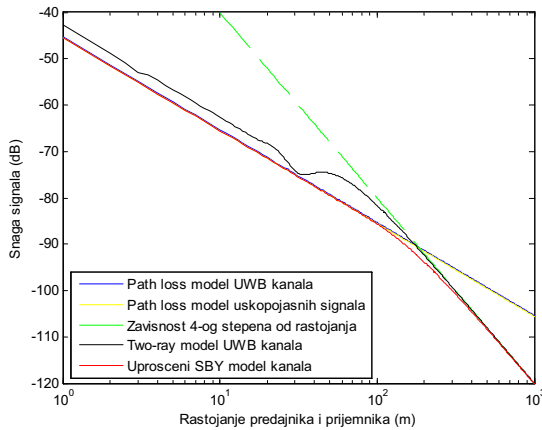
3) zavisnost 4-og stepena od rastojanja

$$P_{D+R} = 20 \log \left(\frac{h_1 h_2}{d^2} \right). \quad (9)$$

C. SBY model

Uprošćeni SBY model (Sl. 2) je definisan formulom[2]:

$$P_G = 10 \log \left\{ \left[\frac{c}{4\pi d f_m} \right] \left[1 - \exp \left(- \left(\frac{d_t}{d} \right)^{n-2} \right) \right] \right\}. \quad (10)$$

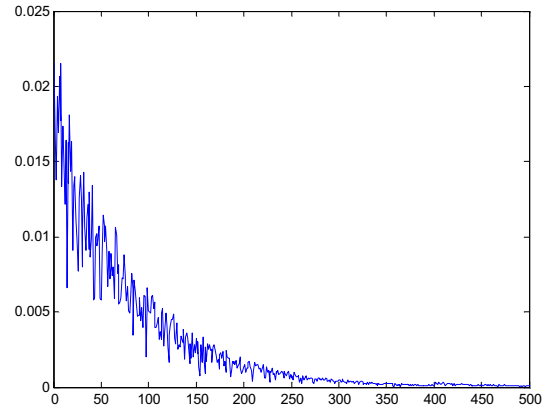


Sl. 2. Path loss model UWB i uskopojasnih kanala, two-ray i uprošćeni SBY model kanala.

IV. MULTIPATH MODELI

A. IEEE 802.11 model

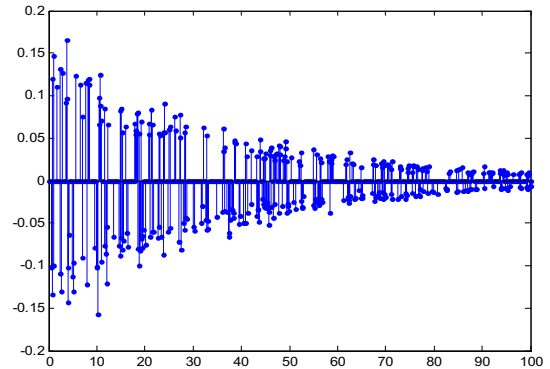
Na ulaz dovodimo nezavisne kompleksne Gauss-ove promenljive [4] i dobijamo usrednjeni profil amplituda (*multipath* komponenti) koji opada eksponencijalno, Sl. 3.



Sl. 3. Profil amplituda IEEE 802.11 modela.

B. Δ-K model

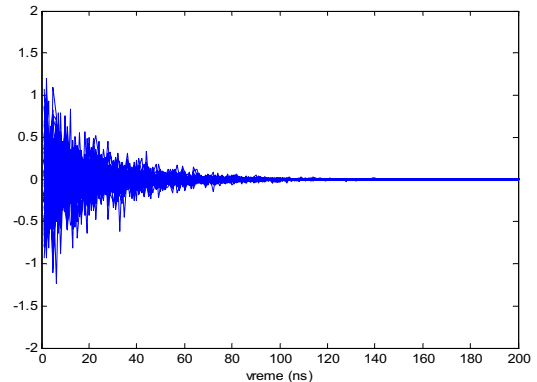
Raspodela *multipath* komponenti je modifikovana Poisson-ova [4]. Vremenska osa je podeljena na veoma male intervale tzv. binove, koji su širine Δ ; kada god postoji komponenta u prethodnom binu, srednje vreme dolazaka, što je prosečan broj pristiglih putanja u jedinici vremena, se povećava (odnosno smanjuje, ako je potrebno) sa faktorom K, Sl. 4.



Sl. 4. Impulsni odziv Δ-K modela.

C. IEEE 802.15.3a model

Baziran je na Saley-Valenzuela modelu [4]–[8], uvodi klasterizaciju i duplo-ekponencijalno opadanje *multipath* komponenti, čija je raspodela log-normalna. Komponente su grupisane u klaster, pri čemu eksponencijalno opadaju brže od nosilaca klastera, Sl. 5.



Sl. 5. Impulsni odziv IEEE 802.15.3a model.

V. MODIFIKOVANI IEEE 802.15.3A MODEL UWB KANALA SA ADAPTIVNOM NAKAGAMI-M RASPODELOM

Impulsni odziv kanala je predstavljen formulom:

$$h(t) = X \sum_{l=0}^L \sum_{k=0}^K \alpha_{k,l} \delta(t - T_l - \tau_{k,l}), \quad (11)$$

gde su: L - broj klastera, K - broj talasa u klasterima, $\alpha_{k,l}$ - koeficijenti *multipath* komponenti impulsnog odziva, T_l - kašnjenje l-tog klastera, $\tau_{k,l}$ - kašnjenje k-te *multipath* komponente relativno u odnosu na kašnjenje klastera (T_l), X - log-normalno senčenje.

Impulsni odziv modela kanala čine *multipath* komponente definisane formulama:

$$\alpha_{k,l} = p_{k,l} \beta_{k,l}, \quad (12)$$

gde $p_{k,l}$ predstavlja broj refleksija koje pretrpi određena komponenta i ima vrednosti +/-1,

$$E[\beta_{k,l}^2] = \Omega_l \frac{1}{\gamma_l [(1-\beta)\lambda_1 + \beta\lambda_2 + 1]} e^{-\frac{\tau_{k,l}}{\gamma_l}}, \quad (13)$$

Ω_l je ukupna energija l-tog klastera, a γ_l intra-klusterski koeficijent opadanja l-tog klastera.

A. Nakagami-m raspodela

Raspodele koje smo do sada koristili da opišemo model UWB kanala mogu se sveobuhvatno opisati Nakagami-m raspodelom, variranjem parametra m. Ovo joj daje primenu u različitim situacijama i okruženjima. Implementacija Nakagami-m raspodele je definisana formulama:

$$\Omega = E[\beta_{k,l}^2] \quad (14)$$

i

$$E[\beta_{k,l}] = \frac{\Gamma\left(m + \frac{1}{2}\right)}{\Gamma(m)} \sqrt{\frac{\Omega}{m}}, \quad (15)$$

gde je m parametar Nakagami-m raspodele, a $\Gamma(m)$ Gamma funkcija:

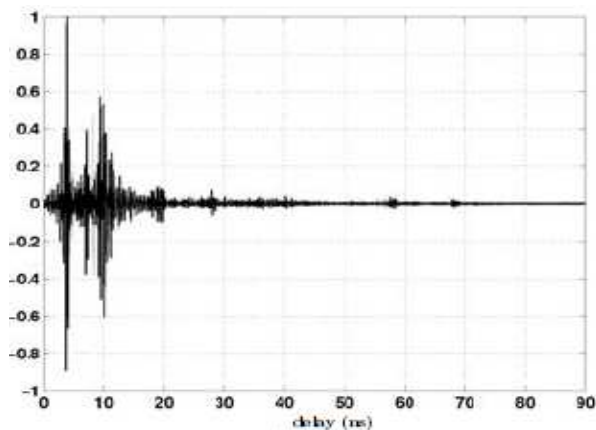
$$\Gamma(m) = \int_0^{\infty} e^{-t} t^{m-1} dt. \quad (16)$$

Nakagami-m raspodela veoma precizno opisuje i brze i spore promene amplituda. Spore su u glavnom zasnovane na Rayleigh-ovoj raspodeli, što je ekvivalentno Nakagami raspodeli sa parametrom m=1. Za parametar $m \rightarrow \infty$ Nakagami raspodela postaje log-normalna, što je čini invarijantnom na uslove propagacije.

Skokovite promene u početnim klasterima će biti predstavljene Nakagami raspodelom čije je m=4, dok će klasteri na repu impulsnog odziva imati m=1. Komponente velikih amplituda, koje stižu prve u prijemnik, imaju po pravilu log-normalnu raspodelu (IEEE 802.15.3a model, Sl. 5); dok one oslabljenje i dosta zakašnjene imaju Rayleigh-evu (veoma male promene).

B. Dodatne modifikacije

Klasteri modifikovanog modela progresivno rastu, sa koeficijentom progresije jednakim veličini prvog klastera. Širine klastera bi se praktično mogle prikazati kao red prirodnih brojeva pomnožen slučajnim brojevima sa normalnom raspodelom (peti klaster treba da bude približno pet puta širi od prvog). Ovakav pristup je mnogo prihvatljiviji, ako se razmotri ekperimentalno izmereni impulsni odziv UWB kanala [8], Sl. 6.



Sl. 6. Primer eksperimentalno izmerenog impulsnog odziva UWB kanala.

Raspodela vremena dolazaka klastera je data sa:

$$p(T_l | T_{l-1}) = \Lambda \exp[-\Lambda(T_l - T_{l-1})], \quad l > 0 \quad (17)$$

pri tome je $\tau_{0,l} = T_l$, nulta komponenta (nosilac) klastera.

Raspodela vremena dolazaka *multipath* komponenti sada je kombinovana Poisson-ova raspodela (β , λ_1 i λ_2):

$$p(\tau_{k,l} | \tau_{(k-1),l}) = \beta \lambda_1 \exp[-\lambda_1(\tau_{k,l} - \tau_{(k-1),l})] + (1-\beta) \lambda_2 \exp[-\lambda_2(\tau_{k,l} - \tau_{(k-1),l})], \quad k > 0 \quad (18)$$

gde je β kombinovana verovatnoća, a λ_1 i λ_2 brzine dolazaka *multipath* komponenti klastera.

C. Impulsni odziv modela

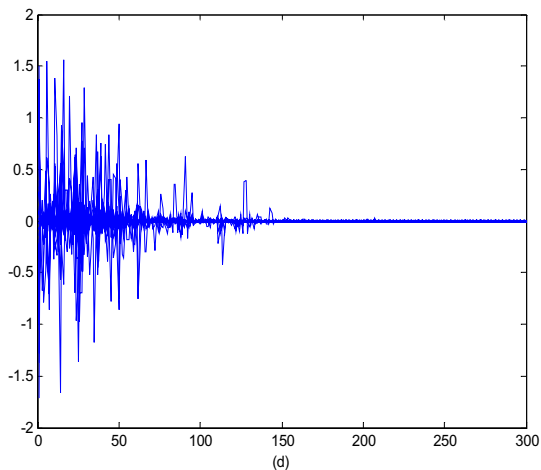
Parametri modela i njihove vrednosti su dati u Tabeli 1.

TABELA 1: PARAMETRI MODELA.

Parametar	Definicija	Vrednosti
Λ (1/ns)	Brzina dolazaka klastera	0.016
λ_1 i λ_2 (1/ns)	Brzine dolazaka <i>multipath</i> komponenti u okviru klastera	0.2 i 3
Γ (ns)	Koeficijent opadanja klastera (eksponencijalno)	14.6
γ (ns)	Koeficijent opadanja <i>multipath</i> komponenti u okviru klastera (eksponencijalno)	6.4
k_γ	Koeficijent progresije opadanja <i>multipath</i> komponenti u klasterima	0.018
β	Kombinovana verovatnoća raspodele <i>multipath</i> komponenti	0.018
$\sigma_{klaster}$ (dB)	Standardna devijacija log-normalnog <i>fading</i> -a u okviru klastera	3.3941
σ_x (dB)	Standardna devijacija log-normalnog senčenja (eng. <i>shadowing</i>) za ceo impulsni odziv	3

Vrednosti za standardne devijacije log-normalnog *fading*-a u okviru klastera i globalnog *shadowing*-a su preuzete iz IEEE 802.15.3a modela, a to su 3.3941 i 3dB. Primenjeni su LOS (*Line Of Sight*) uslovi propagacije.

Impulsni odziv modela UWB kanala sa Nakagami-m raspodelom, sa 80 iteracija koje se međusobno preklapaju, je dat na Sl. 7.



Sl. 7. Impulsni odzivi modifikovanog IEEE 802.15.3a modela UWB kanala sa Nakagami-m raspodelom

U odnosu na modele predstavljene u literaturi, ovaj model ima slična ponašanja. Parametri srednjeg prekomernog kašnjenja τ_m i RMS (*root mean square*) širenja kašnjenja (disperzivnog kašnjenja) τ_{RMS} imaju vrednosti: $\tau_m=14.8ns$ i $\tau_{RMS}=14.3ns$, što potvrđuje pretpostavku da ovi parametri direktno zavise od Γ (koeficijenta interklusterskog opadanja). Broj 10-dB komponenti $NP_{10dB}=21$ predstavlja broj *multipath* komponenti koje su 10dB ispod maksimalne (direktne) komponente, a on nam pokazuje izraženost nosilaca klastera, jer smo koristili progresivno povećavanje klastera (pri čemu su se anvelope klastera spuštale) i koeficijenata opadanja *multipath* komponenti u klasterima (pri čemu su se amplitude smanjivale dosta brže, a samim tim i snaga). Sa Sl. 6 se može primetiti veoma važna osobina impulsnog odziva UWB kanala, a to je njegova simetričnost u odnosu na x-osu. S obzirom na veoma kratko trajanje UWB impulsa, 0.5ns, komponente koje stižu u prijemnik imaju kašnjenje određeni vremenski period, dok komponente koje stignu neposredno posle njih imaju gotovo istu amplitudu, suprotnu fazu (dodatna refleksija) i skoro zanemarljivo kašnjenje. Ovo nam pokazuje da svaka značajna komponenta odziva ima svoju repliku suprotne faze u gotovo istom vremenskom trenutku. Modifikovani model kanala prikazan na Sl. 7 ima ovu osobinu tj. može se uočiti simetričnost impulsnog odziva u odnosu na x-osu.

VI. ZAKLJUČAK

Model UWB kanala je od izuzetne važnosti za estimaciju performansi i dizajn kompletnog UWB komunikacionog sistema. Uvid u propagacione mehanizme i izrazito širokopoljansnu prirodu UWB signala, na osnovu modela UWB kanala, nam omogućava jednostavniju realizaciju i implementaciju prijemnika, kao i sigurniji prenos podataka. Veliki značaj modela UWB kanala se ogleda u izuzetno preciznoj radarskoj i *bluetooth* tehnologiji, ali i sve više zastupljenim kućnim senzorskim mrežama.

LITERATURA

- [1] K. Siwiak i D. McKeown "Ultra-Wideband Radio Technology", 2004.
- [2] M. Ghavami, L. B. Michael i R. Kohno "Ultra Wideband Signals and Systems in Communications Engineering" (second edition), 2007.
- [3] H. Arslan, Z. N. Chen i M. Di Benedetto "Ultra Wideband Wireless Communications", 2006.
- [4] IEEE P802.15 Working Group for Wireless Personal Area Networks (WPANs), "UWB Channel Modeling Contribution for Intel", IEEE P802.15-02/208r1-SG3a, 24. March 2010.
- [5] A. Saleh and R. Valenzuela, "A statistical model for indoor multipath propagation", IEEE JSAC, SAC-5(2), 128-137, 1987.
- [6] H. Hashemi, "Impulse response modeling of indoor radio propagation channels", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 11:967-978, 1993.
- [7] H. Suzuki, "A statistical model for urban radio propagation", IEEE Transactions on Communications, 25:673-680, 1977.
- [8] P. Pagani, F. T. Talom, P. Pajusco and B. Uguen, "Ultra-Wideband Radio Propagation Channels", Great Britain, 2008.

ABSTRACT

This paper is devoted to the nature of UWB signal propagation and distortion that degrade the signal during its propagation. Different models of UWB channel have a different approach and provide meaningful and unique results. Provides an overview of propagation and multipath channel models. Proposed UWB channel model with adaptive Nakagami-m distribution as well as modification of existing models with completely new ideas, for better insight into the UWB propagation. The results should serve as a guideline for the design and planning of complex UWB system.

UWB CHANNEL MODEL WITH ADAPTIVE NAKAGAMI-M DISTRIBUTION

Simic Mladen, School of Electrical Engineering,
University of Belgrade