

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Ирене Марковић за израду докторске дисертације

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета у Београду на седници бр. 764 од 11.07.2013. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата мр **Ирене Марковић**, дипл. инг, за израду докторске дисертације и научне заснованости теме **„Моделовање динамике фединга пропагационог радио канала мобилних система”**. На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Ирена Марковић, рођена Јанковић, рођена је у Краљеву, 30. маја 1979. године. Основну школу завршила је у Краљеву као добитница Вукове дипломе, а 1994. године уписује природно-математички смер гимназије у Краљеву. Матурирала је 1998. године као један од најбољих ђака своје генерације. Студије на Електротехничком факултету у Београду започела је школске 1998/99 године. Звање дипломираног инжењера електротехнике стиче 13. јула 2004. године. Дипломирала је на смеру за Телекомуникације са просечном оценом 9.19, израдом дипломског рада на тему из области бежичних широкопојасних локалних мрежа, под називом: „Практична имплементација IEEE 802.11b WLAN мреже у *indoor* окружењу”, који је оцењен највишом оценом. Последипломске студије на Електротехничком факултету у Београду, смер Телекомуникације, уписала је у новембру 2004. године. Магистрирала је 01. јула 2013. године са средњом оценом 10. Тема магистарског рада је „Емпиријска анализа и моделовање *multipath* фединга WCDMA пропагационог канала“.

Септембра 2004. године, Ирена Марковић је започела стручну сарадњу са Катедром за телекомуникације Електротехничког факултета у Београду, где је ангажована као сарадница у настави и лабораторијским вежбама. Јула 2005. године запослена је у својству асистенткиње приправнице на Катедри за телекомуникације у ком се и сада налази.

Члан је IEEE међународног удружења инжењера од 2004. године, а била је и председница IEEE Студентског огранка Београд у периоду 2006.-2012.

Говори енглески, француски и немачки језик. Удата је и мајка једног детета.

1.2. Сечено научноистраживачко искуство

Кандидаткиња Ирена Марковић је магистрирала 01. јула 2013. године на Електротехничком факултету у Београду са темом магистарског рада „Емпиријска анализа и моделовање *multipath* фединга WCDMA пропагационог канала“ (ментор рада проф. др Александар Нешковић). Најважнији доприноси магистарског рада су следећи:

- По први пут у литератури су утврђени карактеристични параметри процеса рађања и умирања компоненти импулсних одзива канала, и то за урбану *outdoor* средину UMTS система, разматрајући независно услове LOS и NLOS пропагације, као и случајеве стационарног пријемника и пријемника у покрету, који су потом упоређени са досадашњим резултатима у стручној литератури.
- Потврђено је постојање корелисаности процеса рађања и умирања *multipath* компоненти. Утврђено је да је неопходно проширење Марковљевог модела са 4 стања како би се постигло моделовање на нивоу веће тачности, и извршен је прорачун одговарајућих транзиционих матрица.
- Коначно, предложене су корекције постојећих модела, односно предлог новог Марковљевог модела са 9 стања који ближе описује карактеристике UMTS мерне средине са аспекта динамике процеса рађања и умирања *multipath* компоненти. Нови модел је примењен посебно на случајеве LOS и NLOS пропагације, уз одвојено моделовање случаја пријемника у покрету и случаја стационарног пријемника.
- Изложене су даље смернице развоја и примене модела.

У току досадашњег истраживачког рада Ирена Марковић била је аутор два рада на конференцијама од међународног значаја (категорија M33) и четири рада на конференцијама од националног значаја (категорија M63). Следећи радови непосредно припадају области на коју се односи предложена докторска дисертација,

- Међународне конференције:
 1. **Janković I.**, Nešković A., Nešković N., Paunović Đ.: *Empirical Analysis of UMTS Propagation Channel (2127.6 MHz) for case of Stationary Receiver*, - Proceedings of The Sixth International Symposium on Wireless Communication Systems, ISWCS 2009, Sienna 2009, Italy, pp. 545-549.
- Националне конференције:
 2. Marović L., **Marković I.**, Koprivica M., Nešković A.: *Markov multipath radio channel model in outdoor environment*, Proceedings of The 19th Telecommunications Forum (TELFOR), Belgrade 2011, pp. 497-500.
 3. **Janković I.**, Nešković A., Nešković N., Paunović Đ.: *Vremenska disperzija UMTS propagacionog kanala*, Zbornik radova sa konferencije TELFOR 2007, Beograd 2007, str. 187-190.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Резултати истраживања приказани у оквиру магистарске тезе кандидаткиње, као и резултати објављени у поменутим радовима биће коришћени као основа даљег развоја модела који ће бити представљен у докторској дисертацији. На основу досадашњег стручног рада и публикованих научних резултата може се закључити да је кандидаткиња Ирена Марковић квалификована за израду докторске дисертације на предложену тему.

2. Предмет и циљ истраживања

У бежичним телекомуникационим системима *multipath* представља доминантни пропагациони феномен у радио каналу, који резултује доспећем радио сигнала на пријемну антену у облику две или више реплика емитованог сигнала, различитих пређених путања и различитих, али блиских, временских тренутака пристизања. Узроци *multipath* пропагације укључују различите феномене простирања електромагнетског таласа који су настали као последица расејања, дифракције, рефракције у јоносфери, рефлексije од зграда или других природних и вештачких структура, креирајући велики број путања. Пратећи ефекти *multipath* фединга јесу брзе промене нивоа сигнала, ширење, односно временска дисперзија сигнала, као и померај у фреквенцијском домену до кога долази услед Доплеровог ефекта при кретању пријемника и/или предајника. Све већи значај мобилних система у савременом окружењу, као и повећање њихове комплексности указују на важност оптимизације радио интерфејса и што бољу контролу ефеката *multipath* фединга како би се избегла ограничења у пројектовању.

Моделовање *multipath* радио канала историјски представља један од најзахтевнијих задатака у планирању мобилних радио система, и типично се обавља уз помоћ статистичких метода, али и на бази мерења наменски реализованих за одређени комуникациони систем или одређени део фреквенцијског спектра. У постојећој литератури може се наћи велики број предложених модела *multipath* пропагационог канала, као и резултата и статистика мерних кампања. Савремени трендови развоја мобилних телекомуникационих система подразумевају: све већи број сервиса који постављају захтеве за знатним повећањем доступних протока, свеprisутност мобилних терминала (а тиме и шароликост окружења која треба окарактерисати новим моделима канала), интелигентне антенске системе и као најатрактивније, МИМО (*Multiple-Input, Multiple-Output*) системе који настоје да превазиђу ограничења теоријског капацитета канала уз помоћ *multipath* ефекта. Важан недостатак постојећих *multipath* пропагационих модела често јесте одсуство или недовољно разматрање динамичких карактеристика понашања канала и подробније разматрање карактеристика, трајања и корелисаности појединачних *multipath* компоненти у реалним окружењима. Савремене методе мерења и моделовања треба да омогуће формирање *multipath* пропагационог модела у коме би се превазишли недостаци постојећих, а у максималној могућој мери сачувале њихове добре особине. Формирање новог симулационог *multipath* модела представља тему овог рада.

Осврт на релевантне библиографске изворе

У циљу моделовања *multipath* фединг радио канала мобилних система већи број статистичких и детерминистичких, симулационих и мерних метода предложен је у литератури. Предложени методи се често комбинују, а најзаступљенији су модели на бази статистичких параметара временске дисперзије *multipath* фединга, као и симулације *multipath* фединга на бази мерења импулсних одзива или генерисањем импулсне побуде канала. У савременој литератури је најзаступљенија анализа динамике процеса настајања и промена стања *multipath* фединга канала која је поставила нове изазове моделовања и примене на мобилне системе нових генерација. У наставку је дат преглед радова који укључују претходно поменуте методе, а који су од интереса за израду докторске дисертације.

1. Rappaport T.S.: *Wireless Communications: Principles and Practice*, - 2nd edition, Prentice Hall Professional, New Jersey, USA, 2007.
2. Bello P. A.: *Characterization of Randomly Time-Variant Linear Channels*, IEEE Transactions on Communications Systems, Vol 11, No 4, 1963, pp. 360–393.

3. Zwick T., Fischer C., Wiesbeck W.: *A Stochastic Multipath Channel Model Including Path Directions for Indoor Environments*, - IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol 20, No 6, 2002, pp. 1178-1192.
4. Chong C. C., Laurenson D., Tan C. M., McLaughlin S., Beach M. A., Nix A. R.: *Modelling the dynamic evolution of paths of the wideband indoor propagation channels using the M-Step, 4-State Markov model*, - Proceedings of the 5th European Personal Mobile Communications Conference (EPMCC 2003), Glasgow 2003, No 492, pp. 181-185.
5. Chong C. C., Laurenson D., McLaughlin S.: *Initial modelling of the wideband dynamic directional indoor propagation channel*, - Proceedings of IEE Conference on Getting the Most Out the Radio Spectrum, London 2002, UK, pp. 32/1-3215
6. Chong C. C., Laurenson D., McLoughlin S.: *Statistical characterization of the 5.2GHz wideband directional indoor propagation channels with clustering and correlation properties* - Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference (VTC 2002-Fall), Vancouver 2002, Canada, pp. 629-633.
7. Chong C. C., Laurenson D., Tan C. M., McLaughlin S., Beach M. A., Nix A. R.: *A new statistical wideband spatio-temporal channel model for 5GHz band WLAN systems*, IEEE Journal of Selected Areas in Communications, Vol 21, No 2, 2003, pp. 139-150.
8. Chong C. C., Laurenson D., Tan C. M., McLaughlin S.: *A Wideband Dynamic Spatio-Temporal Markov Channel Model for Typical Indoor Propagation Environments*, Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference (VTC 2003-Spring), Vol 1, 2003, pp. 6-10.
9. Chong C. C., Laurenson D., Tan C. M., McLaughlin S., *A Novel Wideband Dynamic Directional Indoor Channel Model Based on a Markov Process*, IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol. 4, No 4, 2005. pp. 1539-1552.
10. Alhloul S., Yousef S.: *Birth-death Dynamic Evolution of Multipath Signals Effect on WCDMA Receiver*, - CCSE Modern Applied Science Journal, Vol. 2, No. 1, 2008., pp. 1-9.
11. Cox D. C.: *Distributions of Multipath Delay Spread and Average Excess Delay for 910-MHz Urban Mobile Radio Paths*, - IEEE Transactions on Antennas Propagation, Vol. AP-23, 1975, pp. 206-213.
12. Rappaport T. S., Seidel S. Y., Singh R. : *900-MHz Multipath Propagation Measurements for US Digital Cellular Radiotelephone*, - IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 39, 1990, pp. 132-139.
13. Rappaport T. S., Seidel S. Y., Takamizawa K.: *Statistical Channel Impulse Response Models for Factory and Open Plan Building Radio Communication System Design*, - IEEE Transactions on Communications, Vol. 39, 1991, pp. 794-807.
14. Hashemi H.: *Impulse Response Modeling of Indoor Radio Propagation Channels*, - IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 11, 1993, pp. 967-978.
15. Suzuki H.: *A Statistical Model for Urban Radio Propagation*, - IEEE Transactions on Communications, Vol. 25, 1977., pp. 673-680.
16. H. Suzuki: *Simulation of the urban radio propagation channel*, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 28, 1979, pp. 213-225.
17. Saleh A., Valenzuela R. A.: *A Statistical Model for Indoor Multipath Propagation*, - IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol 5, No2, 1987. pp. 128-137.
18. Durgin G.D., *Theory of Stochastic Local Area Channel Modeling for Wireless Communications*, PhD Thesis, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute, 2000.

19. Turin G.L., Clapp F.D., Johnston T.L., Fine S.B., Lavry D.: *A Statistical Model of Urban Multipath Propagation*, - *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 21, 1972, pp. 1–9.
20. Hashemi H., *Simulation of Urban Radio Propagation Channel*, - *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. VT 28, No.3, 1979, pp. 213–225.
21. Zwick T., Fisher C., Didswalou D., Wiwkk W.: *A stochastic channel model based on wave-propagation modeling*, Kluwer Wireless Personal Communications, Jan 2000, pp. 6-15.
22. Nilsen J., Afanaaaicv V., Andersen. B.: *A dynamic model of the indoor channel* - *Wireless Personal Communications*, Nov 2001, pp. 91-120.
23. Chen Y., Dubey V. K.: *Dynamic Simulation Model of Indoor Wideband Directional Channels*, -*IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol 55, No 2, 2006, pp. 417-430.
24. Cox D. C.: *Delay Doppler Characteristics of Multipath Delay Spread and Average Excess Delay for 910-MHz Urban Mobile Radio Paths*, - *IEEE Transactions on Antennas Propagation*, Vol. AP-20, No 5, 1972, pp. 625–635.
25. Devarsivatham D. J., Krain M. J., Rappaport D. A.: *Radio Propagation Measurments at 850MHz, 1.7MHz and 4GHz Inside Two Dissimilar Office Buildings*, - *Electronic Letters*, Vol 26, No 7, 1990, pp. 445–447.
26. Seidel S. Y., Rappaport T. S., Feuerstein M.J., Blackard K.L., Grindstaff L.: *The impact of Surrounding Buildings on Propagation for Wireless In-Building Personel Communication System Design*, - *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol 2, 1992, pp. 814–818.
27. Seidel S. Y., Rappaport T. S., Jain S., Lord M., Singh R.: *Path Loss, Scattering and Multipath Delay Statistics in foru European Cities for Digital Cellular and Microcellular Ra Radiotelephone*, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol 40, No 4, 1991, pp. 721–730.
28. W. C. Y.: *Mobile Cellular Telecommunications Systems*, - McGraw-Hill Publications, USA, 1989.
29. Fung V., Rappaport T. S., Thoma B.: *Bit Error Simulation for $\pi/4$ DQPSK Mobile Radio Communication Using Two-ray and Measurment based Impulse Response Models*, - *IEEE Journal on Selected Areas in Communication*, Vol 11., 1993, pp. 393-405.
30. Woerner B. D., Reed J. H., Rappaport T. S.: *Simulation Issues for Future Wireless Modems*, - *IEEE Communications Magazine*, Vol 37, No 7, 1994, pp. 42–53.
31. Liberti J. C., Rappaport T. S.: *Smart Antennas for Wireless Communications, IS-95 and Third Generation Applications.*, - Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 1999.
32. Molisch, A. F.: *Wideband Wireless Digital Communications*, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 2001.

Наведени радови показују да је тема која се предлаже за истраживање актуелна у свету, а да се у области којој припада тема интензивно истражује.

3. Полазне хипотезе

- Предложена метода симулације *multipath* фединг процеса заснива се на принципима процеса рађања и умирања компоненти импулсног одзива канала. Процес рађања и умирања заправо представља сресијалан случај Markovljevog процеса. Из тог разлога ће се докторска дисертација у великој мери бавити укључивањем Марковљевих процеса у нови модел. Марковљеви процеси због њихове природе која у обзир узима „меморију канала” омогућавају моделовање транзиција канала из једног стања у друго. Заправо, симулациона

метода користи импулсне одзиве канала измерене у бежичном комуникационом систему ради утврђивања статистике и динамике процеса рађања и умирања појединачних *multipath* компоненти. Основна хипотеза методе јесте формирање Марковљевог модела за опис статистике броја рађања и умирања компоненти у каналу, као и транзиционих вероватноћа промене стања импулсног одзива *multipath* канала у времену, или на нивоу просторног помераја пријемника у покрету. На основу наведеног аспекта модела, пријемник би интуитивно у сваком тренутку, поседовао информацију о очекиваном броју умирања већ детектованих компоненти, односно рађања нових. Други део модела има за циљ да омогући пријемнику додатну информацију о кашњењу *multipath* компоненти у оквиру импулсног одзива, чије ће се рађање, односно умирање десити. Препознавање конкретних компоненти било би омогућено увођењем информација о расподелама трајања животног века *multipath* компоненти у зависности од кашњења које компонента поседује у оквиру забележеног импулсног одзива.

- У стручној литератури је заступљена хипотеза да се на нивоу корака фреквенције скенирања канала од стране пријемника не може десити истовремено рађање или умирање више од две компоненте (компоненте идентичног кашњења у оквиру одзива). У оквиру разматране докторске дисертације, наведена хипотеза ће бити прихваћена у иницијалној фази формирања модела. На самом крају биће додатно разматрани ефекти усвајања могућности појаве истовременог рађања или умирања две *multipath* компоненте са истим кашњењем чиме ће бити дат додатни допринос истраживању.

4. Научне методе истраживања

Целокупни експеримент, односно имплементација симулатора, спроводи се у четири корака. У првом кораку, врше се мерења импулсних одзива за одабране мерне локације и сценарије. Други корак састоји се од одређивања статистике броја рађања и умирања и формирања одговарајућих матрица одабраних процеса (Марковљевих, и сл.). Затим, у трећем кораку, спроводе се тренинг поступци, при чему се тестирају расподеле животног века компоненти одређеног кашњења детектоване у оквиру мерне кампање, али и релевантне расподеле препознате у оквиру значајних модела из литературе. Дефинишу се узрочноо-последичне везе утврђених статистика и заузетих стања канала. У последњем кораку приступа се симулацији и верификацији добијених резултата.

У циљу верификације симулатора биће спроведена одговарајућа статистичка анализа, односно биће утврђено у којој мери добијени резултати одговарају подацима измереним у реалном комуникационом систему. Планирано је и поређење перформанси предложене методе у односу на постојеће симулационе методе чиме би биле истакнуте предности и мане сваке методе понаособ.

5. Очекивани научни допринос

Научни допринос пријављене дисертације огледа се у следећем:

- Развој нове симулационе методе *multipath* фединг сигнала са дефинисаним статистичким и динамичким карактеристикама процеса рађања и умирања *multipath* компоненти импулсног одзива канала, веће тачности од постојећих симулационих метода (тестирање примене Марковљевих модела са већим бројем стања, скривених Марковљевих модела и других савремених симулационих метода).
- Могућност примене и адекватно проширење предложене симулационе методе на моделовање *multipath* пропагационог канала у оквиру јавних мобилних система нове генерације.

6. План истраживања и структура рада

План и методологија истраживања састојали би се од теоријског и практичног дела реализованих у облику следећих корака:

1. фаза: Истраживање проблема у литератури;
2. фаза: Истраживање и одабир одговарајућих мерних локација, анализа терена, прикупљање података и формирање интерне базе података;
3. фаза: Конфигурација мерног система за рад у одабраним модovima;
4. фаза: Реализација мерне кампање, праћење и прикупљање података за одабране сценарије;
5. фаза: Експортирање података и накнадна обрада у одабраним програмским пакетима (анализа и примена ефикаснијих и савремених програмских функција и модела); генерисање првог дела модела који симулира статистику рађања и умирања компоненти на нивоу импулсних одзива, као и динамику промена из једног стања одзива канала у наредно стање;
6. фаза: Обрада података и генерисање одговарајуће узрочно-последичне везе трајања животног века компоненти одговарајућег кашњења (узрок) и заузетог стања импулсног одзива канала који се посматра као последица. Дефинисање одговарајућег процеса за описивање уочених појава и примена на мерне податке реализованих мерних сценарија.
7. фаза: Тестирање модела у одабраном програмском пакету који комбинује резултате добијене у фазама 5. и 6. Поређење са резултатима измереним у реалном систему, прорачун релативне грешке;
8. фаза: Формулисање новог модела, окружења и начина на који се примењује.

Истакнуте фазе истраживања биће изложене у оквиру предложене докторске дисертације. Заправо, уводни део предложене докторске дисертације дефинисаће појам *multipath* фединг процеса радио канала, динамику његовог настајања кроз представљање појма процеса рађања и умирања *multipath* компоненти. Главне статистичке карактеристике и параметри динамике процеса рађања и умирања који се користе за опис фединг сигнала биће побројани у уводном делу.

У другом делу предложене докторске дисертације биће анализирана проблематика симулирања појам *multipath* фединг процеса. Најпре, постојеће методе симулирања фединг сигнала у литератури биће побројане и описане. Предложена нова метода биће детаљно анализирана у овом делу, односно биће описан општи модел *multipath* фединг симулатора који се базира на транзиционим вероватноћама промена стања актуелног импулсног одзива, као и вероватноћама рађања и умирања појединачних *multipath* компоненти. Тачније, биће представљена структура предложеног симулатора и његове главне компоненте. Затим, у овом делу предложене докторске дисертације биће анализирани главне компоненте симулатора, структура коришћених процеса (број стања, ред процеса транзиција, корелација узрока и последице, итд.) и њима придружених матрица описивања, као и начин на који су процеси оптимизовани над мерним подацима у циљу симулације динамике *multipath* компоненти сигнала. Након описа процеса оптимизације и валидације предложеног модела над мерним подацима, уследиће упоредна анализа резултата симулације предложене и постојећих метода.

Закључна разматрања биће изложена у завршном делу предложене докторске дисертације.

7. Закључак и предлог

Ирена Марковић пријавила је своју докторску дисертацију под насловом „Моделовање динамике фединга пропагационог радио канала мобилних система” у складу са Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду, подневши на увид сва предвиђена документа. Констатовано је да је кандидаткиња Ирена Марковић магистрирала на Електротехничком факултету у Београду. На основу изложеног, Комисија констатује да кандидат Ирена Марковић испуњава све формалне и суштинске услове за

приступање изради докторске дисертације, као и да је предложена тема научно актуелна у домену савремених бежичних телекомуникационих система. Зато Комисија предлаже Научно-наставном већу Електротехничког факултета у Београду да кандидаткињи Ирена Марковић одобри израду докторске дисертације под горе наведеним насловом. За ментора рада предлаже се др Александар Нешковић, ванр. проф. на Електротехничком факултету у Београду који је уједно био ментор магистарског рада кандидаткиње.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

Др Александар Нешковић, ванр. проф.
(Универзитет у Београду – Електротехнички факултет)

Др Наташа Нешковић, ванр. проф.
(Универзитет у Београду –Електротехнички факултет)

Др Будимир Ђурађ, *Reader*
(*University of Westminster*, Лондон, Велика Британија)