

УНИВЕРЗИТЕТ У БАЊОЈ ЛУЦИ  
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ  
Патре 5  
78000 Бања Лука

УНИВЕРЗИТЕТ У БАЊОЈ ЛУЦИ  
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ  
БАЊА ЛУКА

Број: 421

Датум: 03.05.2017.

др Гордана Гардашевић, ванредни професор  
Универзитет у Бањој Луци, Електротехнички факултет

др Мирјана Симић-Пејовић, ванредни професор  
Универзитет у Београду, Електротехнички факултет

др Славко Шајић, доцент  
Универзитет у Бањој Луци, Електротехнички факултет

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВИЈЕЋУ ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА У БАЊОЈ ЛУЦИ

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета Универзитета у Бањој Луци број 20/3.763-784/16 од 02.09.2016. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед и оцену завршене магистарске тезе Стеве Лукића, дипл. инж. електротехнике, под називом „ПОЗИЦИОНИРАЊЕ КОРИСНИКА У УМТС РАДИО-МРЕЖАМА“. Након прегледа приложеног материјала, подносимо следећи

### И З В Е Ш Т А Ј

#### 1. БИОГРАФСКИ ПОДАЦИ КАНДИДАТА

Стево Лукић је рођен 24.08.1973. године у Грачанцу. Основну школу је завршио 1988. године у Црквени, а средњу школу математичко-физичког смера 1992. године у Шамцу. Дипломирао је на Електротехничком факултету у Бањој Луци 07.12.2001. године, на одсеку за рачунарство и аутоматику, на тему "Умрежавање под оперативним системом Windows 2000". Постдипломске студије на Електротехничком факултету у Бањој Луци, смер телекомуникације, уписао је школске 2003/04. године и положио све испите предвиђене планом и програмом, са просечном оценом 9,83. Ожењен је, има двоје деце и живи у Шамцу.

Кандидат је стално запослен у компанији "Телеком Српске" (МТЕЛ а.д. Бања Лука) и обављајо је више дужности за потребе наведеног предузећа:

-од новембра 2002. до јула 2005. год. радио је у РЈ Брчко као главни инжењер за планирање, пројектовање и одржавање приступне ТК мреже,

-од августа 2005. до маја 2007. год. радио је у РЈ Брчко као главни инжењер на комутационим системима,

-од јуна 2007. до августа 2009. год. радио је као руководилац ТЦ Шамац,  
-од септембра 2009. до фебруара 2010. год. радио је у Дирекцији за маркетинг и продају  
као главни сарадник за продају услуга пословним корисницима,  
-од марта 2010. до септембра 2013. год. радио је као руководилац ИЈ Брчко,  
-од октобра 2013. год. ради у Дирекцији за технику као главни инжењер за изградњу  
кабловске приступне мреже.

Кандидат поседује одговарајуће лиценце за пројектовање, извођење и надзор, за објекте из  
дела електроинсталације слабе струје, телекомуникације и аутоматике, издате од стране  
надлежног Министарства.

Од значајнијих пројеката и задатака које је водио или учествовао у њима, могу се  
издвојити:

1. Пројектовање и имплементација приступних мрежа бакарним каблом за потребе  
Телекома Српске на подручју Радне Јединице Брчко, 2003.-2005. год., 2007.-2008. год.,  
2013.-2016. год. (сарадник на пројектима).
2. Имплементација *Ericsson* и *Iskratel* комутационих система за потребе Телекома Српске  
на подручју Радне Јединице Брчко, 2005.-2006. год. (сарадник на пројектима).
3. Пројектовање и имплементација спојних путева оптичким каблом за потребе Телекома  
Српске на подручју Радне Јединице Брчко, 2003.-2005. год., 2007.-2008. год., 2013.-2016.  
год. (сарадник на пројектима).
4. Имплементација *Huawei* широкопојасних приступних чвррова за потребе Телекома  
Српске на подручју Радне Јединице Брчко и Добој, 2010.-2016. год. (сарадник на  
пројектима).
5. Пројектовање оптичке приступне мреже (FTTH) за потребе Телекома Српске на  
подручју Радне Јединице Брчко, 2013. год. (сарадник на пројекту).
6. Имплементација UMTS радио приступне мреже за потребе Телекома Српске на  
подручју Радне Јединице Брчко у оквиру пројекта SWAP, 2012. год. (сарадник на  
пројекту).

Кандидат је у досадашњем раду, као аутор, објавио два рада у зборницима научно-  
стручних конференција. Радови су објављени у току постдипломског студија. Кандидат је  
у досадашњем раду објавио следеће радове:

1. Стево Лукић, Зоран Петровић: "Дијагностичке OAM функције у MPLS мрежама", 14.  
конференција ТЕЛФОР, Београд, 2006. год.
2. Стево Лукић, Милан Шуњеварийћ: "Оптимизација облика импулса псевудослучајног кода  
за ефикаснију естимацију кашњења у позиционим системима на бази CDMA", 53.  
конференција ЕТРАН, Врњачка Бања, 2009. год.

## 2. ПРЕДМЕТ МАГИСТАРСКЕ ТЕЗЕ

Радио-мреже пружају корисницима једну врло особену предност коју остале мреже не могу обезбедити, а то је да буду мобилни. Са функцијом мобилности, кључни атрибут постаје локација, па одређивање локације корисника у радио-мрежама постаје главно оруђе које мобилним корисницима омогућава прави сервис, у право време и на правом месту. Идеја о лоцирању (позиционирању) корисника у радио-мрежама почиње у оквиру ћелијских радио-мрежа. Настала је у Сједињеним Америчким Државама за потребе сервиса „911“, односно сервиса за хитне позиве. Развојем ћелијских радио-система порастао је и број корисника ових система, а тиме и број хитних позива упућених са мобилних станица. Проблем је био омогућити правовремено реаговање на овакве позиве, с обзиром на то да корисник често није знао своју локацију. Наиме, одређена истраживања из 2002. године, спроведена за потребе Европске комисије, указала су да је у то време на територији Европске уније од укупног броја хитних позива упућених преко мобилног телефона, за њих око 9% установљено да је информација о позицији коју даје иницијатор позива погрешна, односно у 6% случајева није било могуће обавити спасавање услед недостатка информације о позицији. Према томе, потребно је да мобилна мрежа обезбеди што тачнију информацију о локацији корисника. Због тога је америчка Федерална комисија за комуникације, FCC (*Federal Communications Commission*) још 1996. године направила програм у неколико фаза којим је обавезала операторе мобилне телефоније да у предвиђеном временском интервалу, у оквиру својих ћелијских радио-мрежа, обезбеде аутоматску идентификацију локације корисника који са мобилних станица користе услуге сервиса за хитне позиве. Нови сервис безбедности у оквиру ћелијских радио-мрежа назван је *Enhanced 911* (E-911). Одговарајући европски еквивалент је јединствени (E-112) сервис, а његова имплементација представља и један од техничких услова за улазак у Европску унију земаља кандидата.

Осим безбедности, познавање локације корисника у ћелијским радио-мрежама отворило је операторима мобилне телефоније и велике комерцијалне могућности. Према дефиницији међународне организације за стандардизацију 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*), сервиси који се базирају на познавању локације корисника, LBS (*Location Based Services*), су сервиси у оквиру ћелијских радио- мрежа који користе доступне информације о локацији корисника (мобилне станице, терминал). Иста организација стандардизовала је осам категорија LBS сервиса и то: сервиси јавне безбедности, тарифирање на основу информације о локацији корисника, сервиси праћења, надгледање саобраћаја, напредно рутирање позива, информациони сервиси у зависности од локације корисника, сервиси забаве и групни сервиси, те посебни сервиси. Процена је да су приходи од LBS сервиса на глобалном светском нивоу 2015. године износили око 10,3 милијарди америчких долара. У складу са 3GPP, подсервис који је неопходан за реализацију LBS и који обезбеђује податке о локацији корисника у ћелијским радио-мрежама, GSM (*Global System for Mobile Communications*), UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) и LTE (*Long-Term Evolution*) назива се сервис лоцирања, LCS (*Location Services*). LCS специфицира све неопходне елементе у мрежи, њихове функције, интерфејсе и протоколе, како би у целуларним (ћелијским) радио-мрежама било могуће лоцирати мобилне кориснике.

Информација о позицији мобилне станице унутар функционалног дела мобилне мреже може оптимизовати њено функционисање и унапредити квалитет сервиса, па се мобилни оператори појављују не само као понуђачи услуга, већ и као крајњи конзументи. Ексклузивна информација о локацији омогућава: оптимизацију разних функција у постојећим мрежама, утиче на аспект планирања мреже која би подржавала и LBS сервисе, додатна димензија (димензија локације), помаже операторима да унапред доносе одлуке и тиме спрече потенцијално лоше перформансе мреже.

Проблем лоцирања корисника у радио-мрежама је врло актуелан у свету у последњих петнаестак година. Ипак, развој метода за одређивање локације корисника у таквим мрежама је спорији него што се очекивало. Највећи проблем представљају два опречна захтева: остваривање задовољавајуће тачности одређивања локације и коришћење постојеће мрежне инфраструктуре и терминала, без додатних модификација. Из разлога велике пенетрације UMTS мрежа у свету, у раду су размотрене технике позиционирања у WCDMA/FDD мрежи (европски 3G стандард), а детаљно су анализиране оне које су стандардизоване. У оквиру рада истражени су и хардверско-софтверски механизми за унапређење ефикасности TOA (*Time Of Arrival*)/TDOA (*Time Difference Of Arrival*) локацијских метода које су базиране на мерењу времена пропагације референтног радио сигнала од мобилне до базне станице и обратно.

### 3. АНАЛИЗА МАГИСТАРСКЕ ТЕЗЕ

Магистарска теза садржи називну страну, кључне документацијске информације, садржај, укупно 300 страна основног текста (са 28 табела и 112 слика), листу коришћене литературе, те прилог са пописом свих слика и табела. Након основног текста тезе, дата је листа коришћене литературе која је адекватно употребљена и чију садржину сачињава укупно 91 актуелних библиографских наслова. На крају следи прилог са MATLAB кодом симулационе студије.

Свако поглавље рада је посвећено једном сегменту истраживања спроведених у склопу израде тезе, а садржај магистарске тезе по поглављима је следећи:

1. У уводу је образложена мотивација за израду тезе и допринос исте обзиром на резултате постављених циљева истраживања, као и структура рада по тематским целинама.
2. У другој глави је дат преглед актуелних истраживачких радова у области од интереса. Поред тога, приказана је еволуција локацијских система (фазе развоја сервиса позиционирања), дефинисани су проблеми у имплементацији локацијских сервиса, наведене су примене LBS сервиса намењене крајњем кориснику, као и апликације које се односе на употребу ових сервиса у циљу оптимизације и планирања радио-мреже. На крају поглавља дат је преглед стандардизованих (ETSI/3GPP) техника позиционирања.
3. Предмет треће главе је детаљан приказ UMTS LCS архитектуре, односно архитектуре UMTS мреже обогаћене новим сервисом - сервисом позиционирања корисника. У оквиру исте главе представљена је и LCS сигнализација, LCS функције, LCS процедуре, структура LCS протокола, а дат је и комплетан сценарио поступка позиционирања.
4. У четвртој глави су одређени параметри за позиционирање и параметри процене локације у радио-системима. Извршена је подела метода позиционирања и у потпуности су анализиране најпознатије технике позиционирања, при чему је акцент стављен на стандардизоване методе позиционирања и њихове модификације у UMTS мрежи: Cell-ID (*Cell-IDentification*) + RTT (*Round Trip Time*), OTDOA-IPDL (*Observed Time Difference Of Arrival-Idle Period Downlink*), U-TDOA (*Uplink Time Difference Of Arrival*) и A-GPS (*Assisted Global Positioning Satellite System*).
5. У глави пет је показано на који начин се могу имплементирати хардверски механизми за побољшање естимације временског кашњења референтног сигнала у CDMA позиционим системима на бази техника TOA/TDOA. Примењени поступак је заснован на оптимизацији таласних облика употребљеног PN кода, а тестиран је на A-GPS методи позиционирања.

6. У шестој глави су представљени принципи позиционирања у NLOS (*Non-Line-Of-Sight*) пропагационим условима (када нема директне оптичке видљивости између предајника и пријемника) на које су нарочито осетљиве *time-based* локацијске методе. У структури укупне грешке позиционирања, грешке проузроковане овим феноменом су највише заступљене. Истражени су најпознатији алгоритми за идентификацију NLOS преноса и редукције NLOS грешака. Подробније су анализиране методе засноване на принципу максималне веродостојности, ML (*Maximum Likelihood*) технике, и методе базиране на принципу најмањих квадрата, LS (*Least Squares*) технике. У оквиру ове главе приказани су и резултати истраживања имплементације одговарајућег ML естиматора са уграђеним *Levenberg-Marquardt* алгоритмом, при чему су симулација мерења растојања и обрада података извршени применом програмског пакета MATLAB. Такође су дати правци даљег истраживања на пољу напредних техника за одређивање локације мобилне станице.
7. Седма глава се односи на закључно разматрање у којем је дат резиме рада по поглављима, сажето су приказана спроведена истраживања и добијени резултати, те је приказана рекапитулација истих кроз коју се огледају и главни доприноси рада.

#### 4. ОЦЕНА И ДОПРИНОС МАГИСТАРСКОГ РАДА

У тези се могу издвојити два основна доприноса: први допринос се састоји у прегледној и свеобухватној систематизацији познатих научних резултата, а други допринос се односи на резултате самосталног научног истраживања.

Најважнији појединачни доприноси овог рада су:

- Дефинисан је сервис лоцирања (LCS) и анализиран његов значај како са аспекта безбедности људи, тако и са аспекта увођења додатних сервиса крајњих корисника. Додатно, приказан је и значај LCS са становишта оператора, у смислу додатног алатка за оптимизацију и планирање радио- мреже.
- Дат је преглед стандардизованих техника позиционирања у GSM, UMTS и LTE мрежи. Посебно, приказана је LCS архитектура у приступном и језгреном делу UMTS мреже. Размотрене су неопходне модификације у постојећој мрежној инфраструктури, укључујући и инсталацију нових компонената, како би оваква мрежа могла подржати нови сервис позиционирања. Такође, детаљно су анализиране стандардизоване методе позиционирања и њихове модификације у UMTS мрежи (Cell-ID+RTT, OTDOA-IPDL, U-TDOA и A-GPS).
- Приказани су и анализирани параметри за позиционирање у радио- системима: ниво сигнала на пријему, RSS (*Received Signal Strength*), време приспећа сигнала, TOA, временска разлика приспећа сигнала, TDOA и угао приспећа сигнала, AOA (*Angle Of Arrival*).
- Детаљно су истражене детерминистичке методе позиционирања базиране на познатим вредностима претходно дефинисаних параметара: ангулација, циркулациона латерација и хиперболичка латерација. Принцип рада поменутих метода анализиран је на практичним примерима. Размотрени су итеративни и неитеративни алгоритми решавања система нелинеарних хиперболичких једначина. Посебно, приказана је и метода позиционирања заснована на процени

обележја базних станица (принципу *fingerprinting-a*) која представља комбинацију детерминистичких и пробабилистичких метода.

- Предочена је и детаљно истражена методологија формирања оптималних импулса PN кода који својом геометријом утичу на минимизацију варијансе процене параметра TOA, односно варијансе процењеног пропагационог кашњења сигнала регистрованог у пријемнику мобилне станице. Доказано је да таласни облици PN кода, генерисани на бази тзв. издужених сферних таласних функција, PSWF (*Prolate Spheroidal Wave Function*) представљају оптимално решење за A-GPS локацијске сервисе, при чemu је њихова примена генерално погодна и за ћелијске системе позиционирања.
- Посебна пажња посвећена је проблему позиционирања у NLOS пропагационим условима. Извршено је груписање алгоритама идентификације NLOS трансмисије и показано да уз претходно проведени LOS/NLOS идентификациони поступак долази до повећања тачности позиционирања. Детаљно су истражени алгоритми идентификације NLOS трансмисије базирани на статистици мерења удаљености, односно параметра TOA (метода изравнавања података, тестови за откривање искачућих вредности, *Kolmogorov-Smirnov* и *Shapiro-Wilk* тест оцене нормалности дистрибуције, тест генералног количника веродостојности, као и тест резидуала).
- Истражени су конвенционални алгоритми за смањење NLOS грешака засновани на принципу максималне веродостојности (ML технике) и принципу најмањих квадрата (LS технике), са кратким освртом на методе базиране на оптимизацији са ограничењима и примени робусних естиматора.
- Детаљно је размотрен ML алгоритам за LOS сценарио и ML алгоритам за NLOS сценарио. Представљена је и математички формулисана итеративна процедура у литератури позната као AML естиматор. Изведена је веза између тачности позиционирања, CRLB (*Cramer-Rao Lower Bound*), стандардне девијације мernог шума и локационе геометрије, GDOP (*Geometric Dilution of Precision*). Показано је да се ML естимација непознате локације мобилне станице у NLOS окружењу под извесним условима свodi на решавање нелинеарног проблема најмањих квадрата, NLS (*Non-linear Least Squares*). Због својих добрих особина, у циљу ефикасног решавања NLS проблема извршена је темељна анализа и дат је псевдокод имплементације итеративне *Levenberg-Marquardt* методе оптимизације. Приказана је формулатија генерализоване метрике тачности (G-CRLB).
- Анализиране су неке од најчешће коришћених LS техника: метода пондерисаних линеарних најмањих квадрата, WLLS (*Weighted Linear Least Squares*), метода пондерисаних резидуала (RWLS алгоритам) и *Taylor*-ов метод најмањих квадрата. Приказана је компаративна анализа алгоритама редукције NLOS грешака.
- Резултати истраживања презентовани у практичном делу рада потврдили су основну хипотезу да се интеграцијом LOS и NLOS мерења, уз примену адекватног ML естиматора за корекцију NLOS грешке и утврђеним *Levenberg-Marquardt* алгоритмом оптимизације, добијају бољи резултати за RMSE (*Root Mean Squared Error*) грешку позиционирања, него када се за позиционирање користе искључиво базне станице које се налазе на линији директне оптичке видљивости са мобилном станицом (LOS BS). Ови резултати посебно долaze до изражaja када је број LOS BS мали, или је геометријски положај LOS BS неповољан (велика вредности параметра GDOP). Према томе, нови извори информација у виду додатних NLOS BS, представљају и корисне изворе информација. На основу претходног, наведени естиматор може бити варијанта потенцијалног решења за TOA базиране системе позиционирања у NLOS ситуацијама.

## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу прегледа и анализе урађене магистарске тезе, Комисија је стекла уверење да ју је кандидат урадио самостално, уз коришћење обимне савремене литературе, и да магистарски рад својим садржајем, постигнутим резултатима и закључцима садржи све потребне елементе којима су остварени циљеви истраживања. Комисија такође закључује да је садржајем магистарског рада обухваћено значајно подручје истраживања, како са теоријског аспекта, тако и са аспекта примене. Кандидат је на основу анализе резултата досадашњих истраживања и резултата добијених на основу сопствене симулационе студије, доказао оправданост и могућност интеграције NLOS мерења у естимациони процес, чиме је доказана основна хипотеза дефинисана на почетку истраживања. Ценећи овај и остale доприносе, а пре свега предложени тројни концепт за унапређење локацијских сервиса - пенетрација *mobile-assisted A-GPS* методе позиционирања као префериране методе у будућности, модернизација електронике сегмената GPS система са генераторима таласних облика PSWF функција, као и модернизација SMLC јединица Ћелијске мреже са ML естиматорима за корекцију NLOS грешке и уградњеним *Levenberg-Marquardt* алгоритмом оптимизације, Комисија констатује да су остварени постављени циљеви истраживања и рад позитивно оцењује.

На основу укупне оцене, Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета да усвоји овај извештај и одобри кандидату Стеви Лукићу, дипл. инж. ел., јавну одбрану магистарског рада под називом „ПОЗИЦИОНИРАЊЕ КОРИСНИКА У УМТС РАДИО-МРЕЖАМА“.

У Београду и Бањој Луци, 18.04.2017. године

### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

1. Проф. др Гордана Гардашевић, председник

Гордана Гардашевић

2. Проф. др Мирјана Симић-Пејовић, ментор

Мирјана Симић-Пејовић

3. Доц. др Славко Шајић, члан

Славко Шајић