

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата **мр Марка С. Ђогатовића** за израду докторске дисертације

Одлуком Наставно-научног већа Саобраћајног факултета у Београду бр. 38/4 од 19. фебруара 2014. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата мр Марка С. Ђогатовића за израду докторске дисертације и научне заснованости теме под називом:

**„АЛГОРИТМИ ЕСТИМАЦИЈЕ СТАЊА СИГНАЛА
ГЛОБАЛНИХ НАВИГАЦИОНИХ САТЕЛИТСКИХ СИСТЕМА“**

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. Подаци о кандидату

1.1 Биографски подаци

Марко С. Ђогатовић је рођен 23.12.1976. године у Краљеву, где је завршио основну школу и гимназију. На Саобраћајни факултет у Београду уписао се 1995/1996. године, где је дипломирао 09.07.2001. године, на Одсеку за поштански и телекомуникациони саобраћај, са просечном оценом 9,40 (девет и 40/100). Током студија био је корисник стипендија Краљевине Норвешке, Министарства просвете Републике Србије и фондације „Проф. Никола Ока“.

По завршетку студија проглашен је за најуспешнијег дипломираног студента у школској 2001/2002 години. Последипломске студије уписао је школске 2002/2003. године на Саобраћајном факултету Универзитета у Београду. Положио је испите предвиђене наставним планом и програмом са просечном оценом 10,00. Магистарску тезу под називом „Компаративна анализа алгоритама естимације GPS сигнала“ одбранио је 04.05.2011. године и тиме стекао звање магистра техничких наука.

У звање асистента-приправника за ужу научну област „Управљање и симулација“ на Саобраћајном факултету Универзитета у Београду, изабран је 01.09.2003. године (реизабран у исто звање 06.11.2008.), а у звање асистента за ужу научну област „Управљање и симулација“ на Саобраћајном факултету Универзитета у Београду, изабран је 01.02.2012. године.

Ангажован је на извођењу рачунских и лабораторијских вежби на Основним академским студијама из предмета: „Управљање системима“, „Рачунарска симулација“, „Програмски језици“, „Објектно оријентисана симулација“, „Вештачка интелигенција“, „Системи за позиционирање објеката“, „Методе заштите у електронском пословању“, као и на извођењу вежби на Мастер академским студијама из предмета: „Моделирање, симулација и анимација“ и „Анализа временских серија“. Био је ангажован и на извођењу рачунских и лабораторијских вежби из следећих предмета: „Кибернетика“, „Саобраћајно-транспортна кибернетика“, „Моделирање система на дигиталним рачунарима“, „Програмски језици у ПТТ-у“, „Теорија система“ и „Практикум из Теорије система“.

Аутор је и коаутор више радова објављених у међународним и домаћим часописима и научним скуповима. Учествовао је као сарадник на пројектима које финансира Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Кандидат Марко С. Ђогатовић одбранио је магистарску тезу под називом „Компаративна анализа алгоритама естимације GPS сигнала“ на Саобраћајном факултету у Београду, 4. маја 2011. године. Ментор магистарске тезе био је проф. др Милорад Станојевић. Тема магистарске тезе припада ужој научној области „Управљање и симулација“.

У магистарској тези је дефинисан методолошки поступак софтверске обраде сигнала и извршена упоредна анализа оцено положаја GPS пријемника коришћењем стандардних корелационих алгоритама и неколико алгоритама естимације познатих у литератури. У раду је развијен алгоритам за симулацију L1 C/A GPS сигнала на међуфреквенцији и реализован софтверски GPS пријемник. Дат је преглед оптималних и субоптималних алгоритама естимације и модела за праћење кашњења псеудослучајног сигнала. Извршена је и компаративна анализа алгоритама праћења кашњења псеудослучајног сигнала за реализоване естиматоре.

Магистарска теза је написана на 206 страна и организована у 10 поглавља. Прва три поглавља садрже увод у проблематику истраживања, координатне и временске системе који се користе за симулацију GPS система и одређивање положаја на земљи и структуру емитованог GPS сигнала на међуфреквенцији. У четвртном поглављу је детаљно објашњен симулациони модел GPS сигнала на међуфреквенцији, док су у петом поглављу обрађене фазе обраде сигнала: аквизиција, праћење и одређивање положаја. У шестом и седмом поглављу су теоријски објашњени алгоритми естимације (Калманов филтар, проширени Калманов филтар и честични филтар) и дати модели за праћење кашњења псеудослучајног сигнала применом ових естиматора. У осмом поглављу је извршена валидација реализованог софтверског пријемника и симулатора сигнала. Компаративна анализа реализованих естиматора у односу на класичне корелаторске технике је дата у деветом поглављу. У десетом поглављу су дата закључна разматрања.

Најважнији доприноси магистарске тезе су: (1) развој симулационог модела L1 C/A GPS сигнала на међуфреквенцији и реализација софтверског GPS пријемника; (2) компаративна анализа алгоритама естимације (проширеног Калмановог филтра и честичног филтра) у односу на стандардне корелаторске технике.

После одбране магистарске тезе, научно-истраживачки рад Марка С. Ђогатовића усмерен је ка статистичкој обради сигнала и естимацији са применом на системе за позиционирање и праћење

циља. Такође је остварио и значајне резултате у развоју симулационих језика за дискретну стохастичку симулацију, као и у развоју и анализи симулационих модела применом дискретне стохастичке симулације.

У наставку је дат списак референци кандидата Марка С. Ђогатовића.

A. Радови објављени у међународним часописима

- A1. **Djogatović M. S.**, Stanojević M. J.: *Bayesian-based MEDLL for the GPS signal tracking*, - Elektronika ir Elektrotehnika, vol 18, no 9, 2012., pp. 63–66, ISSN 1392-1215, doi: <http://dx.doi.org/10.5755/j01.eee.18.9.2809> (IF₂₀₁₂: 0.411) (M23),
- A2. **Djogatović M. S.**, Stanojević M. J., Mladenović N.: *A variable neighborhood search particle filter for bearings-only target tracking*, - Computers & Operations Research, 2014., ISSN: 0305-0548, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cor.2013.11.013> (IF₂₀₁₂: 1.909) (M21).

B. Рад објављен у домаћем часопису

- B1. Букумировић М., **Ђогатовић М.**: *Рачунарско управљање подсистемима у техничком систему за механизацију и аутоматизацију у главним поштанским центрима*, - Савремена пошта, Број 1, 2006., стр. 42-46. (M53)

C. Радови саопштени на међународним конференцијама штампани у изводу (M34)

- C1. **Ђогатовић М.**, Stanojević M. and Stanković S.: *Estimation of ship navigation parameters*, - Volume of abstracts the 8th Balkan Conference on Operational Research (BALCOR 2007), Zlatibor 2007., p. 91,
- C2. **Ђогатовић М.**, Stanojević M., Bakmaz M.: *Heavy traffic model of DCF protocol IEEE 802.11 wireless networks*, - Volume of abstracts the 8th Balkan Conference on Operational Research (BALCOR 2007), Zlatibor 2007., p. 93,
- C3. **Djogatovic M.**, Stanojević M.: *A Variable Neighbourhood Search Filter*, - Volume of abstracts of the EURO Mini Conference XXVIII on Variable Neighbourhood Search (EUROmC - XXVIII), Herceg Novi 2012., p. 9,
- C4. **Djogatovic M.**, Stanojević M.: *A metaheuristic based approach for GNSS signal tracking*, - Volume of abstracts of the EURO Mini Conference XXVIII on Variable Neighbourhood Search (EUROmC - XXVIII), Herceg Novi 2012., p. 19.

D. Радови саопштени на међународним конференцијама штампани у целини (M33)

- D1. **Ђогатовић М.**, Stanojević M.: *Multipath Mitigation of GPS Signal Using Sequential Monte-Carlo Filter*, - Proceedings of the 9th International Conference Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services (TELSIKS 2009), Niš 2009., pp. 229-232,
- D2. **Djogatović M. S.**, Stanojević M. J.: *GNSS Signal Simulation and a Multipath Delay Estimation*, - in Proceedings of the Small System Simulation Symposium 2012 (SSSS 2012), Niš 2012., pp. 77-84,
- D3. **Ђогатовић М.**, Stanojević M., Mladenović N.: *Particle filter – Improving resampling using a metaheuristic*, - Proceedings of the XI Balkan Conference on Operational Research, Zlatibor 2013., pp. 221-227,
- D4. **Ђогатовић М.**, Stanojević M., Radenković B.: *SIM-PA: An open source-based simulation language*, - Proceedings of the XI Balkan Conference on Operational Research, Zlatibor 2013., pp. 650-659.

E. Радови саопштени на домаћим конференцијама штампани у целини (M63)

- E1. **Ђогатовић М.**, Станојевић М., Хрле З.: *Оцена навигационих параметара брода применом*

- глобалног позиционог система, - Зборник радова Симпозијума о операционим истраживањима (SYM-OP-IS 2005), Врњачка Бања 2005., стр. 527-530,
- Е2. **Ђогатовић М.**, Станојевић М.: *Симулациона анализа рада предиктивног бирача call центра*, - Зборник радова YUINFO 2007, Копаоник 2007.,
- Е3. **Ђогатовић М.**, Станојевић М.: *Симулација ланца снабдевања постројења за производњу мазивих уља и масти*, - Зборник радова Симпозијума о операционим истраживањима (SYM-OP-IS 2008), Соко Бања 2008., стр. 597-600,
- Е4. **Ђогатовић М.**, Станојевић М.: *Симулациона анализа тачности и расположивости GPS-а са редукованим бројем сателита*, - Зборник радова Симпозијума о операционим истраживањима (SYM-OP-IS 2009), Ивањица 2009., стр. 617-620.
- Е5. **Ђогатовић М.**, Станојевић М.: *Симулација L1 C/A GPS сигнала на међуфреквенцији*, - Зборник радова Симпозијума о операционим истраживањима (SYM-OP-IS 2010), Тара 2010., стр. 709-713,
- Е6. Илић С., Станојевић М., **Ђогатовић М.**: *Симулациона анализа рада поштанске шалтерске службе*, - Зборник радова Симпозијума о операционим истраживањима (SYM-OP-IS 2012), Тара 2012., стр. 603-606,
- Е7. Марковић Б., Станојевић М., **Ђогатовић М.**: *Симулација претоварних активности на платформи ваздухопловног пристаништа*, - Зборник радова Симпозијума о операционим истраживањима (SYM-OP-IS 2013), Златибор 2013., стр. 813-817.

F. Научно-истраживачки пројекти и студије

- F1. *Увођење GPS система у Такси сервис града Београда*, члан надзорног органа на изради Пројекта, именован од стране Секретаријата за привреду града Београда, 2007.,
- F2. *Развој технологија пројектовања управљања мобилним роботима за безбедно кретање у неуређеној и променљивој средини*, Министарство за науку и технолошки развој Републике Србије, ТР-11029, Период 2008 – 2010. год, сарадник на Пројекту,
- F3. *Развој и интеграција технологија пројектовања интелигентног механотроничког интерфејса за примену у медицини (HUMANISM)*, Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије, ТР-44004, Период 2011 – 2014. год, сарадник на Пројекту.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Мр Марко С. Ђогатовић је својим досадашњим истраживачким активностима испољио заинтересованост и смисао за научни и истраживачки рад. Досадашњи стручни рад и истраживачка делатност су суштински повезани са темом докторске дисертације и квалификују мр Марко С. Ђогатовића за успешан рад на предложеној теми. На основу биографских података, научних и стручних активности, одбрањене магистарске тезе, као и објављених радова, Комисија сматра да је кандидат мр Марко С. Ђогатовић подобан за рад на предложеној теми докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Од појаве првих глобалних навигационих сателитских система (*Global Navigation Satellite Systems*, GNSS), током седамдесетих и осамдесетих година прошлог века па све до данас, дошло је до њиховог значајног развоја. Нови системи попут европског Galileo-а и кинеског BeiDou-а, као и унапређивање традиционалних система GPS-а (*Global Positioning System*) и ГЛОНАСС-а (*ГЛОбальная НАвигационная Спутниковая Система*) допринели су већем интересовању истраживача за ову област. Иако досадашња литература из ове области покрива готово сваки аспект сателитске навигације многи проблеми и данас остају нерешени, превасходно у контексту модернизације и практичне примене.

GNSS пријемник, након конверзије сигнала на нижу фреквенцију, филтрирања и одабирања,

врши обраду сигнала кроз две секвенцијалне фазе: синхронизацију и одређивање положаја. У фази синхронизације се прате параметри сигнала тренутно видљивих сателита (временско кашњење, фаза носиоца и Доплеров померај). Синхронизација је независна за сигнал сваког појединачог сателита и извршава се коришћењем више идентичних канала (састоје се од корелатора, дискриминатора, петље кашњења и фазне петље). Ови параметри обезбеђују информацију о растојању између пријемника и одговарајућег сателита, која се даље користи за одређивање положаја пријемника. Може се закључити да је фаза синхронизације од суштинског значаја за одређивање положаја GNSS пријемника. Један од најзначајнијих изазова који се јављају приликом развоја GNSS пријемника је робустност алгорита синхронизације у односу на простирање сигнала по више путања (*multipath*). Овај ефекат уводи грешку при одређивању параметара синхронизације што се манифестује лошијом оценом положаја пријемника.

Простирање сигнала по више путања је готово неизбежно када су у питању радио комуникација и радио навигација, пошто се приликом пропагације сигнала на његовој путањи могу појавити различити предмети који га рефлектују. У новијој литератури се све више разматра ублажавање утицаја рефлектованих компоненти навигационог сигнала унутар објекта. Статистички модели који се користе за описивање сигнала у радио комуникацијама могу се поделити у две групе: модели са једним стањем (Рајс, Релеј, Накагами, Сузуки, Лу, итд.) и модели са два стања (Луц, Фонтан, итд.). Појединачне моделе или комбинације ових модела могуће је применити за описивање сигнала GNSS-а на пријему унутар различитих објекта. Обзиром да је ниво снаге навигационих сигнала на површини Земље веома мали, на пријему у објектима сигнал је додатно ослабљен тако да га конвенционални пријемници не могу обрадити. Због геометрије и структуре објекта у коме се прима сигнал, поред директне компоненте сигнала јављају се и додатно ослабљене и закашњене компоненте са промењеном фазом, при чему се амплитуде, кашњења и фазе компоненти брзо мењају у времену (*multipath fading*). Ово доводи до тога да због суперпозиције рефлектованих сигнала и шума није могуће тачно одредити параметре синхронизације директне компоненте сигнала, а самим тим ни положај пријемника. Захтев који се поставља пред „свеприсутно позиционирање“ је одређивање положаја пријемника унутар објекта и један од могућих начина његовог решавања је и оспособљавање GNSS пријемника да испуне тај захтев.

Предмет истраживања у предложеној докторској дисертацији је разматрање побољшања оценом положаја GNSS пријемника унапређењем алгоритама естимације стања навигационих сигнала, које се огледа кроз прецизније праћење кашњења сигнала проширеног спектра и фазе носиоца.

У оквиру предложене дисертације најпре ће бити анализирани постојећи алгоритми праћења параметара навигационих сигнала. Даље ће у раду бити разматрана деградација перформанси GNSS пријемника у условима израженог *multipath fading*-а. Затим ће бити извршена систематизација до сада научно формулисаних или у пракси примењених метода оценом стања навигационих сигнала. Такође, биће предложени нови алгоритми и методе за праћење параметара сигнала глобалних навигационих система.

Циљ истраживања чији ће резултати бити приказани у овој докторској дисертацији је да се предложи нове методе за побољшање оценом параметара синхронизације сигнала GNSS-а у ситуацијама када је *multipath fading* веома изражен, што се огледа кроз брзе промене амплитуде, кашњења и фазе сигнала на пријему у току кратког временског интервала.

Осврт на релевантне библиографске изворе

У доступној литератури коришћено је више приступа у циљу ублажавања утицаја простирања по више путања: специјалне антене, технике постпроцесорске обраде, изглађивање носиоца, као и алгоритми праћења који користе корелацију сигнала [10]. Алгоритми праћења сигнала засновани на корелацији су највише у употреби и имплементирани су у готово свим GNSS пријемницима [1-8]. Ови алгоритми се састоје од естиматора кашњења у повратној спрези која се назива петља кашњења (DLL, *Delay Lock Loop*) [1-8,10]. Класични, корелаторски естиматори (тзв. дискриминатори) дају средњу оцену кашњења директне компоненте сигнала и у извесној мери су у стању да умање утицај рефлектованих компоненти сигнала [1-10]. Познати су следећи дискриминатори: *Early-Mean-Late* (Wide, Standard, Narrow) [1-8,10-11], *Double Delta* (*High-Resolution Correlator* [12], *Strobe* [13], *Pulse Aperture Correlator* [14]), *Early-Late-Slope* [15], *A-Posteriori Multipath Estimation* [16], *Slope-based Multipath Estimator* [17], E1/E2 [18] и *Multiple Gate Delay* [19]. Поред дискриминатора могуће је користити сложеније алгоритме који су засновани на оцени параметара синхронизације коришћењем максималне веродостојности. Алгоритми који користе максималну веродостојност су: *Multipath Estimating DLL* (MEDLL) [9,20-23], *Multipath Mitigation Technique* [24], *Reduced Search Space Maximum Likelihood* [10], *Maximum Likelihood 2* [25], *Robust Maximum Likelihood* [26], *Space-Alternating Generalized Expectation-Maximization Algorithm* [27-28], *Fast Iterative Maximum Likelihood-Algorithm* [29]. За оцену параметара максималном веродостојношћу користе се и методе Њутон-овог типа са редуkcијом комплексности улазних података (CCA, *Canonical Correlation Analysis* и PCA, *Principal Component Analysis*) [30-33]. У литератури постоје и методе које није могуће сврстати ни у једну од претходне две категорије. Ти алгоритми су углавном засновани на другом изводу корелационе функције [34] и Тигер-Кајзеровом (Teager-Kaiser) оператору [35-37].

Најчешће коришћени нелинеарни естиматор за праћење параметара сигнала GNSS-а је честични филтар (PF, *Particle Filter*) [38-56]. Такође се користе и други алгоритми нелинеарне естимације попут: проширеног Калмановог филтра (*Extended Kalman Filter*) [57-63] и „unscented“ Калмановог филтра (*Unscented Kalman Filter*) [64-65]. Алгоритми нелинеарне естимације за оцену стања користе апроксимацију апостериори густине расподеле и састоје се од три фазе: предикције, ажурирања и естимације. Постојање наведене три фазе је разлог зашто су ови алгоритми рачунски захтевнији од других метода, што нарочито важи за PF. Побољшање рачунске ефикасности PF-а могуће је извршити маргинализацијом апостериори густине расподеле за делове математичког модела који су линеарни (*Rao-Blackwellized PF* [52-53], *Two-Fold Marginalized Bayesian filter* [54]) или редуkcијом опсервација декомпозицијом (CCA, PCA) [55-56].

Списак основне литературе која ће бити коришћена при изради теме

- [1] Kaplan E. D., Hegarty C. J., Eds.: *Understanding GPS: Principles and Applications*, Second edition, Artech House, London 2006.,
- [2] Parkinson B. W., Spilker J. J., Eds.: *Global Positioning System: Theory and Applications*, 2 vols., American Institute of Astronautics and Aeronautics, Washington DC 1996.,
- [3] Misra P., Enge P.: *Global Positioning System: Signals, Measurements, and Performance*, Second edition, Ganga-Jamuna Press, New York 2006.,
- [4] Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Wasle E.: *GNSS – Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more*, Springer, New York 2008.,
- [5] Gleason S., Gebre-Egziabher D., Eds.: *GNSS Applications and Methods*, Artech House, Boston 2009.,
- [6] Borre K., Akos D. M., Bertelsen N., Rinder P., Jensen S. H.: *A Software-Defined GPS and Galileo Receiver: A Single-Frequency Approach*, Birkhäuser, Boston 2007.,

- [7] Pany T.: *Navigation Signal Processing for GNSS Software Receivers*, Artech House, Boston 2010.,
- [8] Akos, D. M.: *A Software Radio Approach to Global Navigation Satellite System Receiver Design*, Ph.D. dissertation, Ohio University, Ohio 1997.,
- [9] Richard Van Nee D. J.: *Multipath and Multitransmitter Interference in Spread-Spectrum Communication and Navigation Systems*, Ph.D. dissertation, Technical University Delft, Delft 1995.,
- [10] Bhuiyan M. Z. H. and Lohan E. S., *Advanced Multipath Mitigation Techniques for Satellite-Based Positioning Applications*, - International Journal of Navigation and Observation, Vol 2010, Article ID 412393, 2010., 15 pages,
- [11] van Dierendonck A. J., Fenton P., Ford T.: *Theory and Performance of Narrow Correlator Spacing in a GPS Receiver*, - Navigation: Journal of the Institute of Navigation, Vol 39, No 3, 1992., pp. 265–283.,
- [12] So H., Kim G., Lee T., Jeon S., Kee C.: *Modified High-Resolution Correlator Technique for Short-Delayed Multipath Mitigation*, - The Journal of Navigation, Vol 62, 2009., pp. 523–542,
- [13] Veitsel V. A., Zhdanov A. V., Zhodzishsky M. I.: *The Mitigation of Multipath Errors by Strobe Correlators in GPS/GLONASS Receivers*, - GPS Solutions, Vol. 2, No 2, 1998., pp. 38–45,
- [14] Jones J., Fenton P., Smith B.: *Theory and Performance of the Pulse Aperture Correlator*, Technical report, NovAtel, Calgary 2004.,
- [15] Townsend B. R., Fenton P. C.: *A Practical Approach to the Reduction of Pseudorange Multipath Errors in a L1 GPS Receiver*, - Proceedings of the 7th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GPS 1994), pp. 143–148, Salt Lake City 1994.,
- [16] Sunderhauf N., Obst M., Wanielik G., Protzel P.: *Multipath Mitigation in GNSS-based Localization using Robust Optimization*, - Proceedings of IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Alcalá de Henares 2012., pp. 784 – 789,
- [17] Bhuiyan M. Z. H., Lohan E. S., Renfors M.: *A Slope-Based Multipath Estimation Technique for mitigating short-delay multipath in GNSS receivers*, - Proceedings of 2010 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS), Paris 2010., pp. 3573 – 3576,
- [18] Schmid A., Neubauer A., Ehm H., Weigel R., Lemke N., Heinrichs G., Winkel J., Ávila-Rodríguez J. A., Kaniuth R., Pany T., Eissfeller B., Rohmer G., Overbeck M.: *Combined Galileo/GPS architecture for enhanced sensitivity reception*, - International Journal of Electronics and Communications (AEÜ), Vol 59, No 5, 2005., pp. 297–306,
- [19] Hurskainen H., Lohan E. S., Hu X., Raasakka J., Nurmi J.: *Multiple Gate Delay Tracking Structures for GNSS Signals and Their Evaluation with Simulink, SystemC, and VHDL*, - International Journal of Navigation and Observation, Vol 2008, Article ID 785695, 2008., 17 pages,
- [20] van Nee R. D. J.: *The Multipath Estimating Delay Lock Loop*, - Proceedings of IEEE Second International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications (ISSSTA'92), Yokohama 1992., pp. 39–42,
- [21] Townsend B. R., van Nee R. D. J., Fenton P. C., van Dierendonck K. J.: *Performance Evaluation of the Multipath Estimating Delay Lock Loop*, - Proceedings of the ION National Technical Meeting, Anaheim 1995., pp. 277–283,
- [22] Van Nee D. J. R., Sierenveld J., Fenton P. C., Townsend B. R.: *The multipath estimating delay lock loop: approaching theoretical accuracy limits*, - Proceedings of the IEEE Position Location and Navigation Symposium, Las Vegas 1994., pp. 246–251,
- [23] Delgado N. B., Nunes F. D.: *Theoretical Performance of the MEDLL Algorithm for the New Navigation Signals*, - Proceedings of the 7th Conference on Telecommunications (ConfTele 2009), Vol 1, Santa Maria da Feira, Portugal 2009., pp. 1–4,
- [24] Weill L.: *Multipath mitigation using modernized GPS signals: how good can it get?*, - Proceedings of the 15th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GPS '02), Portland 2002., pp. 493–505,
- [25] Soubielle J., Fijalkow I., Duvaut P., Bibaut A.: *GPS Positioning in a Multipath Environment*, - IEEE Transactions on Signal Processing, Vol 50, No 1, 2002., pp. 141–150,
- [26] Sahmoudi M., Amin M. G.: *Robust tracking of weak GPS signals in multipath and jamming environments*, - Signal Processing, Vol 89, No 7, 2009., pp. 1320–1333,
- [27] Antreich F., Nossek J. A.: *Maximum Likelihood Parameter Estimation in a GNSS-Receiver*, - Proceedings of the Conference on Wave Propagation in Communication, Chemnitz 2007., pp. 50–55,

- [28] Sahmoudi M., Amin M. G.: *A Maximum-Likelihood Synchronization Scheme for GPS Positioning in Multipath, Interference, and Weak Signal Environments*, - Proceedings of the IEEE 64th Vehicular Technology Conference (VTC-2006), Montreal 2008., pp. 1–5.
- [29] Sahmoudi M., Amin M. G.: *Fast Iterative Maximum-Likelihood Algorithm (FIMLA) for Multipath Mitigation in the Next Generation of GNSS Receivers*, - IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol 7, No 11, 2008., pp. 4362 – 4374,
- [30] Selva J.: *Complexity reduction in the parametric estimation of superimposed signal replicas*, - Signal Processing, Vol 84, No 12, 2004., pp. 2325–2343,
- [31] Selva J.: *Efficient Multipath Mitigation in Navigation Systems*, Ph.D. dissertation, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona 2003.,
- [32] Fernández-Prades C.: *Advanced Signal Processing Techniques for Global Navigation Satellite Systems Receivers*, Ph.D. dissertation, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona 2005.,
- [33] Fernández-Prades C., Fernández-Rubio J. A., Seco G.: Joint Maximum Likelihood Estimation of Time-Delays and Doppler Shifts, - Proceedings of the Seventh International Symposium on Signal Processing and Its Applications - 2003, Vol 2, 2003., pp. 523 – 526,
- [34] Lentmaier M., Krach B.: *Maximum Likelihood Multipath Estimation Comparison with Conventional Delay Lock Loop*, - Proceedings of the 19th International Technical Meeting of the Institute of Navigation Satellite Division (ION GNSS 2006), Fort Worth 2006., pp. 1742–1751,
- [35] Bhuiyan M. Z. H., Lohan E. S., Renfors M.: *Code Tracking Algorithms for Mitigating Multipath Effects in Fading Channels for Satellite-Based Positioning*, - EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, Vol 2008, Article ID 863629, 2008., 17 pages,
- [36] Hamila R., Lohan E. S., Renfors M.: *Subchip multipath delay estimation for downlink WCDMA system based on Teager-Kaiser operator*, - IEEE Communications Letters, Vol 7, No 1, 2003., pp. 1 – 3,
- [37] Hamila R., Lakhzouri A., Lohan E. S., Renfors M.: *Highly Efficient Generalized Teager-Kaiser-Based Technique for LOS Estimation in WCDMA Mobile Positioning*, - EURASIP Journal on Applied Signal Processing, Vol 2005, No 5, 2005., pp. 698–708
- [38] Gordon N. J., Salmond D. J., Smith A. F. M.: *Novel approach to nonlinear/non-Gaussian Bayesian state estimation*, - IEE Proceedings F Radar and Signal Processing, Vol 140, No 2, 1993., pp. 107 – 113,
- [39] Doucet A., de Freitas N., Gordon N., Eds.: *Sequential Monte Carlo Methods in Practice*, Springer, New York 2001.,
- [40] Candy J. V.: *Bayesian Signal Processing: Classical, Modern, and Particle Filtering Methods*, John Wiley & Sons, New York 2009.,
- [41] Simon D.: *Optimal State Estimation: Kalman, H_∞ and Nonlinear Approaches*, John Wiley & Sons, New York 2006.,
- [42] Chen Z.: *Bayesian filtering: From Kalman filters to particle filters, and beyond*, Adaptive System Laboratory, McMaster University, Hamilton 2003.,
- [43] Djurić P. M., Kotecha J. H., Zhang J., Huang Y., Ghirmai T., Bugallo M. F., Miguez J.: *Particle filtering*, - IEEE Signal Processing Magazine, Vol 9, 2003., pp. 19–38,
- [44] Kotecha J. H., Djurić P. M.: *Gaussian Particle Filtering*, - IEEE Transactions on Signal Processing, Vol 51, No 10, 2003., pp. 2592–2601,
- [45] Arulampalam M. S., Maskell S., Gordon N., Clapp T.: *A tutorial on particle filters for online nonlinear/non-Gaussian Bayesian tracking*, - IEEE Transactions on Signal Processing, Vol 50, No 2, pp. 2002., 174 – 188,
- [46] Closas Gómez P.: *Bayesian Signal Processing Techniques for GNSS Receivers: from multipath mitigation to positioning*, Ph.D. dissertation, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona 2009.,
- [47] Doucet A.: *On Sequential Simulation-Based Methods for Bayesian Filtering*, Technical report CUED/F-INFENG/TR.310, Cambridge University Department of Engineering, Cambridge 1998.,
- [48] Bolić M.: *Architectures for Efficient Implementation of Particle Filters*, Ph.D. dissertation, Stony Brook University, Stony Brook 2004.,
- [49] Closas P., Fernández-Prades C., Fernández-Rubio J. A.: *Bayesian DLL for Multipath Mitigation in Navigation Systems Using Particle Filters*, - Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP 2006), Toulouse 2006., pp. IV – IV,
- [50] Closas P., Fernández-Prades C., Fernández-Rubio J. A., Ramírez-González A.: *Multipath Mitigation*

- Using Particle Filtering*, - Proceedings of ION GNSS 2006, Fort Worth 2006., pp. 1733 – 1740,
- [51] Closas P., Fernández-Prades C., Fernández-Rubio J. A., Bernal D., *Particle Filtering Strategies for Efficient Multipath Mitigation*, - Proceedings of ION GNSS 2008., Savannah 2008, pp. 183 – 190,
- [52] Closas P., Fernández-Prades C., Fernández-Rubio J. A.: *A particle filtering tracking algorithm for GNSS synchronization using Laplace's method*, - Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP 2008), Las Vegas 2008., pp. 3409 – 3412,
- [53] Closas P., Fernández-Prades C., Fernández-Rubio J. A.: *A Bayesian Approach to Multipath Mitigation in GNSS Receivers*, - IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, Vol 3, No 4, 2009., pp. 695 – 706,
- [54] Krach B., Robertson P., Weigel R.: *An Efficient Two-Fold Marginalized Bayesian Filter for Multipath Estimation in Satellite Navigation Receivers*, - EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, Vol 2010, Article ID 287215, 2010., 12 pages,
- [55] Lentmaier M., Krach B., Robertson P.: *Bayesian Time Delay Estimation of GNSS Signals in Dynamic Multipath Environments*, - International Journal of Navigation and Observation, Vol 2008, Article ID 372651, 2008., 11 pages,
- [56] Krach B., Lentmaier M., Robertson P.: *Joint Bayesian positioning and multipath mitigation in GNSS*, - Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2008 (ICASSP 2008), Las Vegas 2008., pp. 3437–3440,
- [57] Kalman R. E.: *A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems*, - Transactions of the ASME – Journal of Basic Engineering, Vol 80, Series D, 1960., pp. 35 – 45,
- [58] Bar-Shalom Y., Li X. R., Kirubarajan T.: *Estimation with Applications to Tracking and Navigation: Theory Algorithms and Software*, John Wiley & Sons, 2001.,
- [59] Kay S. M.: *Fundamentals of Statistical Signal Processing: Estimation Theory*, Vol 1, 3 vols, Prentice Hall, New York 1993.,
- [60] Iltis R. A.: *Joint Estimation of PN Code Delay and Multipath Using the Extended Kalman Filter*, - IEEE Transactions on Communications, Vol 38, No 10, 1990., pp. 1667–1685,
- [61] Iltis R. A.: *An EKF-Based Joint Estimator for Interference, Multipath, and Code Delay in a DS Spread-Spectrum Receiver*, - IEEE Transactions on Communications, Vol 42, No 234, 1994., pp. 1288–1299,
- [62] Ziedan N. I.: *GNSS Receivers for Weak Signals*, Artech House, Boston 2006.,
- [63] Fantino M., Dovis F., Wang J.: *Quality Monitoring for Multipath Affected GPS Signals*, - Journal of Global Positioning Systems, Vol 4, No 1–2, 2005., pp. 151–159,
- [64] Julier S. J., Uhlmann J. K.: *Unscented filtering and nonlinear estimation*, - Proceedings of the IEEE, Vol 92, No 3, 2004., pp. 401 – 422,
- [65] Yuan G., Xie Y., Song Y., Liang H.: *Multipath parameters estimation of weak GPS signal based on new colored noise unscented Kalman filter*, - Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA), Harbin 2010., pp. 1852 – 1856.

Поред основне литературе, у изради дисертације биће коришћени и следећи библиографски извори:

- Stüber G. L.: *Principles of Mobile Communication*, Third edition, Springer, New York 2002.,
- Pätzold M.: *Mobile Fading Channels*, First Edition, John Wiley & Sons, New York 2002.,
- Stojanovic M. D., Bostjancic Rakas S. V.: *Policies for allocating performance impairment budgets among multiple IP providers*, - International Journal of Electronics and Communications (AEÜ), Vol 67, No 3, 2013., pp. 206–216,
- Stojanovic M. D., Bostjancic Rakas S. V., Acimovic-Raspopovic V. S.: *End-to-end quality of service specification and mapping: The third party approach*, - Computer Communications, Vol 33, No 11, 2010., pp. 1354–1368,
- Yip K.-W., Ng T.-S.: *A simulation model for Nakagami-m fading channels, $m < 1$* , - IEEE Transactions on Communications, Vol 48, No 2, 2000., pp. 214–221,
- Suzuki H.: *A Statistical Model for Urban Radio Propagation*, - IEEE Transactions on Communications, Vol 25, No 7, 1977., pp. 673 – 680,

- Loo C.: *A statistical model for a land mobile satellite link*, - IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol 34, No 3, 1985., pp. 122 – 127,
- Lutz E., Cygan D., Dippold M., Dolainsky F., Papke W.: *The land mobile satellite communication channel-recording, statistics, and channel model*, - IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol 40, No 2, 1991., pp. 375 – 386,
- Fontan F. P., Castro M. A. V., Kunisch J., Pamp J., Buonomo S., Baptista P., Arbesser B.: *A Versatile Framework For A Narrow- and Wide-Band Statistical Propagation Model for the LMS Channel*, - IEEE Transactions on Broadcasting, Vol 43, No 4, 1997., pp. 431 – 458,
- Satyanarayana S., Borio D., Lachapelle G.: *A Composite Model for Indoor GNSS Signals: Characterization, Experimental Validation and Simulation*, - Navigation: Journal of the Institute of Navigation, Vol 59, No 2, 2012., pp. 77–92,
- Mannings R., *Ubiquitous Positioning*, Artech House, Boston 2008.,
- “IS-GPS-200: Navstar GPS Space Segment/Navigation User Interfaces.” NAVSTAR Global Positioning System, 2006.,
- “GIOVEICD GIOVE-A+B Navigation Signal-In-Space Interface Control Document.” European Space Agency, 2008.

3. Полазне хипотезе

При изради дисертације полази се од следећих хипотеза:

- Свеобухватна употреба GNSS пријемника неће бити остварена све док се не обезбеди њихова примена у ситуацијама када није могуће примити директан сигнал са сателита, већ ослабљени и рефлектовани.
- Класични алгоритми за обраду сателитских навигационих сигнала најчешће нису у стању да одреде положај GNSS пријемника унутар објеката, када услед multipath fading-a не могу да демодулишу сигнал на пријему.
- Синтезом нових алгоритама естимације стања сигнала GNSS-а биће омогућена оцена положаја пријемника унутар објеката.
- Развојем симулационих модела навигационих сигнала биће омогућена анализа различитих алгоритама естимације у условима различитих multipath окружења.

4. Научне методе истраживања

При изради докторске дисертације поред општих метода научног истраживања биће коришћене и следеће методе:

- Математичко и симулационо моделирање,
- Алгоритми дигиталне обраде сигнала,
- Алгоритми оптимизације и естимације.

5. Очекивани научни допринос

Очекивани научни допринос и очекивани резултати предложеног истраживања су:

- предлог и евалуација иновираних математичких модела у којима се јавља простирање сигнала по више путања и реализација симулационих модела L1 C/A GPS сигнала и Galileo E1 OS сигнала у различитим multipath окружењима,
- имплементација постојећих алгоритама за праћење стања навигационих сигнала,
- предлог и имплементација нових алгоритама естимације стања сигнала GNSS-а,

- верификација предности предложених алгоритама у погледу тачности оцене стања сигнала и рачунске ефикасности.

Предложено истраживање би требало да омогући побољшање оцене положаја пријемника у ситуацијама када је multipath fading веома изражен и тиме обезбеди побољшање квалитета услуге навигационих система кроз повећање тачности и поузданости. Посебан допринос рада била би могућност примене предложених алгоритама у савременим GNSS пријемницима.

6. План истраживања и структура рада

Планирано истраживање у оквиру докторске дисертације би било реализовано у четири фазе, дефинисане у складу са предметом, циљем и полазним хипотезама истраживања.

- Фаза 1. Преглед литературе и анализа основних праваца истраживања проблема. Анализа значаја оцене параметара синхронизације навигационих сигнала на одређивање положаја GNSS пријемника.
- Фаза 2. Развој, верификација и валидација симулационих модела навигационих сигнала (L1 C/A GPS сигнала и Galileo E1 OS сигнала) за различите multipath радио канале.
- Фаза 3. Реализација постојећих алгоритама за ублажавање утицаја простирања сигнала по више путања.
- Фаза 4. Развој нових алгоритама оцене стања сигнала GNSS-а. Упоредна анализа постојећих и нових алгоритама естимације.

Имајући у виду мотиве за избор теме, као и предмет и циљ истраживања предлаже се следећа, оквирна, структура рада:

- Уводна разматрања – опис проблема, циљеви истраживања, обим истраживања, значај истраживања и предмет истраживања.
- Преглед расположиве литературе и досадашњих истраживања у овој области.
- Навигациони сигнали и архитектура GNSS пријемника.
- Простирање по више путања и други извори грешака.
- Преглед постојећих алгоритама за ублажавање утицаја простирања сигнала по више путања.
- Нови алгоритми естимације стања сигнала GNSS-а.
- Упоредна анализа алгоритама естимације.
- Закључна разматрања и правци даљег истраживања.

7. Закључак и предлог

На основу увида у пријаву теме докторске дисертације, Комисија сматра да је предложена тема научно заснована, релевантна и актуелна у области алгоритама естимације стања сигнала глобалних навигационих система у циљу што прецизнијег одређивања положаја пријемника.

Мр Марко С. Ђогатовић дипломирао је и магистрирао на Саобраћајном факултету Универзитета у Београду. Објавио је радове и учествовао у научно-истраживачким и стручним пројектима из области из које пријављује тему. Комисија сматра да мр Марко С. Ђогатовић испуњава формалне и суштинске услове за пријаву теме докторске дисертације, као и да је компетентан да реализује предвиђене циљеве истраживања.

Комисија предлаже Наставно-научном већу Саобраћајног факултета Универзитета у Београду да прихвати предложену тему докторске дисертације кандидата мр Марка С. Ђогатовића, под називом „АЛГОРИТМИ ЕСТИМАЦИЈЕ СТАЊА СИГНАЛА ГЛОБАЛНИХ НАВИГАЦИОНИХ САТЕЛИТСКИХ СИСТЕМА“ и да је проследи Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду на даљи поступак. Предложена тема докторске дисертације припада ужој научној области „Управљање и симулација“, за коју је Саобраћајни факултет у Београду матичан. За ментора се предлаже др Мирјана Стојановић, дипл. инж. ел., ванредни професор Саобраћајног факултета у Београду.

У Београду, 12. марта 2014. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

Др Мирјана Стојановић, ванредни професор,
Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет

Др Милорад Станојевић, редовни професор,
Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет

Др Срђан Станковић, професор емеритус,
Универзитет у Београду, Електротехнички факултет

Др Ненад Младеновић, научни саветник,
Математички институт Српске академије наука и уметности

Др Божидар Раденковић, редовни професор,
Универзитет у Београду, Факултет организационих наука