

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Слободана Драшковића за израду докторске дисертације

Одлуком 5002/14-1 бр. од 31.01.2022. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Слободана Драшковића за израду докторске дисертације и научне заснованости теме „Адаптивна техника филтрирања нестационарних сигнала применом апсолутних коначних разлика“.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Слободан Драшковић, мастер инжењер електротехнике и рачунарства, рођен је 26.02.1989. године у Краљеву. Завршио је основну школу "Бане Миленковић" у Новом Селу, Врњачка Бања, као носилац Вукове дипломе. Математичку гимназију у Краљеву завршио је 2008. године као ђак генерације. Основне академске студије завршио је 2012. године на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, модул Сигнали и системи, са просечном оценом 9,34. Мастер академске студије на Електротехничком факултету у Београду, на модулу Сигнали и системи, уписао је у октобру 2012. године и положио све испите са просечном оценом 9,83. Мастер студије завршио је 2014. године и исте године уписао докторске студије на модулу Управљање системима и обрада сигнала Електротехничког факултета у Београду. Испунио је све дефинисане обавезе у складу са планом и програмом и положио је све испите на докторским студијама, уз просечну оцену 10,00. Од 2012. године Слободан Драшковић је запослен на Високој школи електротехнике и рачунарства у Београду, прво као сарадник у настави, а потом као асистент. Његово примарно интересовање обухвата обраду сигнала и индустријске системе аутоматског управљања и надгледања процеса. Током докторских студија стекао је више награда и сертификата од којих су најзначајнији: награда за најбољи рад младог истраживача, *1st International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering (IcETRAN 2014)*; сертификат *MikroTik Certified Routing Engineer*, број сертификата 1503RE047, 09.03.2015; сертификат/обука *SolidWorks Advanced course*, број сертификата SO-00252, издат од *Solfins d.o.o.* Београд; сертификат/обука *2013 EECI Graduate School on Control – Control of Nonlinear Delay Systems and PDEs*, 15.03.2013. Слободан Драшковић је аутор/коаутор више истраживачких радова у часописима и на конференцијама међународног значаја, као и више

приручника за лабораторијске вежбе издатих од стране Високе школе електротехнике и рачунарства струковних студија у Београду.

Осим научног рада, кандидат се интензивно бавио и практичним пројектима од којих су најзначајнији: имплементација управљачког алгорита за процес лиофилизације (*freeze-drying*) на PLC уређају, и имплементација и пројектовање SCADA система за интерфејс са машином; ментор EUROBOT екипе “*WE-SHARE Robotics*“, организација и вођење студената кроз пројектовање и имплементацију разних електронских кола, плоча, и управљачких алгорита мобилних робота у Високој школи електротехнике и рачунарства струковних студија, Београд; модернизација лабораторије за аутоматско управљање и развој разне лабораторијске опреме и апаратура кошћењем PLC уређаја и *embeded* система за едукацију студената у Високој школи електротехнике и рачунарства струковних студија, Београд; развој уређаја за детекцију пада старих и оболелих људи у затвореном простору (тренутно је у процедури пријава патента).

1.2. Стечено научно-истраживачко искуство

Област истраживања кандидата укључује обраду сигнала, адаптивно филтрирање нестационарних сигнала, моделирање и идентификацију система, а ужа област истраживачког интересовања јесте анализа стационарности сигнала, адаптација фактора заборављања и алгоритми за естимацију параметара модела нестационарних сигнала. Посебна пажња током његовог истраживачког рада је посвећена развоју нове методе за утврђивање стационарности сигнала и адаптацију фактора заборављања. Досадашњим истраживачким радом кандидата је руководио професор др Жељко Ђуровић.

О његовим интересовањима и стеченим знањима говори списак положених испита на докторским студијама Електротехничког факултета у Београду:

- Увод у научни рад (оцена 10, ЕСПБ 6);
- Теорија роботских система (оцена 10, ЕСПБ 9);
- Праћење покретних циљева (оцена 10, ЕСПБ 9);
- Пројектовање наменских рачунарских система (оцена 10, ЕСПБ 9);
- Класификација и естимација сигнала (оцена 10, ЕСПБ 9);
- Управљање сложеним системима (оцена 10, ЕСПБ 9);
- Технике обраде и препознавања говорног сигнала (оцена 10, ЕСПБ 9);
- Оптимални и адаптивни стохастички системи (оцена 10, ЕСПБ 9);
- Неуралне мреже (оцена 10, ЕСПБ 9);
- Дигитална обрада сигнала (оцена 10, ЕСПБ 9);

Досадашњи научни рад кандидата се огледа у више објављених радова, што у међународним часописима, што на конференцијама. Списак радова се налази у наставку:

Радови у међународним часописима (Категорија M23)

1. **Slobodan Drašković, Željko Đurović, Vera Petrović.** *Absolute finite differences based variable forgetting factor RLS algorithm.* IET Signal Process. vol. 16, no. 1, pp. 80-91, Feb. 2022. <https://doi.org/10.1049/sil2.12074>

Саопштења са међународних скупова штампана у целини (Категорија М33)

2. **Slobodan Drašković**, Željko Đurović, Branko Kovačević, Vera Petrović. *Statistics of Absolute Finite Differences: Autoregressive Model Case*. Proceedings of 3rd International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering IcETRAN 2016, Zlatibor, Serbia, June 13–16, 2016, pp. AUI4.4.1-5
3. **Slobodan Drašković**, Goran Kvaščev, Željko Đurović, Vera Petrović, Branko Kovačević. *Speech Signal Parameter Identification Using Adaptive Forgetting Factor*. Proceedings of 2nd International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering IcETRAN 2015, Silver Lake (Srebrno Jezero), Serbia, June 8–11, 2015, pp. AUI2.1.1-5
4. **Slobodan Drašković**, Goran Kvaščev, Vera Petrović, Željko Đurović, Branko Kovačević. *A New Approach to Adaptive Non-stationary Signals Parameter Identification*. Proceedings of 1st International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering IcETRAN 2014, Vrnjačka Banja, Serbia, June 2–5, 2014, pp. AUI1.6.1-5

Саопштења са националних скупова штампана у целини (Категорија М63)

5. Emilija Kisić, **Slobodan Drašković**, Željko Đurović. *Applied Statistics in Process Control and Monitoring*. Zbornik radova konferencije MIT 2013, Vrnjačka Banja, 5-9. septembra 2013.

По истеку законског рока за завршетак докторских академских студија, на захтев студента, одобрено је продужење рока за завршетак ових студија

Дана 22.02.2022. године Слободан Драшковић полагао је испит о подобности теме и кандидата (докторски испит) пред комисијом у саставу: ванредни професор др Горан Квашчев, редовни професор др Зоран Перић, редовни професор др Бошко Николић, ванредни професор др Братислав Иричанин. Комисија је кандидату Слободану Драшковићу доделила оцену: задовољно.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Током писања овог Извештаја, Комисија је узела у обзир све претходно наведене чињенице и резултате досадашњег рада кандидата Слободан Драшковића. Анализом досадашњег научно-истраживачког рада кандидата закључујемо да је кандидат посвећен истраживању изузетно комплексне и атрактивне области каква је обрада нестационарних сигнала. Концентришући се на анализу објављених радова, можемо констатовати да је кандидат учинио значајне напоре да се упозна са самом облашћу, као и напоре ка остварењу доприноса предметној проблематици. Сазнања до којих је кандидат дошао током досадашњег рада су добар предуслов за даље систематично бављење задатом темом. Истовремено, његово познавање базичних области у којима се истраживачка тема налази, а то су дигитална обрада сигнала, моделирање процеса и система, теорија етимације и обрада говорног сигнала, врло јасно говоре о његовој спремности да се озбиљно и одговорно бави научним проблемима, да заузме критичан став према својим и туђим резултатима, као и да препозна и оствари доприносе у наведеним научним дисциплинама. Став Комисије је позитиван и након детаљног образложења саме теме предложиће да она буде усвојена, а кандидату дата могућност да настави са изработом докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Адаптивне технике у обради сигнала као и у управљању процесима захтевају поуздане детекторе нестационарности. Идентификација динамичких система подразумева одређивање структуре и параметара модела на основу мерења улазних и излазних сигнала. За линеарне, дискретне системе описане диференцијалним једначинама познатог реда, проблем идентификације система се своди на естимацију параметара модела [1-3].

Рекурзивна метода најмањих квадрата је једна од најпопуларнијих метода за идентификацију параметара линеарних модела сигнала. Највеће ограничење ове методе је споро праћење временски променљивих параметара модела. Како би се извршила естимација параметара модела нестационарних сигнала, развијен је велики број метода. Неке од њих су засноване на модификацији коваријационе матрице [4, 5], друге на коришћењу клизне прозорске функције [6, 7], док су најчешће коришћене методе засноване на тежинском фактору или фактору заборављања [8-14].

Примена рекурзивне методе најмањих квадрата са тежинским фактором представља општеприхваћен приступ естимацији параметара модела нестационарних сигнала. У зависности од величине фактора заборављања може се постићи да се старија мерења брже или спорије одбацују, и на тај начин се може утицати на брзину праћења промена параметара, као и на квалитет естимације (мања вредност фактора заборављања омогућава брже праћење промена, али је грешка естимације већа, и обратно). Како би се коришћењем рекурзивне методе најмањих квадрата омогућило праћење променљивих параметара, али и задовољавајућа прецизност естимације, интензивно се истражују алгоритми за адаптацију фактора заборављања. У периодима када је сигнал стационаран, фактор заборављања би требало да има приближно јединичну вредност док би нагло опадао при детекцији нестационарности сигнала чији се параметри естимирају [8-14]. Увођење варијабилног фактора заборављања са собом повлачи и потребу за алгоритмима за детекцију нестационарности. Предмет истраживања ове докторске дисертације јесу алгоритми за детекцију нестационарности система и адаптацију фактора заборављања.

Већина познатих алгоритама детектује само скоковите промене, што је јако корисно у детекцији кварова, сегментацији сигнала, праћењу покретних циљева, итд. Ниједан од ових алгоритама се не може описати као оптималан, већ су одређени алгоритми бољи за одређене класе модела, или су добри у детекцији промена стационарности и естимацији у прелазном режиму, док у стационарном стању дају осетно већу грешку, и обратно. Такође, сви ови алгоритми имају различит број слободних коефицијената које треба подесити пре почетка естимације и који у многоме утичу на квалитет естимације. Узимајући у обзир све те критеријуме, постаје јасно да не постоји оптималан алгоритам. Сви алгоритми имају одређене недостатке и предности, у зависности од подручја употребе. Сходно томе, предложени алгоритам има јасну идеју да демонстрира све његове предности и недостатке. Циљ ове докторске дисертације је развој новог алгоритма за детекцију нестационарности сигнала и адаптацију фактора заборављања, са упоредивим или бољим перформансама у поређењу са претходно описаним, и у литератури познатим алгоритмима.

Најважнији резултати који су до сада коришћени у истраживањима су објављени у следећим научним публикацијама:

- [1] M. Barkat, *Signal Detection and Estimation*, 2nd ed., Boston, MA, USA: Artech House, 2005.
- [2] M. Niedzwiecki, *Identification of time-varying processes*, New York, NY, USA: Wiley, 2000.
- [3] D. C. Montgomery and G. C. Runger, *Applied statistics and probability for engineers*, New York, NY, USA: Wiley, 2018.

- [4] J. Jiang and R. Cook, "Fast parameter tracking RLS algorithm with noise immunity," *Electronics Letters*, vol. 28, no. 22, pp. 2043-2045, Oct. 1992, 10.1049/el:19921309.
- [5] D.-J. Park and B.-E. Jun, "Selfperturbing recursive least squares algorithm with fast tracking capability," *Electronics Letters*, vol. 28, no. 6, pp. 558-559, Mar 1992, 10.1049/el:19920351.
- [6] J. Jiang and Y. Zhang, "A revisit to block and recursive least squares for parameter estimation," *Computers & Electrical Engineering*, vol. 30, no. 5, pp. 403-416, Jul. 2004, 10.1016/j.compeleceng.2004.05.002.
- [7] M. Belge and E. L. Miller, "A sliding window RLS-like adaptive algorithm for filtering alpha-stable noise," *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 7, no. 4, pp. 86-89, Apr. 2000, 10.1109/97.833005.
- [8] G. Kvaščev, Ž. Đurović, B. Kovačević and I. K. Kovačević, "Adaptive estimation of time-varying parameters in AR models with variable forgetting factor," in *IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference*, Beirut, Lebanon, 2014, pp. 68-73, 10.1109/MELCON.2014.6820509.
- [9] F. Fraccaroli, A. Peruffo and M. Zorzi, "A new recursive least squares method with multiple forgetting schemes," in *IEEE Conference on Decision and Control*, Osaka, Japan, 2015, pp. 3367-3372, 10.1109/CDC.2015.7402726.
- [10] C. Paleologu, J. Benesty and S. Ciochina, "A Robust Variable Forgetting Factor Recursive Least-Squares Algorithm for System Identification," *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 15, pp. 597-600, Oct. 2008, 10.1109/LSP.2008.2001559.
- [11] S.-H. Leung and C. F. So, "Gradient-based variable forgetting factor RLS algorithm in time-varying environments," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 53, no. 8, pp. 3141-3150, Aug. 2005, 10.1109/TSP.2005.851110.
- [12] H. J. Tan, S. C. Chan, J. Q. Lin, and X. Sun, "A new variable forgetting factor-based bias-compensated RLS algorithm for identification of FIR systems with input noise and its hardware implementation", *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, vol. 67, no. 1, pp. 198-211, Dec. 2019, 10.1109/TCSI.2019.2944221.
- [13] M. Z. A. Bhotto and A. Antoniou, "Robust recursive least-squares adaptive-filtering algorithm for impulsive-noise environments", *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 18, no. 3, pp. 185–188, Mar. 2011, 10.1109/LSP.2011.2106119
- [14] Y. J. Chu and S. C. Chan, "A new local polynomial modeling-based variable forgetting factor RLS algorithm and its acoustic applications", *IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, vol. 23, no. 11, pp. 2059–2069, Nov. 2015, 10.1109/TASLP.2015.2464692

3. Полазне хипотезе

Иако је област адаптивног филтрирања доста развијена и различити резултати датирају још из средине прошлог века, чињеница да и данас постоје научни часописи и међународне научне конференције које су посвећене само овој области довољно говори о томе колико је она и данас актуелна и изазовна за читаве заједнице научника и истраживача. Полазне хипотезе које ће бити почетна тачка истраживања које се предлаже овом пријавом су:

- Апсолутне коначне разлике сигнала садрже информацију о нестационарности сигнала који се обрађује;

- Информације о стационарности добијене из апсолутних коначних разлика се могу искористити за адаптацију фактора заборављања и могу се укључити у алгоритам за пројектовање тежинске рекурзивне методе најмањих квадрата;
- Развијени поступак адаптивне филтрације на бази апсолутних коначних разлика ће бити употребљив за многе примене јер ће његово подешавање захтевати познавање физике процеса који се филтрирају, што је углавном информација којом пројектанти располажу. У том смислу се подразумева познавање временских константи како самих сигнала тако и динамике нестационарности, али и основних спектралних својстава попут максималних фреквенција у спектралној густини снаге;
- Једна од важних хипотеза јесте да ће метод апсолутних коначних разлика бити са нумеричког и меморијског становишта упоредив са осталим техникама адаптивне филтрације, и да ће стога бити употребљив у реалном времену.
- Детекције промене нестационарности коришћењем апсолутних коначних разлика ће, са становишта брзине детектовања промена у моделу, бити или брже или макар упоредиве са, у литератури познатим, техникама за детекцију нестационарности сигнала.

4. Научне методе истраживања

У свом раду ће кандидат користити различите научне методе истраживања, при чему ће доминантно бити заступљени анализа, синтеза и генерализација. Сви резултати кандидата биће добијени кроз софтверске експерименте. Конкретне појединости о појединим фазама истраживања и научним методама којима ће оне бити реализоване, дате су у следећим пасусима.

Прва фаза истраживања биће заснована на систематској анализи тренутно доступних алгоритама за детекцију нестационарности сигнала и адаптацију фактора заборављања.

Друга фаза истраживања подразумеваће испитивање могућности коришћења апсолутних коначних разлика у детекцији нестационарности сигнала и доказивање да оне садрже информације о стационарности сигнала.

У трећој фази биће извршена анализа алгоритма за адаптацију фактора заборављања коришћењем апсолутних коначних разлика.

Четврта фаза ће обухватити испитивање добијених резултата на различитим сигнаlima, као што су сигнали генерисани коришћењем ауторегресивних модела различитог реда, снимљени говорни сигнали и други реални сигнали.

У петој, последњој, фази биће одрађена свеобухватна анализа и поређење добијених резултата са резултатима добијеним коришћењем алгоритама који према тренутном прегледу литературе дају најбоље резултате. Анализа ће бити усмерена на више аспеката:

- квалитет добијених резултата у смислу правовремене детекције нестационарности;
- начин коришћења, издавање параметара са интуитивно јасним значењем и њихово подешавање;
- утицај шума на квалитет естимације.

5. Очекивани научни допринос

Очекује се да ће решење предложено у овој дисертацији представити до сада некоришћени приступ дизајну алгоритма за детекцију нестационарности сигнала и адаптацији фактора заборављања заснован на апсолутним коначним разликама. Поред тога, у овом истраживању очекују се следећи научни доприноси:

- Детаљна анализа и формирање критичког става према већ постојећим алгоритмима за детекцију нестационарности и адаптацију фактора заборављања при адаптивним техникама филтрирања;
- Предложен нови алгоритам за детекцију нестационарности заснован на апсолутним коначним разликама сигнала;
- Теоријски допринос у смислу одређивања зависности статистика апсолутних коначних разлика од параметара ауторегресивних модела у случају белог Гаусовског активационог шума;
- Показивање експерименталне зависности апсолутних коначних разлика од параметара ауторегресивних модела вишег реда, у случају активационих сигнала различитих расподела;
- Компаративна анализа предложеног алгоритма са неколико других познатих алгоритама за који је научна заједница прихватила да дају добре резултате, у смислу: наглих промена у стационарности сигнала; постепених промена стационарности сигнала; утицаја нестационарног шума мерења као и утицаја избора почетних параметара на квалитет естимације.

6. План истраживања и структура рада

План истраживања састоји се из следећих кључних корака:

1. Истраживање и анализа тренутно доступних алгоритама за детекцију нестационарности сигнала и адаптацију фактора заборављања;
2. Експериментално и теоријско доказивање зависности апсолутних коначних разлика од параметара ауторегресивних модела;
3. Дизајн система за адаптацију фактора заборављања применом апсолутних коначних разлика;
4. Реализација софтверског система који би вршио поређење резултата добијених предложеним алгоритмом са резултатима добијеним другим, тренутно актуелним алгоритмима.
5. Анализа резултата добијених коришћењем предложеног алгоритма на примеру вештачки генерисаних сигнала;
6. Примена развијеног алгоритма на реалним сигнаlima, какав је пример говорног сигнала, и анализа добијених резултата.

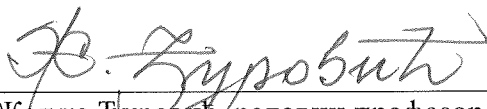
7. Закључак и предлог

Током писања овог Извештаја Комисија је узела у обзир све релевантне чињенице које формирају слику о подобности теме и кандидата за реализацију предвиђених истраживања. Имајући у виду резултате досадашњег истраживачког рада кандидата Слободана Драшковића који је показан у фази истраживања у оквиру докторске дисертације, Комисија је стекла неспорни утисак да кандидат јесте способан за научно-истраживачки рад као и за реализацију предвиђених истраживања. Са друге стране, анализирајући предложену тему под називом „Адаптивна техника филтрирања нестационарних сигнала применом апсолутних коначних разлика“, стављајући је у контекст савремених, актуелних научних истраживања, сагледавајући наведене непосредне циљеве, очекиване резултате и доприносе, Комисија је у

потпуности сагласна да оваква тема задовољава све услове подобности за докторску дисертацију. При томе, Комисија констатује да ова тема припада ужој научној области Управљање системима и обрада сигнала, да Електротехнички факултет Универзитета у Београду јесте матичан за ову научну област, и при томе за ментора рада предлаже проф. др Жељка Ђуровића запосленог на Електротехничком факултету Универзитета у Београду. Уз Извештај је приложен списак радова проф. Жељка Ђуровића који га квалификују за ментора. У закључку овог Извештаја, а имајући у виду све напред наведено, Комисија има част да Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду предложи да прихвати тему докторске дисертације „Адаптивна техника филтрирања нестационарних сигнала применом апсолутних коначних разлика“ и да кандидату Слободану Драшковићу омогући да приступи њеној изради.

у Београду,
дана 08.03.2022.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



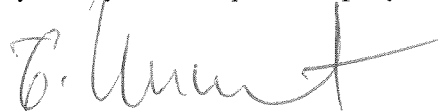
др Жељко Ђуровић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



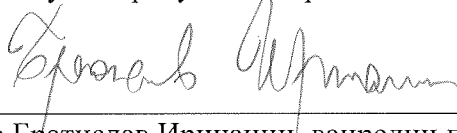
др Горан Квашчев, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Зоран Перић, редовни професор
Универзитет у Нишу – Електронски факултет



др Бошко Николић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Братислав Иричанин, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет