

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ  
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Немање Илића.

Одлуком бр 5049/08/3. од 22.01.2013. године Електротехничког факултета у Београду, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Немање Илића** под насловом

**„Алгоритми дистрибуиране детекције и естимације засновани на консензусу”**

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

**РЕФЕРАТ**

**1. УВОД**

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат је уписан на докторске студије 21.1.2009. (школска 2008/2009).

Тема дисертације пријављена је 19.4.2012. године.

На седници Наставно-научног већа Електротехничког факултета бр. 746. од 24.4.2012. године именована је Комисија за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације у саставу проф. емеритус Срђан Станковић (ЕТФ), проф. Жељко Ђуровић (ЕТФ) и проф. Милорад Станојевић (Саобраћајни факултет у Београду).

Предложена тема одобрена је 19.6.2012. год. од стране Наставно-научног већа Електротехничког факултета у Београду.

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду дало је 17.9.2012. год. сагласност на предлог теме докторске дисертације (одлука бр. 06-20264/26-12 од 17.9.2012. год.)-

Одлуком бр. 5049/08/3 од 22.01.2013. године (седница ННВ ЕТФ бр. 758 од 22. 01. 2013.) именована је Комисија за преглед и оцену докторске дисертације у саставу: проф. емеритус

др. Срђан Станковић (ЕТФ), проф. др. Жељко Ђуровић (ЕТФ) и проф. др. Милорад Станојевић (Саобраћајни факултет у Београду).

## 1.2. Научна област дисертације

Дисертација припада доминантно научној области управљања системима (аутоматског управљања), као и у одређеном смислу областима рачунарства и телекомуникација. За све ове области матичан је Електротехнички факултет Универзитета у Београду.

Ментор је професор емеритус др Срђан Станковић, чија научна биографија обухвата, поред осталог, више десетина радова објављених у часописима који испуњавају услове прописане стандардима за акредитацију у погледу менторства докторских дисертација.

## 1.3. Биографски подаци о кандидату

Немања Илић је рођен 1984. године у Крушевцу, где је завршио основну школу и гимназију природно-математичког смера. Електротехнички факултет Универзитета у Београду је уписао 2003. године. Основне студије на одсеку за Физичку електронику, смер Биомедицински и еколошки инжењеринг, завршио је 2007. године, са просечном оценом 9.77, као најбољи дипломирани студент на смеру (*Siemens Prize*). Мастер студије на истом смеру је завршио 2008. године, са просечном оценом 9.83. Школске 2008/2009 је уписао докторске студије на студијском подручју Управљање системима и обрада сигнала, где је положио све испите, са просечном оценом 10, и одрадио све обавезе предвиђене наставним планом за прве две године докторских студија. Објавио је неколико радова у реномираним иностраним часописима из области обраде сигнала и презентовао радове на више домаћих и иностраних конференција. Области којима се тренутно бави укључују децентрализовану естимацију, детекцију и праћење покретних циљева.

## **2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ**

### 2.1. Садржај дисертације

Предложена дисертација садржи анализу релевантних постојећих алгоритама дистрибуиране детекције и естимације, предлог нових алгоритама, теоретску анализу перформанси предложених алгоритама, као и нумеричке симулације које потврђују теоретске анализе и показују побољшање у перформансама предложених алгоритама у односу на постојеће алгоритме.

Рад, осим увода и закључка, има три главне структурне целине:

- предлог новог алгоритма дистрибуиране естимације за надгледање отказа у великим системима, у форми мулти-агент мреже засноване на комбинацији локалних оптималних стохастичких опсервера за надгледање отказа и динамике консензуса;
- предлог новог алгоритма за дистрибуирано праћење покренених циљева помоћу сензорских мрежа засновано на консензусу, са децентрализованом адаптацијом на сензорске мреже са сензорима са ограниченим дометом мерења;
- предлог новог дистрибуираног рекурзивног алгоритма за детекцију промене сигнала у реалном времену, било резидуала генерисаних мрежом опсервера из прве тачке, било сигнала који се јављају код сензорских мрежа усмерених ка детекцији.

Треба напоменути да сви горе поменути нови алгоритми методолошки прате заједничку линију, у смислу да се у сваком од њих динамика консензуса у паралели комбинује са другом динамиком, било естиматора или детектора.

## 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Увод садржи почетну формулацију проблема који се разматра, објашњење мотивације за бављење посматраним проблемом на усвојени начин, као и преглед и анализу консензус алгоритама и њихове примене у дистрибуираној обради сигнала.

Главни резултати дисертације су дати у три средишња поглавља у којима је описан:

1) Предлог новог алгорита за детекцију промене сигнала у реалном времену помоћу сензорских мрежа, изведен из генерализованог количника веродостојности. Алгоритам је заснован на комбинацији рекурзивно генерисаних локалних статистика и глобалне консензус стратегије, и не захтева никакав центар фузије. Разматран је проблем детекције непознате промене у средњој вредности посматраног случајног процеса и перформансе алгорита су анализиране у смислу величине грешке у односу на одговарајући централизовани алгоритам. Анализа укључује асиметричне константне и временски променљиве матрице које описују комуникације између чворова у мрежи, као и константне и временски променљиве факторе заборављања у коришћеним рекурзијама. Предложен је и аналогни алгоритам за детекцију непознате промене у варијанси. Резултати симулација илуструју карактеристичне особине алгоритама, укључујући перформансе детекције у погледу кашњења у детекцији и вероватноће лажног аларма. Они такође показују да се теоретска анализа везана за проблем детекције промене у средњој вредности може проширити на проблем детекције промене у варијанси.

2) Предлог нове дистрибуиране методологије за надгледање отказа у великим системима, у форми мулти-агент мреже која представља комбинацију опсервера заснованог на консензусу за генерисање резидуала и стратегије одлучивања засноване на консензусу за детекцију промене у сигналу резидуала, применљиве у реалном времену. Предложени опсервер је заснован на преклапајућој декомпозицији система и комбинацији локалних оптималних стохастичких опсервера за надгледање отказа са динамичком консензус стратегијом. Показано је да предложени алгоритам генерише резидуале који обезбеђују, под општим условима везаним за локалне моделе и топологију мреже, високу ефикасност, скалабилност и робусност. Предложена стратегија одлучивања даје решења за два посебна проблема: а) локалну детекцију у непреклапајућим деловима идентификованих подсистема и б) стратегију засновану на консензусу за надгледање отказа у преклапајућим деловима. Приказани примери илуструју применљивост предложене методологије у практичним проблемима.

3) Предлог новог алгорита за праћење покретних циљева заснованог на консензусу са децентрализованом адаптацијом у случају сензорских мрежа са ограниченим дометом сензора. Дата компаративна анализа показује да је подешавање параметара консензус шеме од суштинске важности за добијање једноставних и ефикасних алгоритама, који захтевају слање информација само о локалним естимацијама стања између чворова. Предложени алгоритам, који даје већи значај чворовима који примају мерења, је заснован на размени додатне бинарне информације и представља робустан и ефикасан практичан алат. Стабилност алгорита је испитана за дату поставку проблема. Изабрани примери показују перформансе алгорита у погледу грешке естимације и неслагања између чворова.

Закључак разматра главне концептуалне линије које повезују различите аспекте приказаног истраживања, као и смернице за даље истраживање које се отварају и намећу.

### 3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност Тема дисертације је везана за један од најважнијих савремених трендова у областима рачунарства, телекомуникација и аутоматског управљања - за рачунарске мреже примењене у задацима детекције, естимације и управљања у склопу великих система, кроз које се обједињују рачунарство, телекомуникације и управљање, и доводе до нове области (ССС - computers, communications, control) која се надовезује на класичне поставке кибернетике. Веома велики број радова објављен је последњих неколико година са тематиком из ове области. Многе потенцијалне примене довеле су до формирања нове области која већ представља тему специфичних научних конференција, тзв. киберфизички системи (cyberphysical systems). Посебну пажњу истраживача заокупља проблем консензуса у оваквим мрежама, с обзиром на потребу за формирањем такве стратегије детекције/естимације/управљања која би омогућила дистрибуцију функција са потпуном децентрализацијом, без потребе за фузијом података (функцијом надгледања). Ствара се, у последње време, конзистентан математички апарат за третирање консензуса у склопу различитих задатака.

У складу са наведеним, произлази да је тема посвећена једном од најзначајнијих савремених проблема који припада неколиким значајним областима технике.

Постигнути резултати у тези су оригинални, и представљају (што публиковани резултати показују) сваки за себе, значајне доприносе.

Алгоритам за детекцију промена сигнала је у потпуности нов, уз неколико методолошки сличних приступа, али у друкчијем контексту. Треба истаћи како теоријски допринос, тако и исцрпне симулације које указују на могућности примена у инжењерској пракси.

Дистрибуирана методологија за надгледање отказа у великим системима представља у потпуности нов концепт, што је од великог значаја, имајући у виду изражену потребу за аутоматским надгледањем у великим системима. Резултати приказани у тези тек треба да се теоријски и концепционо разрађују и доводе до низа конкретних децентрализованих шема применљивих у пракси.

У склопу проблема праћења покретних циљева кандидат је извршио исцрпну компаративну анализу нових резултата постигнутих у области естимације стања засноване на консензусу и дао свој допринос у виду једног адаптивног алгоритма који омогућава ефикасно децентрализовано праћење које не захтева постојање фузионог центра.

### 3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Коришћена литература обухвата све релевантне доприносе потигнуте у наведеним областима, полазећи од оних који покривају опште аспекте, па до оних који се односе на детаље конкретних алгоритама. Посебно је значајно то што је кандидат детаљно проучио сва релевантна текућа истраживања и одговарајуће резултате. На тај начин је дисертација добила сасвим јасно одређено место у склопу тих истраживања, а постигнути доприноси јасно дефинисан значај.

### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Примењене научне методе су у дисертацији двојаког карактера. Са једне стране, ради се о егзактним математичким анализама и одговарајућим прецизним доказима (треба обратити

пажњу на низ доказаних теорема), а, с друге стране, о симулационим испитивањима која су, такође двојака - неки резултати представљају пажљиво изабране илустрационе примере перформанси предложених и/или анализираних алгоритама, а неки увиде у понашање алгоритама за које није могуће (у контексту постојеће методологије) добити егзактне доказе. Методолошки гледано, докази представљају индикацију о потенцијалним перформансама, а симулације увиде у реалистичне ситуације које одговарају инжењерским применама.

### 3.4. Применљивост остварених резултата

Сви резултати добијени у дисертацији имају потенцијално широку примену у различитим инжењерским задацима. Када се ради о проблемима детекције, примене су везане за веома различите потребе у којима сензорске мреже дају адекватну подршку (мерења температуре, садржаја хемикалија у ваздуху, мерења влажности, радиоактивности, детекцију циљева помоћу радара, сонара, итд.). У погледу детекције кварова и отказа у системима аутоматског управљања, примене се односе на све сложене системе у којима је децентрализација функција база за ефикасно остварење поузданости и отпорности на отказе (електроенергетски системи, електране, управљање воденим токовима, гасоводима, формацијама летилица, итд.). Разматрани алгоритми за праћење покретних циљева могу да имају директну примену у дистрибуираним системима за праћење циљева са веома различитим врстама сензора, како у мирнодопском, тако и у војном окружењу. Основна поента ових алгоритама јесте, пре свега, у могућностима ефикасне примене уграђивањем у хардверске склопове (embedded systems), што доводи до веома великих брзина рачунања.

### 3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат је показао изузетну мотивисаност за истраживачки рад и ретку научну радозналост. Радећи на дисертацији постигао је и завидан ниво систематичности у раду како у теоријском погледу, тако и у погледу експерименталног рада. Посебно је импресиван његов свеобухватни приступ симулационој провери предложених алгоритама. Такође треба истаћи инвентивност кандидата у погледу сагледавања нових могућности метода који су у фокусу дисертације. Ово је посебно значајно, имајући у виду изузетну концепциону и математичку сложеност ових метода. Све у свему, кандидат је оспособљен за самостални научноистраживачки рад који укључује суверено улажење у нове области.

## **4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС**

### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

Кандидат је дао неколико основних доприноса који су међународно верификовани у референтним часописима.

1) Први допринос се односи на алгоритам дистрибуиране детекције заснован на консензусу, приказан у првом поглављу рада. Допринос се састоји у предлогу новог метода применљивог у реалном времену, способног за праћење у променљивим условима (геометријске контролне табеле). Важно је да је кандидат дао како теоријски приказ особина метода, тако и низ експерименталних резултата који верификују усвојени концепт. Посебан значај има допринос кандидата у синтези дистрибуираног алгоритма детекције изведеног из генерализованог односа веродостојности, где је дао посебно интересантан доказ гарантованих перформанси. Основни резултати су приказани у радовима наведеним под 1 и 2, категорија М21, и 2,4,5,6, 7, категорија М33.



2) Други допринос се односи на друго поглавље, где је предложена нова методологија дистрибуираног надгледања отказа у великим системима. Овде је фокус поглавито усмерен на погодне алгоритме естимације стања и структурне проблеме који настају у различитим конкретним условима примене. На систематичан начин указано је на нове могућности предложене методологије. Резултати су обухваћени у радовима 1 и 3, категорија M33.

3) Трећи важан допринос односи се на праћење покретних циљева. И овде је кандидат показао значјну инвентивност и систематичност и предложио нови алгоритам са побољшаним својствима. Резултати су приказани у прихваћеном раду у значајном научном часопису IEEE Transactions on Control System Technology, чија је пракса да објављује значајне доприносе у области праћења покретних циљева.

#### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

1) У оквиру горе првопоменутог доприноса, претходни резултати покривају само алгоритме стохастичке апроксимације са опадајућим појачањем који принципијелно не могу да имају тражене особине у смислу рада у реалном времену. Такође, мреже које су разматране у том контексту покривају само двостране комуникације, које се могу моделирати симетричним матрицама повезаности одговарајућег графа. Проблем који је разматран и решен заснова се на претпоставци о оријентисаном графу, што резултату даје посебну тежину. Алгоритми дистрибуиране детекције засновани на консензусу изведени из генерализованог односа веродостојности представљају новину у целини. Такође, анализа могућности детекције промене средње вредности и варијансе у том контексту, представља допринос по себи.

2) Методологија дистрибуиране детекције отказа засноване на консензусу представља новост у целини: сличних метода у литератури и инжењерској пракси нема. Дати концепт и извршене анализе у том смислу представљају пионирски подухват.

3) У погледу трећепоменутог доприноса, треба констатовати два битна аспекта: 1) компарација неколико постојећих алгоритама дистрибуиране детекције до сада није дата у литератури; 2) предложена адаптивна верзија алгоритма праћења покретних циљева представља у потпуности нову методу погодну у реалним условима примене.

#### 4.3. Верификација научних доприноса

##### Категорија M21:

1. **Nemanja Plić**, Srdjan S. Stanković, Miloš S. Stanković, Karl Henrik Johansson: Consensus based distributed change detection using Generalized Likelihood Ratio methodology, - *Signal Processing*, Vol. 92, Issue 7, July 2012, Pages 1715-1728, ISSN 0165-1684, DOI 10.1016/j.sigpro.2012.01.007, **IF 1.503**

2. Srdjan Stanković, **Nemanja Plić**, Miloš Stanković, Karl Henrik Johansson: Distributed Change Detection Based on a Consensus Algorithm, -*IEEE Transactions on Signal Processing*, Volume 59, Issue 12, December 2011, Pages 5686-5697, ISSN 1053-587X, DOI 10.1109/TSP.2011.2168219, **IF 2.628**

##### Категорија M33:

1. **Nemanja Plić**, Miloš Stanković, Srdjan Stanković: Consensus Based Overlapping Decentralized Observer for Fault Detection and Isolation, -*Proceedings of the 15th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference*, Valletta, Malta, 25 - 28 April 2010

2. Srdjan Stanković, **Nemanja Ilić**, Miloš S. Stanković, Karl Henrik Johansson: Distributed change detection based on a consensus algorithm, *-Proceedings of the 2nd IFAC Workshop on Distributed Estimation and Control in Networked Systems*, 13-14 September, 2010, Centre de Congrès de L'Impérial Palace, Annecy, France
3. Srdjan Stanković, **Nemanja Ilić**, Miloš Stanković, Karl Henrik Johansson: A Consensus Based Overlapping Decentralized Methodology for Fault Detection and Isolation, *-Proceedings of the Conference on Control and Fault-Tolerant Systems*, October 6-8, 2010, Nice, France
4. **Nemanja Ilić**, Srdjan S. Stanković: Communication Gains Design in a Consensus Based Distributed Change Detection Algorithm, *-Proceedings of the 8th European Workshop on Advanced Control and Diagnosis*, 18-19 November 2010, Ferrara, Italy
5. Srdjan S. Stanković, **Nemanja Ilić**, Miloš S. Stanković, Karl Henrik Johansson: Distributed Change Detection Based on a Randomized Consensus Algorithm, *-Proceedings of the 5th European Conference on Circuits and Systems for Communications*, November 23–25, 2010, Belgrade, Serbia
6. **Nemanja Ilić**, Srdjan Stanković, Miloš Stanković, Karl Henrik Johansson: Consensus Based Distributed Change Detection Using Generalized Likelihood Ratio Methodology, *-Proceedings of the 19th Mediterranean Conference on Control and Automation*, June 20-23 2011, Corfu, Greece
7. **Nemanja Ilić**, Miloš Stanković, Srdjan Stanković: Adaptive Sensor Networks for Consensus Based Distributed Estimation, *-Proceedings of the 2012 IEEE Multi-Conference on Systems and Control*, October 3-5, 2012, Dubrovnik, Croatia

#### Категорија M63:

1. **Nemanja Ilić**, Miloš Stanković, Srdjan Stanković: Consensus Scheme Optimization in Decentralized Consensus Based Observers for Fault Detection and Isolation, *-Proceedings of the 54th ETRAN Conference*, Donji Milanovac, Serbia, June 2010
2. **Nemanja Ilić**, Srdjan Stanković, Miloš Stanković: Consensus Based Distributed Tracking in Sensor Networks With Limited Sensing Range, *-Proceedings of the 55th ETRAN Conference*, Banja Vrućica (Teslić), Bosna i Hercegovina, June 2011
3. Srdjan Stanković, **Nemanja Ilić**, Miloš Stanković: On Stability of Adaptive Consensus Based Distributed Target Tracking Algorithm, *-Proceedings of the 56th ETRAN Conference*, Zlatibor, Serbia, June 2012

## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација кандидата Немање Илића садржи анализу релевантних постојећих алгоритама дистрибуиране детекције и естимације, оригиналан предлог неколико нових алгоритама, теоријску анализу перформанси предложених алгоритама, као и нумеричке симулације које потврђују теоријску анализу. Посебно су значајни предложени алгоритми дистрибуиране детекције засновани на консензусу, дистрибуиране детекције отказа сложених система и дистрибуиране естимације стања покретних циљева. Приказани резултати представљају доприносе веома актуелној научној области која предствља пресек рачунарства, телекомуникација и аутоматике, што је верификовано низом научних радова објављених у најзначајнијим научним часописима дате области и приказаних на реномираним научним конференцијама. Важно је да сви предложени алгоритми имају потенцијално веома широку примену у инжењерској пракси. Кандидат је кроз дисертацију показао способност да самостално решава сложене научноистраживачке проблеме. Стога Комисија предаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у

Београду да се докторска дисертација под називом „Алгоритми дистрибуиране детекције и естимације засновани на консензусу” кандидата Немање Илића прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

#### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



др Срђан Станковић, проф. емеритус  
Електротехнички факултет Универзитета у Београду



др Жељко Туровић, ред. проф.  
Електротехнички факултет Универзитета у Београду



др Милорад Станојевић, ред. проф.  
Саобраћајни факултет Универзитета у Београду