

## ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

### ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

Презиме, име једног родитеља и име	Миловановић, Бранислав, Мирослав
Датум и место рођења	06.11.1987., Ниш

### Основне студије

Универзитет	Универзитет у Нишу
Факултет	Електронски факултет у Нишу
Студијски програм	Управљање системима
Звање	Дипломирани инжењер електротехнике за управљање системима
Година уписа	2006.
Година завршетка	2011.
Просечна оцена	9.15 (девет и 15/100)

### Магистарске студије, магистарске студије

Универзитет	-
Факултет	-
Студијски програм	-
Звање	-
Година уписа	-
Година завршетка	-
Просечна оцена	-
Научна област	-
Наслов завршног рада	-

### Докторске студије

Универзитет	Универзитет у Нишу
Факултет	Електронски факултет у Нишу
Студијски програм	Електротехника и рачунарство - научна област Управљање системима
Година уписа	2011.
Остварен број ЕСПБ бодова	546
Просечна оцена	10

### НАСЛОВ ТЕМЕ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Наслов теме докторске дисертације	Управљање динамичким системима применом адаптивних ортогоналних неуронских мрежа
Име и презиме ментора, звање	Драган Антић, редовни професор
Број и датум добијања сагласности за тему докторске дисертације	07/03-042/15-004 од 22.12.2015. године

### ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Број страна	180
Број поглавља	8
Број слика (шема, графикона)	87
Број табела	29
Број библиографских јединица	152



**ПРИКАЗ НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КАНДИДАТА  
који садрже резултате истраживања у оквиру докторске дисертације**

Р. бр.	Аутор-и, наслов, часопис, година, број волумена, странице	Категорија
1	<p>Miroslav B. Milovanović, Dragan S. Antić, Marko T. Milojković, Saša S. Nikolić, Staniša Lj. Perić, Miodrag D. Spasić, “Adaptive PID Control Based on Orthogonal Endocrine Neural Networks”, <i>Neural Networks</i>, vol. 84, pp. 80-90, Doi No: <a href="http://dx.doi.org/10.1016/j.neunet.2016.08.012">http://dx.doi.org/10.1016/j.neunet.2016.08.012</a>), Publisher: Elsevier, December 2016.</p> <p><i>У раду је представљена нова интелигентна хибридна структура искоришћена за online подешавање ПИД регулатора. Структура је заснована на две адаптивне неуронске мреже, обе са имплементираним Чебишевљевим ортогоналним полиномима. Прва подструктура је стандардна ортогонална неуронска мрежа са имплементираним веиштаким ендокриним фактором (ОЕНН). Она је искоришћена за апроксимацију управљачког сигнала и процесирање сигнала девијације система који су уведени у форми спољашњих стимуланса. Излазне вредности ОЕНН мреже су употребљене за израчунавање вредности веиштаких спољашњих стимуланса и представљају потребну меру адаптације друге мреже – ортогоналног ендокриног АНФИС-а (ОЕАНФИС-а). ОЕАНФИС је искоришћен да процесира управљачки, излазни и сигнал грешке система и да генерише подесиве вредности параметара традиционалног ПИД регулатора. Развијена структура је експериментално тестирана на лабораторијском моделу 3D крана.</i></p>	M21a
2	<p>Miroslav B. Milovanović, Dragan S. Antić, Milena N. Rajić, Pedja M. Milosavljević, Ana Pavlović, Cristiano Fragassa, “Wood resource management using an endocrine NARX neural network”, <i>European Journal of Wood and Wood Products</i>, (Doi No: <a href="https://doi.org/10.1007/s00107-017-1223-6">https://doi.org/10.1007/s00107-017-1223-6</a>), Publisher: Springer Berlin Heidelberg, 2017, accepted.</p> <p><i>Овај рад представља истраживање у којем је извршена предикција месечних тржишних потреба за индустријски обрађеном дрвном грађом, помоћу новог типа ортогоналне неуронске мреже. Основу мреже представља стандардна рекурентна NARX неуронска мрежа, у оквиру које су имплементирани веиштаким ендокриним фактори. Развијени ENARX модел обезбедио је додатну осетљивост мреже на спољашње услове и поремећаје, што је омогућило и бољу адаптивност система. Нови модел је показао боље предиктивне перформансе у поређењу са традиционалном NARX мрежом.</i></p>	M21
3	<p>Miroslav Milovanović, Dragan Antić, Marko Milojković, Saša S. Nikolić, Miodrag Spasić, Staniša Perić, “Time Series Forecasting with Orthogonal Endocrine Neural Network Based on Postsynaptic Potentials”, <i>Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control</i>, vol. 139, no. 4, pp. 041006-1÷041006-9, DS-15-1656, Print ISSN: 0022-0434, (Doi No: <a href="http://dx.doi.org/10.1115/1.4035090">http://dx.doi.org/10.1115/1.4035090</a>), Publisher: The American Society of Mechanical Engineers, April 2017.</p> <p><i>У раду је представљена ендокрина неуронска мрежа, унапређена имплементацијом параметра осетљивости који поседује способност саморегулације. Аутоматско подешавање овог параметра извршено је на основу биолошких принципа постсинаптичких потенцијала, имплементацијом инхибиторних и ексцитаторних веиштаким жлезди унутар стандардног backpropagation алгоритма учења развијене ортогоналне ендокрине неуронске мреже. Поред додатне осетљивости мреже на спољашње поремећаје, мрежа је оваквом реализацијом добила способност и активационог изоштравања током обуке. Реализована неуронска мрежа је тестирана рачунарским симулацијама на реалним експерименталним подацима, а циљ тестирања била је предикција промене курса новчаних валута на дневном нивоу.</i></p>	M23
4	<p>Miroslav B. Milovanović, Dragan S. Antić, Miodrag D. Spasić, Saša S. Nikolić, Staniša Lj. Perić, Marko T. Milojković, “Improvement of DC Motor Velocity Estimation Using Feedforward Neural Network”, <i>Acta Polytechnica Hungarica</i>, vol. 12, no. 6, pp. 107–126, ISSN: 1785-8860, (Doi No: 10.12700/APH.12.6.2015.6.7), Publisher: Óbuda University, Hungary, November 2015.</p> <p><i>У овом раду је представљена метода унапређења естимација брзине мотора једносмерне струје и естимација добијених из обсервера стања, када на осовину мотора делују велики моменти инерције. Обсервер стања и пројектовани регулатор променљиве структуре су имплементирани унутар стандардне управљачке логике</i></p>	M23



	<p>система. Након тога је реализована <i>feedforward</i> неуронска мрежа, њена структура је емпиријски одређена, да би на крају била и имплементирана у оквиру управљања серво система. Експериментално је показано да вештачка неуронска мрежа може да унапреди како квалитет естимације обсервера, тако и перформансе система за различите улазне управљачке сигнале.</p>	
	<p>Miroslav B. Milovanović, Dragan S. Antić, Saša S. Nikolić, Staniša Lj. Perić, Marko T. Milojković, Miodrag D. Spasić, "Neural Network Based on Orthogonal Polynomials Applied in Magnetic Levitation System Control", <i>Electronics and Electrical Engineering</i>, vol. 23, no. 3, pp. 24–29, Print ISSN: 1392-1215, (Doi No: <a href="http://dx.doi.org/10.5755/j01.eie.23.3.18327">http://dx.doi.org/10.5755/j01.eie.23.3.18327</a>), Publisher: Kaunas University of Technology, June 2017.</p>	
5	<p>Нови приступ унапређења перформанси рада магнетног левитационог система је приказан у овом раду. Двопозициона левитација са унапређеним перформансама добијена је имплементацијом ортогоналне неуронске мреже унутар стандардне управљачке логике левитатора. Прво је стандардна мрежа, заснована на хиперболичким и тангентним активационим функцијама, тестирана употребом реалних експерименталних података. Након тога су ове функције замењене новим ортогоналним полиномијалним функцијама. Као резултат формирања нове мреже, добијене су боље перформансе рада система у реалном времену, које су се огледале у већем оствареном померају током двопозиционе левитације металне лопте.</p>	M23
	<p>Marko T. Milojković, Dragan S. Antić, Miroslav B. Milovanović, Saša S. Nikolić, Staniša Lj. Perić, Muhanad Almawlawe, "Modeling of Dynamic Systems Using Orthogonal Endocrine Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems", <i>Journal of Dynamic Systems Measurement and Control</i>, vol. 137, no. 9, ISSN: 1528-9028, (Doi No: <a href="http://dx.doi.org/10.1115/1.4030758">http://dx.doi.org/10.1115/1.4030758</a>), Publisher: American Society of Mechanical Engineers, July 2015.</p>	
6	<p>У раду је представљена нова метода пројектовања АНФИС-а. Унапређења су направљена увођењем специјално развијених ортогоналних функција у структуру мреже, односно, у слој који имитира Сугено тип дефазификације. Ове функције су специјално развијене за анализу и синтезу динамичких система и такође садрже адаптивну меру променљивости система који ради у реалном времену, и који се имплементира у оквиру АНФИС-а као хормонални ефекат. Метода је тестирана кроз низ експеримената са серво системом. Резултати су показали да ОЕАНФИС може ефективно бити коришћен за моделирање динамичких система.</p>	M23
	<p>Dragan Antić, Miroslav Milovanović, Staniša Perić, Saša Nikolić, Marko Milojković, "Input Data Preprocessing Method for Exchange Rate Forecasting via Neural Network", vol. 11, no. 4, pp. 597–608, <i>Serbian Journal of Electrical Engineering</i>, December 2014.</p>	
7	<p>Циљ овог рада је да представи методу за селекцију и претпроцесирање улазних података неуронске мреже. Задатак мреже је предвиђање курса новчаних валута. Сваки анализиран економски систем садржао је 70 параметара. Метода оптимизације улаза мреже подразумевала је редукацију ових параметара употребом РСА методе. Утврђене су међузависности свих компоненти и успостављене релације. Након тренирања стандардне вишеслојне <i>feedforward</i> неуронске мреже, представљени су симулациони резултати. Метода се показала као ефикасна при претпроцесирању података и утврђено је да, њеном употребом, стандардне мреже могу остварити боље предикционе перформансе.</p>	M52

**НАПОМЕНА:** уколико је кандидат објавио више од 3 рада, додати нове редове у овај део документа

### ИСПУЊЕНОСТ УСЛОВА ЗА ОДБРАНУ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Кандидат испуњава услове за оцену и одбрану докторске дисертације који су предвиђени Законом о високом образовању, Статутом Универзитета и Статутом Факултета.

ДА

На основу Извештаја Комисије за оцену испуњености критеријума за покретање поступка за пријаву докторске дисертације, покретање поступка за оцену и одбрану докторске дисертације и изборе у звања наставника на Електронском факултету у Нишу, бр. 07/03-032/17-001 од 01.09.2017. године, установљено је да кандидат дипл. инж. Мирослав Миловановић **ИСПУЊАВА** све предвиђене критеријуме за покретање поступка за оцену и одбрану докторске дисертације. Наиме, кандидат дипл. инж. Мирослав Миловановић доставио је Факултету доказ да је првопотписани аутор рада у часопису са SCI листе, и да је првопотписани аутор рада објављеног у часопису који издаје Универзитет у Нишу или факултет Универзитета у Нишу, па је Комисија сходно томе предложила покретање поступка за оцену и одбрану докторске дисертације.



## ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ

Кратак опис појединих делова дисертације

Докторска дисертација дипл. инж. Мирослава Б. Миловановића изложена је на 180 страница текста формата В5 и садржи 87 слика и 29 табела. Дисертација има логичан ток и прецизно је језички формулисана. Подељена је на осам поглавља: Основе неуронских мрежа, Мотивација за употребу вештачких неуронских мрежа у управљању динамичким системима, Употреба стандардне неуронске мреже за побољшање перформанси система, Метода за селекцију и оптимизацију улазних параметара вештачке неуронске мреже, Употреба ортогоналних функција у неуронским мрежама, Пројектовање ендокрине неуронске мреже базиране на постсинаптичком потенцијалу, Адаптивни ендокрини ортогонални АНФИС и Пројектовање хибридне структуре ОЕНН-ОЕАНФИС за подешавање параметара ПИД регулатора. Осим наведених поглавља, дисертација садржи и одговарајући кратак резиме написан на српском и енглеском језику. На крају дисертације изведени су одговарајући закључци, дати су главни доприноси докторске дисертације и списак коришћене литературе који садржи 152 библиографске јединице. Додатно, дата је кратка биографија аутора дисертације и списак његових научних и стручних радова.

Циљ истраживања докторске дисертације је управљање динамичким системима употребом нових типова ортогоналних ендокриних неуронских мрежа у циљу побољшања перформанси система.

У првом поглављу дисертације представљена је биолошка неуронска мрежа и описани су принципи њеног функционисања. Дат је начин математичке репрезентације протока сигнала кроз мрежу, чиме је постављен основ за развој вештачког неурона. Такође, у поглављу је дат детаљан осврт на историју развоја вештачких неуронских мрежа. Уведена је формализација компоненти вештачког неурона, представљени су елементарни модели неурона и основни модели вештачких неуронских мрежа. Поглавље се завршава детаљним приказом популарних алгоритама учења мрежа.

Друго поглавље се састоји из два дела. У првом је дат осврт на могућност примене неуронских мрежа у управљачким апликацијама и наведене су основне карактеристике стандардних неуронских мрежа. Други део поглавља даје приказ тренутног стања развоја ортогоналних и ендокриних неуронских мрежа. Приказане су карактеристике ових мрежа, дата је њихова употребна вредност и осврт на досадашња истраживања у којима су биле реализоване.

У трећем поглављу је приказана експериментална употреба стандардне неуронске мреже за побољшање перформанси реалног система. Искоришћена је стандардна *feedforward* мрежа за унапређење естимације брзине једносмерног мотора. Имплементацијом стандардне неуронске мреже у управљачку логику система су такође и перформансе обсервера значајно унапређене: естимација брзине у устаљеном стању је постала прецизнија и смањена је грешка естимације током прелазних процеса.

У четвртном поглављу је дата метода за селекцију и оптимизацију тренинг података вештачке неуронске мреже. Метода је показала велики утицај претпроцесирања података на повећање брзине рада мреже и смањење потребног времена за њену обуку. Принцип оптимизације је показао универзалност по питању примене на необрађене податке и може се користити за тренажне процесе различитих типова мрежа.

У поглављу 5 су дефинисане и математички представљене ортогоналне функције које ће бити коришћене у дисертацији. Такође, приказана је методологија за њихову имплементацију унутар стандардних неуронских мрежа, где је као објекат управљања искоришћен лабораторијски модел магнетног левитационог система.

У поглављу 6 детаљно су приказане ендокрине неуронске мреже. Пројектован је нови тип ендокрине мреже заснован на адаптивном параметру осетљивости. При реализацији су искоришћени биолошки принципи екситације и инхибиције. Тиме се показало да даљи развој вештачких неуронских мрежа може бити везан за имитацију различитих биолошких процеса.

Поглавље 7 се састоји из два дела. У првом је дат приказ неуро-фази хибридних система – АНФИС-а. У другом делу поглавља је АНФИС искоришћен као база за надоградњу – за увођење ортогоналних функција и ендокриног фактора у оквиру дефазификационог слоја мреже.

У последњем, 8. поглављу, развијена је сложена структура која се базира на употреби ортогоналних ендокриних неуронских мрежа (стандардне мреже и АНФИС-а). Обе мреже су засноване на Чебишевљевим функцијама и присуству ендокриних фактора. Задатак структуре је *online* подешавање параметара ПИД регулатора у циљу минимизације поремећаја система. Експерименти са реализованом хибридном структуром обављени су на лабораторијском моделу 3D крана. На крају, изведени су закључци и представљени могући даљи правци истраживања засновани на резултатима приказаним у дисертацији.



## ВРЕДНОВАЊЕ РЕЗУЛТАТА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Ниво остваривања постављених циљева из пријаве докторске дисертације

Кандидат је успешно остварио све постављене циљеве из пријаве докторске дисертације. Главни циљ дисертације био је развој нових адаптивних особина неуронских мрежа које ће успети да побољшају перформансе мрежа и неуро-фази система. Посебан акценат био је стављен на развоју ендокриних адаптивних неуронских мрежа и ендокриних адаптивних неуро-фази хибридних система (АНФИС-а), уз употребу ортогоналних активационих функција унутар њихових структура. Потребно је нагласити и да докторска дисертација представља добру основу за нова истраживања у овој области, а све у циљу даљег развоја нових типова ендокриних ортогоналних неуронских мрежа.

Вредновање значаја и научног доприноса резултата дисертације

По оцени чланова Комисије, најзначајнији доприноси докторске дисертације дипл. инж. Мирослава Б. Миловановића, су:

- реализовање нове универзалне методе оптимизације тренинг података као неопходног корака за успешно моделирање неуронским мрежама;
- пројектовање стандардне неуронске мреже са имплементираним ортогоналним активационим функцијама;
- пројектовање ортогоналне ендокрине неуронске мреже која је заснована на адаптивном параметру осетљивости;
- пројектовање ортогоналног ендокриног АНФИС-а;
- реализовање интелигентног хибридног система који је заснован на комбинацији ортогоналног ендокриног АНФИС-а и ортогоналне ендокрине неуронске мреже;
- имплементацију неуронских мрежа у управљачке логике динамичких система;
- верификовање свих пројектованих модела интелигентног управљања рачунарским симулацијама и низом лабораторијских експеримената;
- упоређивање резултата остварених коришћењем пројектованих модела са резултатима који су добијени употребом постојећих неуронских мрежа;
- свеобухватна анализа добијених резултата.

Потребно је нагласити да су резултати, непосредно проистекли или везани за ову дисертацију, верификовани у научним радовима објављеним у међународним часописима са IMPACT фактором и без њега, као и у зборницима с међународних и домаћих конференција који су цитирани у оквиру литературе.

Оцена самосталности научног рада кандидата

Кандидат Мирослав Б. Миловановић је током бављења научно-истраживачким радом и израде докторске дисертације показао самосталност, иницирао истраживања и предводио развој нових типова адаптивних ортогоналних неуронских мрежа. Треба ипак напоменути да су поједине публиковане референце и добијени резултати из дисертације, резултат заједничког рада истраживача Лабораторије за моделирање, симулацију и управљање системима при Катедри за аутоматiku.

## ЗАКЉУЧАК

На основу увида у поднету докторску дисертацију може се закључити да докторска дисертација дипл. инж. Мирослава Б. Миловановића садржи низ оригиналних научних доприноса у развоју нових и модификацији постојећих типова адаптивних ортогоналних неуронских мрежа, као и пројектовању нових хибридних интелигентних структура базираних на употреби хормоналних ендокриних ефеката. Резултати истраживања садрже значајне научне доприносе који се могу практично применити а, такође, остварена је добра основа за будућа истраживања у овој научној области, с циљем даљег унапређења перформанси постојећих и развојем нових типова ендокриних ортогоналних неуронских мрежа.

Имајући у виду значај обрађене проблематике и остварене научне резултате, чланови Комисије предлажу Наставно-научном већу Електронског факултета у Нишу да се докторска дисертација кандидата дипл. инж. Мирослава Б. Миловановића под насловом “Управљање динамичким системима применом адаптивних ортогоналних неуронских мрежа”, прихвати и одобри њена усмена одбрана.



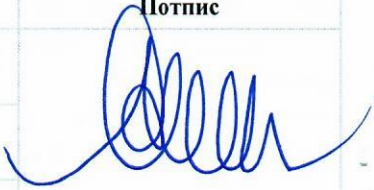




# КОМИСИЈА

Број одлуке НСВ о именовану Комисије

8/20-01-006/17-022

Датум именовања Комисије

18. 09. 2017.

Р. бр.	Име и презиме, звање		Потпис
1.	Проф. др Драган Антић, редовни професор	председник, ментор	
	Аутоматика (Научна област)	Електронски факултет у Нишу, Универзитет у Нишу (Установа у којој је запослен)	
2.	Проф. др Властимир Николић, редовни професор	члан	
	Аутоматско управљање (Научна област)	Машински факултет у Нишу, Универзитет у Нишу (Установа у којој је запослен)	
3.	Проф. др Дарко Митић, ванредни професор	члан	
	Аутоматика (Научна област)	Електронски факултет у Нишу, Универзитет у Нишу (Установа у којој је запослен)	
4.	Доц. др Марко Милојковић, доцент	члан	
	Аутоматика (Научна област)	Електронски факултет у Нишу, Универзитет у Нишу (Установа у којој је запослен)	
5.	Проф. др Сретен Стојановић, редовни професор	члан	
	Електротехника и рачунарство (Научна област)	Технолошки факултет у Лесковцу, Универзитет у Нишу (Установа у којој је запослен)	

Датум и место:

02.10.2017., Ниш

**ЕЛЕКТРОНСКИ ФАКУЛТЕТ  
У НИШУ**

Примљено 03.10.2017
Број
07/03-032/17-004