

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

Презиме, име једног родитеља и име	Живковић Србислав Иван	ПРИРОДНО - МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ - НИШ	
Датум и место рођења	20.03.1983. Мајданпек	Примљено, 08.8.2018.	
Основне студије			
Универзитет	Универзитет у Нишу	Орг. јед.	Број
Факултет	Природно –математички факултет Ниш	01	2657
Студијски програм	Рачунарство и информатика	Прилог	Вредност
Звање	Дипломирани математичар за рачунарство и информатику - мастер (VII-1)		
Година уписа	2002.		
Година завршетка	2009.		
Просечна оцена	9.11		

Мастер 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	Природно –математички факултет Ниш
Студијски програм	Рачунарство и информатика
Година уписа	2009.
Остварен број ЕСПБ бодова	150
Просечна оцена	10

НАСЛОВ ТЕМЕ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Наслов теме докторске дисертације	Recurrent neural networks for solving matrix algebra problems
Име и презиме ментора, звање	Предраг Станимировић, редовни професор
Број и датум добијања сагласности за тему докторске дисертације	8/17-01-004/17-006 08.05.2017.

ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Број страна	172
Број поглавља	8
Број слика (шема, графикона)	32
Број табела	18
Број прилога	2

**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>Predrag S. Stanimirović, Ivan Živković, Yimin Wei, Recurrent Neural Network for Computing the Drazin Inverse, IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems 26 (2015), 2830-2843</p> <p><i>У раду је представљен модел рекурентне неуронске мреже за израчунавање Дразин инверза квадратних матрица реалних елемената у реалном времену. Неуронска мрежа је креирана од независних компоненти (подмрежа), где је и димензија улазне матрице. Свака компонента извршава израчунавања независно од других компоненти, те се на тај начин постиже паралелно процесирање. Паралелном обрадом добија се предност у времену извршења процеса у односу на постојеће секвенцијалне алгоритме. Представљени су и услови који обезбеђују стабилност неуронске мреже и конвергенцију ка Дразин инверзу.</i></p>	M21a
2	<p>Predrag S. Stanimirović, Ivan Živković, Yimin Wei, Recurrent Neural Network Approach Based on the Integral Representation of the Drazin Inverse, Neural Computation 27 (2015), 2107- 2131</p> <p><i>Представљена је рекурентна неуронска мрежа са једначином динамике за израчунавање Дразин инверза реалне квадратне матрице, без ограничења на њеном спектру (сопственим вредностима). Наведени су услови који гарантују стабилност дефинисане неуронске мреже, као и конвергенцију ка Дразин инверзу. Као резултат рачунарских симулација разматрано је и неколико илустративних примера.</i></p>	M21
3	<p>Ivan Živković, Predrag S. Stanimirović, Yimin Wei, Recurrent Neural Network for Computing Outer Inverse, Neural Computation 28:5 (2016), 970–998.</p> <p><i>Дефинисане су две рекурентне неуронске мреже за израчунавање спољних инверза са задатом сликом и задатим језгром. Понашање неуронских мрежа описано је одговарајућим једначинама динамике. Прва неуронска мрежа (једначина динамике) условљена је особинама матричног спектра улазне матрице; друга неуронска мрежа елиминисае услове на спектру улазне матрице, по цену већег броја матричних израчунавања. Наведени су услови који гарантују стабилност дефинисаних неуронских мрежа. Илустративни примери презентују резултате нумеричких симулација.</i></p>	M21
4	<p>Predrag S. Stanimirović, Ivan Živković, Yimin Wei, Neural network approach to computing outer inverses based on the full rank representation, Linear Algebra and its Applications 501 (2016), 344–362</p> <p><i>Први циљ рада је указивање на еквиваленцију између две познате репрезентације спољних инверза са задатом сликом, и задатим језгром. Две једначине динамике, које одговарају наведеним презентацијама, дефинисане су у оквиру другог циља. На овај начин, две неуронске мреже са дефинисаним једначинама динамике искоришћене су за израчунавање класе спољних инверза. На крају, наведени су нумерички резултати симулације.</i></p>	M21
5	<p>Igor Stojanović, Predrag S. Stanimirović, Ivan Živković, Dimitrios Gerontitis, Xue-Zhong Wang, ZNN models for computing matrix inverse based on hyperpower iterative methods. Filomat 31:10 (2017), 2999-3014.</p> <p><i>Истражује се аналогија између итеративних метода за израчунавање регуларних инверза и дискретизације модела Жангових неуронских мрежа. На основу откривене аналогије, одређује се класа Жангових неуронских мрежа која одговара породици итеративних метода за израчунавање уопштених инверза. Описана је Matlab Simulink имплементација уведених модела скалираних итеративних метода реда 2 и 3. Испитују се својства конвергенције предложених Жангових модела неуронских мрежа као и њихово нумеричко понашање.</i></p>	M22
6	<p>Ivan Živković, Predrag S. Stanimirović. Matlab simulation of the hybrid of recursive neural dynamics for online matrix inversion. Facta Universitatis - series Mathematics and Informatics 32:5 (2017): 799-809.</p> <p><i>Представљен је Matlab Simulink модел хибридне рекурентне имплицитне динамике, и дата је симулација и компарација са постојећом (конвенционалном) Жанговом динамиком за одређивање регуларних инверза константних матрица у реалном времену. Резултати симулације потврђују супериорну конвергенцију хибридног модела у поређењу са класичним Жанговим моделом.</i></p>	M51

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 **НЕ**

Кандидат је приложио 10 одштампаних и повезаних примерака докторске дисертације, истоветни примерак докторске дисертације у PDF формату на диску. Кандидат је објавио 6 радова, од тога 4 у врхунским међународним часописима (категорија M21a и M21), 1 рад у истакнутом међународном часопису (категорија M22), и првопоставио аутор је рада објављеног у часопису који издаје Универзитет у Нишу (категорија M51). Увидом у докторску дисертацију и библиографију кандидата, комисија закључује да кандидат испуњава све услове за одбрану докторске дисертације.

ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Кратак опис појединих делова дисертације (до 500 речи)

Дисертација је организована у осам поглавља: увод, пет поглавља тематски подељених у секције, закључак и библиографија.

класе генералисаних инверза, и детаљан преглед познатих резултата из области који су у корелацији са истраживањем презентованим у дисертацији. Дат је концизан упоредни приказ два типа неуронских мрежа које су коришћене у претходним истраживањима за израчунавање генералисаних инверза:

1. GNN неуронске мреже које су засноване на градијентном методу безусловне нелинеарне оптимизације.

2. ZNN неуронске мреже које су засноване на матричној функцији грешке.

Акцент се ставља на преглед једначина динамике и одговарајућих архитектура неуронских мрежа коришћених за израчунавање регуларног инверза, Moore-Penrose инверза, тежинског Moore-Penrose инверза, Drazin инверза, групног инверза као и спољашњих инверза у најопштијем случају.

Друго поглавље представља градијентне рекурентне неуронске мреже за израчунавање генералисаних инверза реалних константних матрица. Њихова структура пружа могућност паралелног израчунавања, тако што се цео процес може разбити на одређени број потпроцеса. За сваки од потпроцеса задужена је једна потцелина (подмрежа) која обавља израчунавања над том потцелином независно од осталих подмрежа. Практични значај наведеног математичког модела неуронске мреже лежи у потенцијалној хардверској имплементацији у виду електронског кола, при чему се сваки неурон може имплементирати уз помоћ три операциона појачивача: 1) суматора; 2) интегратора; 3) инвертора. Размотрени су услови који гарантују стабилност и конвергенцију дефинисаних неуронских мрежа. Поред тога, дискутују се илустративни примери као и примери примена на практичне проблеме како би се показала ефикасност предложених модела.

У трећем поглављу дефинисане су једначине динамике и одговарајуће рекурентне неуронске мреже за израчунавање генералисаних инверза произвољних реалних матрица, које су конвергентне без икаквих ограничења над сопственим вредностима. Ове неуронске мреже решавају недостатак разматраних модела из другог поглавља, по цени повећања броја матричних операција (множења). Структура неуронских мрежа уведених у овом поглављу је идентична структури модела која се разматране у другом поглављу, док се једначине динамике разликују. Дискутовани су услови који осигуравају стабилност и конвергенцију дефинисане рекурентне неуронске мреже. Кроз неколико илустративних примера представљени су резултати компјутерских симулација.

Четврто поглавље разматра примену неуронских мрежа на израчунавање делова израза који представљају репрезентације потпуног ранга различитих класа уопштених израза. Први циљ таквих израчунавања односи се на утврђивање еквиваленције различитих репрезентација спољашњих инверза са дефинисаном сликом и језгром. Други циљ је да се дефинишу једначине динамике које одговарају таквим репрезентацијама. Прва једначина динамике је изведена на основу репрезентације потпуног ранга спољашњих инверза са дефинисаном сликом и језгром. Друга једначина динамике је дефинисана помоћу алтернативне репрезентације спољашњег инверза која укључује групни инверз одређеног матричног производа. Кроз одређени број примера приказане су нумеричке перформансе оба модела.

Пето поглавље истражује аналогију између скалиране фамилије хиперстепенованих итеративних метода за израчунавање инверзних матрица и дискретизацију модела Жангових неуронских мрежа. На основу откривене аналогије, дефинише се класа Жангових модела која одговара фамилији хиперстепенованих итеративних процеса. Имплементација модела је изведена у Матлаб/Симулинк програмском пакету. Доказана је теоријска конвергенција предложених модела, а нумеричке перформансе илустроване су кроз примере.

Нова врста хибридне рекурентне неуронске имплицитне динамике за матричну инверзију у реалном времену недавно је дефинисана у литератури. Показано је, упоређивањем хибридног рекурентне неуронске имплицитне динамике с једне стране и конвенционалне експлицитне неуронске динамике с друге стране, да хибридни модел има веће способности у процесу израчунавања инверза. Још важније, хибридни модел може постићи супериорну конвергенцију у поређењу са постојећим динамичким системима, специјално са Жанговим моделом. Шесто поглавље уводи Симулинк модел хибридне рекурентне неуронске имплицитне динамике и даје симулацију и поређење са постојећом Жанговом динамиком за инверзију матрице у реалном времену. Резултати симулација потврђују супериорну конвергенцију хибридног модела у поређењу са моделом Жанга.

ВРЕДНОВАЊЕ РЕЗУЛТАТА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Ниво остваривања постављених циљева из пријаве докторске дисертације (до 200 речи)

Постављени циљеви из пријаве теме докторске дисертације су остварени у потпуности. Најпре се успостављају архитектуре модела рекурентних неуронских мрежа за израчунавање генералисаних инверза. Архитектуре неуронских мрежа сачињавају једначина динамике и конфигурација мреже. Како би се дефинисала једначина динамике, полази се од одговарајуће једначине из дефиниције спољашњег инверза, затим се над њом дефинише одговарајућа функција грешке (скаларна или матрична), а након тога, долази се до једначине динамике неуронске мреже. Уз помоћ теорема матричне теорије, и интегралних репрезентација спољашњих инверза, долази се до услова на спектру који морају бити испуњени како би неуронска мрежа конвергирала тачном решењу. За доказ стабилности решења, употребљена је теорија Љапунова о стабилности. За конфигурацију рекурентних неуронских мрежа коришћени су принципи из теорије контроле система. Илустрације рада и симулације конвергенције неуронске мреже дате су уз помоћ програмског пакета Matlab.

Вредновање значаја и научног доприноса резултата дисертације (до 200 речи)

Резултати презентовани у овој докторској дисертацији представљају изузетан и оригиналан допринос. Након осврта и прегледа претходних резултата из примена неуронских мрежа у решавању проблема матричне алгебре, акценат се у истраживању ставља на дефинисање неуронских мрежа са архитектуром и варијабилном динамиком која омогућава израчунавање спољашњих инверза са дефинисаном сликом и језгром матрица са константним и варијабилним елементима у функцији времена. Наведена структура мрежа пружа могућност паралелног израчунавања, тако што се цео процес може разбити на одређени број потпроцеса. На тај начин, остварено је својство паралелизма, тако да се добија значајна предност у брзини израчунавања приликом реалних примена, у односу на постојеће секвенцијалне алгоритме због природе секвенцијалног израчунавања. Понашање неуронске мреже у процесу израчунавања одговарајућег типа инверза матрице, описано је једначинама динамике. Још један од циљева истраживања бавио се одређивањем погодних дефиниција једначина динамике, како би било могуће контролисати понашање неуронске мреже варирањем њених параметара. У једначини динамике фигурирају параметри чијом се контролом, и одговарајућим избором може утицати на брзину конвергенције, тачност, као и на то који ће конкретан тип инверза да решење представља.

Оцена самосталности научног рада кандидата (до 100 речи)






У спроведеном истраживању, током израде докторске дисертације, кандидат је показао изузетан ниво самосталности у идентификовању проблема и проналажењу адекватних приступа за њихово решавање, првенствено у теоријском смислу, а затим и у аналитичком и нумеричком начину решавања.

ЗАКЉУЧАК (до 100 речи)

На основу претходно изложеног можемо закључити да су сви резултати приказани у дисертацији нови и оригинални, а квалитет презентованих научних резултата је верификован у врхунским међународним и водећим домаћим часописима. Дисертација је написана прегледно, технички коректно, и докази су такође коректни. Докторска дисертација нема недостатака који битно утичу на коначан резултат истраживања. Проучавана тематика је актуелна и уклапа се у глобалне трендове истраживања.

На основу свега овог Комисија предлаже Наставно-научном већу Природно-математичког факултета Универзитета у Нишу да докторску дисертацију Ивана Живковића под насловом **Recurrent neural networks for solving matrix algebra problems** (Рекурентне неуронске мреже за решавање проблема линеарне алгебре) прихвати као урађену и да одобри њену јавну одбрану.

КОМИСИЈА

Р. бр.	Име и презиме, звање		Потпис
1.	Др Предраг Станимировић, редовни професор Рачунарске науке (Научна област)	Природно-математички факултет, Ниш (Установа у којој је запослен)	председник 
2.	Др Градимир Миловановић, редовни члан САНУ Математика (Научна област)	Српска академија наука и уметности (Установа у којој је запослен)	ментор, члан 
3.	Др Марко Петковић, редовни професор Рачунарске науке (Научна област)	Природно-математички факултет, Ниш (Установа у којој је запослен)	члан 
4.	Др Драган Јанковић, редовни професор Рачунарство и информатика (Научна област)	Електронски факултет, Ниш (Установа у којој је запослен)	члан 
3.	Др Бранимир Тодоровић, ванредни професор Рачунарске науке (Научна област)	Природно-математички факултет, Ниш (Установа у којој је запослен)	члан 

Датум и место:

01. 08. 2018. Ниш, Београд