

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА У БЕОГРАДУ

На 751. седници Наставно-научног већа Електротехничког факултета у Београду, одржаној 03.07.12. одређени смо у Комисију за преглед и оцену докторске дисертације под насловом „ПРИМЕНА НЕУРАЛНИХ МРЕЖА У РЕШАВАЊУ ТРАНСПОРТНИХ ПРОБЛЕМА“, кандидата Мр Ненада Којића, дипл. инжењера. Након прегледа приложеног материјала, Наставно-научном већу подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. УВОД

1.1. Наслов и обим дисертације

Мр Ненад Којић је поднео докторску дисертацију са насловом: „Примена неуралних мрежа у решавању транспортних проблема“. Дисертација је написана на 220 страна и садржи 122 слике и 16 табела. На крају рада је приложен списак од 202 коришћене референце.

1.2. Хронологија одобравања и израде дисертације;

Кандидат Ненад Којић је 02.07.11. године пријавио тему докторске дисертације под насловом „Примена неуралних мрежа у решавању транспортних проблема“.

Наставно-научно веће је 08.03.11. године именovalo Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације у саставу:

- Др Ирини Рељин, ванредни професор Електротехнички факултет Универзитета у Београду,
- Др Бранимир Рељин, редовни професор у пензији Електротехнички факултет Универзитета у Београду,
- Владанка Аћимовић Распоповић, редовни професор, Саобраћајни факултет Универзитета у Београду.

Тема је прихваћена од стране Универзитетског стручног већа 26.09.11. године.

Наставно научно веће је 03.07.12. године именovalo Комисију за преглед и оцену урађене докторске дисертације у саставу:

- Др Ирини Рељин, ванредни професор Електротехнички факултет Универзитета у Београду,
- Др Бранимир Рељин, редовни професор у пензији, Електротехнички факултет Универзитета у Београду,
- Др Катарина Вукадиновић, редовни професор, Саобраћајни факултет Универзитета у Београду
- Др Срђан Станковић, професор емеритус, Електротехнички факултет Универзитета у Београду,
- Др Александар Нешковић, ванредни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду.

1.3. Место дисертације у одговарајућој научној области;

Дисертација магистра Ненада Којића представља значајан допринос у анализи и решавању оптимизационих транспортних проблема. Познато је да се решење ових проблема може остварити применом вештачких неуралних мрежа рекурентног облика. Кандидат је своја истраживања засновао на неуралној мрежи *Hopfield*-овог типа, коју је модификовао и прилагодио проблемима оптимизације транспортних процеса.

1.4. Биографски подаци о кандидату;

Мр Ненад Којић, дипломирани инжењер електротехнике, је рођен 1977. године у Ваљеву, где је завршио основну и средњу школу. Електротехнички факултет (ЕТФ) Универзитета у Београду је уписао 1996. године. Дипломирао је јуна 2003. године на Смеру за телекомуникације. Магистарске студије на ЕТФ-у у Београду је уписао 2003. године на смеру Електрична кола и системи где је положио све испите са просечном оценом 10. Магистарску тезу под насловом „Оптимизација рутирања у мрежама са пакетским саобраћајем“, под руководством др Ирини Рељин, одбранио је 2006. године.

Од октобра 2003. године је запослен у Средњој техничкој ПТТ школи у Београду као професор електротехничке групе предмета. Од октобра 2004. је запослен у Вишој техничкој ПТТ школи у Београду као лабораторијски инжењер, а од марта 2008. је запослен као предавач у Високој школи струковних студија за информационе и комуникационе технологије (ICT) у Београду, где и сада ради. Од 2009. године обавља и функцију шефа Већа студијског програма за Електронско пословање на Високој ICT школи.

Област научног и стручног интересовања мр Ненада Којића су: неуралне мреже и њихова примена, алгоритми за рутирање, бежичне мреже, оптимизациони проблеми, обрада слике, мултимедија и оптичке мреже. Био је укључен у међународни пројекат COST 292 „*Multimodal analysis of digital media*“, у Иновациони пројекат „Развој система за дигитализацију медицинских снимака, архивирање у бази података и претраживање базе података“ код Министарства науке (ев. број пројекта 451-01-00065/2008-01/10), и у пројекте образовања: реформа средњег стручног образовања под покровитељством *European Agency for Reconstruction* и CARTS-а, и пројекат “Нова школа” у оквиру Педагошког савеза Србије, код Министарства просвете и спорта Републике Србије.

Мр Ненад Којић је обавио стручну праксу на Queen Mary University of London, под покровитељством проф. Ebroul Izquierdo-a у оквиру пројекта COST 292 (European cooperation in the field of scientific and technical research) - Semantic multimodal analysis of digital media.

У току свог усавршавања, Н. Којић је стекао већи број сертификата из различитих области (софтверски алати и програми, берзанско пословање).

Мр Ненад Којић је члан Друштва за ЕТРАН и Друштва за телекомуникације. Од 2007. године је рецензент радова домаће конференције Телекомуникациони форум (ТЕЛФОР).

Објављени радови мр Ненада Којића

Ненад Којић је аутор или коаутор 90 радова објављених у међународним и домаћим часописима (10 радова), од тога 3 рада у часопису са SCI листе, и великог броја радова у зборницима међународних конференција и домаћих научних скупова. Објавио је и 6 помоћних уџбеника за Високу ICT школу.

Из области из које пријављује докторску дисертацију кандидат мр Ненад Којић има објављених 2 рада у часописима са SCI листе, и 7 радова у међународним и домаћим часописима, као и велики број радова у зборницима међународних и домаћих конференција. У свим радовима из области докторске дисертације, кандидат је први коаутор.

Радови Ненада Којића су цитирани више од 30 пута, од тога и у часописима са SCI листе. У наставку су наведени само најзначајнији радови кандидата.

Међународни часописи са импакт фактором:

1. N. Kojic, I. Reljin, B. Reljin, "Hybrid routing protocol for wireless mesh network based on neural network", *Journal Sensors, Sensors Networks*, 12(6), pp. 7548-7575, 2012. (doi:10.3390/s120607548), M21, IF 1.919 (2010)
2. N. Kojic, I. Reljin, B. Reljin, "Neural Network Based Dynamic Multicast Routing", *Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija*, 2012 (accepted paper), M23, IF = 0.659.
3. G. Zajić, N. Kojić, V. Radosavljević, M. Rudinac, S. Rudinac, N. Reljin, I. Reljin, B. Reljin, "Accelerating of image retrieval in CBIR system with relevance feedback", *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, Vol. 2007, 13 pages, 2007. (doi:10.1155/2007/62678) M23, IF 0.619 (2007), 1.055(2008).

Међународни и домаћи часописи:

1. G.J. Zajić, N. S. Kojić, B. D. Reljin, "Improving CBIR Systems Using Automated Ranking", *Telfor Journal*, 2012 (accepted paper)
2. N. Kojić, I. Reljin, B. Reljin, "Neural network for optimization of routing in communication networks", *Facta Universitatis, Ser: Elec. Energ.*, vol. 19, No. 2, pp. 317-330, August 2006.
3. N. Kojić, I. Reljin, B. Reljin, "All-Optical Network with Simultaneous in-node Routing and Wavelength Assignment", *Telfor Journal*, Vol. 1, No. 1, pp. 18-21, 2009.
4. N. Kojić, Marija Zajeganović Ivančić, I. Reljin, B. Reljin, "New algorithm for packet routing in mobile ad-hoc networks", *Journal of Automatic Control*, Vol 20, pp. 9-16, 2010.
5. N. Kojić, R. Kojić, I. Reljin, B. Reljin, "SMS-WEB orijentisan servis za određivanje optimalne putanje baziran na Hopfildovoj neuralnoj mreži", *Telekomunikacije*, Broj 3, pp. 71-80, 2009.

6. N. Kojić, I. Reljin, B. Reljin, "Dinamičko multicast rutiranje primenom Hopfield-ove neuralne mreže", *Telekomunikacije*, Broj 1, pp. 76-85, 2008.
7. N. Kojić, S. Čabarkapa, G. Zajić, B. Reljin, "Implementation of neural network in CBIR systems with relevance feedback", *Journal of Automatic Control*, Vol 16, pp. 41-45, 2006.

Зборници међународних конференција:

1. N. Kojić, M. Pavlović, I. Reljin "Dynamic routing algorithm based on artificial intelligence", ICIST 2012 - *2nd International Conference on Information Society and Technology*, 29.2. -3.3.2012. Kopaonik, Serbia.
2. M. Pavlović, N. Kojić, M. Zajeganović Ivančić, I. Reljin, "Dynamic routing in wireless Ad Hoc networks", ICIST 2011 - *International Conference on Internet Society Technology and Management*, 7-8 march 2011. Kopaonik, Serbia.
3. N. Kojić, M. Zajeganović-Ivančić, I. Reljin, B. Reljin, "Packet Routing in Wireless Mesh Networks", in *Proc. 10th Symp NEUREL-2010*, pp. 155-158, Beograd, Sept. 23-25, 2010.
4. S. Čabarkapa, N. Kojić, A. Savić, B. Živković, "One Artificial Neural Network Implementation for Credit Risk Prediction", Balcor 2009, *9th Balkan Conference on Operational Research*, Constanta-Romania, 2.-6. september 2009.
5. N. Kojić, "New Road Route Service Based on Hopfield Neural Network", *13th International Student Conference on Electrical Engineering*, POSTER 2009, May 21, 2009, Prague.
6. V. Radosavljević, N. Kojić, G. Zajić, B. Reljin, "The Use of Unlabeled Data in Image Retrieval with Relevance Feedback", in *Proc. 9th Sem. NEUREL-2008*, pp. 21-26, Beograd, Sept. 25-27, 2008.
7. G. Zajić, N. Kojić, N. Reljin, B. Reljin, "Statistical Analysis of Feature Vector Relevance in CBIR System", *XLIII International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies*, ICEST 2008, June 25-27, Nis, Serbia, 2008.
8. G. Zajić, N. Kojić, N. Reljin, B. Reljin, "Experiment with Reduced Feature Vector in CBIR System with Relevance Feedback", in *Proc. 5th International Conference on Visual Information Engineering*, VIE'08, July 29- August 1, Xi'an, China, 2008.
9. N. Kojić, I. Reljin, B. Reljin, "Different wavelength assignment techniques in all-optical networks controlled by neural network", in *Proc. 8th Conference TELSIKS-2007*, Vol. 2, pp. 401-404, Niš, Sept. 26-28, 2007.
10. N. Kojić, I. Reljin, B. Reljin, "Routing in optical networks by using neural network", in *Proc. 8th Sem. NEUREL-2006*, pp. 65-68, Beograd, Sept. 25-27, 2006.
11. M. Janković, G. Zajić, V. Radosavljević, N. Kojić, N. Reljin, M. Rudinac, S. Rudinac, B. Reljin, "Minor component analysis (MCA) applied to image classification in CBIR system", in *Proc. 8th Sem. NEUREL-2006*, pp. 11-16, Beograd, Sept. 25-27, 2006.
12. G. Zajić, N. Kojić, V. Radosavljević, S. Čabarkapa, B. Reljin, "Feature Vector Reduction in CBIR System with Relevance Feedback", in *Proc. 13th Int. Conf. IWSSIP-2006*, pp.479-482, Budapest, Hungary, 21-23, Sept. 2006.
13. V. Radosavljević, N. Kojić, S. Čabarkapa, G. Zajić, I. Reljin, B. Reljin, "An image retrieval system with user's relevance feedback", in *Proc. 7th Conf. WIAMIS-2006*, pp. 9-12, Seoul, Korea, 19-21, April 2006.
14. N. Kojić, I. Reljin, B. Reljin, "Optimal Routing in Packet Switching Network by using Neural Network", in *Proc. Conf. EUROCON-2005*, Belgrade, Nov. 21-24, 2005.
15. S. Čabarkapa, N. Kojić, V. Radosavljević, G. Zajić i B. Reljin, "Adaptive content-based image retrieval with relevance feedback", in *Proc. Conf. EUROCON-2005*, Belgrade, Nov. 21-24, 2005.
16. N. Kojić, I. Reljin, B. Reljin, "Neural network for finding optimal path in packet-switched network", in *Proc. 7th Sem. NEUREL-2004*, Beograd, Sept. 23-25, 2004.

Доприноси објављени у поменутим радовима представљају резултате истраживања који су изложени у докторској дисертацији кандидата.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

Материја описана у докторској дисертацији Ненада Којића је изложена у шест поглавља, као што следи:

1. Увод
2. Вештачке неуралне мреже
3. *Hopfield*-ова неурална мрежа
4. Примена *Hopfield* -ове неуралне мреже у динамичком *multicast* рутирању пакетског саобраћаја
5. Примена *Hopfield*-ове неуралне мреже у планирању саобраћајних (путних) траса
6. Примена *Hopfield*-ове неуралне мреже у решавању проблема рутирања у потпуно оптичким мрежама
7. Закључак

На крају рада се наводи списак коришћене литературе, а приложен је и списак скраћеница, слика и табела.

У уводном поглављу дисертације, наведен је значај коришћења *Hopfield*-ове неуралне мреже, као и њене модификације и имплементације у оптимизацији три сасвим различита типа проблема:

1. *multicast* рутирања у мрежама са пакетском комутацијом,
2. рутирања и доделе таласних дужина у оптичким мрежама и
3. планирању нових путних праваца у реалном окружењу.

Сва три модела подразумевају проналажење оптималног решења у својим областима, рад са вишекритеријумском оптимизацијом и рад са реалним параметрима и окружењем. Ова три проблема су изабрана јер су врло актуелна. Постоји и велики број других истраживача који покушавају да пронађу боља и квалитетнија решења од актуелних.

У другом поглављу су описане основне карактеристике неуралних мрежа и начин на који се могу употребити у моделовању различитих физичких процеса.

Треће поглавље је посвећено анализи *Hopfield*-ове неуралне мреже. Изложен је и концепт решавања *проблема трговачког путника* (TSP) уведен од стране *Hopfield-a* и *Tank-a*. С обзиром да се алгоритам предложен у дисертацији заснива на коришћењу рекурентних неуралних мрежа и да садржи даљи развој овог алгоритма, указано је на могућност његове модификације ради примене у другим оптимизационим проблемима.

Четврто, пето и шесто поглавље садрже решења оптимизационих проблема: *multicast* рутирања у мрежама са пакетском комутацијом, планирања нових путних праваца у реалном окружењу, респективно и рутирања и доделе таласних дужина у потпуно оптичким мрежама. Свако од ових поглавља представља целину која садржи поставку и опис проблема, предлог решења, опис алгоритма, услове у којима су извршене симулације, као и поређења са

результатима других аутора, познатим из доступне литературе. Треба напоменути да су сва три алгоритма оригинални допринос аутора. Истраживања аутора из области предложене дисертације су објављена у часописима (2 са SCI листе) и зборницима конференција.

На крају рада донети су закључци о истраживањима и резултати поређења ефикасности развијених алгоритама. Указано је на могуће имплементације предложених решења и у другим апликацијама.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

Тема дисертације припада веома актуелној области оптимизације транспортних проблема. У њеној изради, а пре свега у развоју алгоритма, кандидат је користио обимну и актуелну литературу.

У тези је изложен нови приступ решавању оптимизационих проблема у транспорту. Развијени алгоритам се показао врло успешним у решавању наведених проблема. Његовим модификацијама се могу једноставно извршити прилагођења различитим апликацијама и различитим врстама саобраћаја.

Са друге стране, бројни радови које је кандидат објавио из области везане за тезу су, врло брзо по објављивању, цитирани велики број пута у страној литератури, што потврђује значај и оригиналност тезе.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

Полазећи од алгоритма за решавање познатог оптимизационог проблема *трговачког путника* који су предложили *Hopfield* и *Tank*, у дисертацији мр Ненада Којића је предложено неколико нових модификација енергијске функције *Hopfield*-ове неуралне мреже, које су у симулацијама показале веома добре резултате. Најзначајнији доприноси предложене докторске дисертације су:

- Развијен је нови алгоритам за вишекритеријумску оптимизацију *multicast* рутирања у мрежама са пакетским саобраћајем, заснован на *Hopfield*-овом моделу рекурентне неуралне мреже. Поред примене у 'стандардним' телекомуникационим мрежама, предложен је и алгоритам за реализацију процеса рутирања у потпуно оптичким мрежама, који се може користити са било којим другим алгоритмом за доделу таласних дужина
- Алгоритам, при оптимизацији рутирања, узима у обзир више критеријума чији се број, по потреби, може и ограничити, односно модификовати тежинским коефицијентима, и има генерички начин проналажења *Steiner*-овог стабла за произвољну мрежну топологију.
- Понуђено решење узима у обзир оптерећења и пропусне опсеге линкова, као и кашњења која се јављају у поступку преноса сигнала, чиме се може смањити вероватноћа загушења мреже у случају интензивног саобраћаја, и може се наћи оптимална путања (односно, путање, у случају *multicast* рутирања) која може да понуди најбољи квалитет посматраног сервиса.

- Предложено решење има могућност дефинисања ограничења којима се може избећи дуга пропагација сигнала због појединих кашњења у мрежи или губитак пакета због преоптерећења линкова.
- Предложено решење се једноставно може прилагодити свим познатим топологијама телекомуникационе мреже и реалним проблемима који се могу догодити у комуникационој мрежи: укључивање нових чворова и/или линкова, или отказивање линка или неког од уређаја за рутирање. Повећање броја чворова телекомуникационе мреже се у датом алгоритму своди на повећање броја неурона у неуралној мрежи. Са аспекта корисника, ништа се не мења, јер он бира број чворова у предложеном алгоритму. Са становишта хардверске реализације, то би значило да се, у оквиру максимално предвиђеног броја неурона (а тиме и броја рутера у мрежи), врши укључивање нових веза ка потребном броју неурона.
- Предложен алгоритам је адаптиван у смислу да се минимизира број итерација потребних за проналажење оптималне путање, или оптималних путања (у *multicast* рутирању), чиме се постиже већа брзина рада. Испитивањем брзине конвергенције алгоритма, установљено је да се увек бира решење које је Парето оптимално (избором путања у којима се само један параметар разликује на трећој-четвртој децимали).
- Резултати примене алгоритма у случају телекомуникационих мрежа су упоређени са алгоритмима познатим из доступне литературе. Поређење је извршено са *Dijkstra* алгоритмом, када се као метрика користи растојање међу линковима, а затим и са другим решењима из расположиве литературе. Резултати поређења су показали да:
 - У погледу потребног броја итерација, предложени алгоритам даје побољшање за више од једног реда величине.
 - У погледу статистичких показатеља, статистике првог и другог реда, резултати су исти или бољи од резултата других аутора.
- Основни алгоритам је примењен и за вишекритеријумску оптимизацију и селекцију путне трасе када је потребно да се обједине, понекад опозитни, утицаји различитих физичких или друштвених фактора. У том случају се мора користити посебна логика (у овом случају неурална мрежа) с обзиром да коначна путања не може бити интерполација или математички дефинисана релација између појединачно посматраних фактора.

Сва предложена решења и модификације које су изложене у овој дисертацији могу да се примене у мрежама произвољне и променљиве топологије, линковима који имају више од једног додељеног улазног параметра, бидирекционим линковима којима је могуће дефинисати различите вредности за различите смерове преноса сигнала и произвољним избором изворишта, тј. једног или више одредишта.

Остварени резултати кандидата су међународно верификовани у радовима објављеним у часописима са SCI листе, као и на конференцијама. Радови кандидата су цитирани велики број пута од страних аутора, што указује на значај и актуелност истраживања кандидата.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу изложеног констатујемо да докторска дисертација мр Ненада Којића под насловом „ПРИМЕНА НЕУРАЛНИХ МРЕЖА У РЕШАВАЊУ ТРАНСПОРТНИХ ПРОБЛЕМА“ садржи оригиналан допринос у виду предлога новог алгоритма за решавање оптимизационих проблема у транспорту заснованог на неуралним мрежама. Показано је да се једноставним модификацијама алгоритма и предложене неуралне мреже може значајно проширити подручје примене овог алгоритма. Резултати истраживања су међународно верификовани публикавањем на конференцијама и у два часописа са SCI листе.

Сагласно томе, с обзиром да је кандидат испунио све услове прописане Законом о високом образовању Републике Србије и Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета, Комисија има посебну част да предложи Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду да прихвати Извештај о прегледу и оцену докторске дисертације мр Ненада Којића, дипл. инж., под насловом „ПРИМЕНА НЕУРАЛНИХ МРЕЖА У РЕШАВАЊУ ТРАНСПОРТНИХ ПРОБЛЕМА“ и кандидату одобри њену усмену одбрану.

У Београду, 07.08.12.

Др Ирини Рељин, ванредни професор
Електротехнички факултет Универзитета у Београду

Др Бранимир Рељин, ред. проф. у пензији
Електротехнички факултет Универзитета у Београду

Др Катарина Вукадиновић, редовни професор
Саобраћајни факултет Универзитета у Београду

Др Срђан Станковић, професор емеритус
Електротехнички факултет Универзитета у Београду

Др Александар Нешковић, ванредни професор
Електротехнички факултет Универзитета у Београду