

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

**Предмет:** Подобност теме и кандидата Ивана Стојковића мастер инжењера електротехнике и рачунарства за израду докторске дисертације

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета бр. 5056/11-1 од 20.06.2017. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Ивана Стојковића мастер инжењера електротехнике и рачунарства за израду докторске дисертације и научне заснованости теме измењеног наслова "Примена функционалних норми за регуларизацију рангирања над темпоралним подацима" чији је назив на енглеском језику "Functional Norm Regularization for Margin-Based Ranking on Temporal Data". Наслов је промењен из првобитно предложеног "Структурирани приступ анализи комплексних биомедицинских система и сигнала".

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

## ИЗВЕШТАЈ

### 1. Подаци о кандидату

#### 1.1. Биографски подаци

Иван Стојковић је рођен 11.04.1987. године у Београду, општина Савски венац. Основне студије је завршио на Електротехничком факултету, смер Сигнали и Системи, са просечном оценом 8.31. Дипломирао је 2010. године, успешно одбравивши дипломски рад на тему: "Симулатор робота SCARA конфигурације" код професора Вељка Поткоњака. Мастер студије је завршио на истом смеру 2011., одбравивши мастер рад: "Управљање и навигација мобилних робота у непознатом окружењу" код професора Жељка Ђуровића. Докторске студије је уписао 2011/2012. године на модулу Управљање системима и обрада сигнала и положио је све испите предвиђене Наставним планом и програмом модула са просечном оценом 10. У јесењем семестру 2014. године уписује докторске студије на Одсеку за Рачунарске Науке и Информатику, при Колецу за Науку и Технологију, на Темпл Универзитету у Филаделфији, Сједињене Америчке Државе. Докторске студије Ивана Стојковића на Београдском Универзитету и на Темпл Универзитету су координисане уговором о дуалним докторским студијама између два универзитета (бр. 68-3670/2-2014).

Од јануара 2012. до августа 2014. године је био запослен као истраживач у Лабораторији за роботiku, при Институту Михајло Пупин у Београду. Од фебруара 2014. је запослен као истраживач у Центру за Анализу Података и Биомедицинску Информатику при Темпл Универзитету у Филаделфији.

## 1.2. Стечено научноистраживачко искуство

На докторским студијама на модулу за Управљање Системима и Обраду Сигнала при Електротехничком факултету Универзитета у Београду кандидат је положио следеће испите:

|                                                         |                  |
|---------------------------------------------------------|------------------|
| - Аутоматско вођење објеката у простору (9 ЕСПБ)        | оцена 10 (десет) |
| - Аутономни роботски системи без људске посаде (9 ЕСПБ) | оцена 10 (десет) |
| - Класификација и естимација сигнала (9 ЕСПБ)           | оцена 10 (десет) |
| - Специјални роботски системи (9 ЕСПБ)                  | оцена 10 (десет) |
| - Вештачка интелигенција (9 ЕСПБ)                       | оцена 10 (десет) |
| - Енглески језик (6 ЕСПБ)                               | оцена 10 (десет) |
| - Оптимални и адаптивни стохастички системи (9 ЕСПБ)    | оцена 10 (десет) |
| - Интелигентни роботски системи (9 ЕСПБ)                | оцена 10 (десет) |
| - Теорија роботских система (9 ЕСПБ)                    | оцена 10 (десет) |
| - Сложени мулти-агент системи (9 ЕСПБ)                  | оцена 10 (десет) |

Поред испита, кандидат је обавио и два студијска истраживачка рада и један научно-стручни рад, што је предвиђено планом докторских студија.

Научно-истраживачко искуство је стекао учествовањем на пројекту Министарства за науку и технолошки развој (МНТР) Републике Србије. Пројекат "Истраживање и развој амбијентално интелигентних сервисних робота антропоморфних карактеристика" је реализован у Лабораторији за Роботику Института Михајло Пупин, где је кандидат радио на истраживањима у области навигације и управљања кретањем малих беспилотних летелица са пропелерима, као и мобилних робота са точковима.

У Центру за Анализу Података и Биомедицинску Информатику на Темпл Универзитету у Филаделфији је учествовао на пројектима финансираним од стране Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA):

1. *"Graph-theoretic Research on Algorithms and the Phenomenology of Social networks (GRAPHS)" AFOSR award number FA 9550-12-1-0406,*
2. *"Dialysis-Like Therapeutics (DLT)" SSC Pacific grant No. 66001-11-1-4183*
3. *"Technologies for Host Resilience (THoR)" under Contract No. W911NF-16-C-0050*

У оквиру тих пројеката је сарађивао са реномираним стручњацима из престижних институција и стекао искуство рада у областима машинског учења, вештачке интелигенције и анализе података, претежно на апликацијама из биомедицинског домена.

Лета 2017. године је похађао праксу у *Yahoo! Research Labs*, на позицији *Data Scientist* практиканта, где је радио на развијању статистичких модела за обраду велике количине хетерогених података са више извора, у циљу идентификације прилика за апликацију рекомендер система.

Иван Стојковић је коаутор три поглавља у монографијама међународног значаја, пет радова објављених у журналима са импакт фактором, девет радова презентованих на међународним конференцијама и три рада презентована на домаћим конференцијама.

#### Поглавље у монографији интернационалног значаја (M14)

1. Zivanovic M., **Stojkovic I.**: *Self-organization in Motion of a Set of Living Individuals*, - WenJun Zhang (Ed.), *Self-Organization: Theories and Methods*, pp. 171-194, Nova Science Publishers Inc., 2013. ISBN: 978-1-62618-865-5
2. Rodic A., **Stojkovic I.**: *Building of Open-Structure Wheel-Based Mobile Robotic Platform*, - Maki K. Habib, J. Paulo Davim (Eds.), *Interdisciplinary Mechatronics: Engineering Science and Research Development*, pp. 385-421, ISTE Ltd and John-Wiley & Sons Inc., 2013. ISBN: 978-1-84821-418-7
3. Rodic A., Mester G., **Stojkovic I.**: *Qualitative Evaluation of Flight Controller Performances for Autonomous Quadrotors*, - Endre Pap (Ed.), *Intelligent Systems: Models and Applications, Topics in Intelligent Engineering and Informatics Vol. 3*, pp. 115-134, Springer Berlin Heidelberg, 2013. ISBN: 978-3-642-33958-5

#### Рад у врхунском међународном часопису (M21)

1. Spasojevic S., Ilic T., **Stojkovic I.**, Potkonjak V., Rodic A., Santos-Victor J.: *Quantitative assessment of the arm/hand movements in Parkinson's disease using a wireless armband device*, - *Frontiers in Neurology*, Vol. 8 (388), pp. 1-15, Frontiers Media SA, 2017. DOI: 10.3389/fneur.2017.00388 ISSN: 1664-2295 (online)  
2016 impact factor 3.552 (84/259 in Neurosciences)
2. **Stojkovic I.**, Ghalwash MF., Cao XH., Obradovic Z.: *Effectiveness of Multiple Blood-Cleansing Interventions in Sepsis, Characterized in Rats*, - *Scientific Reports*, Vol. 6 (24719), pp. 1-11, Nature Publishing Group, 2016. DOI: 10.1038/srep24719 ISSN: 2045-2322 (online)  
2016 impact factor 4.259 (10/63 in Multidisciplinary Sciences)
3. Cao XH., **Stojkovic I.**, Obradovic Z.: *A robust data scaling algorithm to improve classification accuracies in biomedical data*, - *BMC Bioinformatics*, Vol. 17 (359), pp. 1-10, BioMed Central, 2016. DOI: 10.1186/s12859-016-1236-x ISSN: 1471-2105 (online)  
2016 impact factor 2.448 (10/57 in Computational Biology)
4. Ghalwash MF., Cao XH., **Stojkovic I.**, Obradovic Z.: *Structured feature selection using coordinate descent optimization*, - *BMC Bioinformatics*, Vol. 17 (158), pp. 1-14, BioMed Central, 2016. DOI: 10.1186/s12859-016-0954-4 ISSN: 1471-2105 (online)  
2016 impact factor 2.448 (10/57 in Computational Biology)

#### Рад у часопису међународног значаја верификованог посебном одлуком (M24)

1. **Stojkovic I.**, Katic D.: *Formation Control of Robotized Aerial Vehicles Based on Consensus-Based Algorithms*, - *FME Transactions*, Vol. 45 (4), pp. 559-564, Faculty of Mechanical Engineering Belgrade, 2017. DOI:10.5937/fmet1704559S ISSN: 2406-128X (online)

#### Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33)

1. **Stojkovic I.**, Ghalwash MF., Obradovic Z.: *Ranking Based Multitask Learning of Scoring Functions*, - *Proc. European Conference on Machine Learning and Principles and Practice of Knowledge Discovery in Databases*, Skopje, Macedonia, September 2017
2. Pavlovski M., Zhou F., **Stojkovic I.**, Kocarev Lj., Obradovic Z.: *Adaptive Skip-Train Structured Regression for Temporal Networks*, - *Proc. European Conference on Machine Learning and Principles and Practice of Knowledge Discovery in Databases*, Skopje, Macedonia, September 2017

3. **Stojkovic I.**, Jelisavcic V., Milutinovic V., Obradovic Z.: *Fast sparse Gaussian Markov Random Fields learning based on Cholesky factorization*, - Proc. 26th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI), Melbourne, Australia, August 2017
4. **Stojkovic I.**, Obradovic Z.: *Predicting Sepsis Biomarker Progression under Therapy*, - Proc. 30th IEEE International Symposium on Computer-Based Medical Systems, Thessaloniki, Greece, June, 2017
5. **Stojkovic I.**, Jelisavcic V., Milutinovic V., Obradovic Z.: *Distance Based Modeling of Interactions in Structured Regression*, - Proc. 25th International Joint Conference on Artificial Intelligence IJCAI-16, New York City, NY, USA, July 2016
6. Cao XH., **Stojkovic I.**, Obradovic Z.: *Predicting sepsis severity from limited temporal observations*, - Proc. 17th Discovery Science, Bled, Slovenia, October 2014
7. Rodic A., **Stojkovic I.**: *Dynamic Inversion Control of Quadrotor with Complementary Fuzzy Logic Compensator*, - Proc. 11th Symposium on Neural Network Applications in Electrical Engineering NEUREL, Belgrade, Serbia, September 2012
8. Rodic A., **Stojkovic I.**: *Integrated Control of Quadrotor Flight Dynamics with Complementary Compensator of System Uncertainties*, - Proc. International Micro Air Vehicle Conference and Flight Competition – IMAV 2012, Braunschweig, Germany, July 2012
9. Miloradovic B., Popic S., **Stojkovic I.**: *Development of Intelligent Behaviour Using Decision Making Methods Based on ANN*, - Proc. 12th International Scientific-Professional Symposium INFOTEH, Jahorina, Bosnia, February 2013

#### Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини (M63)

1. Cosic A., Katic D., **Stojkovic I.**: *An Approach to Localization of Mobile Robots Based on Extended Kalman Filter*, - The 57th ETRAN Conference, Zlatibor, Serbia, June 2013, ISBN 978-86-80509-68-6
2. Rodic A., Mester G., **Stojkovic I.**: *Navigation and Control of Indoor Mobile Robots in Unknown Environments*, - The 56th ETRAN Conference, Zlatibor, Serbia, June 2012, ISBN 978-86-80509-67-9
3. **Stojkovic I.**, Rodic A., Stevanovic I.: *Comparison of Different Flight Control Techniques for Autonomous Quadrotors*, - The 56th ETRAN Conference, Zlatibor, Serbia, June 2012, ISBN 978-86-80509-67-9

Дана 12.07.2017. године одржана је јавна усмена одбрана теме докторске дисертације пред комисијом коју су чинили:

- др Жељко Ђуровић, редовни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду (председник комисије),

- др Мирјана Поповић, редовни професор у пензији Електротехничког факултета Универзитета у Београду (члан комисије који није запослен на ЕТФ-у)

и

- др Милош Вујисић, доцент Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

Комисија је кандидата на јавној усменој одбрани оценила оценом задовољно.

### 1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Комисија је размотрила све претходно наведене резултате досадашњег рада кандидата. Кандидат је кроз положене испите на докторским студијама, кроз остварено учешће у научним пројектима, стручном усавршавању у иностранству, успешну одбрану теме докторске дисертације, и објављене научне радове показао да је стекао неопходно искуство за самосталан научно-истраживачки рад. Комисија сматра да је кандидат способан да током израде докторске дисертације оствари резултате који ће бити верификовани од стране међународне научне заједнице. Комисија констатује да кандидат Иван Стојковић испуњава све потребне услове да приступи изради докторске дисертације под наведеном темом. Комисија констатује да су предложена истраживања сувише широка и да је неопходно да се у даљем истраживању кандидат концентрише на проблем моделирања узроно-последичних веза у биолошким системима. Такође, комисија констатује да је радни назив теме превише уопштен, и стога предлаже да се назив теме промени из **"Структурирани приступ анализи комплексних биомедицинских система и сигнала"** у **"Примена функционалних норми за регуларизацију рангирања над темпоралним подацима"**. Предложени назив тезе на енглеском је "Functional Norm Regularization for Margin-Based Ranking on Temporal Data".

## **2. Предмет, циљ и значај истраживања**

Комплексни системи су системи који се састоје од већег броја делова који међусобно интерагују, и тиме проузрокују глобално (колективно) понашање чије карактеристике нису очигледне из познавања начина функционисања његових делова [1], тј. карактеристике таквог система нису истовремено и карактеристике његових делова, већ последица њихових међусобних интеракција на глобалном нивоу. Иако су правила интераговања чинилаца често врло једноставна, комплексни системи испољавају веома интересантна понашања (својства), и то у одсуству централизованог контролера који управља и синхронизује понашање појединачних делова у циљу постизања жељеног понашања.

Велики број система из биомедицинског домена (од ћелије, преко органа, организма, па до нивоа популације) испољава карактеристике комплексних система и може се посматрати као такав. Различити математички формализми су коришћени за проучавање комплексних система тј. да се моделирају интеракције и њихове последице, као на пример: системи једначина и системи диференцијалних једначина [2], графови и мреже [3], симулације засноване на агентима [4]. Често су правила интеракције појединачних делова непозната и како систем функционише је потребно закључити на основу опсервација његовог понашања. Проналажење образаца понашања на основу прикупљених података је централни проблем више области у рачунарским наукама: Препознавања облика (Pattern Recognition) [5], Машинског учења (Machine Learning) [6], Анализе података (Data Mining) [7], као и Идентификације система (System Identification) [8]. Откривени образци могу да сугеришу круцијалне чиниоце система (гене одговорне за одређене болести), интеракције (који лекови заједно повећавају ефекат), механизме који доводе до одређеног понашања (мотиви мреже [9]). Поменути открића даље фокусирају истраживање и воде до акција и управљачких политика које могу да доведу систем у жељено стање (на пример из болесног у здраво).

Задатак проналажења образаца из података је отежан када је количина доступних података за обучавање мала, а то је посебно приметно у проблемима са великим бројем варијабли [10], што је често случај у биомедицини где је број и разноврсност биомаркера веома изражен. Један од начина за побољшање генерализације у тим случајевима је укључивање додатних претпоставки о постојању регуларности у обрасцима понашања [11]. Циљ овог истраживања је развој модела и претпоставки специјално за употребу у наведеним условима.

- [1] Wolfram, S.: *A new kind of science*. Vol. 5. Champaign: Wolfram media, 2002.
- [2] Boccaro, N.: *Modeling complex systems*. Springer Science & Business Media, 2010.
- [3] Barabasi, AL.: *Network science*. Cambridge University Press, 2016.
- [4] Wilensky, U., Rand, W.: *An Introduction to Agent-Based Modeling*. The MIT Press, 2015.
- [5] Christopher MB.: *Pattern recognition and machine learning*. Springer, 2006.
- [6] Mitchell, TM.: *Machine learning*. WCB, 1997.
- [7] Jiawei, H., Pei, J., Kamber M.: *Data mining: concepts and techniques*. Elsevier, 2011.
- [8] Ljung L.: *System identification*. John Wiley & Sons Inc, 1999.
- [9] Alon U.: *Network motifs: theory and experimental approaches*. - Nature Reviews Genetics. 2007 Jun, Vol 8(6):450-61.
- [10] Bühlmann, P., and Van De Geer S.: *Statistics for high-dimensional data: methods, theory and applications*. Springer Science & Business Media, 2011.
- [11] Jianhui, C. et al: *A convex formulation for learning shared structures from multiple tasks*. – Proc. 26th Annual International Conference on Machine Learning. ACM, 2009.

### 3. Полазне хипотезе

Истраживање ће се заснивати на следећим претпоставкама:

- Података потребних за учење има недовољно за поуздану идентификацију (екстракцију) образаца од интереса
- Систем се састоји од великог броја интерагујућих чинилаца, што чини идентификацију образаца понашања и закључивање о каузалним механизмима тешким проблемима (драстично расте простор хипотеза)
- Квантификација карактеристика од интереса није довољно поуздана да би се проблем формулисао као регресија или класификација, већ постоји приступ само информацијама о компаративним релацијама између примера (један је већи од другог)
- Додатне претпоставке на основу доменског знања о природи проблема сужавају простор могућих хипотеза и омогућавају учење из мањег броја података
- Између чиниоца (делова) система постоје зависности и регуларности у образцу понашања које могу бити искоришћене за побољшање (унапређење) генерализационих могућности модела

### 4. Научне методе истраживања

Истраживачки рад у оквиру израде дисертације кандидата биће базиран на тренутним праксама у областима машинског учења и препознавања облика [12]. Моделирање и формулација проблема ће се заснивати на параметарским математичким моделима [13]. Проблеми ће бити формулисани као супервизовано учење [14], [15]. Једна од потенцијалних ефективних метода која ће бити коришћена да укључи претпоставке о регуларности у обрасцима понашања је употреба стуктуриране регуларизације [16]. Код вишедимензионих проблема је често корисна и претпоставка да нису баш све промелјиве релевантне за проблем, стога ће и методе за селекцију обележја потенцијално бити разматране [17], [18]. Параметри резултујућег модела који обједињује објективе предикције и структуралних претпоставки се типично оптимизују тако да највише одговарају подацима. За оптимизацију критеријумске функције користиће се алгоритми базирани на конвексној [19] и-или

неквексној оптимизацији [20]. Подаци ће захтевати прикладно препроцесирање и трансформацију пре употребе за фитовање модела [21]. При оцени квалитета перформанси модела и резултата користиће се традиционалне статистичке методе и метрике [22], [23].

- [12] Aggarwal, CC.: *Data mining: the textbook*. Springer, 2015.
- [13] Walter, E., Proznato L.: *Identification of parametric models from experimental data. Vol. 1*. Berlin: Springer, 1997.
- [14] James G., Witten D., Hastie T., Tibshirani R.: *An introduction to statistical learning*. New York: Springer; 2013 Feb 11.
- [15] Yu, H., and Sungchul K.: *Svm tutorial—classification, regression and ranking*. - Handbook of Natural computing. Springer Berlin Heidelberg, 2012. 479-506.
- [16] Zhou, J., Jianhui C., Jieping Y.: *MALSAR: Multi-task learning via structural regularization*. Arizona State University 21, 2011.
- [17] Guyon, I., Elisseeff A.: *An introduction to variable and feature selection*. - Journal of machine learning research 3.Mar 2003: 1157-1182.
- [18] Hastie, T., Tibshirani R., Wainwright M.: *Statistical learning with sparsity*. CRC press, 2015.
- [19] Boyd, S., Vandenberghe L.: *Convex optimization*. Cambridge university press, 2004.
- [20] Pardalos, P., et al.: *Nonconvex Optimization and Its Applications. Vol. 1*. Kluwer Academic Publishers, 1994.
- [21] Kotsiantis, SB., Kanellopoulos D., and Pintelas PE.: *Data preprocessing for supervised learning*. - International Journal of Computer Science 1.2 (2006): 111-117.
- [22] Kohavi, R.: *A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection*. – Proc. 14th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI), 1995.
- [23] Fawcett, T.: *An introduction to ROC analysis*. - Pattern recognition letters 27.8 2006: 861-874.

## 5. Очекивани научни допринос

Очекује се да истраживање у предложеном смеру резултује у:

- Нове параметарске предиктивне моделе, засноване на супервизованим подацима, са унапређеним предиктивним перформансама, и-или поузданијим (робуснијим-стабилнијим) откривеним обрасцима.
- Такође, очекује се да модели буду праћени, новим и-или унапређеним алгоритмима за њихово обучавање, који могу да уче из мањег броја података, или који су бржи-ефикаснији.
- Коначно, очекује се да апликација развијених модела и алгоритама на реалним подацима доведе до нових увида о функционисању проучаваног система (проблема) од интереса.

## 6. План истраживања и структура рада

План истраживања у оквиру предложене теме садржи следеће кораке:

- Преглед литературе са методолошког аспекта ради стицања увида у ограничења тренутних приступа, и простора за унапређење истих. Преглед литературе са доменског и апликационог аспекта са циљем идентификације претпоставки које би могле да унапреде формулацију проблема и-или приступ његовом решавању.
- Предлагање нових модела, заснованих на раније наведеним хипотезама о структуралним регуларностима, и развој алгоритама за њихово обучавање.
- Тестирање модела и алгоритама на синтетички подацима, генерисаним под претпоставкама хипотеза уграђених у моделе, за иницијалну валидацију, као и за

потенцијално усмеравање ка евентуалној модификацији и унапређењу модела и алгоритама.

- Апликација на реалним подацима која подразумева проналажење одговарајуће базе података из биомедицинског домена, затим препроцесирање и обрада, и коначно апликација развијених модела на биомедицинске податке и финална анализа и интерпретација добијених резултата.

## 7. Закључак и предлог

На основу свега изложеног, Комисија констатује да кандидат Иван Стојковић испуњава потребне услове да може приступити изради докторске дисертације, под измењеним радним насловом "Примена функционалних норми за регуларизацију рангирања над темпоралним подацима", који је промењен из провобитно предложеног "Структурирани приступ анализи комплексних биомедицинских система и сигнала". Комисија одобрава писање дисертације на енглеском језику са насловом "Functional Norm Regularization for Margin-Based Ranking on Temporal Data".

Ужа научна област предложене теме је машинско учење и анализа података. За менторе се предлажу др Бранко Ковачевић, редовни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду, и др Зоран Обрадовић, L.H. Carnell Professor at College of Science and Technology, Temple University, USA.

Стога комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду да одобри Ивану Стојковићу израду докторске дисертације под горе наведеним насловом под руководством ментора проф. др Бранка Ковачевића и проф. др Зорана Обрадовића.

У Београду, 13.10.2017. године

## ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



др Зоран Обрадовић, L.H. Carnell Professor  
Temple University, USA – College of Science and Technology



др Бранко Ковачевић, редовни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



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



др Мирјана Поповић, редовни професор у пензији,  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Милош Вујисић, доцент  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

## TO TEACHING-SCIENTIFIC COUNCIL

**Subject:** The suitability of the thesis topic and candidate Ivan Stojković, master of science in electrical engineering and computer science, for the conducting of doctoral dissertation

By the decision of Teaching-scientific council of the School of Electrical Engineering number 5056/11-1 from June, 20th, 2017, we are selected as Committee members for evaluation of the thesis topic and candidate Ivan Stojković for the development of doctoral dissertation and scientific basis of the thesis topic titled "Functional Norm Regularization for Margin-Based Ranking on Temporal Data", in Serbian "Primena funkcionalnih normi za regularizaciju rangiranja nad temporalnim podacima". The above listed title is changed from the originally proposed "Structured approach to the analysis of complex biomedical signals and systems".

Based on the material enclosed with the candidate request, the Committee submits the following

## REPORT

### 1. Candidate information

#### 1.1. Biographical data

Ivan Stojković was born on April 11<sup>th</sup>, 1987. in Belgrade, municipality Savski Venac. He completed his undergraduate studies at the School of Electrical Engineering, Department of Signals and Systems, with an average grade of 8.31. He graduated in 2010, successfully defending his thesis on the topic: "Simulator of the SCARA Configuration Robot", guided by Professor Veljko Potkonjak. At the same department, he completed the Master studies in 2011, defending master thesis: "Control and Navigation of Mobile Robots in an Unknown Environment" under the supervision of Professor Željko Đurović. He enrolled into doctoral studies in year 2011/2012 on the module for Control systems and signal processing, and passed all the exams stipulated by the Curriculum and module program with average grade of 10. In the fall of 2014, he enrolled in doctoral studies at the Department for Computer and Information Sciences, at the College of Science and Technology, at Temple University. Doctoral studies of Ivan Stojković at Belgrade University and at Temple University are coordinated by a dual doctoral studies agreement between the two universities (number 68-3670/2-2014).

From January 2012 to August 2014, he was employed as a researcher at the Laboratory for Robotics at the Mihajlo Pupin Institute in Belgrade. Since February 2014, he has been engaged as a researcher at the Center for Data Analytics and Biomedical Informatics at Temple University in Philadelphia.

## 1.2. Acquired scientific-research experience

During the doctoral studies at module for Control systems and Signal processing, School of Electrical Engineering at University of Belgrade, candidate passed the following exams:

|                                                    |                |
|----------------------------------------------------|----------------|
| - Automatic guidance of objects in space (9 ECTS)  | grade 10 (ten) |
| - Autonomous robotic systems (9 ECTS)              | grade 10 (ten) |
| - Signals estimation and classification (9 ECTS)   | grade 10 (ten) |
| - Special-purpose robotic systems (9 ECTS)         | grade 10 (ten) |
| - Artificial intelligence (9 ECTS)                 | grade 10 (ten) |
| - English language (6 ECTS)                        | grade 10 (ten) |
| - Optimal and adaptive stochastic systems (9 ECTS) | grade 10 (ten) |
| - Intelligent robotic systems (9 ECTS)             | grade 10 (ten) |
| - Theory of robotic systems (9 ECTS)               | grade 10 (ten) |
| - Multi-agent systems (9 ECTS)                     | grade 10 (ten) |

Additionally, candidate completed two study-research tasks and one scientific-specialized work, as stipulated by the doctoral studies curriculum.

He gained scientific research experience through enrolment in the project granted by Serbian ministry of education and science "Ambientally intelligent service robots of anthropomorphic characteristics", conducted at the Robotics laboratory of Mihajlo Pupin Institute, where the candidate worked in the area of control and navigation of small drones with propellers, and wheeled mobile robots.

At the Center for Data Analytics and Biomedical Informatics at Temple University in Philadelphia, he was enrolled in the projects funded by the Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA):

1. *"Graph-theoretic Research on Algorithms and the Phenomenology of Social networks (GRAPHS)" AFOSR award number FA 9550-12-1-0406,*
2. *"Dialysis-Like Therapeutics (DLT)" SSC Pacific grant No. 66001-11-1-4183*
3. *"Technologies for Host Resilience (THoR)" under Contract No. W911NF-16-C-0050*

Through the mentioned projects, candidate has collaborated with number of renowned experts from prestigious institutions, and gained knowledge and experience in machine learning, data mining and artificial intelligence, mostly in the biomedical applications.

In summer of 2017, he interned at Yahoo! Research Labs, on a position of Data Science intern, where he worked on developing statistical models and analyzing heterogeneous data from multiple sources, in order to identify the opportunities for the application of the recommender systems.

Ivan Stojković is co-author of five journal papers, three chapters in monographic collections and twelve papers presented at international and domestic conferences.

### Chapters in the monographic books of international importance (M14)

1. Zivanovic M., **Stojkovic I.**: *Self-organization in Motion of a Set of Living Individuals*, - WenJun Zhang (Ed.), *Self-Organization: Theories and Methods*, pp. 171-194, Nova Science Publishers Inc., 2013. ISBN: 978-1-62618-865-5
2. Rodic A., **Stojkovic I.**: *Building of Open-Structure Wheel-Based Mobile Robotic Platform*, - Maki K. Habib, J. Paulo Davim (Eds.), *Interdisciplinary Mechatronics: Engineering Science and Research Development*, pp. 385-421, ISTE Ltd and John-Wiley & Sons Inc., 2013. ISBN: 978-1-84821-418-7
3. Rodic A., Mester G., **Stojkovic I.**: *Qualitative Evaluation of Flight Controller Performances for Autonomous Quadrotors*, - Endre Pap (Ed.), *Intelligent Systems: Models and Applications, Topics in Intelligent Engineering and Informatics Vol. 3*, pp. 115-134, Springer Berlin Heidelberg, 2013. ISBN: 978-3-642-33958-5

### Papers published in the leading international journals (M21)

1. Spasojevic S., Ilic T., **Stojkovic I.**, Potkonjak V., Rodic A., Santos-Victor J.: *Quantitative assessment of the arm/hand movements in Parkinson's disease using a wireless armband device*, - *Frontiers in Neurology*, Vol. 8 (388), pp. 1-15, Frontiers Media SA, 2017. DOI: 10.3389/fneur.2017.00388 ISSN: 1664-2295 (online)  
2016 impact factor 3.552 (84/259 in Neurosciences)
2. **Stojkovic I.**, Ghalwash MF., Cao XH., Obradovic Z.: *Effectiveness of Multiple Blood-Cleansing Interventions in Sepsis, Characterized in Rats*, - *Scientific Reports*, Vol. 6 (24719), pp. 1-11, Nature Publishing Group, 2016. DOI: 10.1038/srep24719 ISSN: 2045-2322 (online)  
2016 impact factor 4.259 (10/63 in Multidisciplinary Sciences)
3. Cao XH., **Stojkovic I.**, Obradovic Z.: *A robust data scaling algorithm to improve classification accuracies in biomedical data*, - *BMC Bioinformatics*, Vol. 17 (359), pp. 1-10, BioMed Central, 2016. DOI: 10.1186/s12859-016-1236-x ISSN: 1471-2105 (online)  
2016 impact factor 2.448 (10/57 in Computational Biology)
4. Ghalwash MF., Cao XH., **Stojkovic I.**, Obradovic Z.: *Structured feature selection using coordinate descent optimization*, - *BMC Bioinformatics*, Vol. 17 (158), pp. 1-14, BioMed Central, 2016. DOI: 10.1186/s12859-016-0954-4 ISSN: 1471-2105 (online)  
2016 impact factor 2.448 (10/57 in Computational Biology)

### Papers published in journals of international interest verified with special decision (M24)

1. **Stojkovic I.**, Katic D.: *Formation Control of Robotized Aerial Vehicles Based on Consensus-Based Algorithms*, - *FME Transactions*, Vol. 45 (4), pp. 559-564, Faculty of Mechanical Engineering Belgrade, 2017. DOI:10.5937/fmet1704559S ISSN: 2406-128X (online)

### Papers in the proceedings of international conferences (M33)

1. **Stojkovic I.**, Ghalwash MF., Obradovic Z.: *Ranking Based Multitask Learning of Scoring Functions*, - *Proc. European Conference on Machine Learning and Principles and Practice of Knowledge Discovery in Databases*, Skopje, Macedonia, September 2017
2. Pavlovski M., Zhou F., **Stojkovic I.**, Kocarev Lj., Obradovic Z.: *Adaptive Skip-Train Structured Regression for Temporal Networks*, - *Proc. European Conference on Machine Learning and Principles and Practice of Knowledge Discovery in Databases*, Skopje, Macedonia, September 2017

3. **Stojkovic I.**, Jelisavcic V., Milutinovic V., Obradovic Z.: *Fast sparse Gaussian Markov Random Fields learning based on Cholesky factorization*, - Proc. 26th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI), Melbourne, Australia, August 2017
4. **Stojkovic I.**, Obradovic Z.: *Predicting Sepsis Biomarker Progression under Therapy*, - Proc. 30th IEEE International Symposium on Computer-Based Medical Systems, Thessaloniki, Greece, June, 2017
5. **Stojkovic I.**, Jelisavcic V., Milutinovic V., Obradovic Z.: *Distance Based Modeling of Interactions in Structured Regression*, - Proc. 25th International Joint Conference on Artificial Intelligence IJCAI-16, New York City, NY, USA, July 2016
6. Cao XH., **Stojkovic I.**, Obradovic Z.: *Predicting sepsis severity from limited temporal observations*, - Proc. 17th Discovery Science, Bled, Slovenia, October 2014
7. Rodic A., **Stojkovic I.**: *Dynamic Inversion Control of Quadrotor with Complementary Fuzzy Logic Compensator*, - Proc. 11th Symposium on Neural Network Applications in Electrical Engineering NEUREL, Belgrade, Serbia, September 2012
8. Rodic A., **Stojkovic I.**: *Integrated Control of Quadrotor Flight Dynamics with Complementary Compensator of System Uncertainties*, - Proc. International Micro Air Vehicle Conference and Flight Competition – IMAV 2012, Braunschweig, Germany, July 2012
9. Miloradovic B., Popic S., **Stojkovic I.**: *Development of Intelligent Behaviour Using Decision Making Methods Based on ANN*, - Proc. 12th International Scientific-Professional Symposium INFOTEH, Jahorina, Bosnia, February 2013

#### **Papers in the proceedings of national conferences (M63)**

1. Cosic A., Katic D., **Stojkovic I.**: *An Approach to Localization of Mobile Robots Based on Extended Kalman Filter*, - The 57th ETRAN Conference, Zlatibor, Serbia, June 2013, ISBN 978-86-80509-68-6
2. Rodic A., Mester G., **Stojkovic I.**: *Navigation and Control of Indoor Mobile Robots in Unknown Environments*, - The 56th ETRAN Conference, Zlatibor, Serbia, June 2012, ISBN 978-86-80509-67-9
3. **Stojkovic I.**, Rodic A., Stevanovic I.: *Comparison of Different Flight Control Techniques for Autonomous Quadrotors*, - The 56th ETRAN Conference, Zlatibor, Serbia, June 2012, ISBN 978-86-80509-67-9

The candidate has publicly orally defended the proposed doctoral thesis topic on July 12<sup>th</sup> 2017, in front of the committee composed of:

- dr Željko Đurović, full professor at School of Electrical Engineering, University of Belgrade (committee chair),

- dr Mirjana Popović, retired professor at School of Electrical Engineering, University of Belgrade (committee member outside of the ETF)

and

- dr Miloš Vujisić, assistant professor at School of Electrical Engineering, University of Belgrade.

Committee concluded that the public oral defense of the candidate was satisfactory.

### 1.3. Evaluation of the candidate suitability for work on the proposed thesis topic

The Committee considered all the previously mentioned achievements of the candidate. Through all the exams completed, and participation in research projects, international professional training, satisfactory defense of the thesis topic, and published research papers, the candidate showed that he is ready to conduct the independent scientific research. The Committee considers that the candidate is capable of achieving the results that will be verified by the international scientific community during the development of the doctoral dissertation. The Committee concludes that the candidate Ivan Stojković meets all the necessary conditions to start the doctoral dissertation on the above subject. The Committee concludes that the proposed research is too wide and it is necessary that in the further research the candidate concentrates on the problem of modeling the causative-consequent connections in biological systems. Also, the Committee notes that the working title of the topic is too general, and therefore suggests that the title of the topic be changed from **"Structured approach to analysis of complex biomedical signals and systems"** into **"Functional Norm Regularization for Margin-Based Ranking on Temporal Data"**. Proposed thesis title in Serbian language is "Primena funkcionalnih normi za regularizaciju rangiranja nad temporalnim podacima".

## **2. Topic, goal and the importance of the proposed research direction**

Complex systems are systems consisting of a large number of interacting parts, and thus cause global (collective) behavior whose characteristics are not obvious from the knowledge of the functioning of its parts [1], i.e. the characteristics of such a system are not at the same time the characteristics of its parts, but the consequence of their interactions at the global level. Although the rules of interacting factors are often very simple, complex systems exhibit very interesting behaviors, in the absence of a centralized controller that manages and synchronizes the behavior of individual parts in order to achieve the desired behavior.

A large number of systems from a biomedical domain (from a cell, through an organ, an organism, up to a population level) exhibits the characteristics of complex systems and can be viewed as such. Different mathematical formalisms have been used to study complex systems, ie, to model interactions and their consequences, such as: equation systems and differential equation systems [2], graphs and networks [3], agent-based simulations [4]. Often, the rules of interaction of individual parts are unknown and how the system works, it must be concluded on the basis of the observations of its behavior. Finding patterns of behavior based on collected data is a central problem in several areas of computer science: Pattern Recognition [5], Machine Learning [6], Data Mining [7], and System Identification [8]. Learned patterns can suggest the crucial system factors (the genes responsible for certain diseases), interactions (which drugs together increase the effect), mechanisms that lead to certain behavior (network motifs [9]). These findings further focus the research, and lead to actions and control policies that can bring the system to the desired state (for example, from sick to healthy).

The task of finding patterns from data is difficult when the amount of available training data is small, and this is particularly noticeable in problems with a large number of variables [10], which is often the case in biomedicine where the number and diversity of biomarkers is very pronounced. One of the ways to improve generalization in these cases is to include additional assumptions about the existence of regularity in behavior patterns [11]. The aim of this research is to develop models and assumptions especially for use in the specified conditions.

[1] Wolfram, S.: *A new kind of science*. Vol. 5. Champaign: Wolfram media, 2002.

[2] Boccaro, N.: *Modeling complex systems*. Springer Science & Business Media, 2010.

- [3] Barabasi, AL.: *Network science*. Cambridge University Press, 2016.
- [4] Wilensky, U., Rand, W.: *An Introduction to Agent-Based Modeling*. The MIT Press, 2015.
- [5] Christopher MB.: *Pattern recognition and machine learning*. Springer, 2006.
- [6] Mitchell, TM.: *Machine learning*. WCB, 1997.
- [7] Jiawei, H., Pei, J., Kamber M.: *Data mining: concepts and techniques*. Elsevier, 2011.
- [8] Ljung L.: *System identification*. John Wiley & Sons Inc, 1999.
- [9] Alon U.: *Network motifs: theory and experimental approaches*. - Nature Reviews Genetics. 2007 Jun, Vol 8(6):450-61.
- [10] Bühlmann, P., and Van De Geer S.: *Statistics for high-dimensional data: methods, theory and applications*. Springer Science & Business Media, 2011.
- [11] Jianhui, C. et al: *A convex formulation for learning shared structures from multiple tasks*. – Proc. 26th Annual International Conference on Machine Learning. ACM, 2009.

### 3. Initial hypotheses

Research will be grounded in the following assumptions:

- The data needed for learning is insufficient for the reliable identification (extraction) of patterns of interest
- The system consists of a large number of interacting factors, which makes the identification of behavior patterns and the conclusion of causal mechanisms a very difficult problems (the hypothesis space is growing dramatically)
- The quantification of the characteristics of interest is not sufficiently reliable to formulate the problem as regression or classification, but there is access only to information on comparative relations between the examples (one is greater than the other)
- Additional assumptions based on domain knowledge about the nature of the problem narrow the space of possible hypotheses and allow learning from a smaller number of data examples
- Between the factors of the system there are dependencies and regularities in a behavioral patterns that can be used to improve (enhance) the generalization possibilities of the model

### 4. Scientific research methods

Research work in the preparation of candidates' dissertation will be based on the current practices in the areas of machine learning and pattern recognition [12]. Modeling and problem formulation will be based on parametric mathematical models [13]. Problems will be formulated as supervised learning [14], [15]. One of the potential effective methods that will be used to incorporate assumptions about the regularity in behavior patterns is the use of functional regularization [16]. In multi-dimensional problems, it is often useful to assume that not all the observed variables are indeed relevant to the problem, therefore, methods for feature selection will be potentially considered [17], [18]. The parameters of the resulting model that combine the prediction objectives and structural assumptions are typically optimized to best suit the data. For the optimization of the criterion function, algorithms based on convex [19] and / or non-exclusive optimization [20] will be used. The data will require appropriate preprocessing and transformation before use for fitting the model [21]. In assessing the quality of the performance of the models and the results, traditional statistical methods and metrics will be used [22], [23].

- [12] Aggarwal, CC.: *Data mining: the textbook*. Springer, 2015.
- [13] Walter, E., Proznato L.: *Identification of parametric models from experimental data. Vol. 1*. Berlin: Springer, 1997.
- [14] James G., Witten D., Hastie T., Tibshirani R.: *An introduction to statistical learning*. New York: Springer; 2013 Feb 11.
- [15] Yu, H., and Sungchul K.: *Svm tutorial—classification, regression and ranking*. - Handbook of Natural computing. Springer Berlin Heidelberg, 2012. 479-506.
- [16] Zhou, J., Jianhui C., Jieping Y.: *MALSAR: Multi-task learning via structural regularization*. Arizona State University 21, 2011.
- [17] Guyon, I., Elisseeff A.: *An introduction to variable and feature selection*. - Journal of machine learning research 3.Mar 2003: 1157-1182.
- [18] Hastie, T., Tibshirani R., Wainwright M.: *Statistical learning with sparsity*. CRC press, 2015.
- [19] Boyd, S., Vandenberghe L.: *Convex optimization*. Cambridge university press, 2004.
- [20] Pardalos, P., et al.: *Nonconvex Optimization and Its Applications. Vol. 1*. Kluwer Academic Publishers, 1994.
- [21] Kotsiantis, SB., Kanellopoulos D., and Pintelas PE.: *Data preprocessing for supervised learning*. - International Journal of Computer Science 1.2 (2006): 111-117.
- [22] Kohavi, R.: *A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection*. – Proc. 14th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI), 1995.
- [23] Fawcett, T.: *An introduction to ROC analysis*. - Pattern recognition letters 27.8 2006: 861-874.

## 5. Expected scientific contribution

It is expected that the research in the proposed direction will result into:

- New parametric predictive models based on supervised data, with improved predictive performance, and-or more reliable (more robust/stable) detected patterns.
- It is also expected that models will be equipped with new and / or improved algorithms for their training, which can learn from a smaller number of data, or which are faster/efficient.
- Finally, it is expected that the application of the developed models and algorithms on real data will lead to a new insights on the functioning of the studied system (problem) of interest.

## 6. Research plan and work structure

The research plan within the proposed topic will consist from the following steps:

- A review of the literature from a methodological point of view, to gain insights into the constraints of the current approaches, and to identify the space for potential improvement. A review of literature from the domain and application aspect in order to identify assumptions that could advance the formulation of the problem and / or approach for its solution.
- Propose new models based on the previously stated hypotheses on structural regularities, and develop algorithms for their training.
- Testing models and algorithms on a synthetic data generated under the hypotheses assumed in models, for initial validation, as well as for potentially directing to eventual modification and improvement of models and algorithms.
- Application on a real data sets that involves finding an appropriate database from a biomedical domain, then preprocessing and model fitting, and finally applying the developed models to biomedical data sets and final analysis and interpretation of the results obtained.

## 7. Conclusion and the proposal

On the basis of everything expressed above, the Committee concludes that the candidate Ivan Stojković meets the necessary requirements for starting the doctoral dissertation under the modified title "Functional Norm Regularization for Margin-Based Ranking on Temporal Data", which has been changed from the previously proposed "Structured approach to the analysis of complex biomedical signals and systems". The Committee approves the writing of a dissertation in English language. The proposed thesis topic in Serbian language is "Primena funkcionalnih normi za regularizaciju rangiranja nad temporalnim podacima".

The proposed topic belongs to the scientific areas of machine learning and data analysis. The proposed supervisors are dr. Branko Kovačević, full professor at School of Electrical Engineering, University of Belgrade, and dr. Zoran Obradović, L.H. Carnell Professor at College of Science and Technology, Temple University, USA.

Therefore, the Committee proposes to the Teaching-Scientific Council of the Faculty of Electrical Engineering in Belgrade to approve Ivan Stojković for conducting the doctoral dissertation with the above proposed title, under the guidance of mentors, prof. dr. Branko Kovačević and prof. dr. Zoran Obradović.

Belgrade, October, 13<sup>th</sup> 2017.

### COMMITTEE MEMBERS



dr Zoran Obradović, L.H. Carnell Professor  
Temple University, USA – College of Science and Technology



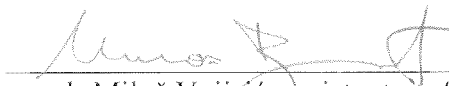
dr Branko Kovačević, full professor  
University of Belgrade – School of Electrical Engineering



dr Željko Đurović, full professor  
University of Belgrade – School of Electrical Engineering



dr Mirjana Popović, retired professor  
University of Belgrade – School of Electrical Engineering



dr Miloš Vujić, assistant professor  
University of Belgrade – School of Electrical Engineering