

Наставно – научном већу
Факултета организационих наука
Универзитета у Београду

Предмет: Подобност теме и кандидата **Иване Штрумбергер** за израду докторске дисертације

Одлуком 05-01 бр. 3/150-5 од 04.11.2016. године именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата **Иване Штрумбергер** за израду докторске дисертације и научне заснованости теме “УНАПРЕЂЕЊЕ РЕШАВАЊА ПРОБЛЕМА ОДРЕЂИВАЊА ПОЗИЦИЈА СЕНЗОРСКИХ ЧВОРОВА У БЕЖИЧНИМ СЕНЗОРСКИМ МРЕЖАМА ПРИМЕНОМ МЕТАХЕУРИСТИКА ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ РОЈЕВА”.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Ивана Штрумбергер рођена је 23.03.1989. године у Београду. Основну школу и гимназију завршила је у Београду. Основне студије завршила је на Факултету за пословне студије у Београду, Мегатренд универзитет, смер компјутерски инжењеринг 2012. године, са просечном оценом 9.19. Мастер студије на Факултету организационих наука Универзитета у Београду, студијски програм Информациони системи и технологије, модул Информационе технологије, са просечном оценом 9.00 и одбрањеним мастер радом под називом: ”Конфигурација и примена VLAN мреже на Факултету Организационих наука” са оценом 10. Мастер студије завршила је 2014. године, где је стекла звање мастер инжењер организационих наука.

На докторским студијама на Факултету организационих наука у Београду, студијски програм Информациони системи и квантитативни менаџмент, модул Информационе технологије, положила је све испите предвиђене наставним планом и програмом са просечном оценом 9.88.

Кандидат је објавио радове у водећим међународним IEEE конференцијама одржаних у Cambridge, UK, Bancok, Thailand, Herl’any, Slovakia, Portugal, који су реферисани у IEEEExplore, као и радове који су објављени као поглавља у Springer LNCS (Lecture Notes in Computer Science).

Академске 2015/2016 године учествовала је у оквиру Erasmus+ Teaching Mobility programa, где је разменила наставно-научно искуство са колегама са Lucian Blaga University of Sibiu, Румунија.

Предвиђена је као учесник Пројекта на следећем пројектом циклусу Министарства за образовање, науку и технолошки развој Републике Србије.

Од септембра 2013. године, радила је као сарадник у настави на Факултету за компјутерске науке Мегатренд универзитета, да би од новембра 2014. године стекла звање асистента на истом Факултету. У току трогодишњег наставног искуства, изводила је практичну наставу на следећим предметима: Увод у рачунарске системе, Мрежно рачунарство, Базе података, Електронско пословање, Рачунарске апликације, Напредне рачунарске апликације, Увод у оперативне системе и рачунарске мреже и Интернет архитектура и протоколи.

Од децембра 2017 ради као асистент на Факултету за информатику и рачунарство и Техничком факултету на Универзитету Сингидунум. Изводи практичну наставу на предметима Пројектовање информационих система и Конкурентно и дистрибуирано програмирање.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

У наставку ће бити приказани научни резултати кандидата, објављених на конференцијама и у часописима, од године уписа докторских студија. Већина радова је из научне области рачунарство, уже научне области вештачка интелигенција, UDK број: 004 (004.8), CERIF: P176, P170.

Радови објављени у међународним часописима индексирани и SCOPUS-y

Ivana Strumberger, Marko Beko, Milan Tuba, Miroslav Minovic, Nebojsa Bacanin, *Elephant Herding Optimization Algorithm for Wireless Sensor Network Localization Problem*, Chapter in Technological Innovation for Resilient Systems, IFIP Advances in Information and Communication Technology, Vol. 521, Springer LNCS, pp. 175 - 184, 2018 (M13).

Ivana Strumberger, Nebojsa Bacanin, Milan Tuba: *Hybridized Elephant Herding Optimization Algorithm for Constrained Problems*, in 'Hybrid Intelligent Systems', Springer International Publishing, 2018., pp. 158-166, DOI: 10.1007/978-3-319-76351-4_16 (M13).

Ivana Strumberger, Marko Sarac, Dusan Markovic, Nebojsa Bacanin, *Hybridized Monarch Butterfly Algorithm for Global Optimization Problems*, International Journal of Computers, Vol. 3, 2018., pp. 63 - 68. (M51).

Ivana Strumberger, Marko Sarac, Dusan Markovic, Nebojsa Bacanin, *Moth Search Algorithm for Drone Placement Problem*, International Journal of Computers, Vol. 3, 2018, pp. 75 - 80. (M51).

Ivana Strumberger, Nebojsa Bacanin, *Modified Moth Search Algorithm for Global Optimization Problems*, International Journal of Computers, Vol. 3, 2018, pp. 44 – 48. (M51).

Радови објављени у зборницима међународних конференција

Eva Tuba, Ivana Strumberger, Nebojsa Bacanin, Milan Tuba, *Bare Bones Fireworks Algorithm for Capacitated p -Median Problem*, Proceedings of the 9th International Conference on Swarm Intelligence (ICSI 2018), June 17-22, Shanghai, China, 2018. прихваћен за објављивање (M33).

Ivana Strumberger, Eva Tuba, Nebojsa Bacanin, Marko Beko, Milan Tuba, *Modified Monarch Butterfly Optimization Algorithm for RFID Network Planning*, Proceedings of the 6th International Conference on Multimedia Computing and Systems (ICMCS '18), Rabat, Morocco, 10-12 May 2018, прихваћен за објављивање (M33).

Eva Tuba, Ivana Strumberger, Dejan Zivkovic, Nebojsa Bacanin, Milan Tuba, *Rigid Image Registration by Bare Bones Fireworks Algorithm*, Proceedings of the 6th International Conference on Multimedia Computing and Systems (ICMCS '18), Rabat, Morocco, 10-12 May 2018, прихваћен за објављивање (M33).

Ivana Strumberger, Eva Tuba, Nebojsa Bacanin, Marko Beko, Milan Tuba, *Bare Bones Fireworks Algorithm for RFID Network Planning Problem*, Congress on Evolutionary Computation 2018 (CEC'18), Rio de Janeiro, Brasil, 8-13 July 2018, прихваћен за објављивање (M33).

Ivana Strumberger, Eva Tuba, Nebojsa Bacanin, Marko Beko, Milan Tuba, *Hybridized Artificial Bee Colony Algorithm for Constrained Portfolio Optimization Problem*, Congress on Evolutionary Computation 2018 (CEC'18), Rio de Janeiro, Brasil, 8-13 July 2018, прихваћен за објављивање (M33).

Eva Tuba, Ivana Strumberger, Dejan Zivkovic, Nebojsa Bacanin, Milan Tuba, *Mobile Robot Path Planning by Improved Brain Storm Optimization Algorithm*, Congress on Evolutionary Computation 2018 (CEC'18), Rio de Janeiro, Brasil, 8-13 July 2018, прихваћен за објављивање (M33).

Ivana Strumberger, Eva Tuba, Nebojsa Bacanin, Marko Beko, Milan Tuba, *Hybridized Moth Search Algorithm for Constrained Optimization Problems*, Proceedings of the 2nd International Young Engineers Forum on Electrical and Computer Engineering, Portugal, May 2018, прихваћен за објављивање. (M33)

Eva Tuba, Ivana Strumberger, Ira Tuba, Nebojsa Bacanin, Milan Tuba, *Water Cycle Algorithm for Solving Continuous p -Median Problem*, 12th IEEE International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics (SACI 2018), Timisoara, Romania, 17-19 May 2018, прихваћен за објављивање (M33).

Ivana Strumberger, Eva Tuba, Nebojsa Bacanin, Marko Beko, Milan Tuba, *Monarch Butterfly Optimization Algorithm for Localization in Wireless Sensor Networks*, Proceedings of the 28th International Conference Radioelektronika 2018, Prague, Czech Republic, 19-20 April, 2018 (M33).

Eva Tuba, Ivana Strumberger, Nebojsa Bacanin, Dejan Zivkovic, Milan Tuba, *Cooperative Clustering Algorithm Based on Brain Storm Optimization and K-Means*, Proceedings of the 28th International Conference Radioelektronika 2018, Prague, Czech Republic, 19-20 April, 2018 (M33).

Ivana Strumberger, Nebojsa Bacanin, Marko Beko, Slavisa Tomic, Milan Tuba, *Static Drone Placement by Elephant Herding Optimization Algorithm*, Proceedings of the 24th Telecommunications Forum (TELFOR) 2017, November 21-22, 2017, Belgrade, Serbia. (M33).

Ivana Strumberger, Nebojsa Bacanin, Milan Tuba, *Enhanced Firefly Algorithm for Constrained Numerical Optimization*, IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC2017), ISBN: 978-1-5090-4600-3, Donostia/San Sebastian, Spain, June, 5-8, 2017, pp. 2120-2127 (M33).

Ivana Strumberger, Nebojsa Bacanin, Milan Tuba, *Hybridized Krill Herd Algorithm for Large-Scale Optimization Problems*, 15th IEEE International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMi 2017), ISBN: 978-1-5090-5654-5, IEEE Catalog Number: CFP1708E-USB, Herlany, Slovakia, January 26-28, 2017, pp. 473-478 (M33).

Ivana Strumberger, Nebojsa Bacanin, Milan Tuba, *Constrained Portfolio Optimization by Hybridized Bat Algorithm*, 7th International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation ISMS 2016, IEEE and King Mongkuts University of Technology Thonburi, Product Number E5788, ISBN 978-1-5090-0664-9, ISSN 2166-0670, BMS Number CFP1625J-CDR, Edited by: David Al-Dabass, Tiranee Achalakul, Santitham Prom-On, Rajchawit Sarochawikosit, 25-27 January 2016 Bangkok, Thailand, pp. 83-88 (M33).

Nebojsa Bacanin, Milan Tuba, Ivana Strumberger, *RFID Network Planning by ABC Algorithm Hybridized with Heuristic for Initial Number and Locations of Readers*, UKSim-AMSS 17th International Conference on Computer Modelling and Simulation Cambridge, United Kingdom 25-27 March 2015, IEEE Computer Society, ISBN 978-1-4799-8712-2, Edited by: David Al-Dabass, Alessandra Orsoni, Richard Cant, Zuwairie Ibrahim, and Ismail Saad, DOI 10.1109/UKSim.2015.83, pp. 39-44 (M33).

У наставку извештаја следи списак положених предмета на докторским студијама са оценама и ЕСПБ бодовима:

Назив предмета	Оцена	ЕСПБ
Одабрана поглавља из техника заштите у рачунарским мрежама	9 (девет)	10
Заштита рачунарских система-одабрана поглавља	10 (десет)	10
Рачунарске мреже-одабрана поглавља	10 (десет)	10
Интеракција човека и рачунара-одабрана поглавља	10 (десет)	10
Мултимедији-одабрана поглавља	10 (десет)	10
Мултимедијалне комуникације-одабрана поглавља	10 (десет)	10
Интернет технологије-одабрана поглавља	10 (десет)	10
Методе заштите у електронском пословању-одабрана поглавља	10 (десет)	10
Интернет интелигентних уређаја-одабрана поглавља	10 (десет)	10

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Узимајући у обзир:

- резултате остварене током досадашњег образовања;
- истраживања на тему унапређења решавања проблема одређивања позиција сензорских чворова у бежичним сензорским мрежама применом метахеуристика интелигенције ројева која су публикована на научно-стручним конференцијама и у часописима,
- истраживања на тему примена метахеуристика интелигенције ројева за решавање NP тешких проблема која су публикована на научно-стручним конференцијама и у часописима,
- педагошког рада на високо образовним институцијама
- и учешћа на међународним пројектима;

закључује се да је кандидат Ивана Штрумбергер у потпуности квалификована и припремљена да тему докторске дисертације самостално истражује и пружи научно-стручне доприносе у тој области.

1. Предмет и циљ истраживања

Предности бежичних (енг. *wireless*) комуникација у односу на традиционално ожичене (енг. *wired*) снажно су глобално утицале на развој бежичних мрежних инфраструктура. Могућност коришћења различитих приступних уређаја и мобилности у рачунарској мрежи, као и пружање услуга независно од локације, допринело је развоју различитих типова бежичних мрежних технологија. У овој докторској дисертацији ће бити обрађене технологије, принципи, технике и мрежне архитектуре бежичних сензорских мрежа. Главни део дисертације бавиће се унапређењем решавања проблема одређивања позиција сензорских чворова у бежичним сензорским мрежама помоћу метахеуристике интелигенције ројева које спадају у групу стохастичких, природом инспирисаних оптимизационих метода.

Приликом имплементирања бежичних сензорских мрежа, како у практичном, тако и у теоретском контексту, постоји велики број проблема које је потребно решити, као што су одређивање позиција сензорских чворова, покривеност простора и потрошња енергије. Изграђене од групе малих сензорских чворова, бежичне сензорске мреже имају задатак да у одређеном простору (енг. *monitoring field*) прикупе податке и пошаљу их кроз бежичне линкове до мрежног одредишта (енг. *sink*), где се подаци обрађују локално или шаљу у друге мреже у којима постоје уређаји са већим могућностима обраде података. Са оваквом структуром мреже битно је да се подесе позиције сензора како би међусобна комуникација и покривеност били максимално искоришћени. Проблем одређивања позиције сензорских чворова се највише изучава у области бежичних мрежа, јер ако позиције сензора нису прецизно одређене, покривеност простора и енергија неће бити оптимални. Бежичне сензорске мреже се примењују у различитим областима, као што су индустрија, медицина, саобраћај, војска, па чак и за надгледање приватних поседа и кућа.

Проблеми оптимизације бежичних сензорских мрежа спадају у групу *NP*-тешких проблема (енг. *Non-deterministic Polynomial-time*). За *NP*-тешке проблеме се може написати детерминистички алгоритам (алгоритам који за одређени скуп улаза увек генерише исти скуп излаза), али би за његово извршавање било потребно много времена и због тога се овакви проблеми сматрају практично нерешивим. Из тих разлога је за њихово решавање потребно користити метахеуристичке методе и алгоритме. Метахеуристике не гарантују да ће дати оптимално решење, али зато постижу субоптимално задовољавајуће решење у разумном временском периоду.

Алгоритми инспирисани природом (енг. *Nature Inspired Algorithms*), су популационе метахеуристике где скуп потенцијалних решења проблема конвергира ка оптимуму у итеративном процесу. У овом приступу, потенцијална решења проблема се називају индивидуе, док се област која се претражује назива простор претраге (енг. *search space*). Еволуција индивидуалних решења ка оптималном зависи од познавања окружења тј. вредности функције подобности, историје стања “суседства” појединачних решења, као и од историје предходних стања сваког појединачног решења (меморија сваке индивидуе).

Алгоритми инспирисани природом најчешће се класификују на основу природног феномена који се симулира. Један од најпознатијих представника ових

метахеуристичких метода су генетски алгоритми (енг. *genetic algorithm* - GA), док метахеуристике интелигенције ројева (енг. *Swarm intelligence* - SI) спадају у новије приступе. Метахеуристике интелигенције ројева симулирају колоније инсеката, јата птица, риба, као и других биолошких система. Они се састоје из великог броја самоорганизујућих индивидуа (агената) који међусобно размењују информације и уче једни од других и на локалном и на глобалном нивоу, и на тај начин процес претраге воде ка оптималном поддомену. Значајно је истакнути да локалне интеракције између индивидуа резултују настанком глобално координираног понашања без постојања централне компоненте која би усмеравала и контролисала понашање свих индивидуа у популацији.

У фамилију метахеуристике интелигенције ројева спадају многи алгоритми као што су оптимизација ројевима честица (енг. *particle swarm optimization* – PSO), оптимизација мрављих колонија (енг. *ant colony optimization* – ACO), алгоритам вештачке колоније пчела (енг. *artificial bee colony* - ABC), алгоритам свитаца (енг. *firefly algorithm* – FA), алгоритам слепог миша (енг. *bat algorithm* – BA), тако даље. Сваки од наведених алгоритама има бројне имплементације, модификације и хибридизације које су објављене у литератури.

Проблеми оптимизације бежичних сензорских мрежа спадају у групу важних и активних мултидисциплинарних области које обухватају телекомуникације, електротехнику, рачунарство, операциона истраживања и математику. О овоме сведочи велики број радова који су објављени у еминентним међународним часописима који се налазе на Thomson Reuters SCI листама, као и на угледним међународним конференцијама које организују IEEE и ACM. Из објављених радова види се да су наведени проблеми решавани применом различитих метода, техника и метахеуристике. Исто тако, види се да су ови проблеми недовољно решавани применом метахеуристике интелигенције ројева. Обзиром да ови проблеми припадају класи *NP* тешких проблема глобалне и/или комбинаторне оптимизације, са или без ограничења, и да алгоритми интелигенције ројева постижу добре резултате у решавању ове класе проблема, потребно је детаљније испитати потенцијал метахеуристике ројева у решавању ових проблема.

У складу са свим наведеним, **предмет истраживања** докторске дисертације може да се дефинише као:

- свеобухватни преглед проблема оптимизације бежичних сензорских мрежа;
- преглед постојећих метахеуристичких метода за решавање проблема оптимизације бежичних сензорских мрежа;
- унапређење решавања проблема оптимизације бежичних сензорских мрежа применом алгоритама интелигенције ројева;
- детаљна компаративна анализа наведених метода, са истицањем предности и недостатака једних метода у односу на друге;

Циљ истраживања у докторској дисертацији је утврђивање:

- колико је проблем оптимизације бежичних сензорских мрежа оптимизован са примењеним методама и техникама оптимизације;
- предности и недостаци примењених метода и метахеуристика за решавање ових проблема;
- унапређење решавања проблема оптимизације бежичних сензорских мрежа до кога се долази применом метахеуристика интелигенције ројева;

Почетна листа библиографских извора која ће се користити приликом израде докторске дисертације:

1. Sanay Abdollahzadeh, Nima Jafari Navimipour, *Deployment strategies in the wireless sensor network: A comprehensive review*, Computer Communications, Vol. 91–92, Elsevier, 2016, pp.1–16.
2. P. Rawat, K. Singh, H. Chaouchi, J. Bonnin, *Wireless sensor networks: a survey on recent developments and potential synergies*, The Journal of Supercomputing, Vol. 68, Issue 1, Springer, 2014, pp. 1–48, doi:10.1007/s11227-013-1021-9.
3. Boukerche, A., *Algorithms and protocols for wireless sensor networks*, Wiley, 2009, ISBN: 9780471798132, p. 546.
4. Dargie, W., & Poellabauer, C., *Fundamentals of Wireless Sensor Networks: Theory and Practice*, Wiley, 2010, ISBN: 978-0-470-99765-9, p.330.
5. Akyildiz, I. F., & Vuran, M., *Wireless sensor networks*, Wiley, 2010, ISBN: 978-0-470-03601-3, p. 516.
6. Neha rang , Anuj gupta, *Wireless Sensor Networks : A Overview*, IJMCS, Vol.1, Issue 2, 2013.
7. Kriti Jain, Upasana Bahuguna, *Survey on Wireless Sensor Network*, IJSTM, Vol. 3, Issue 2, 2012, pp. 83-90.
8. Himani Chawla, *Some issues and challenges of Wireless Sensor Networks*, International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, Vol. 4, Issue 7, 2014.
9. Pardeep Kaur, Vinay Bhardwaj, *Wireless Sensor Networks: A Survey*, International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, Vol. 5, Issue 5, 2015.
10. Jun Zheng, Abbas Jamalipour, *Wireless Sensor Networks: A Networking Perspective*, Wiley, 2009, ISBN: 978-0-470-16763-2, p.489.
11. Kazem Sohraby, Daniel Minoli, Taieb Znati, *Wireless Sensor Networks: Technology, Protocols and Application*, Wiley-Interscience, A John Wiley&Sons, inc. Publication, 2007, ISSN: 1467-7717, p.326.
12. C. Zhu, C. Zheng, L. Shu, G. Han, *A survey on coverage and connectivity issues in wireless sensor networks*, Journal of Network and Computer Applications, Vol. 35, Issue 2, Elsevier, 2012, pp. 619–632.
13. X. Liu, D. He, *Ant colony optimization with greedy migration mechanism for node deployment in wireless sensor networks*, Journal of Network and Computer Applications, Vol. 39, Elsevier, 2014, pp. 310–318.

14. Y. Yourim, K. Yong-Hyuk, *An efficient genetic algorithm for maximum coverage deployment in wireless sensor networks*, Cybernetics IEEE Transactions, Vol. 43, Issue 5, IEEE Xplore, 2013, pp. 1473–1483.
15. W.-H. Liao, Y. Kao, Y.-S. Li, *A sensor deployment approach using glowworm swarm optimization algorithm in wireless sensor networks*, Expert Systems with Applications, Vol. 38, Issue 10, Elsevier, 2011, pp. 12180–12188.
16. N. Jafari Navimipour, S.H. Es-hagi, *Reduce energy consumption and increase the lifetime of heterogeneous wireless sensor networks: evolutionary approach*, International Journal of Advanced Research in Computer Science, Vol. 2, Issue 5, 2011.
17. C. Sha, R.-C. Wang, *Energy-efficient node deployment strategy for wireless sensor networks*, The Journal of China Universities Posts Telecommunication, Vol. 20, Issue 1, 2013, pp. 54–57.
18. S. Rani, J. Malhotra, R. Talwar, *Energy efficient chain based cooperative routing protocol for WSN*, Applied Soft Computing, Vol. 35, 2015, pp. 386–397.
19. Yamuna Devi, C. R., Shivaraj, B., Manjula, S. H., Venugopal, K. R., Patnaik, L. M., *EESOR: Energy efficient selective opportunistic routing in wireless sensor networks*, Recent trends in computer networks and distributed systems security communications in computer and information science Vol. 420, Springer 2014, pp. 16–31
20. Sarika Yadav, Rama Shankar Yadav, *A review on energy efficient protocols in wireless sensor networks*, Wireless Networks, Vol.22, Issue 1, Springer, 2016, pp. 335–350, doi:10.1007/s11276-015-1025-x.
21. Huang, P., Xiao, L., Soltani, S., Mutka, M., & Xi, N., *The evolution of MAC protocols in wireless sensor networks: A survey*, IEEE Communications Surveys Tutorials Vol. 15, Issue 1, IEEE, 2012, pp.101-120, DOI: 10.1109/SURV.2012.040412.00105
22. Mohammad Fathi, Vafa Maihami, Parham Moradi, *Reinforcement Learning for Multiple Access Control in Wireless Sensor Networks: Review, Model, and Open Issues*, Wireless Personal Communications, Vol.72, Springer, 2013, pp.535–547, DOI 10.1007/s11277-013-1028-9.
23. S.K.Singh, M.P. Singh and D. K. Singh, *Routing Protocols in Wireless Sensor Networks –A Survey*, International Journal of Computer Science & Engineering Survey (IJCSES), Vol.1, No.2, 2010.
24. Getsy S Sara, D. Sridharan, *Routing in mobile wireless sensor network: a survey*, Telecommunication Systems, Vol. 57, Issue 1, Springer, 2014, pp. 51-79, doi:10.1007/s11235-013-9766-2.
25. Raghavendra V. Kulkarni, Ganesh Kumar Venayagamoorthy, *Particle Swarm Optimization in Wireless Sensor Networks: A Brief Survey*, IEEE transactions on systems, man and cybernetics, Vol. 41, Issue 2, IEEE, 2011, pp. 262-267, DOI: 10.1109/TSMCC.2010.2054080.
26. Sonia Goyal, Manjeet Singh Patterh, *Wireless Sensor Network Localization Based on Cuckoo Search Algorithm*, Wireless Personal Communication, Vol.79, Springer, 2014, pp.223–234, DOI 10.1007/s11277-014-1850-8.
27. Pal, A., *Localization algorithms in wireless sensor networks: Current approaches and future challenges*, Network Protocols and Algorithms, Vol. 2, No. 1., 2010, ISSN 1943–3581.

28. Singh, S., Shivangna, S., & Mittal, E., *Range based wireless sensor node localization using PSO and BBO and its variants*, International conference on communication systems and network technologies, IEEE, 2013 978-0-7695-4958-3/13. doi:10.1109/CSNT.2013.72.
29. Sonia Goyal¹, Manjeet Singh Patterh, *Modified Bat Algorithm for Localization of Wireless Sensor Network*, Wireless Personal Communication, Vol.86, Springer, 2016, pp.657–670 DOI 10.1007/s11277-015-2950-9
30. Pal, A., *Localization algorithm in wireless sensor networks: Current approaches and future challenges*. Network Protocols and Algorithms, Vol. 2, Issue 1, 2010, pp. 45–73.
31. Zhao, Q. S., & Meng, G. Y., *A multidimensional scaling localisation algorithm based on bacterial foraging algorithm*, International Journal Wireless and Mobile computing, Vol.6, Issue 1, 2013, pp. 58–65.
32. LIU Ji-zhong, WANG Bao-lei, AO Jun-yu, S. H. WANG, Q. M. Jonathan WU, *An immune-swarm intelligence based algorithm for deterministic coverage problems of wireless sensor networks*, Journal of Central South University, Vol.19, Springer, 2012, pp.3154–3161, DOI: 10.1007/s11771-012-1390-x
33. Dama Lavanya, Siba K .Udgata, *Swarm Intelligence Based Localization in Wireless Sensor Networks*, LNAI 7080, pp.317–328, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2011
34. Nor Azlina Ab. Aziz, Ammar W. Mohemmed, and Mengjie Zhang, *Particle Swarm Optimization for Coverage Maximization and Energy Conservation in Wireless Sensor Networks*, EvoApplications 2010, Part II, LNCS 6025, pp. 51–60, 2010, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010
35. WEI Nuo, GUO Qiang, SHU Ming-Lei, LÜ Jia-liang, YANG Ming, *Three-dimensional localization algorithm of wireless sensor networks base on particle swarm optimization*, The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications, Vol. 19, Issue 2, Elsevier, 2012, pp. 7-12.
36. Chungang Liu, Songlin Liu, Wenbin Zhang, Donglai Zhao, *The Performance Evaluation of Hybrid Localization Algorithm in Wireless Sensor Networks*, Mobile Networks and Applications, Springer, 2016, pp.1-8, doi:10.1007/s11036-016-0737-1.
37. Guangjie Han, Huihui Xu, Trung Q. Duong, Jinfang Jiang, Takahiro Hara, *Localization algorithms of Wireless Sensor Networks: a survey*, Telecommunication Systems, Vol. 52, Issue 4, Springer, 2013, pp. 2419-2436, doi:10.1007/s11235-011-9564-7
38. R. Harikrishnan, V. Jawahar Senthil Kumar, P. Sridevi Ponmalar, *A Comparative Analysis of Intelligent Algorithms for Localization in Wireless Sensor Networks*, Wireless Personal Communications, Vol. 87, Issue 3, Springer, 2016, pp. 1057-1069, doi:10.1007/s11277-015-2635-4
39. Yunhao Liu, Zheng Yang, Xiaoping Wang, Lirong Jian, *Location, Localization, and Localizability*, Journal of Computer Science and Technology, Vol. 25, Issue 2, Springer, 2010, pp. 274-297, doi:10.1007/s11390-010-9324-2
40. L. Ma, K.Hu, Y. Zhu, and H. Chen, *Cooperative artificial bee colony algorithm for multi-objective RFID network planning*, Journal of Network and Computer Applications, Vol. 42, pp. 143-162, June 2014.

41. Y. J. Gong, M. Shen, J. Zhang, O. Kaynak, W. N. Chen, and Y. H. Zhan, *Optimizing RFID network planning by using a particle swarm optimization algorithm with redundant reader elimination*, IEEE Transactions on Industrial Informatics, Vol. 8, pp. 900-912, November 2012.
42. H. Chen, Y. Zhu, K. Hu, and T. Ku, *RFID network planning using a multi-swarm optimizer*, Journal of Network and Computer Applications, Vol. 34, pp 888-901, May 2011.
43. L. Ma, H. Chen, K. Hu, and Y. Zhu, *Hierarchical artificial bee colony algorithm for RFID network planning optimization*, The Scientific World Journal, Vol. 2014, no. Article ID 941532, p. 21, 2014.
44. H. Chen, Y. Zhu, and K. Hu, *Multi-colony bacteria foraging optimization with cell-to-cell communication for RFID network planning*, Applied Soft Computing, Vol. 10, pp. 539-547, March 2010.
45. Karaboga, D., Bastuk, B., *On the performance of artificial bee colony (ABC) algorithm*, Applied Soft Computing, Vol. 8, Issue 1, 2008, pp. 687-697.
46. Akay, B., Karaboga, D., *Artificial bee colony algorithm for large-scale problems and engineering design optimization*, Journal of Intelligent Manufacturing, Vol. 23, Issue 4, 2012, pp. 1001-1014.
47. Yang, X. S., *Nature-Inspired Optimization Algorithms*, chapter "Firefly Algorithm", Elsevier, 2014, pp. 111-127.
48. Yang, X. S., Deb, S., *Multiobjective cuckoo search for design optimization*, Computers & Operations Research, Vol. 40, Issue 6, 2013, pp. 1616-1624.
49. Mohamad, A. B., Zain, A. M., Bazin, N. N., *Cuckoo Search Algorithm for Optimization Problems—A Literature Review and its Applications*, Applied Artificial Intelligence, Vol. 28, Issue 5, 2014, pp. 419-448.
50. Yang, X. S., He, X., *Bat algorithm: literature review and applications*, International Journal of Bio-Inspired Computation, Vol. 5, Issue 3, 2013, pp. 141-149.
51. Dai, C., Zhu, Y., Chen, W., *Seeker optimization algorithm: a novel stochastic search algorithm for global numerical optimization*, Journal of Systems Engineering and Electronics, Vol. 21, Issue 2, 2010, pp. 300–311.
52. Gandomi, A. H., Alavi, A. H., *Krill herd: A new bio-inspired optimization algorithm*, Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, Vol. 17, Issue 2, 2012, pp. 4831–4845.
53. Wang, G., Gandomi, A., Alavi, A. H., *Stud krill herd algorithm*, Neurocomputing, Vol. 128, 2014, pp. 363-370.
54. D. Marco and M.G. Luca, *Ant colonies for the travelling salesman problem*, Biosystems, Vol. 43, pp.73-81, July 1997.
55. D.M., M.V., and C.A., *Ant system: optimization by a colony of cooperating agents*, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, Vol. 26, no. 1, pp.29-41, 1996.
56. J. Kennedy and R. Eberhart, *Particle swarm optimization*, Vol. 4, pp. 1942-1948, 1995.
57. D. E. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison-Wesley Longman Publishing, 1989.
58. X.S. Yang, *Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms: Second Edition*, Luniver Press, July 2010.

59. Corne, D., W., Reynolds, A., Bonabeau, E., *Swarm Intelligence*, Handbook of Natural Computing, Springer, 2012, pp. 1599-1622.
60. X. S. Yang, Xingshi He, *Swarm Intelligence and Evolutionary Computation: Overview and Analysis*, Recent Advances in Swarm Intelligence and Evolutionary Computation, 2015, pp. 1-23, DOI: 10.1007/978-3-319-13826-8_1.
61. T. O. Ting, X. S. Yang, S. Cheng, K. Huang, *Hybrid Metaheuristic Algorithms: Past, Present, and Future*, Recent Advances in Swarm Intelligence and Evolutionary Computation, 2015, DOI: 10.1007/978-3-319-13826-8_4.

2. Полазне хипотезе

Приликом одређивања опште хипотезе докторске дисертације, узети су у обзир проблем, предмет и циљеви истраживања проблема оптимизације у бежичним сензорским мрежама. Главни проблем дисертације односиће се на унапређење решавања проблема одређивања позиција статичких и мобилних сензорских чворова у бежичним сензорским мрежама помоћу метахеуристика интелигенције ројева. Разматраће се разне методе и технике, као и алгоритми интелигенције ројева који ће служити за унапређење постојећих проблема у бежичним сензорским мрежама. Секундарни проблем који ће се разматрати јесте утицај енергије различитих типова сензорских чворова на примењивани модел и топологију за процес унапређења решавања главног проблема дисертације у области бежичних сензорских мрежа.

Општа хипотеза, која ће се користити у докторској дисертацији, гласи:

Хипотеза Х: Применом до сада недовољно коришћених алгорита метахеуристика интелигенције ројева за решавање проблема одређивања позиција статичких и мобилних сензорских чворова у бежичним сензорским мрежама, могуће је пронаћи боља решења у смислу квалитета (субоптимална, ближе оптимална или прави оптимум) и брзине конвергенције, чиме ће се унапредити добијени резултати других метода оптимизације за исти проблем.

Посебне хипотезе, које су развијене из опште хипотезе и односе се на обрађивање делова предмета истраживања гласе:

- Х0.1. Могуће је унапредити постојеће имплементације метахеуристика интелигенције ројева за решавање проблема одређивања позиција статичких и мобилних сензорских чворова у бежичним сензорским мрежама подешавањем контролних параметара, модификацијама у једначинама претраге и/или хибридизацијом са другим алгоритмима и метахеуристикима.
- Х0.2. Могуће је унапредити постојеће имплементације метахеуристика интелигенције ројева за решавање проблема одређивања позиција статичких и мобилних сензорских чворова у бежичним сензорским мрежама, а притом узети у обзир и циљ минимизовања утрошене енергије, подешавањем контролних

параметара, модификацијама у једначинама претраге и/или хибридизацијом са другим алгоритмима и метахеуристикама.

Даљим прецизирањем наведених посебних хипотеза, формулишу се појединачне које се односе на елементарне чиниоце предмета истраживања:

- X.0.1.1 Могуће је унапредити постојеће имплементације метахеуристика интелигенције ројева за решавање проблема одређивања позиција статичких сензорских чворова у бежичним сензорским мрежама подешавањем контролних параметара, модификацијама у једначинама претраге и/или хибридизацијом са другим алгоритмима и метахеуристикама.
- X.0.1.2. Могуће је унапредити постојеће имплементације метахеуристика интелигенције ројева за решавање проблема одређивања позиција мобилних сензорских чворова у бежичним сензорским мрежама подешавањем контролних параметара, модификацијама у једначинама претраге и/или хибридизацијом са другим алгоритмима и метахеуристикама.
- X0.2.1 Могуће је унапредити постојеће имплементације метахеуристика интелигенције ројева за решавање проблема одређивања позиција статичких сензорских чворова у бежичним сензорским мрежама, а притом узети у обзир и циљ минимизовања утрошене енергије подешавањем контролних параметара, модификацијама у једначинама претраге и/или хибридизацијом са другим алгоритмима и метахеуристикама.
- X0.2.1 Могуће је унапредити постојеће имплементације метахеуристика интелигенције ројева за решавање проблема одређивања позиција мобилних сензорских чворова у бежичним сензорским мрежама, а притом узети у обзир и циљ минимизовања утрошене енергије подешавањем контролних параметара, модификацијама у једначинама претраге и/или хибридизацијом са другим алгоритмима и метахеуристикама

3. Научне методе истраживања

Да би се развиле хипотезе које су у складу са предметом и циљем истраживања, биће примењене методе истраживања које су уобичајене у пракси и научно потврђене: аналитичко–синтетичка метода, дедуктивно–индуктивна метода, компаративно–квантитативна анализа, емпиријска метода, статистичка анализа, моделирање и експериментални део за доказивање хипотеза.

Аналитичким методом ће се обавити анализа садржаја релевантне научне и стручне литературе у овој области, као и релевантних чињеница публикованих путем електронских и других медија.

Синтетичким методом ће се интегрисати рашчлањени анализирани елементи појаве у једну целину ради дефинисања одређених правила у понашању појаве која је предмет истраживања. Другим речима, сви прикупљени подаци биће груписани методом синтезе, како би се дошло до поузданих закључака.

Коришћење *дедуктивно–индуктивне методе* је у функцији усмеравања истраживања од општег ка појединачном, односно од појединачног ка општем у циљу доласка до адекватних закључака.

У оквиру *компаративно–квантитативне анализе*, а у корелацији са циљевима истраживања и појавом којом се истраживање бави, као најадекватнији приступ истраживању изабрана је метода анализе. За анализу прикупљених конкретних резултата примене метода, техника и метахеуристика за решавање проблема оптимизације бежичних сензорских мрежа, користиће се метода квантитативне анализе. Методом компаративне анализе упоредиће се добијени резултати оптимизације и извешће се закључак о стварном унапређењу решавања овог проблема применом алгоритама интелигенције ројева.

Применом *емпиријске методе* прикупљени примарни подаци ће бити разматрани и у светлу дискутованих постојећих теоријских и емпиријских налаза, односно секундарних извора података, како би се тестирале полазне истраживачке хипотезе. Практичним експериментисањем (пуштањем алгорита) долази се до примарних података.

Статистичка анализа подразумева коришћење статистичких података и метода у обради добијених резултата, у складу са постављеним истраживачким циљевима. За одређивање правца и степена међузависности резултата различитих метахеуристика, метода и техника, користиће се статистичко–економетријске методе тренда и корелације.

Под *моделирањем* се подразумева конструкција математичких модела који представљају валидну представу проблема који се изучава и решава. За решавање оптимизационих проблема посматрају се математички модели и формулације, као и функције циљева проблема истраживања. Такође се у *експерименталном делу* имплементације сагледавају технике метахеуристика у решавању проблема.

4. Очекивани научни допринос

Главни мотив истраживања које ће бити спроведено за потребе докторске дисертације је реално очекивање да ће имплементирани алгоритми ројева за решавање проблема оптимизације бежичних сензорских мрежа дати боље резултате од већ постојећих и приказаних у литератури метода, алгоритама и техника за решавање истог типа проблема.

На основу до сада наведеног могу конкретно да се издвоје очекивани научни доприноси:

- детаљан приказ математичких модела формулације проблема оптимизације бежичних сензорских мрежа који се налази у литератури;
- критички осврт на резултате до којих долазе методе и технике за решавање проблема оптимизације бежичних сензорских мрежа;
- унапређење решавања проблема оптимизације бежичних сензорских мрежа применом и адаптацијом алгоритама интелигенције ројева, како основних тако и модификованих верзија;
- компаративна анализа резултата разних алгоритама интелигенције ројева за ову класу проблема као и између алгоритама интелигенција ројева и других метода и метахеуристика;

5. План истраживања и структура рада

Истраживање које ће бити спроведено за потребе докторске дисертације биће подељено у неколико фаза, које ће у наставку укратко бити описане.

У првој фази биће детаљно проучена литература, пре свега радови који су објављени у водећим, високо ранжираним међународним часописима и на светским водећим конференцијама, који се односе на решавање проблема оптимизације бежичних сензорских мрежа. Као резултат прве фазе, биће изабрано неколико радова, чији ће резултати бити детаљно анализирани. На основу овога, биће изабрани оптимизациони проблеми који ће бити решавани применом метахеуристика интелигенције ројева.

У следећој фази, проблем који је изабран, биће детаљно проучен и неколико алгоритама ројева ће бити имплементирано и прилагођено за решавање изабраног проблема. Прве ће бити имплементиране основне верзије метахеуристика ројева, чија имплементација за изабрани проблем није пронађена претрагом литературе. Након детаљног тестирања имплементиране метахеуристике, генерисани резултати биће упоређени са применом друге методе/алгоритма и/или метахеуристике роја на исти проблем. Ако се покаже да имплементирана метахеуристика постиже боље резултате од других, раније имплементираних, онда се приступа следећој фази. У супротном, изабрана метахеуристика ће бити побољшана и њени резултати ће бити евалуирани. Ако се закључи да изабрана метахеуристика роја не може ни у основној, нити у унапређеној верзији да постигне задовољавајуће резултате, онда ће се тестирања вршити са неким другим алгоритмом роја.

Конечно, у последњој фази се приступа писању научног рада (радова), који ће бити пласирани у неким међународним часописима и/или конференцијама. У овом раду ће детаљно бити приказани резултати изабране метахеуристике роја и биће приказана опсежна компаративна анализа са другим резултатима из литературе.

У складу са свим наведеним, **план истраживања** докторске дисертације може да се организује у следећим фазама:

	ФАЗА	ЗАДАТАК	МЕТОДЕ, ТЕХНИКЕ, СТАНДАРДИ
I	Претраживање литературе и прикупљање података	Прикупљање и анализа радова који су објављени у еминентним међународним часописима (SCI листе), а који се баве решавањем проблема оптимизације бежичних сензорских мрежа. На основу овога, видеће се који се све типови проблема оптимизације спомињу у литератури и биће дефинисани њихови математички модели.	- Претраживање стручне литературе - Анализа радова - Претраживање Интернет ресурса - Анализа математичких модела
II	Анализа података	Детаљна анализа резултата које разне методе, технике и алгоритми постижу у решавању оптимизационих проблема бежичних сензорских мрежа. Компаративна анализа резултата примењених метода, техника и алгоритама чији су резултати објављени у прикупљеним радовима.	- Сагледавање разних метода, техника - Сагледавање алгоритама интелигенције ројева - Компаративна анализа резултата у решавању проблема оптимизације у бежичним сензорским мрежама - Анализа резултата

III	Избор оптимизационог проблема	На основу фазе II, бира се оптимизациони проблем за који примењене методе, технике и алгоритми нису дали најбоље резултате и за који се претпоставља да се може боље оптимизовати, тј. да се применом метахеуристика ројева на дати проблем могу генерисати бољи резултати, и у смислу брзине конвергенције, и у смислу проналажења оптималних или близу оптималних решења.	- Анализа и одабир оптимизационог проблема у бежичним сензорским мрежама - Анализа метода, техника и алгоритама у решавању конкретног проблема - Сагледавање резултата на основу брзине конвергенције - Сагледавање резултата на основу проналаска оптималних или близу оптималних решења - Анализа и методе за побољшање применом метахеуристика интелигенције ројева
IV	Имплементирање метахеуристика интелигенције ројева	Имплементација неколико основних верзија алгоритама ројева за које се претпоставља да ће за изабрани проблем дати боље резултате. Основне метахеуристике ројева се прилагођавају за изабрани проблем. Прилагођавање се пре свега односи на начин на који ће се проблем моделирати у индивидуу алгоритма роја.	- Биће развијен framework за сваки имплементирани алгоритам коришћењем Java SE 9 технологије - Сваки алгоритам биће адаптиран за решавање проблема

V	Тестирање имплементираних алгоритама	Имплементирани и прилагођени алгоритми се тестирају кроз више извршавања (енг. run) и бележе се постигнути резултати. Ако основне верзије које су имплементиране постижу боље резултате од других метода, техника и алгоритама које су раније тестиране за исти проблем, онда се прелази на фазу VI, а уколико не, онда се основне метаheurистике ројева унапређују и/или хибридизују и поново тестирају.	- Алгоритми ће бити тестирани у контексту робусности и квалитета резултата кроз минимум 30 пуштања (run) - За потребе визуелизације и прецизнијег представљања резултата биће развијена посебна софтверска компонента у оквиру framework-a
VI	Објављивање постигнутих резултата у међународним часописима и конференцијама	Резултати једног или више најбољих алгоритама ројева који су имплементирани се објављују у међунаордним часописима и конференцијама и реферише се рад или радови који служе за компаративну анализу резултата.	-

Структуру докторске дисертације, сачињавало би следећих осам поглавља:

1. Увод
 - 1.1. Предмет и структура истраживања
 - 1.2. Циљ истраживања
 - 1.3. Полазне хипотезе
 - 1.4. Методе истраживања
2. Технологија, архитектура и протоколи бежичних сензорских мрежа
 - 2.1. Појам и историја бежичних сензорских мрежа
 - 2.2. Подела бежичних сензорских мрежа
 - 2.3. Технологија сензорских чворова
 - 2.4. Технологија бежичног преноса
 - 2.5. Протоколи у бежичним сензорским мрежама
 - 2.6. Оперативни системи бежичних сензорских мрежа
 - 2.7. Апликације бежичних сензорских мрежа
3. Појам и класификација проблема оптимизације
 - 3.1. Дефинисање проблема оптимизације
 - 3.2. Подела проблема оптимизације
 - 3.3. Класе комплексности
4. Проблеми оптимизације у бежичним сензорским мрежама
 - 4.1. Изазови бежичних сензорских мрежа
 - 4.2. Проблем одређивања позиција сензорских чворова
 - 4.3. Више-циљна оптимизација
 - 4.4. Преглед литературе
5. Метакеуристике интелигенције ројева
 - 5.1. Таксономија оптимизационих алгоритама
 - 5.2. Појам и подела метакеуристичких алгоритама
 - 5.2.1. Метакеуристике које нису инспирисане природом
 - 5.2.2. Метакеуристике инспирисане природом
 - 5.3. Принципи и темељи метакеуристике интелигенције ројева
 - 5.3.1. Успостављање баланса између експлоатације и експлорације
6. Алгоритми интелигенције ројева
 - 6.1. Алгоритам оптимизације претрагом свитаца
 - 6.2. Оптимизација ројевима честица
 - 6.3. Оптимизација претрагом кукавица
7. Унапређење решавања оптимизационих проблема бежичних мрежа помоћу метакеуристике интелигенције ројева
 - 7.1. Бежичне сензорске мреже
 - 7.1.1. Проблем одређивања позиције сензорских чворова у бежичним сензорским мрежама
 - 7.1.2. Метакеуристика
 - 7.1.3. Експериментални резултати и дискусија

8. Компаративна анализа и приказ резултата примењених метахеуристика и метода
 - 8.1. Компаративна анализа резултата алгоритама интелигенције ројева
 - 8.2. Компаративна анализа резултата алгоритама интелигенције ројева и других метахеуристика и метода
9. Референтна литература



7. Закључак и предлог

Из изложеног се може закључити да кандидат Ивана Штрумбергер, дипл. инж. испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању за одобрење израде докторске дисертације под насловом “УНАПРЕЂЕЊЕ РЕШАВАЊА ПРОБЛЕМА ОДРЕЂИВАЊА ПОЗИЦИЈА СЕНЗОРСКИХ ЧВОРОВА У БЕЖИЧНИМ СЕНЗОРСКИМ МРЕЖАМА ПРИМЕНОМ МЕТАХЕУРИСТИКА ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ РОЈЕВА”.

Ивана Штрумбергер поседује неопходна знања из области рачунарства, бежичних сензорских мрежа, вештачке интелигенције, оптимизација, метакхеуристика интелигенције ројева, као и капацитет да успешно ради на докторској дисертацији.

Тема докторске дисертације спада у групу актуелних и мултидисциплинарних проблема који имају све већи значај у телекомуникацијама, електротехници, математици, операционим истраживањима и рачунарству.

На основу свега наведеног, комисија предлаже Наставно-научном већу да прихвати предложену тему и одобри израду пријављене докторске дисертације. За ментора докторске дисертације предлаже се др Мирослав Миновић, ванредни професор Факултета организационих наука, Универзитета у Београду.

Београд, 25.05.2018.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

др Мирослав Миновић, ванредни професор,
Факултет организационих наука, Универзитета у Београду

др Душан Старчевић, редовни професор,
Факултет организационих наука, Универзитета у Београду

др Милан Станојевић, редовни професор,
Факултет организационих наука, Универзитета у Београду

др Милош Миловановић, доцент,
Факултет организационих наука, Универзитета у Београду

др Милан Туба, редовни професор,
Универзитета у Новом Пазару