

**УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ**  
**Природно-математички факултет****ОБРАЗАЦ 6.****ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ**  
**КАНДИДАТА ДЕЈАНА МИТРОВИЋА**

<b>I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ</b>
<p>1. Датум и орган који је именовao комисију 25.04.2014. Научно-наставно веће Природно-математичког факултета Универзитета у Новом Саду</p> <p>2. Састав комисије са назнаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање, датума избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- др Зоран Будимац, редовни професор, рачунарство, рачунарске науке и информатика, 15.06. 2004., Природно-математички факултет, Универзитет у Новом Саду – председник</li> <li>- др Мирјана Ивановић, редовни професор, рачунарство, рачунарске науке и информатика, 29.04.2002., Природно-математички факултет, Универзитет у Новом Саду – ментор</li> <li>- др Милан Видаковић, редовни професор, примењене рачунарске науке и информатика, 02.07.2014., Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду – члан</li> <li>- др Костин Бадика, редовни професор, рачунарске и информационе технологије, 07.08.2006., Факултет за аутоматiku, рачунарство и електронику, Универзитет у Крајови, Румунија – члан</li> </ul>
<b>II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ</b>
<p>1. Име, име једног родитеља, презиме: Дејан (Иван) Митровић</p> <p>2. Датум рођења, општина, држава: 28.12.1982., Зрењанин, Србија</p> <p>3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив Природно-математички факултет Универзитета у Новом Саду, Дипломирани информатичар – мастер</p> <p>4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија 2008., Докторске академске студије – Информатика</p> <p>5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране:</p> <p>6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука:</p>

### III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Intelligent multiagent systems based on distributed non-axiomatic reasoning  
(Интелигентни мултиагентски системи засновани на дистрибуираном не-аксиоматском резонувању)

### IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Навести кратак садржај са назнаком броја страна, поглавља, слика, шема, графикона и сл.

Докторска дисертација има 179 страна, 7 глава организованих у три дела, 6 табела, 22 слике и 206 библиографских референци. Структурирана је на следећи начин:

Part I: Foundations (Део I: Основни концепти)

Chapter 1: An overview of the agent technology (Глава 1: Преглед агентске технологије)

Chapter 2: Non-axiomatic reasoning (Глава 2: Не-аксиоматско резонување)

Part II: DNARS and Siebog (Део II: DNARS и Siebog)

Chapter 3: Distributed non-axiomatic reasoning system (Глава 3: Дистрибуирани систем за не-аксиоматско резонување)

Chapter 4: The Siebog multiagent middleware (Глава 4: Мултиагентска платформа Siebog)

Chapter 5: Case studies (Глава 5: Примери)

Part III: Related and future work (Део III: Постојећа и будућа истраживања)

Chapter 6: Related work (Глава 6: Постојећа релевантна истраживања)

Chapter 7: Conclusions and future work (Глава 7: Закључци и будућа истраживања)

Део I се састоји из две главе које уводе основне појмове и дефиниције. Глава 1 је посвећена прегледу агентске технологије, која представља главну тему дисертације. Глава описује агентске архитектуре, кооперацију у мултиагентским системима, агентски-оријентисане програмске језике и мобилност као најбитније концепте агената. Глава 2 пружа детаљан преглед прва четири нивоа *Не-аксиоматске логике* (енг. *Non-Axiomatic Logic – NAL*) која у дисертацији представља основ за интелигентно резонување агената.

Део II садржи главне доприносе дисертације. Састоји се из три главе. У глави 3 је представљен предлог архитектуре потпуно новог и иновативног интелигентног система, названог *Дистрибуирани систем за не-аксиоматско резонување* (енг. *Distributed Non-Axiomatic Reasoning System – DNARS*). DNARS користи NAL као формални оквир за резонување и укључује савремене концепте за ефикасну обраду великих количина података. Поред саме архитектуре, развијени су и адекватни алгоритми који систему омогућују да ефикасно ради за великим базама знања. Глава 4 представља нову мултиагентски платформу названу *Siebo*g. Siebog комбинује савремене принципе развоја серверских и клијентских апликација у јединствени оквир за интелигентне агенте. На серверској страни, Siebog се извршава у кластерима рачунара, чиме, између осталог, нуди аутоматску дистрибуцију агената и отпорност на грешке. На клијентској страни, Siebog је дизајниран тако да омогућује извршавање агената на великом броју хардверских и софтверских платформи. Коначно, Siebog је интегрисан са DNARS-ом како би подржао развој интелигентних агената са јединственим могућностима за резонување. Последња глава овог дела, глава 5, презентује три примера конкретних практичних примена развијених архитектура. Први пример демонстрира како се Siebog може искористити за развој система чије функционалности одговарају савременим мрежама за размену садржаја. У другом примеру је демонстрирана ефикасност DNARS-а у одговарању на велики број упита, а при раду са великом базом знања. Коначно, трећи пример показује како се комбинација Siebog-а и DNARS-а може искористити за развој интелигентних мултиагентских система са конкретним применама.

Део III се састоји из две главе. У глави 6 је дат осврт на постојећа истраживања из области дисертације, тј. из области агентске технологије и из области општих система за резонување. Пружени су описи најбитнијих приступа у овим областима и извршена су поређења са доприносима дисертације. Коначно, у последњој глави, глави 7, су изведени општи закључци резултата дисертације и предложени су будући правци истраживања.

## V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Дисертација у целини, као и њени поједини делови имају добро систематизовану структуру и план излагања. Први део дисертације, који укључује главе 1 и 2, представља уводни део који је добро организован и садржи детаљан преглед свих појмова и дефиниција неопходних за разумевање осталог садржаја дисертације.

У другом делу дисертације, који укључује главе 3-5 су приказани основни резултати дисертације. Проблематика истраживања је јасно формулисана и мотивисана, док су резултати изложени прецизно и систематично.

У трећем делу је у глави 6 дат преглед постојеће литературе и извршена су адекватна поређења постојећих решења са кључним доприносима дисертације. Коначно, у глави 7 су изведени коначни закључци дисертације и представљен је низ отворених питања и могућности за даљи рад и истраживања.

Кандидат је добро систематизовао постојеће радове на овом пољу, док је својим резултатима дао оригиналан допринос области рачунарских наука. Тиме је он у потпуности реализовао постављене циљеве дисертације.

## VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ

1. D. Mitrović, M. Ivanović, Z. Budimac, and M. Vidaković. Radigost: interoperable web-based multi-agent platform. *Journal of Systems and Software*, 90:167–178, 2014. (M21)  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jss.2013.12.029>
2. M. Vidaković, M. Ivanović, D. Mitrović, and Z. Budimac. Extensible Java EE-based agent framework – past, present, future. In M. Ganzha and L. C. Jain, eds., *Multiagent Systems and Applications*, vol. 45 of *Intelligent Systems Reference Library*, pp. 55–88, Springer Berlin Heidelberg, 2013. (M14)  
[http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-33323-1\\_3](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-33323-1_3)
3. D. Mitrović, M. Ivanović, and Z. Geler. Agent-based distributed computing for dynamic networks. *Information Technology and Control*, 43(1):88-97, 2014. (M23)  
<http://dx.doi.org/10.5755/j01.itc.43.1.4588>
4. D. Mitrović, M. Ivanović, Z. Budimac, and M. Vidaković. Supporting heterogeneous agent mobility with ALAS. *Computer Science and Information Systems*, 9(3):1203–1229, 2012. (M23)  
<http://dx.doi.org/10.2298/CSIS120102025M>
5. D. Mitrović, M. Ivanović, M. Vidaković, and Z. Budimac. Extensible Java EE-based agent framework in clustered environments. In J. Mueller, M. Weyrich, and A. L. C. Bazzan, eds., *12th German Conference on Multiagent System Technologies*, vol. 8732 of *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 202–215, Springer International Publishing, 2014. (M51) [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-11584-9\\_14](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-11584-9_14)
6. M. Ivanović, M. Vidaković, D. Mitrović, and Z. Budimac. Evolution of Extensible Java EE-based Agent Framework. In G. Jezic, M. Kusek, N.-T. Nguyen, R. Howlett, and L. Jain, eds., *Agent and Multi-Agent Systems. Technologies and Applications*, vol. 7327 of *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 444–453, Springer Berlin / Heidelberg, 2012. (M51) [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-30947-2\\_49](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-30947-2_49)
7. D. Mitrović, M. Ivanović, and M. Vidaković. Introducing ALAS: a novel agent-oriented programming language. In T. E. Simos, ed., *Proceedings of Symposium on Computer Languages, Implementations, and Tools (SCLIT 2011)*, vol. 1389 of *AIP Conference Proceedings*, pp. 861–864, September 2011. (M51)  
<http://dx.doi.org/10.1063/1.3636869>

8. D. Mitrović, M. Ivanović, and C. Bădică. Delivering the multiagent technology to end-users through the web. In *Proceedings of the 4th International Conference on Web Intelligence, Mining and Semantics (WIMS14)*, pp. 54:1–54:6, ACM, 2014. (M33) <http://dx.doi.org/10.1145/2611040.2611102>
9. D. Mitrović, M. Ivanović, and C. Bădică. Jason agents in Java EE environments. In E. Petre and M. Brezovan, eds., *3rd Workshop on Applications of Software Agents (WASA 2013)*, held within *17th International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC 2013)*, pp. 768–771, Sinaia, Romania, October 2013. (M33) <http://dx.doi.org/10.1109/ICSTCC.2013.6689054>
10. D. Mitrović, M. Ivanović, M. Vidaković, and A. Al-Dahoud. Developing software agents using Enterprise JavaBeans. In *Local Proceedings of the Fifth Balkan Conference in Informatics (BCI 2012)*, pp. 147–149, 2012. (M33)

## VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Научни резултати дисертације се могу сагледати у оквирима два правца истраживања датим у делу II дисертације.

Оригинални допринос се приказују почев од главе 3, дефиницијом архитектуре система названог *Дистрибуирани систем за не-аксиоматско резоновање* (енг. *Distributed Non-Axiomatic Reasoning System – DNARS*). DNARS је дефинисан као интелигентан систем за резоновање, а који се ослања на формализам под називом *Не-аксиоматска логика* (енг. *Non-Axiomatic Logic – NAL*). И док су опште функционалности DNARS-а засноване на принципима NAL-а, његова јединствена архитектура му омогућује да ефикасно ради са великим базама знања. Конкретно, архитектура је дизајнирана тако да дозвољава DNARS-у да изводи нове закључке и пружа одговоре на питања ослањајући се при томе на веома велики број постојећих чињеница и њихових релација. Уз архитектуру, предложена су и два могућа скупа алгоритама који употпуњују DNARS, и, као веома битна функционалност, омогућују му да одговара на питања у реалном времену чак и код веома великих база знања.

Даље, поред DNARS-а, у оригиналан допринос се убраја и потпуно нова мултиагентска платформа названа *Siebog*, која је детаљно презентована у глави 4. Оно што Siebog издваја од свих осталих платформи је дистрибуирана архитектура заснована на савременим принципима развоја индустријских и веб апликација. Тачније, Siebog садржи серверски и клијентски део. Серверски део ефикасно користи кластере рачунара како би пружио две веома битне функционалности: аутоматску дистрибуцију агената и отпорност на грешке. Аутоматска дистрибуција агената распоређује агенте система по кластерима рачунара и тиме омогућује Siebog-у да подржи велика групе агената. Са друге стране, отпорност на грешке која је интегрални део Siebog-а омогућује његовим агентима да наставе свој рад без обзира на проблеме који могу настати у хардверу или софтверу. Клијентски део Siebog-а је платформски независан, те се, без икаквих измена или подешавања, може извршавати на великом броју хардверских и софтверских платформи, укључујући ту класичне рачунаре, „паметне“ телефоне и таблете, „паметне“ телевизоре, итд. Серверска и клијентска страна Siebog-а су интегрисане на начин који пружа додатне функционалности од велике важности за мултиагентске системе: размену порука независну од платформе, дељење агентског кода, и хетерогена мобилност агената. Коначно, Siebog је интегрисан са DNARS-ом у јединствену мултиагентску платформу, која омогућује развој и практичне примене агената са јединственим когнитивним способностима.

Конкретне практичне примене развијених система су представљене у глави 5. Дата су три илустративна примера. Први пример демонстрира како се коришћењем Siebog-а може направити мултиагентски систем чије функционалности одговарају савременим социјалним мрежама за размену садржаја. Овај пример потврђује да је испуњен један од главних циљева развоја Siebog-а: попуњавање „празнине“ између агентске технологије и савремених веб апликација. Сврха другог примера је да потврди претпоставке које су изнете у глави 3. Тачније, други пример показује да DNARS у реалном времену може опслуживати велики број клијената, тј. пружати одговоре на велики број питања у реалном времену на основу веома велике базе знања. Коначно, трећи пример

демонстрира практичну употребу интелигентних агената који се заснивају на Siebog-у и DNARS-у. Показано је како се оваква комбинација решења може искористити за извођење новог структурираног знања.

### **VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА**

Приказ свих резултата истраживања је добро организован по логичким целинама, а формулација резултата је прецизна и добро илустрована примерима. Тумачење добијених резултата је коректно изведено, уз детаљну анализу која пружа одговоре на велики број питања.

### **IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме

Увидом у образложење наведено у пријави теме се може утврдити да је дисертација написана у складу са програмом истраживања наведеним у пријави теме и да су добијени резултати који су предвиђени у пријави теме.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе

Дисертација садржи све битне елементе. Дат је опширан увод у концепте и теорију који служе као полазна основа за резултате добијене у каснијим поглављима. Изложени су сви битни познати резултати на које се дисертација ослања. Детаљан приказ резултата добијених у овој докторској дисертацији дат је у каснијим поглављима. Обиман списак библиографских референци садржи релевантне радове и сведочи о добром познавању области. Дисертација је прегледна и добро организована.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци

У оригиналне доприносе дисертације спадају:

- Дизајн архитектуре новог система DNARS за интелигентно резоновање и одлучивање, са солидним теоријским основама,
- Развој два скупа нових алгоритама, који у комбинацији са претходно дефинисаном архитектуром омогућују DNARS-у да ефикасно ради са великим базама знања, да изводи нове закључке и пружа одговоре на велики број питања у реалном времену,
- Дизајн нове мултиагентске платформе Siebog која се заснива на савременим принципима развоја веб апликација,
- Јединствена подршка за извршавање у рачунарским кластерима Siebog-a на серверу, и платформски-независна реализација на клијенту,
- Интеграција серверске и клијентске стране Siebog-a на начин који омогућује платформски-независну комуникацију агената, дељење агентског кода, и хетерогену мобилност агената,
- Интеграција Siebog-a и DNARS-a у јединствени, дистрибуирани програмски оквир за развој и практичне примене интелигентних мултиагентских система, који се заснивају на агентима са јединственим когнитивним способностима.

Сви наведени доприноси представљају помаке у одговарајућим рачунарским дисциплинама, па и шире, јер дају важне увиде у могућности развоја интелигентних мултиагентских система, предлажу добра решења идентификованих проблема, и стварају бројне могућности за будућа истраживања у области софтверских агената и вештачке (опште) интелигенције.

4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања

Дисертација нема недостатака.

**X ПРЕДЛОГ:**

На основу укупне позитивне оцене дисертације, комисија предлаже да се докторска дисертација под називом „Intelligent multiagent systems based on distributed non-axiomatic reasoning“ кандидата Дејан Митровића прихвати, а кандидату одобри јавна одбрана дисертације.

ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

\_\_\_\_\_  
др Зоран Будимац, редовни професор, председник

\_\_\_\_\_  
др Мирјана Ивановић, редовни професор, ментор

\_\_\_\_\_  
др Милан Видаковић, редовни професор, члан

\_\_\_\_\_  
др Костин Бадика, редовни професор, члан