

22.05.2014. године
Београд,

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
Веће научних области техничких

Београд
Студентски трг бр 1

У прилогу дописа достављамо потребну документацију за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације кандидата Дарка Ковачевића.

Захтев се доставља у складу са чланом 54 Закона о Универзитету.

С поштовањем,

СЕКРЕТАР ФАКУЛТЕТА

Гордана Алексић Славински, дипл. правник

Факултет организационих наука

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

04-03-11/76
(Број захтева)

Веће научних области техничких наука
(Назив стручног већа коме се захтев упућује
сходно чл. 6. и члану 7. ст. 1. овог Правилника)

22.05.2014.
(Датум)

ЗАХТЕВ
за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације

Молимо да, сходно члану 57. ст. 3. Закона о универзитету («Службени гласник РС» бр. 21/02), дате сагласност на предлог теме докторске дисертације: (пун назив предложене теме докторске дисертације)
Фази каузалних система раног упозорења

НАУЧНА ОБЛАСТ: ОРГАНИЗАЦИОНЕ НАУКЕ

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног од родитеља и презиме кандидата:
Дарко (Оливера) Ковачевић
2. Назив и седиште Факултета на коме је стекао високо образовање: Електротехнички факултет
3. Година дипломирања: 2005. година
4. Назив приступног рада кандидата: Каузални систем раног упозорења
5. Назив факултета на коме је приступни рад одбрањен: ФОН
6. Година одбране приступног рада: 2014. година
7. Назив факултета на коме је кандидат завршио докторске студије: /
Одсек, смер или група: /
Година завршетка докторских студија: _____

Обавештавамо вас да је: НАСТАВНО НАУЧНО ВЕЋЕ ФОН-А
(назив надлежног тела факултета)

на седници одржаној: 21.05.2014. године размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Прилог:

1. Предлог теме докторске дисертације са образложењем.
2. Акт надлежног тела факултета о подобности теме за израду докторске дисертације.

Проф. др Милан Мартић

05-01 бр.3/45-10
26.5.2014.

Поводом предлога Већа студијског програма докторских академских студија, а на основу члана 56. Статута Факултета, на седници Наставно-научног већа одржаној 21.5.2014. године, једногласно је донета следећа

ОДЛУКА

Усваја се Извештај Комисије за оцену научне заснованости пријављене докторске дисертације кандидата на докторским студијама Дарка Ковачевића под насловом »ФАЗИ КАУЗАЛНИ СИСТЕМИ РАНОГ УПОЗОРЕЊА«. За ментора се предлаже др Братислав Петровић, ред. проф. ФОН-а. Извештај се доставља Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

Председник Наставно-научног већа

Проф. др Милан Мартић

Доставити:

- Стручном сараднику за ПДС
- Ментору
- Секретару органа управљања и стручних органа
- Архиви



Република Србија
Универзитет у Београду
Факултет организационих наука

Број индекса: 19/2008

04-03-11/74

Датум: 22.05.2014.

На основу члана 161. Закона о општем управном поступку и службене евиденције, издаје се

УВЕРЕЊЕ О ПОЛОЖЕНИМ ИСПИТИМА

Дарко Ковачевић, име једног родитеља Оливера, рођена 12.12.1975.године, у месту Краљево, Краљево - град, Република Србија, 2008/09. школске године уписана на докторске академске студије на 1. годину, 2013/14. школске године први пут уписана у 3. годину, самофинансирање, студијски програм Управљање системима (кибернетика), током студија положила је испите из следећих предмета:

Р.бр.	Шифра	Назив предмета	Оцена	ЕСПБ	Фонд часова**	Датум
1.	ДС07056	Временске серије и фрактали	9 (девет)	10	I:(45+0+60)	03.02.2009.
2.	ДС07046	Теорија система	10 (десет)	10	I:(45+0+60)	09.04.2009.
3.	ДС07053	Динамички модели финансијских тржишта	8 (осам)	10	I:(45+0+60)	10.05.2009.
4.	ДС07050	Теорија игара	10 (десет)	10	I:(45+0+60)	15.12.2009.
5.	Д00047	Фази логика и системи	10 (десет)	10	I:(45+0+60)	10.10.2010.
6.	Д00048	Стохастички процеси	10 (десет)	10	I:(45+0+60)	10.11.2010.
7.	Д00052	Неуронске мреже и системи	10 (десет)	10	I:(45+0+60)	13.12.2010.
8.	Д00089	Оптимално управљање	10 (десет)	10	II:(45+0+60)	01.04.2013.
9.	ДС07096	Изабрана поглавља операционих истраживања	10 (десет)	10	II:(45+0+60)	05.04.2013.

* - еквивалентан/признат испит.

** - фонд часова је у формату (предавања+вежбе+остало).

Општи успех: 9,67 (девет и 67/100) , по годинама студија (10,00, /, /).

Настава на овим студијама траје три.

Виши стручни сарадник за докторске студије

др Марина Јовановић-Миленковић

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

за кандидата Дарка Ковачевића

Име и презиме ментора: др Братислав Петровић

Звање: редовни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације

(Навести: име и презиме аутора, наслов рада, наслов часописа, број часописа, година издања, ISBN (DOI) број, IF):

1. Milošević, P., Petrović, B., Radojević, D., Kovačević, D.: A software tool for uncertainty modeling using Interpolative Boolean algebra, Knowledge-Based Systems, Vol 62, 2014, pp. 1-10. ISSN:0950-7051, DOI:10.1016/j.knosys.2014.01.019 IF2012: 4,104 (M21)
2. Kovacević, D., Mladenović, N., Petrović, B., Milosević, P.: DE-VNS: Self-adaptive Differential Evolution with crossover neighborhood search for continuous global optimization, Computers & Operations Research, 2014. ISSN:0305-0548, DOI:10.1016/j.cor.2013.12.009 IF2012: 1,909 (M21)
3. Minić, T., Petrović, B., Ilić, O.: A New Approach to Integral Information System of a Company for Business and Sustainable Development, Amfiteatru Economic, Vol 15, Special No 7, 2013, pp. 769-783. ISSN(print):1582-9146 / ISSN(on-line):2247-9104, IF2012: 0,953 (M22)
4. Koskie, S., Skatarić, D., Petrović, B.: Convergence Proof for Recursive Solution of Linear-Quadratic Nash Games for Quasi-Singularly Perturbed Systems, Dynamics of Continuous, Discrete and Impulsive Systems, Vol 9, No 2, 2002, pp. 317-333. ISSN(print):1492-8760 / ISSN(on-line):1918-2538, IF2002: 0,711 (M22)
5. Spaić, R., Ilić, R., Dragović, M., Petrović, B.: Generation of Dose-Volume Histograms Using Monte Carlo Simulations on a Multicellular Model in Radionuclide Therapy, Cancer Biotherapy and Radiopharmaceuticals, Vol 20, No 3, 2005, pp. 320-324. ISSN(print):1084-9785 / ISSN(on-line):1557-8852, DOI:10.1089/cbr.2005.20.320 IF2005: 1.669 (M22)
6. Petrović, B., Gajić, Z.: The Recursive Solution of Linear Quadratic Nash Games for Weakly Interconnected Systems, Journal of Optimization Theory and Applications, Vol 56, No 3, 1988, pp. 463-477. ISSN:0022-3239, DOI:10.1007/BF00939553 IF1988: 0,428 (M21)
7. Dragović, I., Turajlić, N., Radojević, D., Petrović, B.: Combining Boolean Consistent Fuzzy Logic and Ahp Illustrated on the Web Service Selection Problem, International Journal of Computational Intelligence Systems, Vol 7, Supp 1, 2014, pp. 84-93. ISSN(print):1875-6891 / ISSN(on-line):1875-6883

Заокружити одговарајућу опцију(А,Б,В или Г):

А) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији техничко-технолошких, природно-математичких и медицинских наука ментор треба да има најмање три рада са SCI, SSCI, AHCI или SCIE листе.

Б) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији друштвено-хуманистичких наука ментор треба да има најмање три рада са релевантне листе научних часописа (Релевантна листа научних часописа обухвата SCI, SSCI, AHCI и SCIE листе, листу часописа које је Министарство за науку класификовало као M24 и додатну листу часописа коју ће, на предлог универзитета, донети Национални савет за високо образовање. Посебно се вреднују и монографије које Министарство науке класификује као M11, M12, M13, M14, M41 и M51.)

В) У случају израде докторске дисертације према ранијим прописима за кандидате који су стекли академски назив магистра наука ментор треба да има пет радова (рефернци) које га, по оцени Већа научних области, квалификују за ментора односне дисертације.

Г) У случају да у ужој научној области нема квалификованих наставника, приложити одлуку Већа докторских студија о именовању редовног професора за ментора.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Датум _____

М.П. _____

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU

Predmet: Podobnost teme i kandidata **Darka Kovačevića** za izradu doktorske disertacije

Odlukom Nastavno-naučnog veća FON-a 05-01 br. 3/119-8 od 28.8.2013. imenovani smo za članove Komisije za ocenu podobnosti teme i kandidata **Darka Kovačevića**, za izradu doktorske disertacije i naučne zasnovanosti teme **"Fazi kauzalni sistemi ranog upozorenja"**.

Na osnovu materijala priloženog uz Zahtev kandidata, Komisija podnosi sledeći

R E F E R A T

1. Podaci o kandidatu

1.1. Biografski podaci

Darko Kovačević je rođen 12. decembra 1975. godine u Kraljevu. Diplomirao je na Elektrotehničnom fakultetu, Univerziteta u Beogradu 2005. godine na odseku za Telekomunikacije gde je stekao i master diplomu iz oblasti Telekomunikacija.

Posle diplomiranja zaposlio se u Narodnoj banci Srbije gde radi do danas. Poslovnu karijeru započeo je u Sektoru za kontrolu poslovanja banaka kao asistent portfolio menadžera gde je radio na poslovima izrade kvartalnih analiza i informacija o italijanskim bankama i unapređenju izveštajnog sistema Narodne banke Srbije.

Od jula 2007. do jula 2011. radi na sistematizovanom mestu višeg stručnog saradnika, a kasnije i na mestu kvantitativnog analitičara na poslovima ocene rizika bankarskog sektora Republike Srbije, postaje član tima Narodne banke Srbije za saradnju sa FSSP misijom, i postaje član grupe za implementaciju BASEL II standarda.

2009. godine inicira i rukovodi projektom izgradnje metodologije stres testova bankarskog sektora Republike Srbije, koji je definisan kao strateški cilj Narodne banke Srbije. U okviru ovog projekta sarađuje sa eminentnim svetskim ekspertima iz ove oblasti kao i sa predstavnicima Međunarodnog monetarnog fonda i Evropske centralne banke. Prva faza projekta je uspešno završena 2010. godine i postaje sastavni deo analize rizika u bankarskom sektoru.

U toku 2010. godine inicira projekat Makroekonomskog kreditnog rizika, u kome predlaže metodologiju ocene kreditnog rizika u zemljama u tranziciji, metodologiju za ocenu uzročnosti u makroekonomskim sistemima i kritički se osvrće na nedostatke BASEL II metodologije ocene rizika na primeru Srbije. Rad na ovom projektu rezultovao je naučnim radom pod nazivom "Proposition of macroeconomic credit risk modeling: From stability to supervision – two sides of the same coin Case of Serbia" koji je na svetskom takmičenju naučnih radova koje svake druge godine održava Banka za međunarodna poravnanja, ušao u najuži izbor za nagradu. Rad se našao na petom mestu od ukupno deset radova koji su ušli u najuži izbor.

Od jula 2011. godine do danas nastavlja svoju karijeru u Sektoru za finansijsku stabilnost kao glavni kvantitativni analitičar i kasnije kao vršilac dužnosti direktora odeljenja za razvoj i primenu kvantitativnih modela na poslovima planiranja i koordinacije razvijanja metodologija za analizu i procenu rizika u finansijskom sektoru, rukovođenja i učestvovanja u analizi pretpostavki stres test modela i stresnih scenarija, kontrolisanja sprovođenja stres testova, planiranja i koordinacije razvoja naprednih metodologija stres testiranja u skladu sa najboljim svetskim praksama, planiranja i koordinacije izrade kvartalnog izveštaja o rezultatima stres testova i prezentovanja Izveštaja Izvršnom odboru.

Takođe rukovodi i koordinira aktivnosti vezane za razvoj metodologija za ocenu sistemskog rizika i rukovodi razvijanjem mrežnih modela izloženosti bankarskog sektora. U ovom periodu započinje projekat sistema ranog upozorenja sistemske krize i pojedinačnih finansijskih institucija koji postaju osnov za predloženu doktorsku disertaciju.

U junu 2011. godine, na poziv organizatora Prve godišnje konferencije mladih srpskih ekonomista prezentuje naučni rad "Consistent Interpolative Fuzzy Logic and Investment Decision Making" u kome predstavlja vrednosno konzistentnu fazi logiku i njenu primenu u teoriji odlučivanja. Ovaj naučni rad predstavlja osnovu predloženog fazi pristupa koji će detaljno biti obrađen u doktorskoj disertaciji.

U periodu od 2011. do 2013. godine rukovodi sa pet predpristupnih projekata Evropske Unije koji se odnose na kvantitativnu ocenu finansijske stabilnosti. Treba napomenuti da su ovi projekti ocenjeni od strane Evropske centralne banke najvišom mogućom ocenom.

Svoj rad, kako profesionalni tako i naučni, predstavljao je na velikom broju konferencija i ekspertskih poseta vodećim evropskim finansijskim institucijama iz oblasti koje obuhvataju kvantitativne finansije, stres testove, primene teorije kopula u finansijama, teorije mrežnog modelovanja finansijskih sistema, sisteme ranog upozorenja za finansijske institucije, ocene sistemskih rizika, signala ranog upozorenja sistemske krize, primene fazi logike u investicionom odlučivanju, globalne optimizacije.

Takođe, Darko Kovačević je pohađao jednogodišni kurs za sticanje licence Professional Risk Management – PRMIA – Ekonomski fakultet, Univerzitet u Beogradu. Stekao je više sertifikata iz oblasti bankarstva, upravljanja rizicima i finansijske stabilnosti.

Oblasti naučno-istraživačkog rada i interesovanja Darka Kovačevića su: sistemi ranog upozorenja, modeli ocene rizika u finansijama, teorija kauzalnosti, veštačka inteligencija, teorija globalne optimizacije, teorija odlučivanja itd.

Član je Udruženja inženjera elektrotehnike Srbije (UDIES).

1.2. Stečeno naučnoistraživačko iskustvo

Doktorske studije upisuje školske 2008/2009. godine na Fakultetu Organizacionih nauka, studijski program Upravljanje sistemima. Ispiti položeni u toku doktorskih studija obuhvataju pored kurseva iz Teorije sistema i veštačke inteligencije i kurseve sa Ekonomskog fakulteta (koji dopunjuju program doktorskih studija sa teorijom finansijskih tržišta i ekonometrije). Tokom doktorskih studija položio je sve planom i programom predviđene ispite:

• Teorija sistema	10 ESPB
• Fazi logika i sistemi	10 ESPB
• Stohastički procesi	10 ESPB
• Teorija igara	10 ESPB
• Neuronske mreže i sistemi	10 ESPB
• Dinamički modeli finansijskih tržišta	10 ESPB
• Izabrana poglavlja operacionih istraživanja	10 ESPB
• Vremenske serije i fraktali	10 ESPB
• Teorija optimalnog upravljanja	10 ESPB

Kandidat Darko Kovačević je uspešno odbranio pristupni rad pod nazivom “Fazi kauzalni sistem ranog upozorenja” pred komisijom u decembru 2013. godine i ostvario 30 ESPB. (Odbranjen pristupni rad se sastoji od 22.800 reči, odnosno 74 strane teksta).

Kandidat je tokom dosadašnjih doktorskih studija ukupno ostvario 120 ESPB bodova.

Spisak objavljenih radova

Darko Kovačević je, u saradnji sa drugim autorima, objavio više naučnih radova u međunarodnim časopisima, kao i u zbornicima radova sa domaćih i međunarodnih konferencija.

Radovi u časopisima međunarodnog značaja (M20):

- Darko Kovačević, Nenad Mladenović, Bratislav Petrović, Pavle Milošević, *DE-VNS: Self-adaptive Differential Evolution with crossover neighborhood search for continuous global optimization*, Computers & Operations Research, Available online 2 January 2014, doi:10.1016/j.cor.2013.12.009. ISSN: 0305-0548 (**M21, IF2012: 1.909**)
- Pavle Milošević, Bratislav Petrović, Dragan Radojević, Darko Kovačević, A software tool for uncertainty modeling using Interpolative Boolean algebra, Knowledge-Based Systems, Volume 62, May 2014, Pages 1-10, doi:10.1016/j.knosys.2014.01.019. ISSN: 0950-7051 (**M21, IF2012: 4.104**)

Radovi na konferencijama od međunarodnog značaja (M30):

- Darko Kovačević, Petar Sekulić, Aleksandar Rakićević, *"Consistent Interpolative Fuzzy Logic and Investment Decision Making"*, (2011), Prva godišnja konferencija mladih srpskih ekonomista – Narodna banka Srbije.
- Darko Kovačević, Bratislav Petrović, Pavle Milošević, *"Estimating Differential Evolution crossover parameter with VNS approach for continuous global optimization"*, (2012), EURO Mini Conference XXVIII on Variable Neighbourhood Search, Pages 257-264. ISSN: 978-86-7680-260-9
- Darko Kovačević, Pavle Milošević, Bratislav Petrović, *"Continuous DE-VNS for Solving Very Large Optimization Problems"*, (2012), EURO Mini Conference XXVIII on Variable Neighbourhood Search, Book of Abstracts, Pages 3-4.
- Darko Kovačević, Pavle Milošević, Bratislav Petrović, *"Continuous DE-VNS for Solving Very Large Optimization Problems"*, (2013), XI Balkan Conference on Operational Research, Book of Abstracts, Pages 10-11. ISBN: 978-86-7680-279-1

Radovi u časopisima nacionalnog značaja (M50):

- Darko Kovačević, Bratislav Petrović, Pavle Milošević, *Estimating Differential Evolution crossover parameter with VNS approach for continuous global optimization*, Electronic Notes in Discrete Mathematics, Volume 39, 1 December 2012, Pages 257-264, doi:10.1016/j.endm.2012.10.034. ISSN: 1571-0653
- Darko Kovačević, Nenad Mladenović, Bratislav Petrović, Pavle Milošević, *A Comparative Study of Solving Nonlinear Continuous Multidimensional Global Optimization Problems*, 2013, Les Cahiers du GERAD. ISSN: 0711-2440

Radovi na konferencijama od nacionalnog značaja (M60):

- Aleksandar Rakićević, Vladimir Dobrić, Darko Kovačević, *"Investiciono odlučivanje zasnovano na Logičkoj agregaciji finansijskih pokazatelja"*, (2010), XXXVII Simpozijum o operacionim istraživanjima, Pages 455-458. ISBN: 978-86-335-0299-3

•

- Ana Poledica, Vladimir Dobrić, Darko Kovačević, *“Predviđanje kretanja tržišnih indeksa korišćenjem veštačkih neuronskih mreža”*, (2011), XXXVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima, Pages 421-424. ISBN: 978-86-403-1168-7

1.3. Ocena podobnosti kandidata za rad na predloženoj temi

Kandidat Darko Kovačević je tokom doktorskih studija i profesionalne karijere stekao zavidna znanja i iskustva iz oblasti modela ocene rizika u finansijama, teorije sistema, teorije kauzalnosti, veštačke inteligencije, teorija globalne optimizacije, teorije odlučivanja itd.

Na osnovu prethodnog prikaza i uvida u rezultate i iskustva koje je kandidat stekao kroz mnogobrojne naučno-istraživačke, stručne i ostale projekte, i uz posebnu pažnju posvećenu razmatranju objavljenih radova kandidata i analizi položenih ispita na doktorskim studijama, Komisija ocenjuje da je kandidat Darko Kovačević sposoban za rad na predloženoj temi doktorske disertacije, a naročito:

- Imajući u vidu profesionalno iskustvo kandidata u oblasti koja će biti obrađena kroz doktorsku disertaciju;
- Broj i kvalitet prihvaćenih naučnih i stručnih radova koji su rezultat dosadašnjeg rada kandidata na ovu temu;
- Aktuelnost teme koja se obrađuje u doktorskoj disertaciji;
- Značaj naučnog doprinosa doktorske disertacije kako u domaćim okvirima tako i šire, imajući u vidu da su pojedini delovi predložene metodologije predstavljeni na najznačajnijim stručnim skupovima međunarodnih finansijskih institucija.

Smatramo da je kandidat **Darko Kovačević** stekao odgovarajuća znanja i veštine kao i neophodno iskustvo i stručnost kako bi odgovorio i adekvatno obradio predloženu temu „**Fazi kauzalni sistemi ranog upozorenja**“.

2. Predmet i cilj istraživanja

Prikaz predmeta, cilja i hipotetičkih stavova o problemu koji se istražuje

Sistemi ranog upozorenja baziraju se na pružanju

ju entitetima izloženim riziku da preduzmu mere da izbegnu ili smanje rizik i pripreme efektivan odgovor. Funkcionalno, sistemi ranog upozorenja se sastoje od četiri celine:

-

- **Procena rizika:** Pruža osnovne informacije o **uzrocima** koji dovode do pojave rizika kao i **strategija** za ublažavanje i prevenciju rizika;
- : Odnosi se na mogućnost sistema za u cilju **blagovremene** procene potencijalnog rizika kojima bi mogli biti izloženi entiteti.
- **Distribuiranje informacija:** Odnosi se na distribuiranje **pouzdanih** i **jednostavnih** upozorenja ka entitetima od interesa.
- **Odgovor na upozorenja** planovi su ključni elementi efektivnog ranog upozorenja.

U doktorskoj tezi se detaljno proučavaju prve tri funkcionalne celine sistema ranog upozorenja. Četvrta celina, odnosno odgovor na upozorenja, često se nalazi u domenu percepcije određenog subjekta. Treba napomenuti da samo u slučajevima kada su ispunjene sve funkcionalnosti može se govoriti o sistemu ranog upozorenja. Kao što će biti predstavljeno u doktorskoj disertaciji većina postojećih pristupa ne ispunjava navedene funkcionalnosti. Iznenadjujuće mali broj naučnih radova se javlja u ovoj oblasti. Sistemi ranog upozorenja se primenjuju u oblastima prirodnih katastrofa (Basher 2006, Quansah et al. 2010), finansijskih kriza (Kaminsky 1999, Gaytán and Johnson 2002) i finansijskih institucija (Martin 1977, Kolar et al. 2002). Nažalost, veliki procenat doprinosa u ovoj oblasti poistovećuje pojam klasifikacije određenog događaja, na osnovu dostupnih podataka, sa pojmom uzroka događaja i događaja kao posledice. Korišćenje samo klasifikacije kao sistema ranog upozorenja, ne uzimajući u obzir uzročnost u sistemu i vremensku dimenziju para uzrok-posledice događaja, može dovesti do pojave lažne klasifikacije. Sa druge strane većina postojećih sistema ranog upozorenja nema mogućnost implementacije iskustvenog znanja domenskih eksperata u procesu odlučivanja.

U ovoj doktorskoj disertaciji biće predložena metodologija i preporuke sistema ranog upozorenja koje se zasnivaju na prethodnom iskustvu i saznanju, u cilju podrške donosiocu odluka u trenucima kada se upozorenja pojave.

Pri tome se postavljaju četiri problema kojima će se predložena doktorska disertacija baviti, koji predstavljaju funkcionalne celine sveobuhvatne metodologije sistema ranog upozorenja.

Prvo, od velikog skupa varijabli koje su na raspolaganju, potrebno je oceniti koje od njih mogu pomoći u objašnjavanju neke pojave. Po definiciji sistema ranog upozorenja, osim poteškoća u određivanju uzročno posledičnih veza, posebna pažnja će biti posvećena pitanju sa kojim kašnjenjem se javlja posledica, nakon intervencije u sistemu.

Drugi problem u sistemima ranog upozorenja predstavlja indukcija pravila ponašanja iz dostupnih podataka, istovremeno uzimajući u obzir skup pravila koja su iskustveno definisana.

Treći problem se odnosi na samu validaciju modela od strane eksperata date oblasti, koji nužno ne mora imati bilo kakvih znanja o samom matematičkom modelu sistema ranog upozorenja. Imajući to u vidu, biće predložen ekspertski fazi sistem ranog upozorenja koji daje mogućnost ocene sistema širokom broju oblasnih eksperata korišćenjem fazi lingvističkih pravila.

Četvrti problem je ocena samog modela koja se može sastojati od čak nekoliko stotina parametara, koje je neophodno definisati i vrednovati. Iz tog razloga, potrebno je definisati pristupe kojima je, sa velikom sigurnošću, moguće oceniti parametre modela, odnosno optimizovati same parametre datog modela kako bi došli do što kvalitetnije predstave o sistemu ranog upozorenja.

Kroz doktorsku disertaciju, biće predstavljeni dosadašnji rezultati, u sva četiri, napred navedena problema, odnosno nova rešenja i unapređenja postojećih.

Prednost ovakvog sistema ranog upozorenja, koji će se proučavati u doktorskoj disertaciji, predstavlja činjenica da osim verovatnoće mogućeg događaja, odabrana pravila ponašanja daju uvid u strukturu samog predviđanja, odnosno pružaju uvid u najverovatnije uzroke. Osim iskustvenih pravila domenskih eksperata, model pruža mogućnost uzimanja u obzir preferencije ka riziku korisnika sistema ranog upozorenja, automatski se prilagođavajući. Takođe, ukoliko dođe do kratkotrajnih strukturnih lomova sistema koji se ocenjuje, predloženi sistem ranog upozorenja ne gubi na kvalitetu ocene.

Cilj istraživanja doktorske disertacije je identifikacija različitih pristupa modelovanja sistema ranog upozorenja, identifikacija prednosti i nedostataka, ispitivanje mogućnosti za unapređenje odnosno predlaganje novih metodologija kojima bi se unapredio proces.

Odabir varijabli u kauzalnim sistemima

Kao što je prethodno navedeno, prvi problem koji će detaljno biti obrađen u ovoj doktorskoj disertaciji, je problem odabira relevantnih varijabli iz skupa dostupnih varijabli. Odabir varijabli se tretira kao sastavni deo selekcije podataka. Dobro odabrane varijable smanjuju varijanse greške predikcije modela.

Opšte prihvaćeno mišljenje je da prediktivne modele treba konstruisati korišćenjem podskupa dostupnog skupa prediktora, koji je najznačajniji za posmatrani problem predikcije, uzimajući u obzir redundantnost varijabli tog podskupa (Hand et al. 2001, Hall 1999, Liu and Motoda 1998). Blum i Langley (Blum and Langley 1997) su definisali koncepte značajnosti, stroge i slabe značajnosti.

U doktorskoj disertaciji biće dat pregled metoda odabira varijabli koje se koriste u problemima klasifikacije u širokoj oblasti odabira iz podataka. Na osnovu osnovnih koncepata statističkog zaključivanja biće razmotrene prednosti i nedostaci postojećih pristupa merenja interakcija između varijabli, koji predstavljaju jednu od osnovnih tema predložene doktorske

disertacije. Najčešće korišćena mera simetrične interakcije je linearna korelacija. Pored ove mere, često su u upotrebi i robusne mere korelacija tzv. rang korelacije, kopule i informacione mere interakcija. Sve napred navedene mere imaju određene nedostatke i ograničenja kao što će biti pokazano u predloženoj doktorskoj disertaciji.

Uslovna entropija predstavlja asimetričnu meru i često koristi u oceni kauzalnosti. Ipak, ova mera je asimetrična samo zbog razlike entropija individualnih varijabli, a ne iz razloga pravog toka informacija (Schreiber 2000). Na osnovu uslovne entropije može se dobiti bolja mera za ocenu kauzalnosti, koja ima mogućnost merenja toka informacija između dve varijable, uz poštovanje uslova kašnjenja u vremenu. Moguće je izraziti meru transfera entropije kroz meru koju nazivamo generalizovani korelacioni integral. Entropije bazirane na korelacionim integralima su neparametarske mere čija je velika prednost leži u tome što nemaju pretpostavke o dinamici sistema i interakcijama varijabli (Chávez et al. 2003). Generalizovani korelacioni integrali su originalno bili osmišljeni kao ocena korelacionih dimenzija (Grassberger and Procaccia 1984), i često se koriste u analizi dinamike nelinearnih sistema (Hsieh 1989, Kim et al. 1999), pošto su prikladni u skoro svim slučajevima stacionarnih i slabo zavisnih procesa (Prichard and Theiler 1995). Upravo na ovoj meri biće baziran predložen pristup ocene kauzalnosti u sistemima koji će omogućiti smanjenje polaznog skupa varijabli na podskup kauzalnih varijabli.

Pionirski rad u oceni kauzalnosti, primenjen pre svega u ekonomiji, pripisuje se Granger-u (Granger 1969), koji na osnovu korišćenja dve vremenske serije utvrđuje da li jedna serija pomaže u predviđanju druge. Iako ovaj pristup ne pokušava da poveže

serija), on ima široku primenu u mnogim oblastima koje se bave uzročnim zaključivanjem. Štaviše, to je jedna od retkih metoda koja eksplicitno uključuje vremensku informaciju (Granger 1980), koja predstavlja jedan od osnovnih preduslova za sisteme ranog upozorenja. Međutim, linearni Granger test uzročnosti gubi na kvalitetu u slučajevima postojanja nelinearnih uzročno-posledičnih veza.

Moguće je nadgraditi metod linearne ocene Granger kauzalnosti da bi se analizirali uticaji nelinearnih uzročno-posledičnih veza u multivarijabilnim sistemima. Ova nadogradnja ima velike primene u finansijskim problemima. U (Asimakopoulos et al. 2000) se pokazuje postojanje nelinearnih veza između različitih prinosa valutnih parova, dok u (Hiemstra and Jones 1994) autori otkrivaju postojanje nelinearnih kauzalnih veza između cene akcije i obima trgovanja.

Opšti test nelinearne kauzalnosti, prvi predložili Baek i Brock (Baek and Brock 1992) su kasnije unapredili Hiemstra i Jones (Hiemstra and Jones 1994) da bi otklonili neefikasnost linearnog Granger testa kauzalnosti u otkrivanju nelinearnih kauzalnih relacija. Dodatno, Diks i Panchenko (Diks and Panchenko 2005) su ukazali na nedostatak Hiemstra-Jones testa, koji

se odnosi na preveliko odbacivanje nulte hipoteze. Rezultati simulacija prikazu

povećanju veličine uzorka. Diks i Panchenko (Diks and Panchenko 2006) ukazuju na moguć način otklanjanja ovog nedostatka zamenom globalnog testa uzročnosti prosečnim vrednostima mera lokalnih uslovljenih zavisnosti. Njihov novi test ukazuje na slabiji dokaz uzročnost između obrta akcija i prinosa nego u originalnom radu Hiemestra i Jones. Pored testa koji su predložili Hiemestra i Jones, razvijeni su i drugi pristupi ocene nelinearne kauzalnosti. Na primer, (Marinazzo et al. 2008) se bave teorijom reprodukcije jezgra Hilbert-ovog prostora i razvijaju nelinearni test Granger kauzalnosti. Takođe, Diks i DeGoede (Diks and DeGoede 2001) predlažu test baziran na teoretskim informacija Granger uzročnosti. Oni koriste metode uzorkovanja kako bi dobili asimptotska svojstva distribucija verovatnoće za izračunavanje značajnosti test statistike. Nolte i ostali (Nolte et al. 2004) su predložili metod koji je zasnovan na izračunavanju faznog nagiba unakrsnih spektara – PSI između dve vremenske serije, u kome fiksno vreme kašnjenja u interakciji dva sistema utiče na različite frekvencijske komponente na različite načine.

U doktorskoj disertaciji biće predložen novi pristup koji se zasniva na primeni jezgranih normi kako bi se otklonili pojedini nedostaci u vezi sa pristupima Hiemestra- Jones kao i pristupa Diks-Panchenko. Pristup će biti upoređen sa klasičnim i novim metodama ocene kauzalnosti. Na najvećem skupu funkcija zavisnosti do sada, po kandidatovom saznanju, biće predstavljena prednost predloženog pristupa nad postojećim pristupima u slučajevima stacionarnih serija. Pored toga, pokazaće se i robustnost predloženog pristupa u slučajevima nestacionarnih serija, kod kojih ostali pristupi gube na tačnosti.

Elementi predložene fazi logike

Drugi i treći problem, koji su navedeni u uvodu ovog referata, biće rešeni korišćenjem fazi logike, gde će biti predstavljen pristup logičke agregacije koji u potpunosti zadovoljava Bulove aksiome. Biće dat kompletan analitički okvir opisivanja funkcija pripadnosti koji koristi nemonotone konveksne funkcije, a koji je takođe u Bulovom okviru. Na kraju ovog dela doktorske disertacije biće predložen novi indeks važnosti obrazaca koji će biti korišćen u indukciji pravila iz dostupnih podataka.

Koncept fazi logike osmislio je Lofti Zadeh, koji je objavio prvi naučni rad o fazi teoriji davne 1965. godine (Zadeh 1965), koji u izvornom obliku nije bio predstavljen kao metodološki rad iz oblasti teorije upravljanja . Fazi logički sistemi se obično nazivaju *čistim* fazi logičkim sistemima (Wang 1999) ili Mamdani fazi logičkim sistemima (Mamdani 1974, Mamdani and Assilian 1975). Alternativa ovim fazi logičkim sistemima su Takagi-Sugeno fazi logički sistemi (Takagi and Sugeno 1985). Generalno, klasična fazi logika ne zadovoljava Bulove aksiome tako da govorimo o nekonzistentnoj fazi logici.

Upravo iz razloga nekonzistentnosti počinje primena trougaonih normi kao operatora agregacije, koje je predložio Menger (Menger 1942), kako bi se generalizovala svojstva trougaonih nejednakosti određene metrike. Notaciju t-normi i njene dualne reprezentacije t-konorme definisali su Schweizer i Sklar (Schweizer and Sklar 1960, Schweizer and Sklar 1983). Obe ove mere koriste se kao generalizacija veze između Bulove logike i više vrednosne logike. T-norme generalizuju logičko 'i', odnosno konjuktiju, dok t-konorme generalizuje logičko 'ili', odnosno disjunktiju. To su prvi primetili Hohle (Höhle 1978), Klement (Klement 1982b, Klement et al. 2000), Dubois i Prade (Dubois and Prade 1982). Bonissone i Decker (Bonissone and Decker 2013) su istražili svojstva ovih operatora u cilju opisivanja sistema veštačke inteligencije. T-norme i t-konorme su detaljno proučavane u naučnim radovima npr. (Klir and Folger 1988, Dubois and Prade 1985). Posebno kompletna analiza ovih operatora je predstavljena u knjizi (Klement et al. 2000). T-norme su primenjene u teorijama fazi kontrole, kako bi formulisale konjuktivne operatore koje često nazivamo antecedentima ili premisama. Najčešće se koriste minimalna t-norme ili produkt t-norma umesto familija t-normi, uglavnom zbog nedostatka motivacije istraživača, kao što su primetili Driankov i ostali (Driankov et al. 1993).

Veliku studiju o primenljivosti t-normi i t-konorni na verovatnoću fazi događaja pružili su Butnariu i Klement (Butnariu and Klement 1993). Oni su posebnu pažnju posvetili merama t-normi i t-konormi, i u svom radu su pokazali naročiti značaj familije Frankovih t-normi i t-konormi. Bitna osobina familije Frank-ovih t-normi je da one istovremeno predstavljaju i t-norme i kopule (Dubois et al. 2006). U generalizovanom slučaju t-norme imaju mnogo zajedničkih osobina sa kopulama. Nelsen (Nelsen 1999), Alsina i ostali (Alsina et al. 2006) su pokazali da su asocjativne komutativne kopule ekvivalentne t-normama, dok su t-norme koje zadovoljavaju 1-Lipschitz uslov kopule.

Empirijska kopula predstavlja aproksimaciju parametarske kopule i našla je značajnu primenu u analizi osobina procesa kopule, na isti način kao što empirijska funkcija marginalne distribucije pomaže u analizi procesa marginalnih distribucija. Na primer, empirijska kopula je osnovni gradivni blok pri: oceni gustina kopula (Chen and Huang 2007, Omelka et al. 2009), ili merama asocijacije (Schmid et al. 2010, Genest and Segers 2010), kao i pri oceni nezavisnosti procesa (Genest and Rémillard 2004). Fermanian i ostali (Fermanian et al. 2004) i Tsukahara (Tsukahara 2005) su dokazali da empirijska kopula teži parametarskoj kopuli kada uzorak teži beskonačnosti.

Zadeh uvodi koncept mere verovatnoće fazi događaja (Zadeh 1968) na osnovu čega predložimo novu meru asocijacije funkcija pripadnosti korišćenjem empirijskih fazi kopula. U doktorskoj disertaciji biće dokazano da empirijska fazi kopula zadovoljava sve Bulove aksiome.

U predloženoj doktorskoj disertaciji biće predstavljen novi metod koji koristi rešetkasto pretraživanje za odabir obrazaca i fazi izvođenje pravila. Slična ideja predložena je u (Kolari et al. 2002). Najuočljivije razlike u odnosu na druge metode su: ograničavanje kompletne pretrage u odabiru obrazaca, struktura pravila, optimalni skup obrazaca i sposobnost ocene u uslovima dinamičke promene izlazne klase. U okviru predloženog pristupa, kandidat će definisati novi indeks važnosti obrazaca koji će biti korišćen u indukciji pravila iz dostupnih podataka.

Indukcija fazi pravila korišćenjem Evolutivnih algoritama

Evolutivni algoritmi se često primenjuju u fazi logici za odabir obrazaca i izvođenje pravila, npr. (Chyck Karr 1991, Wang et al. 1998, Lekova et al. 1998, Raymer et al. 2000, Casillas et al. 2001). Gonzales i Perez (González and Pérez 2001) koriste zajednički informativni kriterijum i evolutivne algoritme za fazi indukciju pravila i odabir svojstava. Njihov algoritam učenja vrši odabir obrazaca za svako pojedinačno pravilo. Kao rezultat toga, svako pravilo može da ima drugačiji podskup varijabli za identifikovanje klase.

Evolutivni algoritmi su kolektivni pojam za heurističke metode pretraživanja kao što su evolutivne strategije, genetski algoritmi i genetsko programiranje. Evolutivne strategije su nastale u Nemačkoj i pripisuju se Rehenbergu (Rechenberg 1965, Rechenberg 1978) i Švefelu (Schwefel 1965). Genetski algoritmi nastali su u Sjedinjenim Američkim Državama i pripisuju se Holandu (Holland 1962, Holland 1975). Genetsko programiranje predložio je Kramer (Cramer 1985), a prvi ga je detaljno istražio Koza (Koza 1992). Kolekcija radova o istorijskom razvoju Evolutivnih algoritama može se naći u (Fogel 1998). Indukcija sistema klasičnih pravila pomoću Evolutivnih algoritama ima dugu istoriju. Prvi pristupi su predloženi ranih osamdesetih godina (Holland 1975). Veliki broj pristupa je predložen od tada. Međutim, veći deo tih radova se fokusira na indukciju sistema fazi pravila za kontrolne sisteme i probleme regresije (npr. (Russo 1998)). Evolutivni algoritmi se tek u poslednjih 20 godina koriste za indukciju sistema fazi klasifikacije pomoću pravila iz podataka (Ishibuchi et al. 1999, Russo 1998).

U poslednjih 30 godina razvijeno je nekoliko metaheuristika (ili okvira za stvaranje heuristike) kao što su Simulirano kaljenje (Kirkpatrick and Vecchi 1983, Metropolis et al. 2004), Tabu pretraga (Glover 1989, Glover 1990), Pretraga promenljivih okolina-VNS (Mladenović and Hansen 1997), itd. U poslednje dve dekade nastalo je nekoliko novih tehnika optimizacije koje oponašaju biološku evoluciju ili način na koji biološki subjekti komuniciraju u prirodi. Neki od ovih algoritama uspešno su korišćeni u oblastima nelinearnih sistema. Najkorišćeniji algoritmi obuhvataju Algoritam roja čestica - PSO (Kennedy and Eberhart 1995), Genetski algoritam - GA (Goldberg 1989), Diferencijalnu evoluciju - DE (Price et al. 2006, Storn and Price 1995), itd. Posebno interesovanje vlada za globalnu optimizaciju numeričkih problema "crne kutije" sa realnim vrednostima na koje se analitičke metode ne mogu primeniti.

Značajan broj radova posvećen je upoređivanju različitih optimizacijskih pristupa. Takva poređenja su se ranije bazirala na numeričkim referentnim problemima (Vesterstrom and Thomsen 2004), ali se poslednjih godina poređenja vrše i na problemima iz stvarnog života, naročito u inženjerstvu (Panduro et al. 2009) i biologiji (Baker et al. 2010).

Jedna od najpopularnijih metoda koji se koriste za rešavanje ovakve vrste problema je Diferencijalna evolucija, koju su predložili Storn i Price (Storn and Price 1995). Ova heuristika se sastoji od tri osnovna dela: Strategija, ukrštanje i odabir. Strategija diversifikuje populaciju, da bi ublažila problem prerane konvergencije. Ukrštanjem utvrđujemo da će ciljni vektor preživeti do sledeće generacije, a izbor se temelji na kvalitetu rešenja. Vesterstroem i Thomsen (Vesterstrom and Thomsen 2004) su uporedili heuristiku Diferencijalne evolucije sa Algoritmom roja čestica i Evolutivnim algoritmima na mnogobrojnim referentnim problemima. Za većinu problema, DE je nadmašio i PSO i EA u smislu kvaliteta rešenja, odnosno funkcije dobrote. Liu i Lampinen (Liu and Lampinen 2002) su izvestili da su delotvornost, učinkovitost i robusnost DE algoritama osjetljivi na postavke kontrolnih parametara, odnosno parametra mutacije i parametra ukrštanja. Najbolje postavke za upravljačke parametre mogu biti različiti za različite funkcije, a za istu funkciju s različitim zahtevima. Predloženi su različiti hibridi koji se zasnivaju na Diferencijalnoj evoluciji: (Sun et al. 2005, Yao et al. 1999, Lee and Yao 2004) itd.

U ovom delu predložene doktorske teze, biće predstavljen novi metod za rešavanje kontinualnih multimodalnih optimizacionih problema. Ovaj metod, nazvan DE-VNS, zasniva se na primeni Pretrage promenljivih okolina u okviru Diferencijalne evolucije. Promena dimenzionalnih okolina je korišćena za automatizovanu procenu kontrolnog parametra ukrštanja. Biće predstavljeni numerička komparacija predloženog pristupa sa vrhunskim varijantama DE algoritama kao i mnogim drugim pristupima, na osnovu kojih ćemo oceniti performanse predloženog pristupa.

Cilj istraživanja u doktorskoj disertaciji

Glavni cilj istraživanja predložene doktorske disertacije je prevazilaženje problema i nedostataka koji se javljaju u postojećim sistemima ranog upozorenja. Detaljno će biti obrađene sve predhodno navedene funkcionalne celine koje metodologija sistema ranog upozorenja mora da zadovolji. U svakom delu biće dat predlog modifikacije postojećih metoda, odnosno predlaganje novih pristupa kako bi se otklonili nedostaci postojećih metoda. Iako je tematika kompleksna, sama metodologija je lako primenljiva sa gledišta korisnika sistema ranog upozorenja. Štaviše, zbog lingvističke prirode modela sistema, krajnji korisnik može jednostavno i lako donositi odluke na osnovu preporuka sistema. Sam sistem biće proveren na velikom broju realnih i simuliranih problema. Pored toga, metodologija sistema ranog upozorenja biće primenjena na problem tržišta valuta koje se smatra za jedan od najkompleksnijih realnih sistema za ocenu i predviđanje. U doktorskoj disertaciji biće dat, za svaku funkcionalnu celinu, striktni matematički aparat i detaljna analiza u cilju dobijanja validnih zaključaka.

Cilj istraživanja doktorske disertacije je identifikacija različitih pristupa modelovanja sistema ranog upozorenja, identifikacija nedostataka i prednosti, ispitivanje mogućnosti za unapređenje odnosno predlaganje novih metodologija kojima bi se unapredio sam proces.

Okvirna lista relevantnih bibliografskih izvora koja će se koristiti tokom izrade doktorske disertacije

Abe, S., Thawonmas, R. and Kobayashi, Y. (1998) 'Feature selection by analyzing class regions approximated by ellipsoids', Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions on, 28(2), 282-287.

Alsina, C., Schweizer, B. and Frank, M. J. (2006) Associative functions: triangular norms and copulas, World Scientific.

Asimakopoulou, I., Ayling, D. and Mansor Mahmood, W. (2000) 'Non-linear Granger causality in the currency futures returns', Economics Letters, 68(1), 25-30.

Baek, E. and Brock, W. (1992) 'A general test for nonlinear Granger causality: Bivariate model', Iowa State University and University of Wisconsin at Madison Working Paper.

Baillie, R. T. and Bollerslev, T. (1991) 'Intra-day and inter-market volatility in foreign exchange rates', The Review of Economic Studies, 58(3), 565-585.

Baker, S., Schallau, K. and Junker, B. (2010) 'Comparison of different algorithms for simultaneous estimation of multiple parameters in kinetic metabolic models', Journal of integrative bioinformatics, 7(3).

Barry, A., Holmes, J. and Llorca, X. (2004) 'Data mining using learning classifier systems' in Applications of Learning Classifier Systems, Springer, 15-67.

Basher, R. (2006) 'Global early warning systems for natural hazards: systematic and people-centred', Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 364(1845), 2167-2182.

Blahut, R. E. (1987) Principles and practice of information theory, Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc.

Blum, A. L. and Langley, P. (1997) 'Selection of relevant features and examples in machine learning', Artificial intelligence, 97(1), 245-271.

Bonarini, A. (1994) Evolutionary learning of general fuzzy rules with biased evaluation functions: competition and cooperation, translated by IEEE, 51-56.

Bonarini, A. and Trianni, V. (2001) 'Learning fuzzy classifier systems for multi-agent coordination', Information Sciences, 136(1), 215-239.

- Bonissone, P. P. and Decker, K. S. (2013) 'Selecting uncertainty calculi and granularity: An experiment in trading-off precision and complexity', arXiv preprint arXiv:1304.3425.
- Butnariu, D. and Klement, E. P. (1993) Triangular norm-based measures and games with fuzzy coalitions, Springer.
- Carse, B., Fogarty, T. C. and Munro, A. (1996) 'Evolving fuzzy rule based controllers using genetic algorithms', Fuzzy sets and Systems, 80(3), 273-293.
- Casillas, J., Cordon, O., Del Jesus, M. J. and Herrera, F. (2001) 'Genetic feature selection in a fuzzy rule-based classification system learning process for high-dimensional problems', Information Sciences, 136(1), 135-157.
- Chávez, M., Martinerie, J. and Le Van Quyen, M. (2003) 'Statistical assessment of nonlinear causality: application to epileptic EEG signals', Journal of neuroscience methods, 124(2), 113-128.
- Chen, S. X. and Huang, T. M. (2007) 'Nonparametric estimation of copula functions for dependence modelling', Canadian Journal of Statistics, 35(2), 265-282.
- Cont, R. (2001) 'Empirical properties of asset returns: stylized facts and statistical issues'.
- Cowan, A. R. (1992) 'Nonparametric event study tests', Review of Quantitative Finance and Accounting, 2, 343-358.
- Cramer, N. L. (1985) A representation for the adaptive generation of simple sequential programs, translated by 183-187.
- Dall'Aglio, G. (1959) Sulla compatibilità delle funzioni de ripartizione doppia.
- Dall'Aglio, G. (1991) 'Fréchet classes: the beginnings' in Advances in Probability Distributions with Given Marginals, Springer, 1-12.
- Darwin, C. (1859) 'On the origins of species by means of natural selection', London: Murray.
- Davidson, D. (1967) 'Causal relations', The Journal of Philosophy, 691-703.
- De Luca, A. and Termini, S. (1972) 'A definition of a nonprobabilistic entropy in the setting of fuzzy sets theory', Information and control, 20(4), 301-312.
- Devlin, S. J., Gnanadesikan, R. and Kettenring, J. R. (1975) 'Robust estimation and outlier detection with correlation coefficients', Biometrika, 62(3), 531-545.
- Diks, C. and DeGoede, J. (2001) 'A general nonparametric bootstrap test for Granger causality', Global analysis of dynamical systems, 391-403.

- Diks, C. and Panchenko, V. (2005) 'A note on the Hiemstra-Jones test for Granger non-causality', *Studies in Nonlinear Dynamics & Econometrics*, 9(2).
- Diks, C. and Panchenko, V. (2006) 'A new statistic and practical guidelines for nonparametric Granger causality testing', *Journal of Economic Dynamics and control*, 30(9), 1647-1669.
- Divina, F. and Marchiori, E. (2002) *Evolutionary Concept Learning*, translated by 343-350.
- Driankov, D., Hellendoorn, H. and Reinfrank, M. (1993) 'An Introduction to Fuzzy Control', Berlin, Hong Kong: Springer Verlag, 12.
- Dubois, D., Hüllermeier, E. and Prade, H. (2006) 'A systematic approach to the assessment of fuzzy association rules', *Data Mining and Knowledge Discovery*, 13(2), 167-192.
- Dubois, D. and Prade, H. (1982) 'A CLASS OF FUZZY MEASURES BASED ON TRIANGULAR NORMS† A general framework for the combination of uncertain information', *International Journal Of General System*, 8(1), 43-61.
- Dubois, D. and Prade, H. (1985) 'A review of fuzzy set aggregation connectives', *Information Sciences*, 36(1), 85-121.
- Duda, R. O., Hart, P. E. and Stork, D. G. (2012) *Pattern classification*, John Wiley & Sons.
- Dunis, C. and Williams, M. (2002) 'Modelling and Trading the EUR/USD Exchange Rate: Do Neural Network Models Perform Better?', *Derivatives use, trading and regulation*, 8(3), 211-239.
- Embrechts, P., McNeil, A. and Straumann, D. (2002) 'Correlation and dependence in risk management: properties and pitfalls', *Risk management: value at risk and beyond*, 176-223.
- Fermanian, J.-D., Radulović, D. and Wegkamp, M. (2004) 'Weak convergence of empirical copula processes', *Bernoulli*, 847-860.
- Fogel, D. B. (1998) *Evolutionary computation: the fossil record*, Wiley-IEEE Press.
- Frank, M. J. (1979) 'On the simultaneous associativity of $F(x, y)$ and $x+y - F(x, y)$ ', *Aequationes Mathematicae*, 19(1), 194-226.
- Fréchet, M. (1951) 'Sur les tableaux de corrélation dont les marges sont données', *Ann. Univ. Lyon Sect. A*, 9, 53-77.
- Freitas, A. A. (2002) *Data mining and knowledge discovery with evolutionary algorithms*, Springer.
- Frenkel, M., Pierdzioch, C. and Stadtmann, G. (2005) 'The effects of Japanese foreign exchange market interventions on the yen/US dollar exchange rate volatility', *International Review of Economics & Finance*, 14(1), 27-39.
- Gaytán, A. and Johnson, C. A. (2002) *A review of the literature on early warning systems for banking crises*, Central Bank of Chile.

- Gençay, R., Dacorogna, M., Muller, U. A., Pictet, O. and Olsen, R. (2001) An introduction to high-frequency finance, Academic Press.
- Genest, C. (1987) 'Frank's family of bivariate distributions', *Biometrika*, 74(3), 549-555.
- Genest, C. and Rémillard, B. (2004) 'Test of independence and randomness based on the empirical copula process', *Test*, 13(2), 335-369.
- Genest, C. and Segers, J. (2010) 'On the covariance of the asymptotic empirical copula process', *Journal of Multivariate Analysis*, 101(8), 1837-1845.
- Giordana, A. and Neri, F. (1995) 'Search-intensive concept induction', *Evolutionary computation*, 3(4), 375-416.
- Glasser, G. J. and Winter, R. F. (1961) 'Critical values of the coefficient of rank correlation for testing the hypothesis of independence', *Biometrika*, 444-448.
- Glover, F. (1989) 'Tabu search-part I', *ORSA Journal on computing*, 1(3), 190-206.
- Glover, F. (1990) 'Tabu search—part II', *ORSA Journal on computing*, 2(1), 4-32.
- Goldberg, D. E. (1989) Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning, Addison-wesley Reading Menlo Park.
- González, A. and Pérez, R. (2001) 'Selection of relevant features in a fuzzy genetic learning algorithm', *Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, IEEE Transactions on*, 31(3), 417-425.
- Granger, C. W. (1969) 'Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods', *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 424-438.
- Granger, C. W. (1980) 'Testing for causality: a personal viewpoint', *Journal of Economic Dynamics and control*, 2, 329-352.
- Grassberger, P. and Procaccia, I. (1984) 'Dimensions and entropies of strange attractors from a fluctuating dynamics approach', *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 13(1), 34-54.
- Guyon, I. and Elisseeff, A. (2003) 'An introduction to variable and feature selection', *The Journal of Machine Learning Research*, 3, 1157-1182.
- Hall, M. A. (1999) Correlation-based feature selection for machine learning, unpublished thesis The University of Waikato.
- Hand, D. J., Mannila, H. and Smyth, P. (2001) Principles of data mining, MIT press.
- Hekanaho, J. (1998) DOGMA: A GA-based relational learner, Springer.
- Hiemstra, C. and Jones, J. D. (1994) 'Testing for Linear and Nonlinear Granger Causality in the Stock Price-Volume Relation', *The Journal of Finance*, 49(5), 1639-1664.

- Hlinka, J., Paluš, M., Vejmelka, M., Mantini, D. and Corbetta, M. (2011) 'Functional connectivity in resting-state fMRI: is linear correlation sufficient?', *Neuroimage*, 54(3), 2218-2225.
- Höhle, U. (1978) 'Probabilistic uniformization of fuzzy topologies', *Fuzzy sets and Systems*, 1(4), 311-332.
- Holland, J. H. (1962) 'Outline for a logical theory of adaptive systems', *Journal of the ACM (JACM)*, 9(3), 297-314.
- Holland, J. H. (1975) *Adaptation in natural and artificial systems: An introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence*, U Michigan Press.
- Holland, P. W. (1986) 'Statistics and causal inference', *Journal of the American statistical Association*, 81(396), 945-960.
- Howitt, D. and Cramer, D. (2013) *First steps in research and statistics: A practical workbook for psychology students*, Routledge.
- Hsieh, D. A. (1989) 'Testing for nonlinear dependence in daily foreign exchange rates', *Journal of Business*, 339-368.
- Hume, D. (2012) *A treatise of human nature*, Courier Dover Publications.
- Ishibuchi, H., Nakashima, T. and Murata, T. (1999) 'Performance evaluation of fuzzy classifier systems for multidimensional pattern classification problems', *Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, IEEE Transactions on*, 29(5), 601-618.
- Jagielska, I., Matthews, C. and Whitfort, T. (1999) 'An investigation into the application of neural networks, fuzzy logic, genetic algorithms, and rough sets to automated knowledge acquisition for classification problems', *Neurocomputing*, 24(1), 37-54.
- Janikow, C. Z. (1993) 'A knowledge-intensive genetic algorithm for supervised learning', *Machine Learning*, 13(2-3), 189-228.
- Jin, Y. (2000) 'Fuzzy modeling of high-dimensional systems: complexity reduction and interpretability improvement', *Fuzzy Systems, IEEE Transactions on*, 8(2), 212-221.
- Jin, Y., Von Seelen, W. and Sendhoff, B. (1999) 'On generating FC 3 fuzzy rule systems from data using evolution strategies', *Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, IEEE Transactions on*, 29(6), 829-845.
- Juan Liu, J. and Kwok, J.-Y. (2000) *An extended genetic rule induction algorithm, translated by IEEE*, 458-463.
- Kaminsky, G. L. (1999) *Currency and banking crises-the early warnings of distress*, International Monetary Fund.
- Karr, C. (1991) 'Applying genetics to fuzzy logic', *AI expert*, 6(3), 38-43.

- Karr, C. (1991) 'Genetic algorithms for fuzzy controllers', *AI expert*, 6(2), 26-33.
- Kennedy, J. and Eberhart, R. (1995) *Particle swarm optimization*, translated by Perth, Australia, 1942-1948.
- Kim, H. S., Eykholt, R. and Salas, J. (1999) 'Nonlinear dynamics, delay times, and embedding windows', *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 127(1), 48-60.
- Kirkpatrick, S. and Vecchi, M. (1983) 'Optimization by simulated annealing', *science*, 220(4598), 671-680.
- Klement, E. (1982a) 'Characterization of fuzzy measures constructed by means of triangular norms', *Journal of mathematical analysis and applications*, 86(2), 345-358.
- Klement, E. (1982b) 'A theory of fuzzy measures: a survey', *Fuzzy Information and Decision Processes*, 59-66.
- Klement, E. P., Mesiar, R. and Pap, E. (2000) *Triangular norms*, Springer.
- Klir, G. J. and Folger, T. A. (1988) 'Fuzzy sets, uncertainty, and information'.
- Kohavi, R. and John, G. H. (1997) 'Wrappers for feature subset selection', *Artificial intelligence*, 97(1), 273-324.
- Kolari, J., Glennon, D., Shin, H. and Caputo, M. (2002) 'Predicting large US commercial bank failures', *Journal of Economics and Business*, 54(4), 361-387.
- Kosko, B. (1986) 'Fuzzy entropy and conditioning', *Information Sciences*, 40(2), 165-174.
- Koza, J. R. (1992) *Genetic programming: on the programming of computers by means of natural selection*, MIT press.
- Lee, C.-Y. and Yao, X. (2004) 'Evolutionary programming using mutations based on the Lévy probability distribution', *Evolutionary Computation, IEEE Transactions on*, 8(1), 1-13.
- Lekova, A., Mikhailov, L., Boyadjiev, D. and Nabout, A. (1998) 'Redundant fuzzy rules exclusion by genetic algorithms', *Fuzzy sets and Systems*, 100(1), 235-243.
- Levine, R., Loayza, N. and Beck, T. (2000) 'Financial intermediation and growth: Causality and causes', *Journal of monetary Economics*, 46(1), 31-77.
- Liebertson, S. (1964) 'Limitations in the application of non-parametric coefficients of correlation', *American Sociological Review*, 744-746.
- Liu, H. and Motoda, H. (1998) *Feature selection for knowledge discovery and data mining*, Springer.
- Liu, J. and Lampinen, J. (2002) *On setting the control parameter of the differential evolution method*, translated by 11-18.

- Mackie, J. L. and MacKie, J. (1980) *The cement of the universe*, Clarendon Press Oxford.
- Mamdani, E. H. (1974) Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant, translated by IET, 1585-1588.
- Mamdani, E. H. and Assilian, S. (1975) 'An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller', *International journal of man-machine studies*, 7(1), 1-13.
- Marinazzo, D., Pellicoro, M. and Stramaglia, S. (2008) 'Kernel method for nonlinear Granger causality', *Physical Review Letters*, 100(14), 144103.
- Martin, D. (1977) 'Early warning of bank failure: A logit regression approach', *Journal of banking & finance*, 1(3), 249-276.
- McLaughlin, S., Stogioglou, A. and Fackrell, J. (1995) 'Introducing higher order statistics (HOS) for the detection of nonlinearities', *UK Nonlinear News*, 15.
- Menger, K. (1942) 'Statistical metrics', *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 28(12), 535.
- Metropolis, N., Rosenbluth, A. W., Rosenbluth, M. N., Teller, A. H. and Teller, E. (2004) 'Equation of state calculations by fast computing machines', *The journal of chemical physics*, 21(6), 1087-1092.
- Michalewicz, Z. and Fogel, D. B. (2004) *How to solve it: modern heuristics*, Springer.
- Mitra, S. and Hayashi, Y. (2000) 'Neuro-fuzzy rule generation: survey in soft computing framework', *Neural Networks, IEEE Transactions on*, 11(3), 748-768.
- Mladenović, N. and Hansen, P. (1997) 'Variable neighborhood search', *Computers & Operations Research*, 24(11), 1097-1100.
- Nauck, D. and Kruse, R. (1999) 'Obtaining interpretable fuzzy classification rules from medical data', *Artificial intelligence in medicine*, 16(2), 149-169.
- Nelsen, R. B. (1999) *An introduction to copulas*, Springer.
- Nolte, G., Bai, O., Wheaton, L., Mari, Z., Vorbach, S. and Hallett, M. (2004) 'Identifying true brain interaction from EEG data using the imaginary part of coherency', *Clinical Neurophysiology*, 115(10), 2292-2307.
- Omelka, M., Gijbels, I. and Veraverbeke, N. (2009) 'Improved kernel estimation of copulas: weak convergence and goodness-of-fit testing', *The Annals of Statistics*, 37(5B), 3023-3058.
- Ozun, A. and Cifter, A. (2007) 'Multi-scale causality between energy consumption and GNP in emerging markets: evidence from Turkey', *Investment management and financial innovations*, 4(2), 61-70.

- Pal, S. K. and Chakraborty, B. (1986) 'Fuzzy set theoretic measure for automatic feature evaluation', *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on*, 16(5), 754-760.
- Pal, S. K., De, R. K. and Basak, J. (2000) 'Unsupervised feature evaluation: A neuro-fuzzy approach', *Neural Networks, IEEE Transactions on*, 11(2), 366-376.
- Pal, S. K. and Mitra, S. (1999) *Neuro-fuzzy pattern recognition: methods in soft computing*, John Wiley & Sons, Inc.
- Panduro, M. A., Brizuela, C. A., Balderas, L. I. and Acosta, D. A. (2009) 'A comparison of genetic algorithms, particle swarm optimization and the differential evolution method for the design of scannable circular antenna arrays', *Progress In Electromagnetics Research B*, 13, 171-186.
- Pena-Reyes, C. A. and Sipper, M. (1999) 'A fuzzy-genetic approach to breast cancer diagnosis', *Artificial intelligence in medicine*, 17(2), 131-155.
- Price, K., Storn, R. M. and Lampinen, J. A. (2006) *Differential evolution: a practical approach to global optimization*, Springer.
- Prichard, D. and Theiler, J. (1995) 'Generalized redundancies for time series analysis', *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 84(3), 476-493.
- Quansah, J. E., Engel, B. and Rochon, G. L. (2010) 'Early Warning Systems: A Review', *Journal of Terrestrial Observation*, 2(2).
- Radojevic, D. G. (2008) 'Fuzzy Set Theory in Boolean Frame', *International Journal of Computers, Communications & Control*, 3(3).
- Radojević, D. (2008) 'Logical Aggregation Based on Interpolative Boolean Algebra', *Mathware & Soft Computing*, 15(1), 125-141.
- Ramze Rezaee, M., Goedhart, B., Lelieveldt, B. P. and Reiber, J. H. (1999) 'Fuzzy feature selection', *Pattern Recognition*, 32(12), 2011-2019.
- Ranjithan, S. R., Chetan, S. K. and Dakshina, H. K. (2001) *Constraint method-based evolutionary algorithm (CMEA) for multiobjective optimization*, translated by Springer, 299-313.
- Raymer, M. L., Punch, W. F., Goodman, E. D., Kuhn, L. A. and Jain, A. K. (2000) 'Dimensionality reduction using genetic algorithms', *Evolutionary Computation, IEEE Transactions on*, 4(2), 164-171.
- Rechenberg, I. (1965) 'Cybernetic solution path of an experimental problem'.
- Rechenberg, I. (1978) *Evolutionsstrategien*, Springer.
- Rényi, A. (1965) 'On the foundations of information theory', *Revue de l'Institut International de Statistique*, 1-14.

- Russo, M. (1998) 'FuGeNeSys-a fuzzy genetic neural system for fuzzy modeling', *Fuzzy Systems, IEEE Transactions on*, 6(3), 373-388.
- Schmid, F., Schmidt, R., Blumentritt, T., Gaißer, S. and Ruppert, M. (2010) 'Copula-based measures of multivariate association' in *Copula theory and its applications*, Springer, 209-236.
- Schreiber, T. (2000) 'Measuring information transfer', *Physical Review Letters*, 85(2), 461.
- Schwefel, H.-P. (1965) 'Kybernetische Evolution als Strategie der experimentellen Forschung in der Strömungstechnik', Master's thesis, Hermann Föttinger Institute for Hydrodynamics, Technical University of Berlin.
- Schweizer, B. (1991) 'Thirty years of copulas' in *Advances in probability distributions with given marginals*, Springer, 13-50.
- Schweizer, B. and Sklar, A. (1960) 'Statistical metric spaces', *Pacific J. Math*, 10(1), 314-334.
- Schweizer, B. and Sklar, A. (1983) 'Probabilistic metric spaces', *North-Holland series in probability and applied mathematics*.
- Setnes, M. and Roubos, H. (2000) 'GA-fuzzy modeling and classification: complexity and performance', *Fuzzy Systems, IEEE Transactions on*, 8(5), 509-522.
- Shadish, W. R., Cook, T. D. and Campbell, D. T. (2002) *Experimental and quasi-experimental designs for generalized causal inference*, Wadsworth Cengage learning.
- Shannon, C. E. (2001) 'A mathematical theory of communication', *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, 5(1), 3-55.
- Sklar, M. (1959) *Fonctions de répartition à n dimensions et leurs marges*, Université Paris 8.
- Smith, S. F. (1980) 'A learning system based on genetic adaptive algorithms'.
- Storn, R. and Price, K. (1995) *Differential evolution-a simple and efficient adaptive scheme for global optimization over continuous spaces*, ICSI Berkeley.
- Sun, J., Zhang, Q. and Tsang, E. P. (2005) 'DE/EDA: A new evolutionary algorithm for global optimization', *Information Sciences*, 169(3), 249-262.
- Suppes, P. (1970) 'A probabilistic theory of causation',
- Takagi, T. and Sugeno, M. (1985) 'Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control', *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on*, (1), 116-132.
- Thawonmas, R. and Abe, S. (1997) 'A novel approach to feature selection based on analysis of class regions', *Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, IEEE Transactions on*, 27(2), 196-207.

- Tsang, E. C., Yeung, D. S. and Wang, X. (2003) 'OFFSS: optimal fuzzy-valued feature subset selection', Fuzzy Systems, IEEE Transactions on, 11(2), 202-213.
- Tsukahara, H. (2005) 'Semiparametric estimation in copula models', Canadian Journal of Statistics, 33(3), 357-375.
- Verdes, P. (2005) 'Assessing causality from multivariate time series', PHYSICAL REVIEW-SERIES E-, 72(2), 026222.
- Vesterstrom, J. and Thomsen, R. (2004) A comparative study of differential evolution, particle swarm optimization, and evolutionary algorithms on numerical benchmark problems, translated by IEEE, 1980-1987.
- Wang, C.-H., Hong, T.-P. and Tseng, S.-S. (1998) 'Integrating fuzzy knowledge by genetic algorithms', Evolutionary Computation, IEEE Transactions on, 2(4), 138-149.
- Wang, L.-X. (1999) A course in fuzzy systems, Prentice-Hall press, USA.
- Weijters, A. and Paredis, J. (2000) Rule induction with a genetic sequential covering algorithm (geseco), translated by Citeseer.
- Yao, X., Liu, Y. and Lin, G. (1999) 'Evolutionary programming made faster', Evolutionary Computation, IEEE Transactions on, 3(2), 82-102.
- Yu, L. and Liu, H. (2004) 'Efficient feature selection via analysis of relevance and redundancy', The Journal of Machine Learning Research, 5, 1205-1224.
- Zadeh, L. A. (1965) 'Fuzzy sets', Information and control, 8(3), 338-353.
- Zadeh, L. A. (1968) 'Probability measures of fuzzy events', Journal of mathematical analysis and applications, 23(2), 421-427.

3. Polazne hipoteze istraživanja

Glavna hipoteza razvijena u okviru istraživanja, polazeći od postavljenih ciljeva i zadataka istraživanja, glasi:

Mogućnost kvalitetnijeg modelovanja sistema ranog upozorenja koje se može primeniti na veliki skup realnih problema i pokazuje bolje performanse od postojećih rešenja u ovoj oblasti.

Specifično, govorimo o nekoliko naučnih hipoteza koje će biti ispitane u predloženoj doktorskoj disertaciji:

1. Kroz predloženu doktorsku disertaciju kandidat će pokušati da uputi čitaoca na nedostatke postojećih sistema ranog upozorenja i da predloži pristup kojim će otkloniti navedene nedostatke. Postojeći klasifikatori imaju problem da na podacima na kojima uče, postižu odlični rezultate dok na testnim podacima postižu značajno lošije rezultate, kao što će biti prikazano u doktorskoj disertaciji.
2. Kako bi došli do ispravnog tumačenja ulaznih varijabli u delu koji se odnosi na odabir varijabli u kauzalnim sistemima, kandidat uvodi novi pristup ocene nekauzalnih relacija koji će na velikom skupu funkcija kauzalnosti, uporediti sa postojećim rešenjima za ocenu kauzalnosti. Predloženi pristup ocene kauzalnih relacija pokazuje značajno bolje rezultate u slučajevima stacionarnih i nestacionarnih serija.
3. Još jedan od razloga disproporcije u rezultatima postojećih rešenja između kvaliteta ocene na podacima na kojima se metod uči i testnim podacima, je nedostatak mehanizama kojom se umanjuju uticaji redundantnih varijabli. U doktorskoj disertaciji kandidat će pokazati da predložena empirijska fazi kopula i agregacija indeksa značajnosti obrazaca su neosetljivi na pojavu redundantnosti i parcijalne sadržanosti i da predloženi pristup u potpunosti zadovoljava Bulove aksiome za razliku od klasične fazi logike.
4. Predloženi pristup se zasniva na traženju određenih obrazaca ponašanja pre nego što se događaj desi i pruža mogućnost, na osnovu vrste i broja aktiviranih obrazaca ponašanja, krajnjem korisniku koji odlučuje, uvid u verovatan uzrok događaja, na osnovu lako shvatljivih verbalnih pravila.
5. U doktorskoj disertaciji kandidat će pokazati prednost predložene metaheuristike nad velikim brojem vrhunskih pristupa, na velikom skupu multimodalnih problema. Takođe pokazaće da predložena metaheuristika konvergira globalnom optimumu navedenih funkcija, čak i pri visokim dimenzijama prostora.

4. Naučne metode istraživanja

Osnovni metod istraživanja bazira se na postojećim teorijskim rezultatima i eksperimentalnom radu u navedenoj oblasti. Takođe se bazira na sakupljanju i proučavanju dostupne literature, njenoj analizi i sistematizaciji, formiranja baza podataka, a sve to sa ciljem da se pokaže opravdanost i korisnost razvoja nove metodologije sistema ranog upozorenja koja se zasniva na konceptima kauzalnosti i pronalaženja obrazaca ponašanja. U eksperimentalnom radu, model će biti primenjen na različite probleme, čime će biti prikazana univerzalnost predložene metodologije. Rad će se zasnivati na primeni:

- Deskriptivnih metoda za analizu podataka (deskriptivne mere, analiza ekstremnih vrednosti, analiza stacionarnosti),
- Metoda i tehnika eksploratorne analize podataka (teorija kauzalnosti, primenom normi),
- Metoda za analizu i obradu podataka (korelacioni integrali, korelaciona analiza, parametarski i neparametarski testovi, analiza kvaliteta predikcije),
- Metoda komparativne analize,
- Računarska simulacija

5. Očekivani naučni doprinos

Rezultati koji bi proistekli iz istraživanja u ovoj doktorskoj disertaciji bi sadržali veći broj doprinosa, među kojima se izdvajaju:

1. Predlaganje novog pristupa za ocenu nelinearne kauzalnosti koji će biti upoređen sa postojećim pristupima ocene kauzalnosti. Biće predstavljen kompletan matematički aparat koji dokazuje opravdanost predloženog pristupa. Osim toga, kandidat će pokazati i robustnost predloženog pristupa u slučajevima nestacionarnih serija, koje predstavljaju ograničavajući faktor pri kome ostali pristupi gube na tačnosti.
2. Na najvećem skupu funkcija zavisnosti do sada, po kandidatovom saznanju, biće predstavljena prednost predloženog pristupa u slučajevima stacionarnih i nestacionarnih serija, nad ostalim metodama. Dodatno biće prikazano striktno statističko ponašanje predloženog metoda, njegova efikasnost i stabilnost.
3. Na osnovu mere verovatnoće fazi događaja biće predložena nova mera agregacije funkcija pripadnosti korišćenjem empirijskih fazi kopula. U doktorskoj disertaciji kandidat će pokazati da je empirijska fazi kopula u potpunosti u Bulovom okviru i da pri velikom uzorku konvergira parametarskoj kopuli. Takođe, dokazaće da se bilo koji logički izraz može formirati pomoću predloženih fazi kopula.
4. Kandidat će pružiti analitički okvir funkcija pripadnosti koji je u mogućnosti da koristi nemonotone konveksne funkcije, koji je takođe u Bulovom okviru. Po kandidatovom saznanju, po prvi put će biti predstavljen striktni matematički aparat i neophodne teoreme kojima se dokazuje mogućnost korišćenja nemonotonih konveksnih funkcija pripadnosti u logičkoj agregaciji.
5. Prvi put je uspešno iskorišćen postojeći Pristup prepoznavanja obrazaca - TRA u indukciji fazi pravila. Predloženo unapređenje navedenog pristupa odnosno Prepoznavanja obrazaca potprostora – SPR, može se primeniti na opštu klasu problem - dinamičku klasifikaciju.

6. Biće predložen novi indeks važnosti obrazaca koji će biti korišćen u indukciji pravila iz dostupnih podataka. Ovaj pristup prevazilazi nedostatke postojećih pristupa koji se odnose na probleme redundantnosti i stepena sadržanosti ulaznih varijabli, probleme ne-balansirane klasifikacije i dinamičke promene izlazne klase.
7. Budući da se modeli ranog upozorenja baziraju na oceni do nekoliko stotina ili hiljada parametara, kandidat će predložiti novi vid globalne multimodalne nekontinualne optimizacije koja je u mogućnosti da se primeni na probleme u visoko dimenzionalnom prostoru, a koja se bazira na primeni Pretrage promenljivih okolina – VNS na parametar ukrštanja. Navedeni pristup uporediće sa velikim brojem evolutivnih algoritama na skupu multimodalnih optimizacionih problema pri čemu će se dimenzionalnost problema menjati od malih do visoko dimenzionalnih prostora pretrage.
8. Predložena metodologija sistema ranog upozorenja biće primenjena na probleme tržišta valuta koje se smatra za jedan od najkompleksnijih sistema za ocenu i predviđanje. U studijama slučaja biće objašnjeni sistemi ranog upozorenja koji u sebi uključuju tzv. Meke informacije (preferencije rizika korisnika, baze iskustvenih ekspertskih pravila, uzroke promena u sistemu i izlaze iz sistema u vidu lako shvatljivih lingvističkih pravila koja se mogu validovati od strane domenskih eksperata koji nužno ne poseduju nikakvo matematičko znanje o primenjenom modelu).

Očekivani naučni doprinos doktorske disertacije se ogleda u:

- Potvrdi navedenih hipoteza i predstavljanju rezultata dobijenih predloženim metodologijom sistema ranog upozorenja.
- Afirmaciji naučnog istraživanja, teorije kauzalnosti, vrednosno konzistentnih fazi operatora agregacije, predložene metodologije sistema ranog upozorenja, kao i objavljivanju radova u međunarodnim časopisima.
- Doprinos nauci u delu naučnog opisivanja i objašnjenja predmeta istraživanja.
- Multidisciplinarnost teme istraživanja koja će biti predstavljena u doktorskoj disertaciji.

6. Predmet i cilj istraživanja

Izbor položenih ispita na doktorskim studijama izvršen je u cilju ovladavanja neophodnim veštinama i upoznavanja metoda koje su neophodne za rad na predloženoj temi. Takođe, značajna pažnja je posvećena izučavanju konkretne problematike vezane za teoriju sistema, teoriju kauzalnosti i kognitivnih mapa, klasičnim i konzistentnim fazi logičkim sistemima, globalnu optimizaciju, kao i sa postojećim naučnim doprinosom iz ovih oblasti.

Pažnja će takođe biti posvećena multivarijacionoj analizi kao i metodama za smanjivanje dimenzija problema korišćenjem predloženog pristupa ocene kauzalnosti. Nakon toga, biće predstavljena detaljna komparacija predloženog metoda sa nekoliko postojećih metoda za ocenu kauzalnosti, na velikom skupu problema, radi dobijanja validnih zaključaka. Posebna pažnja će biti usmerena na matematički okvir definisanja konzistentnog logičkog operatora fazi agregacije – fazi kopule. Dalje biće predstavljen predlog parametarskih familija subjektivnih funkcija pripadnosti i definisani opšti uslovi pod kojima je agregacija ovih funkcija u Bulovom okviru. Biće predloženi pristupi kojima je moguće prepoznavati obrasce ponašanja koji upućuju na mogućnost dešavanja definisanog događaja, kao i indeksa važnosti pojedinačnog obrasca. Za ocenu parametara sistema ranog upozorenja kandidat će predložiti novi pristup globalne optimizacije koji može da oceni ove parametre čak i u visokodimenzionalnim prostorima pretrage. Primena i verifikacija napred navedenih pristupa u okviru predložene metodologije sistema ranog upozorenja biće posebno naglašeni. Zaključna razmatranja na osnovu rezultata biće prikazana u poslednjem poglavlju, gde će se ukazati na smernice daljeg naučnog rada u oblasti razvoja predloženog modela.

Okvirni predlog sadržaja doktorske disertacije

1. UVOD

- 1.1 Predmet i cilj istraživanja
- 1.2 Polazne hipoteze
- 1.3 Očekivani rezultati, naučni i stručni doprinosi
- 1.4 Metode istraživanja

2. ODABIR VARIJABLI U KAUZALNIM SISTEMIMA

- 2.1. Potreba za odabir varijabli
- 2.2. Uvod u kauzalnost
- 2.3. Pregled bivarijabilnih testovi kauzalnosti
- 2.4. Predložen pristup ocene kauzalnih relacija u sistemima
- 2.5. Simulacija kauzalnih bivarijabilnih kauzalnih sistema
- 2.6. Rezultati u slučaju stacionarnih serija

- 2.7. Rezultati u slučaju nestacionarnih serija
- 2.8. Zaključak poglavlja

3. FAZI LOGIČKI SISTEMI

- 3.1. Uvod u Fazi logičke sisteme
- 3.2. Operatori logičke agregacije
- 3.3. Vrednosno konzistentna logička agregacija primenom empirijskih fazi kopula
- 3.4. Analitički okvir funkcije pripadnosti lingvističkih pravila
- 3.5. Fazi indukcija pravila primenom Indeksa važnosti obrazaca
- 3.6. Predloženi pristup Prepoznavanje obrazaca potprostora
- 3.7. Zaključak poglavlja

4. INDUKCIJA FAZI PRAVILA KORIŠĆENJEM EVOLUTIVNIH ALGORITAMA

- 4.1. Pregled pristupa koji koriste evolutivne algoritme za indukciju fazi pravila.
- 4.2. Metod Samo-adaptivne diferencijalne evolucije sa Pretragom okolina parametra ukrštanja – DE-VNS
- 4.3. Numerički rezultati na referentnim problemima
- 4.4. Komparacija optimizacionih metoda sa predloženom metodom
- 4.5. Zaključak poglavlja

5. STUDIJE SLUČAJA

- 5.1. Studija slučaja 1. – Komparacija predložene metodologije na simuliranim i realnim podacima
- 5.2. Studija slučaja 2. – Glavne determinante kretanja kursa valuta
- 5.3. Studija slučaja 3. – Ocena prelomnih tačaka dugoročnih trendova
- 5.4. Studija slučaja 4. – Uticaj subjektivne preferencije ka riziku investiranja na kvalitet modela
- 5.5. Zaključak poglavlja

6. ZAKLJUČAK DOKTORSKE DISERTACIJE

7. Zaključak i predlog

Na osnovu obrazloženja predložene doktorske disertacije, Komisija zaključuje da kandidat, **Darko Kovačević**, ispunjava sve uslove predviđene Zakonom o visokom obrazovanju i Statutom Fakulteta, za izradu doktorske disertacije, s obzirom na elemente iznete u ovom referatu. Prema mišljenju Komisije, tema “**Fazi kauzalni sistemi ranog upozorenja**” spada u naučno područje koje se razvija na Fakultetu organizacionih nauka. Tema doktorske disertacije po predmetu istraživanja, sadržaju i očekivanim doprinosima predstavlja značajno područje istraživanja, kako sa teorijskog, tako i sa aspekta primene u praksi, u oblasti Tehničkih nauka, uže naučne oblasti Upravljanje sistemima.

Na osnovu navedenog, Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću Fakulteta organizacionih nauka da kandidatu **Darku Kovačeviću** odobri izradu doktorske disertacije pod naslovom “**Fazi kauzalni sistemi ranog upozorenja**” i za mentora imenuje **prof. dr Bratislava Petrovića**, redovnog profesora Fakulteta organizacionih nauka, Univerziteta u Beogradu.

U Beogradu, 21.5.2014. godine

8. Potpisnici izveštaja

Članovi komisije:

Prof. dr Bratislav Petrović, redovni profesor
Univerziteta u Beogradu, Fakulteta organizacionih nauka

Prof. dr Nenad Mladenović, redovni profesor
Univerziteta u Beogradu, Fakulteta organizacionih nauka

Dr Dragan Radojević, naučni savetnik,
Institut Mihajlo Pupin