

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ФАКУЛТЕТ ОРГАНИЗАЦИОНИХ НАУКА

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Срђана Јелинека за израду докторске дисертације и оцену научне заснованости теме докторске дисертације

Одлуком 05-01 бр. 3/78-8 од 14.7.2021. године именовани смо за чланове Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата **Срђана Јелинека** за израду докторске дисертације и научне заснованости теме **„Хибридни ИБА-ДЕ приступ за предвиђање кредитног рејтинга држава“**.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

1.1. Биографски подаци

Срђан Јелинек рођен је 17. децембра 1989. године у Београду. Математичку гимназију у Београду завршио је 2009. године, и исте године постаје студент Факултета организационих наука, Универзитета у Београду. Основне академске студије на смеру Информациони системи и технологије завршава у року, са просечном оценом 9.60. Дипломирао је на тему „Модели за вредновање опција“ са оценом 10.

Мастер академске студије уписује 2013. године на Факултету организационих наука, студијски програм Електронско пословање и управљање системима, модул Управљање системима. Завршни мастер рад на тему „Систем за анализу триангуларне арбитраже и валутних парова на међународном девизном тржишту“ је одбранио 2014. године и завршио мастер академске студије са просечном оценом 10.

Друге мастер академске студије уписује 2013. године на Економском факултету, студијски програм *International Masters in Quantitative Finance (IMQF)*. Завршни мастер рад на тему „*CCC and DCC models for Value at Risk and Expected Shortfall estimation based on Extreme Value Theory*“ је одбранио 2015. године и завршио мастер академске студије са просечном оценом 9.20.

Током зимског семестра школске 2012/13. године, као студент-демонстратор, учествовао је у одржавању лабораторијских вежби на предмету Теорија система на Факултету организационих наука.

Срђан Јелинек 15. августа 2015. бива запослен у компанији *FIS (Fidelity National Information Services)* као квантитативни аналитичар. Годину дана касније прелази на позицију квантитативни програмер, да би две године касније добио звање сениора на истој позицији.

Школске 2018/2019. године уписао је докторске студије на Факултету организационих наука, студијски програм Управљање системима. Научно-истраживачке области којима се Срђан Јелинек бави су: квантитативне финансије, фази логика, неуронске мреже, анализа временских серија, хеуристичке методе оптимизације, итд. Положио је све испите предвиђене наставним планом и програмом, остваривши просечну оцену 10.00. Објавио је више радова у земљи и иностранству и учествовао на више домаћих и међународних скупова и конференција. Током школовања је био стипендиран од стране Фонда за младе таленте.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Кандидат Срђан Јелинек докторске студије уписује школске 2018/2019. године на Факултету организационих наука, студијски програм Управљање системима. Током докторских студија положио је све испите предвиђене планом и програмом.

Називи предмета	Оцена	ЕСПБ
Теорија система - одабрана поглавља	10 (десет)	10
Фази логика и системи - одабрана поглавља	10 (десет)	10
Неуронске мреже и системи - одабрана поглавља	10 (десет)	10
Динамички модели финансијских тржишта	10 (десет)	10
Временска серија и фрактали - одабрана поглавља	10 (десет)	10
Оптимално управљање	10 (десет)	10
Теорија игара	10 (десет)	10
Системи са дискретним догађајима	10 (десет)	10
Нови трендови у операционим истраживањима	10 (десет)	10

Кандидат је успешно одбранио приступни рад под називом „Методе рачунарске интелигенције за предвиђање кредитног рејтинга држава” и остварио 30 ЕСП бодова. Током докторских студија укупно је остварио 120 ЕСП бодова.

У свом досадашњем научно-истраживачком раду, Срђан Јелинек је објавио више радова на конференцијама у земљи и иностранству, као и у домаћим часописима.

Радови објављени на скупу међународног значаја штампани у целини (M33):

1. Jovović, A., **Jelinek, S.**, & Rakićević, A. (2014). Sovereign credit rating prediction using fuzzy logic. In A. Marković & S. Barjaktarović Rakočević (Eds.), *Proceedings of the XIV International Symposium SymOrg 2014: New Business Models and Sustainable Competitiveness* (pp. 597-604). Belgrade: Faculty of Organizational Sciences.
2. **Jelinek, S.**, Poledica, A., Petrović, B., & Milošević, P. (2019). Forecasting Cryptocurrency Time Series Using Fuzzy Transform, Fourier Transform and Fuzzy Inference System. In M. Stepnicka (Ed.), *Proceedings of the 2019 Conference of European Society for Fuzzy Logic and Technology (EUSFLAT 2019)* (pp. 634-640). Amsterdam: Atlantis Press. DOI:10.2991/eusflat-19.2019.88
3. **Jelinek, S.**, Milošević, P., Rakićević, A., & Petrović, B. (2022). Forecasting Sovereign Credit Ratings Using Differential Evolution and Logic Aggregation in IBA Framework. In C. Kahraman, S. Cebi, S. Cevik Onar, B. Oztaysi, A. C. Tolga & I. U. Sari (Eds.), *Intelligent and Fuzzy Techniques for Emerging Conditions and Digital Transformation. Proceedings of the INFUS 2021 Conference. Lecture Notes in Networks and Systems* 308 (pp. 506-513). Berlin: Springer. DOI:10.1007/978-3-030-85577-2_60

Радови објављени у часописима националног значаја (M53):

4. **Jelinek, S.**, Rakićević, A., & Milošević, P. (2018). Sistem za analizu i simulaciju triangularnih arbitražnih strategija na međunarodnom deviznom tržištu. *Info M*, 65, 31-39. ISSN:1451-4397
5. Milošević, P., **Jelinek, S.**, Rakićević, A., & Poledica, A. (2018). Primena neuronskih mreža i metode nosećih vektora za identifikaciju lica. *Info M*, 66, 20-25. ISSN:1451-4397

Радови саопштени на скупу националног значаја (M63):

6. Milošević, P., **Jelinek, S.**, Rakićević, A., & Poledica, A. (2018). Model za identifikaciju lica zasnovan na tehnikama mašinskog učenja. In *Zbornik radova Infotech 2018 - ICT conference and exhibition*.
7. **Jelinek, S.**, Makajić-Nikolić, D., & Milošević, P. (2021). Sovereign credit rating transition matrix estimation using differential evolution. In D. Urošević, M. Dražić & Z. Stanimirović (Eds.), *SYM-OP-IS 2021 XLVIII International Symposium on Operational Research Conference Proceedings (Zbornik radova)* (pp. 105-110), Beograd: Matematički fakultet.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Узимајући у обзир:

- резултате остварене током досадашњег образовања;
- резултате истраживања на тему примене метода рачунарске интелигенције и управљања системима која су публикована на научно-стручним конференцијама и у часописима националног значаја;

закључује се да је Срђан Јелинек у потпуности квалификован да тему докторске дисертације самостално истражује и пружи научно-стручне доприносе у тој области.

2. ПРЕДМЕТ И ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА

Предмет истраживања докторске дисертације је предвиђање кредитних рејтинга држава. Предвиђање кредитних рејтинга биће посматрано као проблем проналежења оптималаних структурних вектора логичке агрегације у ИБА оквиру, што ће се потом решавати коришћењем алгорита диференцијалне еволуције.

Појам кредитног ризика и методе које се баве његовом анализом, предвиђањем и смањивањем је област која постаје све релеватнија у модерно време, поготову јер је намерно или немерно игнорисање опасности превеликог ризика довело до финансијског краха тржишта 2008. године. Са тим у виду уведене су много оштрије мере у намери сузбијања неетичког и похлепног пословања финансијских институција, најчешће банака и инвестиционих фондова. Нове регулативе су приморале управне одборе ових институција на балансирање између максимизације профита и минимизације ризика, односно свођења ризика на законом прихватљив ниво. Са тим у виду, кредитни рејтинг као главна мера квантификације, односно процене ризика постаје један од главних индикатора ризичности потенцијалних инвестиција. Имајући у виду сада ограничену количину средстава која јој је дозвољена за инвестиције, свака финансијска институција ће велики значај дати кредитном рејтингу државе, друге финансијске институције или било ког другог учесника на тржишту пре него што одлучи да уђе у било какву инвестицију или други ризични финансијски уговор.

Највећи део тржишта (око 95%) кредитних рејтинга држе три велике агенције (*S&P*, *Moody's* и *Fitch*). Ове агенције објављују кредитне извештаје на месечном, кварталном, полугодишњем и годишњем нивоу, као и прогнозе о кретању кредитних рејтинга (помоћу транзиционих матрица) у наредним периодима од једне, две, пет и десет година. Проблем са оваквим приступом је постојање олигопола ове три агенције, где се њихови извештаји узимају као коначни и најтачнији, без постојања јавно доступних методологија које ове агенције користе, што чини област кредитних рејтинга подложну корупцији и малверзацијама, као и неетичким одлукама које могу утицати на пословање великог броја корпорација и држава. Како би област кредитних рејтинга

постала транспарентнија, по узору на теорију о неарбитражном тржишту где би тржиште само регулисало прецењене или подцењене финансијске инструменте, неопходно је да се развије више методологија и модела за процену кредитног ризика и кредитног рејтинга, као и кредитних скорова када су у питању појединци.

Због непостојања тачних методологија за процену кредитних рејтинга држава, нису познати ни тачни финансијски, економски, политички, индустријски, социјални и други индикатори стања у држави који се узимају у обзир. Стога, направљене су многе студије где су анализирани потенцијални индикатори који утичу на кредитне рејтинге држава, док су за моделе најчешће коришћене економетријске методе и касније методе рачунарске интелигенције. Економетријске методе су првобитно биле коришћене у покушају прављења модела који би могли да имају високу корелацију предвиђања кредитних рејтинга са рејтинзима објављеним од стране агенција. Иако успешност није била упитна, ниједан модел се није показао као примењив на све врсте проблема, односно, ови модели су често захтевали и увођење одређених претпоставки које би ограничавале њихову примењивост. Са порастом рачунарске снаге и капацитета 90-их година, све више студија се окренуло методама рачунарске интелигенције. Ове методе су, иако недовољно истражене у то време, у року од десетак година потиснуле стандардне економетријске методе као главни алат за предвиђање кредитних рејтинга. Објављен је велики број студија које су показивале већу ефикасност, брзину и пре свега тачност метода рачунарске интелигенције у односу на стандардне економетријске методе.

Централни проблем који ће се решавати у докторској дисертацији се односи на примену метода рачунарске интелигенције за превиђање кредитних рејтинга држава. Наиме, једна од главних предности метода рачунарске интелигенције је то што могу да раде и извлаче закључке у свету са непотпуним информацијама какво је тржиште кредитних рејтинга. Тиме је било омогућено експериментисање са индикаторима из различитих области и утврђивање који индикатори имају већи или мањи утицај на кредитне рејтинге. Још једна велика предност је и непостојање неопходности дубоког познавања материје како би се користиле ове методе, што је довело до популаризације ових метода у било којој области која је могла да понуди проблеме предвиђања, кластеровања, оптимизације и сл. За примену ових модела на предвиђање кредитних рејтинга је најчешће била потребна само оквирна идеја о параметрима који утичу на кредитне рејтинге и узор који би могли да служе за тренинг и тестирање модела, који су били јавно доступни од стране агенција за кредитне рејтинге.

Ово је довело до првог проблема који се огледа у немогућности објашњавања како је модел дошао до одређеног решења. Већина методологија рачунарске интелигенције и машинског учења је заснована на принципу црне кутије, односно да лакоћа њиховог коришћења долази уз цену неразумевања самог модела. Ово касније доводи до новог проблема где постоји велики број противречних студија у којој се пореде исти модели

али су закључци често дијаметрално супротни, уз немогућност доказивања која је студија исправна јер не постоји јасан математичко-статистички запис коришћених модела. Истраживачи су такође често инсистирали на надмоћности својих модела у односу на друге, већ објављене, моделе. Да би то постигли, подаци за тестирање су често били недоступни у самим радовима, без наведених јасних извора, уз само неутемељене тврдње како одређени модели постижу боље резултате у односу на друге.

Имајући све ово у виду, долази се до проблема примене било ког од предложених модела у пракси. Сваки модел се показао добар на одређеном, најчешће уском, скупу података. Али уколико би било који учесник на тржишту, била то финансијска институција или држава желела да примени неки од модела на тачно одређени проблем предвиђања кредитних рејтинга са јасно одређеним улазима и излазима, избор не би био недвосмислен. Из тог разлога се закључује да модел уз високу тачност мора пре свега да буде јасно разумљив, једноставан и флексибилан, како би уз мале или у идеалном случају никакве модификације могао да се примени за предвиђање кредитних рејтинга у било којој средини. Само уз ове квалитете модел може изаћи из оквира теоријске примене у научним студијама над уским скуповима података и представљати поуздан алат за предвиђање кредитних рејтинга.

Циљ истраживања докторске дисертације је развој новог приступа рачунарске интелигенције заснованог на алгоритму диференцијалне еволуције и логичкој агрегацији у ИБА оквиру. **Друштвени циљ** се огледа кроз имплементацију дефинисаног приступа за предвиђање кредитних рејтинга држава, што омогућава транспарентно предвиђање, има јасно тумачење и посредно може утицати на смањење потенцијалних злоупотреба у овој области.

Тренутно актуелни тренд решавања проблема честе неразумљивости представљених модела се заснива на коришћењу хибридних модела, односно споја две или више различите методологије рачунарске интелигенције и машинског учења где би се једна методологија користила за предвиђање, а друга за повећања транспарентности кроз објашњење предвиђених излаза из модела или начина доласка до резултата. Неуронске мреже и метода носећих вектора су неке од најкоришћенијих алата машинског учења за предвиђање резултата, док је фази логика једна од најчешће коришћених методологија рачунарске интелигенције која се у хибридним моделима користи за објашњавање добијених резултата. Генетски алгоритми се могу користити и за појашњење доласка до решења и као самостални алгоритми за предвиђање. Стога, идеја спајања ДЕ са ИБА у хибридни модел за предвиђање кредитних рејтинга се чини као оправдана и у складу са најновијим трендовима у овој области. Предложени приступ би био Буловски конзистентна и транспарентан, захваљујући ИБА, што је од великог значаја за посматрани проблем.

3. ПОЛАЗНЕ ХИПОТЕЗЕ

Основна хипотеза у раду гласи:

Могуће је предвиђати кредитне рејтинге држава користећи приступ заснован на интерполативној Буловој алгебри и диференцијалној еволуцији.

На основу дефинисаног предмета истраживања и основне хипотезе у раду могу се издвојити неколико посебних хипотеза:

H1. Могуће је предвиђати кредитне рејтинге држава користећи методе рачунарске интелигенције.

H2. Диференцијална еволуција се може користити као самостални алгоритам за предвиђање кредитних рејтинга држава.

H3. Интерполативна Булова алгебра се може применити као основа за агрегационе методе засноване на логичким изразима.

H4. Могуће је дефинисати хибридни модел рачунарске интелигенције заснован на ИБА и ДЕ, где ће се ДЕ користити за оптимизацију агрегационе функције, а ИБА за моделовање улазних параметара и интуитивно тумачење решења.

H5. Предложени хибридни модел из угла перформанси и транспарентности надмашује поједине конвенционалне методе машинског учења.

H6. Предложени ИБА-ДЕ алгоритам је подесан за предвиђање кредитних рејтинга држава.

4. НАУЧНЕ МЕТОДЕ ИСТРАЖИВАЊА

Током израде овог рада, од општих научних метода користеће се методе прикупљања, анализе и систематизације постојеће расположиве релевантне литературе, као и научних и стручних резултата и достигнућа, моделирање, аналитичко-дедуктивна и статистичка метода. Методом критичке анализе биће дефинисане и анализиране постојеће методологија рачунарске интелигенције за предвиђање кредитних рејтинга држава са нагласком на еволутивне алгоритме и фази технике. Метода моделирања ће се користити приликом развоја новог приступа за предвиђање кредитних рејтинга држава засноване на алгоритму диференцијалне еволуције и коришћењу ИБА за агрегацију улаза у модел. Развијени модел биће евалуиран користећи експерименталну проверу предложеног решења путем тестирања над расположивим подацима. истраживање спроведено у експерименталном делу рада. Аналитичко-дедуктивне методе користеће се за анализу података о досадашњим имплементацијама модела за предвиђање кредитних рејтинга путем методологија рачунарске интелигенције и машинског учења, као и у процесу провере математичког оквира модела и развоја и евалуације предложеног модела.

У експерименталном делу дисертације, предложени приступ ће бити евалуиран кроз поређење новог модела са другим техникама рачунарске интелигенције у циљу провере постављених хипотеза. Софтверски систем ће бити развијан у Матлаб окружењу, а подаци, односно кредитни рејтинзи, као и финансијско-економски фактори који ће бити коришћени ће бити јавно доступни и узети за период од седамнаест година на месечном нивоу. Утврђивање начина за унапређење приступа ће бити обављено емпиријском методом.

Резултати истраживања ће бити представљени текстуално, описивањем и графички кроз више слика, дијаграма и табела са упоредним резултатима. Истраживање ће бити мултидисциплинарно, јер укључује научне дисциплине: фази логику, рачунарску интелигенцију, информатику, финансије, економију, и друге.

5. ОЧЕКИВАНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

Најзначајнији допринос ове докторске дисертације биће нови приступ за предвиђање кредитних рејтинга заснован на хибридизацији интерполативне Булове алгебре и алгоритма диференцијалне еволуције.

Очекивани научни доприноси резултата планираног истраживања су:

- Преглед и систематизација постојећих методологија предвиђања кредитних рејтинга;
- Анализа и критички осврт на постојеће методологије предвиђања кредитних рејтинга држава са нагласком на методе рачунарске интелигенције;
- Коришћење алгоритма диференцијалне еволуције и интерполативне Булове алгебре у развоју модела за предвиђање кредитних рејтинга држава;

Очекивани стручни доприноси ове дисертације су:

- Развој и примена новог хибридног модела ДЕ-ИБА за предвиђање кредитних рејтинга држава;
- Развој методологије за моделовање транзиционе матрице кредитних рејтинга засноване на алгоритму диференцијалне еволуције;
- Идентификација начина за унапређивање ДЕ-ИБА модела путем транзиционе матрице.

Очекивани друштвени доприноси ове дисертације су:

- Могућности примене предложеног модела у различитим финансијским оквирима;
- Унапређење и доприношење већој транспарентности постојећих модела за предвиђање кредитног рејтинга.

6. ПЛАН ИСТРАЖИВАЊА И СТРУКТУРА РАДА

	Фаза	Задатак	Методе, технике, стандарди
1	Анализа постојећег стања и досадашњих резултата истраживања	- Прикупљање информација и анализа постојећег стања, као и досадашњих резултата истраживања у развоју и имплементацији предвиђања кредитних рејтинга - Систематизација постојећих модела за предвиђање кредитних рејтинга	- Претраживање научне и стручне литературе - Претраживање индексних база података - Претраживање интернет садржаја
2	Развој приступа за предвиђање кредитних рејтинга заснованог на интерполативној Буловој алгебри и алгоритму диференцијалне еволуције	- Дефинисање иницијалног алгоритма - Развијање прототипа новог приступа за предвиђање кредитних рејтинга држава - Развој коначног модела	- Методе пројектовања алгоритма - Еволутивни алгоритми
3	Примена развијеног приступа над јавно доступним економско-финансијским индикаторима и кредитним рејтинзима	- Анализа јавно доступних података - Моделовање података: одабир атрибута и претпроцесирање - Примена модела над подацима	- Методе моделвања података - Подела скупа података
4	Евалуација приступа и анализа резултата	- Анализа резултата примене и корективне мере - Мерење индикатора перформанси - Закључци	- Верификација и валидација - Статистичке методе - Компаративна анализа
5	Закључак	- Анализа предности и недостатака новог решења - Идеје за даљи рад	- Анализа - Синтеза

ФАЗА	МЕСЕЦ											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1												
2												
3												
4												
5												

Оквирно, структуру докторске дисертације сачињавала би следећа поглавља:

1. Увод

- Дефинисање предмета истраживања
- Циљеви истраживања
- Полазне хипотезе
- Методологија истраживања
- Структура и организација рада

2. Основни теоријски појмови

- Рачунарска интелигенција
- Машинско учење

3. Интерполативна Булова алгебра

- Булова алгебра и дефиниција и структура интерполативне Булове алгебре
- Основни елементи Булове алгебре
- Симболички ниво интерполативне Булове алгебре
- Вредносни ниво интерполативне Булове алгебре
- Логичка агрегација
- ИБА логичке мере сличности и различитости

4. Диференцијална еволуција

- Дефиниција и карактеристике
- Стандардни ДЕ алгоритам
 - Иницијализација

- Мутација
 - Укрштање
 - Селекција
 - Варијације ДЕ алгоритма
 - Подтипови ДЕ алгоритма засновани на мењању стратегија и контролних параметара
 - Хибриди ДЕ алгоритма са другим оптимизационим методама
5. Проблем предвиђања кредитног рејтинга
- Кредитни ризик
 - Појам и значај кредитног рејтинга
 - Дефиниција и својства
 - Кредитни рејтинг држава
 - Предвиђање кредитног рејтинга
 - Предвиђање кредитног рејтинга класичним (економетријским) методама
 - Предвиђање кредитног рејтинга методама рачунарске интелигенције и машинског учења
6. ДЕ-ИБА модел
- ДЕ компонента модела
 - ИБА компонента модела
 - Улазни подаци у модел
 - Варијације ДЕ-ИБА модела
7. ДЕ модел транзиционе матрице
8. Евалуација модела
- Резултати предвиђања кредитних рејтинга ДЕ-ИБА модела
 - Резултати предвиђања транзиционе матрице путем ДЕ модела
 - Резултати предвиђања кредитних рејтинга путем других методологија
 - Компаративна анализа резултата
 - Дискусија
9. Научни и стручни допринос
10. Будућа истраживања
11. Закључак
12. Литература

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

- [1] Abdullah, A., Deris, S., Anwar, S., & Arjunan, S. N. V. (2013). An evolutionary firefly algorithm for the estimation of nonlinear biological model parameters. *PLoS ONE*, 8(3).
- [2] Abiyev, R. H. (2014). Credit Rating Using Type-2 Fuzzy Neural Networks. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014, 1-8.
- [3] Adeli, H., & Hung, S.-L. (1994). *Machine learning: neural networks, genetic algorithms, and fuzzy systems*: Wiley.
- [4] Afonso, A. (2003). Understanding the Determinants of Sovereign Debt Ratings: Evidence of the Two Leading Agencies. *Journal of Economics and Finance*, 27(1), 56-74.
- [5] Afonso, A., Furceri, D., & Gomes, P. (2012). Sovereign credit ratings and financial markets linkages: Application to European data. *Journal of International Money and Finance*, 31(3), 606-638.
- [6] Afonso, A., Gomes, P., & Rother, P. (2007). What 'Hides' Behind Sovereign Debt Ratings. Working Paper Series, European Central Bank., 711.
- [7] Afonso, A., Gomes, P., & Rother, P. (2009). Ordered response models for sovereign debt ratings. *Applied Economics Letters*, 16(8), 769-773.
- [8] Afonso, A., Gomes, P., & Rother, P. (2011). Short and Long-run Determinants of Sovereign Debt Credit Ratings. *International Journal of Finance and Economics*, 16(1), 1-15.
- [9] Ahn, H., & Kim, K.-j. (2009). Bankruptcy prediction modeling with hybrid case-based reasoning and genetic algorithms approach. *Applied Soft Computing*, 9(2), 599-607.
- [10] Alexe, S., Hammer, P. L., Kogan, A., & Lejeune, M. A. (2003). A non-recursive regression model for country risk rating. *RUTCOR-Rutgers University Research Report RRR*, 9, 1-40.
- [11] Alfaro, E., García, N., Gámez, M., & Elizondo, D. (2008). Bankruptcy forecasting: an empirical comparison of AdaBoost and neural networks. *Decision Support Systems*, 45(1), 110-122.
- [12] Allen, L., Boudoukh, J., & Saunders, A. (2004). *Understanding Market, Credit, and Operational Risk: The Value at Risk Approach*: Blackwell.
- [13] Alsakka, R., & ap Gwilym, O. (2010). Leads and lags in sovereign credit ratings. *Journal of Banking & Finance*, 34(11), 2614-2626.
- [14] Ammar, S., Duncombe, W., Hou, Y., Jump, B., & Wright, R. (2002). Using fuzzy rule-based systems to evaluate overall financial performance of governments. *Public Budgeting Finance*, 21(4), 91-110.
- [15] Amtenbrink, F., & de Haan, J. (2009). Regulating Credit Ratings in the European Union: A Critical First Assessment of Regulation 1060/2009 on Credit Rating Agencies. *Common Market Law Review*, 46(6).
- [16] Athey, S. (2019). The Impact of Machine Learning on Economics. *The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda* (pp. 507-552). Chicago: University of Chicago Press.
- [17] Baesens, B., Van Gestel, T., Viaene, S., Stepanova, M., Suykens, J., & Vanthienen, J. (2003). Benchmarking state-of-the-art classification algorithms for credit scoring. *Journal of the Operational Research Society*, 54, 627-635.
- [18] Bennell, J. A., Crabbe, D., Thomas, S., & ap Gwilym, O. (2006). Modelling sovereign credit ratings: Neural networks versus ordered probit. *Expert Systems with Applications*, 30(3), 415-425.
- [19] Beyer, H.-G., & Schwefel, H.-P. (2002). Evolution strategies – A comprehensive introduction. *Natural Computing*, 1, 3-52.
- [20] Bianchi, L., Dorigo, M., Gambardella, L. M., & Gutjahr, W. J. (2009). A survey on metaheuristics for stochastic combinatorial optimization. *Natural Computing*, 8(2), 239-287.
- [21] Bissoondoyal-Bheenick, E. (2005). An analysis of the determinants of sovereign ratings. *Global Finance Journal*, 15(3), 251-280.
- [22] Bissoondoyal-Bheenick, E., Brooks, R., & Yip, A. Y. N. (2006). Determinants of sovereign ratings: A comparison of case-based reasoning and ordered probit approaches. *Global Finance Journal*, 17(1), 136-154.
- [23] Blaurock, U. (2007). Control and Responsibility of Credit Rating Agencies. *Journal of Comparative Law*, 11.
- [24] Blum, C., & Roli, A. (2001). Metaheuristics in Combinatorial Optimization: Overview and Conceptual Comparison. *ACM Computing Surveys*, 35, 268-308.
- [25] Bogojević Arsić, V. (2009). *Upravljanje finansijskim rizikom*. Beograd: SZR "Kragulj".
- [26] Boole, G. (1848). The calculus of logic. *Cambridge and Dublin Mathematical Journal*, 3, 183-198.
- [27] Bozic, V., & Magazzino, C. (2013). Credit Rating Agencies: The Importance of Fundamentals in the Assessment of Sovereign Ratings. *Economic Analysis and Policy*, 43(2), 157-176.
- [28] Brest, J., Bošković, B., Greiner, S., Žumer, V., & Maučec, M. S. (2007). Performance comparison of self-adaptive and adaptive differential evolution algorithms. *Soft Computing*, 11(7), 617-629.
- [29] Broner, F., Martin, A., & Ventura, J. (2010). Sovereign risk and secondary markets. *American Economic Review*, 100(4), 1523-1555.

- [30] Brooks, R., Faff, R. W., Hillier, D., & Hillier, J. (2001). The national market impact of sovereign rating changes. *Journal of Banking & Finance*, 28(1), 233-250.
- [31] Brown, F. M. (1990). *Boolean Reasoning: The Logic of Boolean Equations*: Springer.
- [32] Butler, A. W., & Fauver, L. (2006). Institutional environment and sovereign credit ratings. *Financial Management*, 35(3), 53-79.
- [33] Cantor, R., & Packer, F. (1996). Determinants and Inputs of Sovereign Credit Ratings. *FRBNY Economic Policy Review*, 2(2), 37-53.
- [34] Chen, M.-C., & Huang, S.-H. (2003). Credit scoring and rejected instances reassigning through evolutionary computation techniques. *Expert Systems with Applications*, 24(4), 433-441.
- [35] Chen, S.-S., Chen, H.-Y., Chang, C.-C., & Yang, S.-L. (2016). The relation between sovereign credit rating revisions and economic growth. *Journal of Banking & Finance*, 64, 90-100.
- [36] Chi, B.-W., & Hsu, C.-C. (2012). A hybrid approach to integrate genetic algorithm into dual scoring model in enhancing the performance of credit scoring model. *Expert Systems with Applications*, 39(3), 2650-2661.
- [37] Choy, S. Y., Chit, M. M., & Teo, W. L. (2021). Sovereign credit ratings: Discovering unorthodox factors and variables. *Global Finance Journal*, 48.
- [38] Corsetti, G., Kuester, K., Meier, A., & Müller, G. J. (2013). Sovereign risk, fiscal policy, and macroeconomic stability. *The Economic Journal*, 123(556), F99-F132.
- [39] Cosset, J.-C., & Roy, J. (1991). The determinants of country risk ratings. *Journal of International Business Studies*, 22(1), 135-142.
- [40] Crotty, J. (2009). Structural causes of the global financial crisis: a critical assessment of the 'new financial architecture'. *Cambridge Journal of Economics*, 33(4), 563-580.
- [41] Daniels, H., & Kamp, B. (1999). Application of MLP Networks to Bond Rating and House Pricing. *Neural Computing & Applications*, 8(3), 226-234.
- [42] Das, S., Mullick, S. S., & Suganthan, P. N. (2016). Recent advances in differential evolution - An updated survey. *Swarm and Evolutionary Computation*, 27, 1-30.
- [43] Das, S., & Suganthan, P. N. (2011). Differential Evolution: A Survey of the State-of-the-Art. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 15(1), 4-31.
- [44] Dash, R., Dash, P. K., & Bisoi, R. (2014). A self adaptive differential harmony search based optimized extreme learning machine for financial time series prediction. *Swarm and Evolutionary Computation*, 19, 25-42.
- [45] De Haan, J., & Amtenbrink, F. (2011). *Handbook of Central Banking, Financial Regulation and Supervision*: Edward Elgar Publishing Limited.
- [46] Deng, L., & Yu, D. (2014). Deep Learning: Methods and Applications. *Foundations and Trends in Signal Processing*, 7(3-4), 197-387.
- [47] Desai, V. S., Conway, D. G., Crook, J. N., & Overstreet, G. A. (1997). Credit scoring models in the credit union environment using neural networks and genetic algorithms. *IMA Journal of Mathematics Applied in Business & Industry*, 8(4), 323-346.
- [48] Desai, V. S., Crook, J. N., & Overstreet, G. A. (1996). A comparison of neural networks and linear scoring models in the credit union environment. *European Journal of Operational Research*, 95(1), 24-37.
- [49] Dragoi, E.-N., & Dafinescu, V. (2015). Parameter control and hybridization techniques in differential evolution: a survey. *Artificial Intelligence Review*, 45(4), 447-470.
- [50] Dragović, I., Turajlić, N., Radojević, D., & Petrović, B. (2014). Combining Boolean consistent fuzzy logic and AHP illustrated on the web service selection problem. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 7(1), 84-93.
- [51] Duffie, D., & Singleton, K. J. (2012). *Credit risk: pricing, measurement, and management*: Princeton University Press.
- [52] Dzyabura, D., & Yoganarasimhan, H. (2018). Machine learning and marketing. In N. Mizik & D. M. Hanssens (Eds.), *Handbook of Marketing Analytics*. United Kingdom: Edward Elgar Publishing Limited.
- [53] Eaton, J., Gersovitz, M., & Stiglitz, J. E. (1986). The pure theory of country risk. *European Economic Review*, 30(3), 481-513.
- [54] Engelbart, D. C. (1963). A Conceptual Framework for the Augmentation of Man's Intellect. In P. W. Howerton & D. C. Weeks (Eds.), *Vistas in Information Handling (Vol. 1)*: Spartan Books.
- [55] Epitropakis, M. G., Plagianakos, V. P., & Vrahatis, M. N. (2012). Evolving cognitive and social experience in particle swarm optimization through differential evolution: a hybrid approach. *Information sciences*, 216, 50-92.

- [56] Erdem, O., & Varli, Y. (2014). Understanding the sovereign credit ratings of emerging markets. *Emerging Markets Review*, 20, 42-57.
- [57] Fitch. (2021). Sovereign Rating Criteria. Retrieved from <https://www.fitchratings.com/research/sovereigns/sovereign-rating-criteria-26-04-2021>
- [58] Fletcher, D., & Goss, E. (1993). Forecasting with neural network: an application using bankruptcy data. *Information & Management*, 24(3), 159-167.
- [59] Fu, J., Zheng, H., & Mei, T. (2017). Look Closer to See Better: Recurrent Attention Convolutional Neural Network for Fine-Grained Image Recognition. Paper presented at the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Honolulu, HI, USA.
- [60] Gaillard, N. (2009). The determinants of Moody's sub-sovereign ratings. *International Research Journal of Finance and Economics*, 31, 194-209.
- [61] Galindo, J., & Tamayo, P. (2000). Credit Risk Assessment Using Statistical and Machine Learning: Basic Methodology and Risk Modeling Applications. *Computational Economics*, 15, 107-143.
- [62] Gao, X. Z., Wang, X., Ovaska, S. J., & Zenger, K. (2014). A hybrid optimization method based on differential evolution and harmony search. *International Journal of Computational Intelligence and Applications*, 13(1).
- [63] Goldberg, Y. (2015). A Primer on Neural Network Models for Natural Language Processing. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 57.
- [64] Gong, W., Cai, Z., Ling, C. X., & Li, H. (2011). Enhanced Differential Evolution With Adaptive Strategies for Numerical Optimization. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 41(2), 397-413.
- [65] Gong, W., Fialho, Á., Cai, Z., & Li, H. (2011). Adaptive strategy selection in differential evolution for numerical optimization: An empirical study. *Information sciences*, 181(24), 5364-5386.
- [66] Gottwald, S. (2000). A Treats on Many-Valued Logics. *Studies in Logic and Computation*, 9.
- [67] Gros Lambert, B., Clark, E. A., & Bouchet, M. H. (2003). *Country risk assessment: A guide to global investment strategy*: Willey.
- [68] Grunert, J., Norden, L., & Weber, M. (2005). The role of non-financial factors in internal credit ratings. *Journal of Banking & Finance*, 29(2), 509-531.
- [69] Guo, H., Li, Y., Li, J., Sun, H., & Wang, D. (2014). Differential evolution improved with self-adaptive control parameters based on simulated annealing. *Swarm and Evolutionary Computation*, 19, 52-67.
- [70] Gürtler, M., Hibbeln, M. T., & Vöhringer, C. (2010). Measuring concentration risk for regulatory purposes. *Journal of Risk*, 12, 69-104.
- [71] Hagan, M. T., Demuth, H. B., & Beale, M. (1996). *Neural Network Design*. Boston: PWS Publishing Co.
- [72] Hájek, P. (2011). Municipal credit rating modelling by neural networks. *Decision Support Systems*, 51(1), 108-118.
- [73] Hájek, P. (2012). Credit rating analysis using adaptive fuzzy rule-based systems: an industry-specific approach. *Central European Journal of Operations Research*, 20(3), 421-434.
- [74] Hájek, P., & Olej, V. (2011). Credit rating modelling by kernel-based approaches with supervised and semi-supervised learning. *Neural Computing and Applications*, 20(6), 761-773.
- [75] Hamilton, D. T., Ou, S., Kim, F., & Cantor, R. (2007). Corporate Default and Recovery Rates, 1920-2006. Retrieved: <https://www.moodys.com/sites/products/DefaultResearch/2006400000429618.pdf>
- [76] Hammer, P. L., Kogan, A., & Lejeune, M. A. (2006). Modelling country risk ratings using partial orders. *European Journal of Operational Research*, 175(2), 836-859.
- [77] Haykin, S. S. (1994). *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*: Prentice Hall.
- [78] Hens, A. B., & Tiwari, M. K. (2012). Computational time reduction for credit scoring: An integrated approach based on support vector machine and stratified sampling method. *Expert Systems with Applications*, 39(8), 6774-6781.
- [79] Hill, P., Brooks, R., & Faff, R. W. (2010). Variations in sovereign credit quality assessments across rating agencies. *Journal of Banking & Finance*, 34(6), 1327-1343.
- [80] Huang, C.-L., Chen, M.-C., & Wang, C.-J. (2007). Credit scoring with a data mining approach based on support vector machines. *Expert Systems with Applications*, 33(4), 847-856.
- [81] Huang, Z., Chena, H., Hsua, C.-J., Chenb, W.-H., & Wu, S. (2004). Credit rating analysis with support vector machines and neural networks: a market comparative study. *Decision Support Systems*, 37(4), 543-558.
- [82] Hull, J., Predescu, M., & White, A. (2004). The relationship between credit default swap spreads, bond yields, and credit rating announcements. *Journal of Banking & Finance*, 28(11), 2789-2811.

- [83] Ibrahim, D. (2016). An overview of soft computing. Paper presented at the 12th International Conference on Application of Fuzzy Systems and Soft Computing, Vienna, Austria.
- [84] Jelinek, S., Milošević, P., Rakićević, A., & Petrović, B. (2021). Forecasting Sovereign Credit Ratings Using Differential Evolution and Logic Aggregation in IBA Framework. Paper presented at the International Conference on Intelligent and Fuzzy Systems, Istanbul, Turkey.
- [85] Jordan, M. I., & Mitchel, T. M. (2015). Machine learning: Trends, perspectives, and prospects. *Science*, 349(6245), 255-260.
- [86] Kaminsky, G. L., & Schmukler, S. (2002). Emerging Market Instability: Do Sovereign Ratings Affect Country Risk and Stock Returns? *The World Bank Economic Review*, 16(2), 171-195.
- [87] Khashei, M., Rezvan, M. T., Hamadani, A. Z., & Bijari, M. (2013). A bi-level neural-based fuzzy classification approach for credit scoring problems. *Complexity*, 18(6), 46-57.
- [88] Khashman, A. (2011). Credit risk evaluation using neural networks: Emotional versus conventional models. *Applied Soft Computing*, 11(8), 5477-5484.
- [89] Kim, K., & Ahn, H. (2012). A corporate credit rating model using multi-class support vector machines with an ordinal pairwise partitioning approach. *Computers & Operations Research*, 39(8), 1800-1811.
- [90] Kostić, J., Bakajac, M., Milošević, P., & Poledica, A. (2013). Ranking of Banks using Logical Aggregation. Paper presented at the XI Balkan Conference on Operational Research.
- [91] Kumar, K., & Bhattacharya, S. (2006). Artificial neural network vs linear discriminant analysis in credit ratings forecast: A comparative study of prediction performances. *Review of Accounting and Finance*, 5(3), 216-227.
- [92] Kwon, Y. S., Han, I., & Lee, K. C. (1997). Ordinal Pairwise Partitioning (OPP) Approach to Neural Networks Training in Bond rating. *International Journal of Intelligent Systems in Accounting, Finance & Management*, 6(1), 23-40.
- [93] Lai, K. K., Yu, L., Wang, S., & Zhou, L. (2006). Neural network metalearning for credit scoring. Paper presented at the International Conference on Intelligent Computing, Kunming, China.
- [94] Lai, K. K., Yu, L., Zhou, L., & Wang, S. (2006). Credit risk evaluation with least square support vector machine. *Lecture Notes in Computer Science*, 4062, 490-495.
- [95] Langley, P. (2011). The changing science of machine learning. *Machine Learning*, 82(3), 275-279.
- [96] Langohr, H., & Langohr, P. (2010). *The rating agencies and their credit ratings: what they are, how they work, and why they are relevant*: Wiley.
- [97] Latinović, M., Dragović, I., Vesna, A.-B., & Petrović, B. (2018). A Fuzzy Inference System for Credit Scoring using Boolean Consistent Fuzzy Logic. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 11(1), 414-427.
- [98] Lee, T.-S., & Chen, I.-F. (2005). A two-stage hybrid credit scoring model using artificial neural networks and multivariate adaptive regression splines. *Expert Systems with Applications*, 28(4), 743-752.
- [99] Lee, T.-S., Chiu, C.-C., Lu, C.-J., & Chen, I.-F. (2002). Credit scoring using the hybrid neural discriminant technique. *Expert Systems with Applications*, 23(3), 245-254.
- [100] Lee, Y.-C. (2007). Application of support vector machines to corporate credit rating prediction. *Expert Systems with Applications*, 33(1), 67-74.
- [101] Leshno, M., & Spector, Y. (1996). Neural network prediction analysis: The bankruptcy case. *Neurocomputing*, 10(2), 125-147.
- [102] Leung, H., & Haykin, S. (1991). The complex backpropagation algorithm. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 39(9), 2101-2104.
- [103] Liu, J., & Lampinen, J. (2005). A Fuzzy Adaptive Differential Evolution Algorithm. *Soft Computing*, 9, 448-462.
- [104] Liu, P., Seyyed, F. J., & Smith, S. D. (2003). The independent impact of credit rating changes - the case of Moodys rating refinement on yields premiums. *Journal of Business Finance and Accounting*, 26, 337 – 363.
- [105] Liu, X., & Liu, W. (2005). Credit Rating Analysis with AFS Fuzzy Logic. Paper presented at the Advances in Natural Computation, Berlin.
- [106] Lukasiewicz, J. (1970). *Selected Works*: North-Holland Pub. Co.
- [107] Maher, J. J., & Sen, T. K. (1997). Predicting bond ratings using neural networks: A comparison with logistic regression. *International Journal of Intelligent Systems in Accounting, Finance & Management*, 6(1), 59-72.
- [108] Mählmann, T. (2008). Rating agencies and the role of rating publication rights. *Journal of Banking & Finance*, 32(11), 2412-2422.

- [109] Mallipeddi, R. (2013). Harmony Search Based Parameter Ensemble Adaptation for Differential Evolution. *Journal of Applied Mathematics*, 2, 1-12.
- [110] Mao, H., Cheung, M., & She, J. (2017). DeepArt: Learning Joint Representations of Visual Arts. Paper presented at the MM '17: ACM Multimedia Conference, Mountain View, California, USA.
- [111] Marks, R. (1993). Intelligence: Computational versus Artificial. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 4(5), 737-739.
- [112] Martinović, N., & Delibašić, B. (2014). Selection of the best consultant for SAP ERP project using combined AHP-IBA approach. *Yugoslav Journal of Operations Research*, 24(3), 383-398.
- [113] Mathis, J., McAndrews, J., & Rochet, J.-C. (2009). Rating the raters: Are reputation concerns powerful enough to discipline rating agencies? *Journal of Monetary Economics*, 56(5), 657-674.
- [114] Mellios, C., & Paget-Blanc, E. (2006). Which factors determine sovereign credit ratings? *The European Journal of Finance*, 12(4), 361-377.
- [115] Mikolov, T., Karafiát, M., Burget, L., & Cernocký, J. (2010). Recurrent neural network based language model. Paper presented at the 11th Annual Conference of the International Speech Communication Association, Makuhari, Chiba, Japan.
- [116] Milošević, P., Petrović, B., Radojević, D., & Kovačević, D. (2014). A software tool for uncertainty modeling using Interpolative Boolean algebra. *Knowledge-Based Systems*, 62, 1-10.
- [117] Milošević, P., Poledica, A., Rakićević, A., Dobrić, V., Petrović, B., & Radojević, D. (2018). IBA-based framework for modeling similarity. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 11(1), 206-218.
- [118] Mitchell, M. (1998). *An Introduction to Genetic Algorithms*: The MIT Press.
- [119] Mitchell, T. (1997). *Machine Learning*: McGraw-Hill.
- [120] Montavon, G., Samek, W., & Müller, K.-R. (2018). Methods for interpreting and understanding deep neural networks. *Digital Signal Processing*, 73, 1-15.
- [121] Moody's. (2009). How Moody's Rates Sovereigns and Supranational Entities. Retrieved from <https://www.moody's.com/Pages/HowMoody'sRatesSovereigns.aspx>
- [122] Mora, N. (2006). Sovereign credit ratings: Guilty beyond reasonable doubt? *Journal of Banking & Finance*, 30(7), 2041-2062.
- [123] Ni, Y., McVicar, M., Santos-Rodriguez, R., & De Bie, T. (2012). An end-to-end machine learning system for harmonic analysis of music. Paper presented at the IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing.
- [124] Norvig, P., & Russell, S. (1994). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*: Prentice Hall.
- [125] Novák, V., Perfilieva, I., & Mockor, J. (1999). *Mathematical principles of fuzzy logic*: Springer.
- [126] Odom, M. D., & Sharda, R. (1990). A neural network model for bankruptcy prediction. Paper presented at the IJCNN International Joint Conference on Neural Networks, San Diego, CA, USA.
- [127] Opara, K. R., & Arabas, J. (2019). Differential Evolution: A survey of theoretical analyses. *Swarm and Evolutionary Computation*, 44, 546-558.
- [128] Oral, M., Kettani, O., Cosset, J.-C., & Daouas, M. (1992). An Estimation Model for Country Risk Rating. *International Journal of Forecasting*, 8(4), 583-593.
- [129] Oreski, S., Oreski, D., & Oreski, G. (2012). Hybrid system with genetic algorithm and artificial neural networks and its application to retail credit risk assessment. *Expert Systems with Applications*, 39(16), 12605-12617.
- [130] Piramuthu, S. (1999). Financial credit-risk evaluation with neural and neurofuzzy systems. *European Journal of Operational Research*, 112(2), 310-321.
- [131] Poledica, A., Milošević, P., Dragović, I., Petrović, B., & Radojević, D. (2015). Modeling consensus using logic-based similarity measures. *Soft Computing*, 19(11), 3209-3219.
- [132] Qin, A. K., Huang, V. L., & Suganthan, P. N. (2009). Differential Evolution Algorithm With Strategy Adaptation for Global Numerical Optimization. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 13(2), 398-417.
- [133] Radojević, D. (2000). New $[0, 1]$ – valued logic: A natural generalization of Boolean logic. *Yugoslav Journal of Operations Research*, 10(2), 185-216.
- [134] Radojević, D. (2008a). Fuzzy Set Theory in Boolean Frame. *International Journal of Computers, Communications & Control*, 3(3), 121-131.
- [135] Radojević, D. (2008b). Logical aggregation based on interpolative Boolean algebra. *Mathware & Soft Computing*, 15(1), 125-141.
- [136] Radojević, D. (2010). Generalizovane (realno-vrednosne) relacije poretka i ekvivalencije. Paper presented at the XXXVII Simpozijum o operacionim istraživanjima.
- [137] Radojević, D. (2013). Real-valued realizations of Boolean algebras are a natural frame for consistent fuzzy logic On Fuzziness: A Homage to Lotfi A. Zadeh (Vol. 2, pp. 559-566). Berlin: Springer.

- [138] Rakićević, A., Milošević, P., Petrović, B., & Radojević, D. (2016). DuPont Financial Ratio Analysis Using Logical Aggregation Soft Computing Applications (pp. 727-739): Springer.
- [139] Rakićević, A., Milošević, P., Poledica, A., Dragović, I., & Petrović, B. (2019). Interpolative Boolean approach for fuzzy portfolio selection. In A. Meier, E. Portmann, & L. Terán (Eds.), *Applying Fuzzy Logic for the Digital Economy and Society* (pp. 23-46).
- [140] Reinhart, C. M. (2002). Default, Currency Crises, and Sovereign Credit Ratings. *The World Bank Economic Review*, 16(2), 151-170.
- [141] Reisen, H., & von Maltzan, J. (1999). Boom and Bust and Sovereign Ratings. *International Finance*, 2(2), 273-293.
- [142] Rumelhart, D. E., Hinton, G. E., & Williams, R. J. (1986). Learning representations by back-propagating errors. *Nature*, 323, 533-536.
- [143] Saberi, M., Mirtalaie, M. S., Hussain, F. K., Azadeh, A., Hussain, O. K., & Ashjar, B. (2013). A granular computing-based approach to credit scoring modeling. *Neurocomputing*, 122, 100-115.
- [144] Schwefel, H.-P. (1981). *Numerical Optimization of Computer Models*: Willey.
- [145] Shi, B., Bai, X., & Yao, C. (2017). An End-to-End Trainable Neural Network for Image-Based Sequence Recognition and Its Application to Scene Text Recognition. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 39(11), 2298-2304.
- [146] Shin, K., & Lee, Y.-J. (2002). A genetic algorithm application in bankruptcy prediction modeling. *Expert Systems with Applications*, 23(3), 321-328.
- [147] Siddique, N., & Adeli, H. (2013). *Computational Intelligence: Synergies of Fuzzy Logic, Neural Networks and Evolutionary Computing*: Willey.
- [148] Sreekantha, D. K., & Kulkarni, R. V. (2010). Expert system design for credit risk evaluation using neuro-fuzzy logic. *Expert Systems*, 29(1), 56-69.
- [149] Standard&Poor. (2011). *Sovereign Government Rating Methodology And Assumptions*. Retrieved from <https://www.concertedaction.com/wp-content/uploads/2012/05/Standard-Poors-Sovereign-Government-Rating-And-Methodology.pdf>
- [150] Storn, R., & Price, K. (1997). Differential Evolution – A Simple and Efficient Heuristic for global Optimization over Continuous Spaces. *Journal of Global Optimization*, 11, 341–359.
- [151] Stulz, R. M. (2010). Credit Default Swaps and the Credit Crisis. *Journal of Economic Perspectives*, 24(1), 73-92.
- [152] Sugeno, M. (1987). Industrial Applications of Fuzzy Control. *Industrial Applications of Fuzzy Control*, 29(1), 116-117.
- [153] Surkan, A. J., & Singleton, J. C. (1990). Neural networks for bond rating improved by multiple hidden layers. Paper presented at the IJCNN International Joint Conference on Neural Networks, San Diego, CA, USA.
- [154] Syau, Y.-R., Hsieh, H.-T., & Lee, E. S. (2001). Fuzzy Numbers in the Credit Rating of Enterprise Financial Condition. *Review of Quantitative Finance and Accounting*, 17, 351-360.
- [155] Tanabe, R., & Fukunaga, A. (2014a). Improving the Search Performance of SHADE Using Linear Population Size Reduction. Paper presented at the IEEE Congress on Evolutionary Computation, Beijing, China.
- [156] Tanabe, R., & Fukunaga, A. (2014b). Reevaluating Exponential Crossover in Differential Evolution. Paper presented at the Parallel Problem Solving from Nature, Ljubljana, Slovenia.
- [157] Teixeira, J. C. A., Silva, F. J. F., Ferreira, M. B. S., & Vieira, J. A. C. (2017). Sovereign credit rating determinants under financial crises. *SSRN Electronic Journal*.
- [158] Teker, D., Pala, A., & Kent, O. (2013). Determination of Sovereign Rating: Factor Based Ordered Probit Models for Panel Data Analysis Modelling Framework. *International Journal of Economics and Financial Issues*, 3(11), 122-132.
- [159] Teo, J. (2006). Exploring dynamic self-adaptive populations in differential evolution. *Soft Computing*, 10, 673–686.
- [160] Thierens, D. (2005). An Adaptive Pursuit Strategy for Allocating Operator Probabilities. Paper presented at the Genetic and Evolutionary Computation Conference, Washington DC, USA.
- [161] Tran, D.-H., Cheng, M.-Y., & Cao, M.-T. (2015). Hybrid multiple objective artificial bee colony with differential evolution for the time–cost–quality tradeoff problem. *Knowledge Based Systems*, 74, 176-186.
- [162] Trivedi, A., Srinivasan, D., Biswas, S., & Reindl, T. (2015). Hybridizing genetic algorithm with differential evolution for solving the unit commitment scheduling problem. *Swarm and Evolutionary Computation*, 23, 50-64.
- [163] Tsai, C.-F., & Wu, J.-W. (2008). Using neural network ensembles for bankruptcy prediction and credit scoring. *Expert Systems with Applications*, 34(4), 2639-2649.

- [164] Van Gestel, T., Baesens, B., Garcia, J., & Van Dijcke, P. (2003). A Support Vector Machine Approach to Credit Scoring. *Bank en Financiewezen*, 2, 73-82.
- [165] Vojtek, N., Petrović, B., & Milošević, P. (2021). Decision Support System for Predicting the Number of No-Show Passengers in Airline. *Tehnički vjesnik*, 28(1), 123-134.
- [166] Wang, Y., Cai, Z., & Zhang, Q. (2011). Differential evolution with composite trial vector generation strategies and control parameters. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 15(1), 55-66.
- [167] Wang, Y., Wang, S., & Lai, K. K. (2005). A new fuzzy support vector machine to evaluate credit risk. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 13(6), 820 - 831.
- [168] West, D. (2000). Neural network credit scoring models. *Computers & Operations Research*, 27(11-12), 1131-1152.
- [169] Whitley, D. (1994). A genetic algorithm tutorial. *Statistics and Computing*, 4, 65-85.
- [170] Wu, G., Mallipeddi, R., Suganthan, P. N., Wang, R., & Chen, H. (2016). Differential evolution with multi-population based ensemble of mutation strategies. *Information sciences*, 329, 329-345.
- [171] Xin, B., Chen, J., Zhang, J., Fang, H., & Peng, Z.-H. (2011). Hybridizing Differential Evolution and Particle Swarm Optimization to Design Powerful Optimizers: A Review and Taxonomy. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 42(5), 744-767.
- [172] Xue, F., Sanderson, A. C., Bonissone, P. P., & Graves, R. J. (2005). Fuzzy Logic Controlled Multi-Objective Differential Evolution. Paper presented at the IEEE International Conference on Fuzzy Systems, Reno, NV, USA.
- [173] Yobas, B., Crook, J. N., & Ross, P. (2000). Credit scoring using and evolutionary techniques. *IMA Journal of Mathematics Applied in Business and Industry*, 11(2), 111-125.
- [174] Yu, L., Wang, S., & Lai, K. K. (2008). Credit risk assessment with a multistage neural network ensemble learning approach. *Expert Systems with Applications*, 34(2), 1434-1444.
- [175] Yu, L., Yao, X., Wang, S., & Lai, K. K. (2011). Credit risk evaluation using a weighted least squares SVM classifier with design of experiment for parameter selection. *Expert Systems with Applications*, 38(12), 15392-15399.
- [176] Yu, W.-J., & Zhang, J. (2011). Multi-population Differential Evolution with Adaptive Parameter Control for Global Optimization. Paper presented at the Genetic and Evolutionary Computation Conference, Dublin, Ireland.
- [177] Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338-353.
- [178] Zadeh, L. A. (2008). Is there a need for fuzzy logic? . *Information sciences*, 178(13), 2751-2779.
- [179] Zantalis, F., Koulouras, G., Karabetsos, S., & Kandris, D. (2019). A review of machine learning and IoT in smart transportation. *Future Internet*, 11(4).
- [180] Zenios, S. A. (2013). The Cyprus Debt: Perfect Crisis and a Way Forward. *Cyprus Economic Policy Review*, 7(1), 3-45.
- [181] Zhang, G., Hu, M. Y., Patuwo, E., & Indro, D. C. (1999). Artificial neural network in bankruptcy prediction: general framework and cross validation analysis. *European Journal of Operational Research*, 116(1), 16-32.
- [182] Zhang, J., & Sanderson, A. C. (2009). JADE: Adaptive Differential Evolution with Optional External Archive. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 13(5), 945-958.
- [183] Zhang, P., & Qi, M. (2005). Neural network forecasting for seasonal and trend time series. *European Journal of Operational Research*, 160(2), 501-514.
- [184] Zhao, Z., Xu, S., Kang, B. H., Kabir, M. M. J., Liu, Y., & Wasinger, R. (2015). Investigation and improvement of multi-layer perceptron neural networks for credit scoring. *Expert Systems with Applications*, 42(7), 3508-3516.
- [185] Zheng, H., Fu, J., Mei, T., & Luo, J. (2017). Learning Multi-Attention Convolutional Neural Network for Fine-Grained Image Recognition. Paper presented at the IEEE International Conference on Computer Vision, Venice, Italy.
- [186] Zheng, Y.-J., Xu, X.-L., Ling, H.-F., & Chen, S.-Y. (2015). A hybrid fireworks optimization method with differential evolution operators. *Neurocomputing*, 148, 75-82.
- [187] Zhong, H., Miao, C., Shen, Z., & Feng, Y. (2014). Comparing the learning effectiveness of BP, ELM, I-ELM, and SVM for corporate credit ratings. *Neurocomputing*, 128, 285-295.
- [188] Zou, D., Wu, J., Gao, L., & Li, S. (2013). A Modified Differential Evolution Algorithm for Unconstrained Optimization Problems. *Neurocomputing*, 120, 469-481.

7. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу изложеног може се закључити да кандидат Срђан Јелинек испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању за одобрење израде докторске дисертације под насловом „Хибридни ИБА-ДЕ приступ за предвиђање кредитног рејтинга држава“. Срђан Јелинек поседује неопходна знања из области информационих система и технологија, рачунарске интелигенције и управљања системима за успешан рад на докторској дисертацији.

Тема припада ужој научној области Управљање системима, мултидисциплинарна је и актуелна. Добијени резултати могу да допринесу унапређењу и имплементацији приступа за предвиђање кредитних рејтинга помоћу метода рачунарске интелигенције, омогућивши на овај начин већу транспарентност предвиђања и посредно смањење потенцијалних злоупотреба на глобалном нивоу.

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 Павле Милошевић, доцент Факултета организационих наука, Универзитета у Београду.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

др Павле Милошевић, доцент
Факултет организационих наука, Универзитет у Београду

др Драгана Макајић-Николић, ванредни професор
Факултет организационих наука, Универзитета у Београду

др Снежана Кнежевић, ванредни професор
Факултет организационих наука, Универзитета у Београду

др Ивана Драговић, доцент
Факултет организационих наука, Универзитета у Београду

др Ивана Мицић, доцент
Природно-математички факултет, Универзитета у Нишу

Београд, _____