

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ		
1. Датум и орган који је именовао комисију: Наставно-научно веће Природно-математичког факултета у Новом Саду, 10.6.2021.		
2. Састав комисије у складу са <i>Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду</i> :		
1. др Шкрбић Срђан	Редовни професор	Информациони системи, 15.10.2019.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Природно-математички факултет, Универзитет у Новом Саду		Председник комисије
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
2. др Рацковић Милош	Редовни професор	Рачунарске науке, 2.3.2006.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Природно-математички факултет, Универзитет у Новом Саду		Ментор
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
3. др Радовановић Милош	Ванредни професор	Рачунарске науке, 12.12.2016.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Природно-математички факултет, Универзитет у Новом Саду		Члан
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
4. др Сливка Јелена	Ванредни професор	Примењене рачунарске науке и информатика, 25.06.2020.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду		Члан
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
5. др Лончар Владимир	Научни сарадник	Рачунарство, 27.3.2019.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Институт за физику, Земун		Члан
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ		
1. Име, име једног родитеља, презиме:		

Немања (Бранислав) Милошевић

2. Датум рођења, општина, држава:

20. 11. 1992, Рума, Србија

3. Назив факултета, назив претходно завршеног нивоа студија и стечени стручни/академски назив:

Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Информатика – Софтверско инжењерство, Мастер информатичар

4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија:

2016, Докторске академске студије - Информатика

### **III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

Негативно дубоко учење (на енглеском језику: Negative Deep Learning)

### **ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

Докторска дисертација има следећи облик:

13/205 (xxvi + 179) /91/31/20/0/14

(број поглавља, страна, лит. цитата, табела, слика, графика, прилога)

Докторска дисертација се бави вештачком интелигенцијом, односно машинским и дубоким учењем. У дисертацији се говори о новој врсти дубоких неуронских мрежа које су назване негативне неуронске мреже. Овакви модели неуронских мрежа, као што је приказано у дисертацији, имају веће перформансе и повећану робустност у односу на традиционалне моделе у специфичним задацима описаним у дисертацији. У оквиру дисертације модели су тестирани у разним изазовним и тешким сценаријима као што је присуство оклузија, парцијални подаци, адверсаријални подаци и слично. У каснијим деловима дисертације говори се о моделима синергије који представљају спој традиционалних модела неуронских мрежа и новонасталих негативних модела као и о моделима који могу да раде у агентским окружењима и моделима за учење функције сличности (енг. Similarity Learning).

Главни циљ и допринос дисертације је дефиниција нових негативних модела дубоког учења, њихова експериментална анализа и примена.

Докторска дисертација је подељена у пет делова (целина).

У првом делу дисертације, кандидат пружа кратак опис циљева и мотивације за израду дисертације. Такође је дат приказ доприноса и план реализације дисертације. У другом поглављу првог дела дисертације, дат је увид у област вештачке интелигенције, где је фокус на алгоритмима дубоког учења чијим се истраживањем и надоградњом бави ова дисертација. Дат је преглед најновијих и најнапреднијих техника дубоког учења и како се оне могу применити на свакодневне проблеме у рачунарству, а и генерално.

Други део дисертације даје уводни сажетак о негативном учењу, предностима и манама овог приступа, постојеће начине имплементације и постојеће алгоритме који на неки начин користе негативно учење. У другом поглављу овог дела (Поглавље 4) дат је приказ и теоретска и интуитивна основа негативног дубоког учења. Дат је приказ могућих модела негативног дубоког учења, који ће се у каснијим поглављима детаљније дефинисати и имплементирати. На крају овог дела дисертације је такође дат преглед неких случајева коришћења ових алгорита који могу бити корисни свима који желе да примене овакве алгоритме на проблеме машинског учења.

Трећи део дисертације даје приказ првог модела негативног дубоког учења: модел за класификацију на основу недостајућих особина. Недостајуће особине дефинисане су као особине улазних података које знамо да постоје али нису присутне у подацима које тренутно посматрамо. Дат је детаљан опис проблема, облика података и могућих предности оваквог приступа. У Поглављу 6 је дат детаљан опис имплементације овог алгоритма за проблем класификације слика. Поглавље 6.3 даје преглед разних начина репрезентације негативних особина уз помоћ негативних активационих функција, док Поглавље 6.4 даје опис процеса тренирања овог алгоритма. У Поглављу 7 приказани су резултати и перформансе модела за класификацију на

основу недостајућих особина, где је фокус на једном виду примене, а то је класификација слика којима недостају делови. Модел је тестиран и валидиран на познатом МНИСТ скупу података, као и на новонасталом ПМНИСТ скупу података који је такође резултат истраживања ове дисертације. Резултати јасно показују да је овај модел негативног дубоког учења отпорнији на проблем парцијалних улаза у поређењу са традиционалним моделима. На крају, Поглавље 7.2 показује да овакви модели имају већи степен отпорности и на адверсаријалне нападе, још један допринос области машинског учења.

У Делу 4 докторске дисертације дат је опис модела синергије који покушава да надогради претходно описан модел за класификацију на основу недостајућих особина. У Поглављу 8 дат је кратак опис техника учења спојених (енг. Ensemble) модела. У Поглављу 9 дат је опис модела синергије, где је фокус на опису потребе за оваквим моделом због уочених недостатака претходног негативног модела. Поново је систематично описана архитектура и имплементација алгорита, као и резултати и евалуација модела у проблему класификације парцијалних улаза. На крају, у Поглављу 9.7 дат је приказ отпорности модела на разне адверсаријалне нападе.

У петом делу докторске дисертације кандидат уводи појам „правог“ негативног дубоког учења, где се даје генерализација претходно описаних приступа. У Поглављу 10 дат је приказ четири технике правог негативног дубоког учења, као и сама дефиниција учења на основу негативних података. У поглављима 11 и 12 дат је детаљан опис две имплементације оваквих алгоритама: негативног сијамских неуронских мрежа и негативног агената дубоког појачаног (енг. Reinforcement Learning) учења.

У Поглављу 13 дати су закључци истраживања ове дисертације, као и идеје за будући рад.

#### **ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

Дисертација је добро структурирана и има добар начин излагања.

Дисертација се може поделити и вредновати на основу приказаних истраживачких задатака. Први истраживачки задатак је дефиниција, приказ предности и мана, и опис имплементације модела машинског учења, прецизније модела негативног дубоког учења. У деловима 1 и 2 докторске дисертације дат је управо овакав преглед ових модела, где је на организован начин представљено тренутно стање области дубоког учења, као и неки модели негативног учења. Затим је приказан спој ове две целине кроз могуће моделе негативног дубоког учења.

Други истраживачки задатак огледа се у дефиницији, имплементацији и евалуацији модела негативног дубоког учења, а овај задатак обрађен је у деловима 3, 4, и 5. У Делу 3 представљен је опис, имплементација и евалуација модела за класификацију на основу негативних особина. Кандидат је систематично и детаљно дефинисао овај модел и дао конкретне примере примене, као и сам начин имплементације овог модела. Модел је такође детаљно тестиран и евалуиран у разним сценаријима парцијалних улаза и адверсаријалним сценаријима, а резултати, перформансе и поређење модела су приказани на прегледан и лако разумљив начин. Резултати су приказани комбинацијом табела са метрикама и одговарајућим графиконима. У Делу 4 приказани су неки недостаци модела за класификацију на основу недостајућих особина, са фокусом на дефиницију бољег модела који те недостатке може превазићи. Модел синергије је такође одлично и јасно дефинисан, као и његова имплементација и евалуација у разним сценаријима. На крају, у Делу 5 приказани су модели правог негативног учења, где је на јасан и једноставан начин описано на какве се моделе мисли под овим термином и како се они могу имплементирати. Дате су и две конкретне имплементације које су евалуиране на одговарајући начин.

Можемо закључити да је кандидат на добар и систематичан начин приказао постојеће приступе у овој истраживачкој области и да је својим резултатима приказаним у овој дисертацији дао оригинални допринос у области рачунарских наука. Тиме је у потпуности реализован циљ ове докторске дисертације.

Према правилима Универзитета, текст дисертације тестиран је на плагијаризам коришћењем софтвера iThenticate. Софтвер је пријавио укупан индекс сличности од 33%. Од тога, бар 30% преклапања текста је везано за радове самог кандидата. Издвајамо највеће преклапање са два рада од 16% и 14%:

Milošević, N., & Racković, M. "Synergy between traditional classification and classification based on negative features in deep convolutional neural networks." *Neural Computing and Applications* (2020), 1-10. <https://doi.org/10.1007/s00521-020-05503-4> – 16%

Milošević, N., & Racković, M. "Classification based on missing features in deep convolutional neural networks." *Neural Network World* 29.4 (2019): 221-234. <https://doi.org/10.14311/nnw.2019.29.015> – 14%

што је очекивано, будући да су то радови у којима су делимично приказани резултати дисертације и у којима је кандидат први аутор. Остатак преклапања од мање од 3% односи се на опште појмове и често коришћене фразе.

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

Категорија M23:

Milošević, N., & Racković, M. "Classification based on missing features in deep convolutional neural networks." *Neural Network World* 29.4 (2019): 221-234. <https://doi.org/10.14311/nnw.2019.29.015>

Категорија M21:

Milošević, N., & Racković, M. "Synergy between traditional classification and classification based on negative features in deep convolutional neural networks." *Neural Computing and Applications* (2020). <https://doi.org/10.1007/s00521-020-05503-4>

## **VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА:**

Резултати истраживања приказани су деловима 2, 3, 4 и 5 докторске дисертације.

У Делу 2 дисертације приказана је дефиниција нове породице дубоких вештачких неуронских мрежа, као и њихова примена на познате проблеме у области машинског учења. Дефиниција ових модела и њихов детаљан опис могу се тумачити као први резултат истраживања.

Други резултат истраживања приказан је у Делу 3 где је дата дефиниција модела за класификацију на основу недостајућих особина. Дат је детаљан опис овог модела и како се он може применити на постојеће дубоке конволутивне мреже, које се данас често користе. Описан је процес којим се постојеће конволутивне неуронске мреже могу надоградити да користе додатно знање у виду негативних (недостајућих) особина. Дата је интуиција која је кандидата довела до идеје за имплементацију оваквог модела, као и неке од могућих области примена са фокусом на робустности дубоких неуронских мрежа. Описани су и експерименти са разним врстама негативних активационих функција који представљају срж имплементације овог модела. Најважнији резултат овог дела дисертације огледа се у детаљном приказу експеримената и перформанси ових модела и њихово поређење са традиционалним моделима дубоких неуронских мрежа. Приказани су резултати класификације са парцијалним улазима, оклузијама и адверсаријалним нападима, где је јасно видљиво да модели за класификацију на основу недостајућих особина имају боље перформансе у поређењу са традиционалним моделима исте архитектуре.

Трећи резултат истраживања дат је у Делу 4 ове докторске дисертације. У овом делу приказани су неки недостаци модела за класификацију на основу недостајућих особина и како се они могу надоместити техникама ансамбл (енг. Ensemble) учења. Овај део дисертације приказује један овакав модел — модел синергије. Наиме, иако модели за класификацију на основу недостајућих особина имају веће перформансе од традиционалних модела исте архитектуре, повећање у перформансама није апсолутно, односно део знања је изгубљен у процесу негације особина. Овај недостатак се може надоместити комбинацијом негативних и традиционалних модела неуронских мрежа, што је и приказано у овом делу дисертације. Резултати су такође приказани за комплекснији скуп података CIFAR-10 где се види побољшање перформанси модела синергије у разним сценаријима као што су парцијални улази, оклузије и адверсаријални напади. Такође, резултати претходног модела су поново валидирани на овом скупу података са сличним исходом. Део овог резултата је такође и приказ експеримената разних начина спајања модела који могу бити корисни чак и истраживачима који се не баве негативним дубоким учењем.

Четврти резултат истраживања дат је у петом делу дисертације где кандидат приказује и дефинише појам правог негативног учења кроз низ дефиниција и примера. Такође су дата и два конкретна примера (негативне сијамске неуронске мреже и негативни агенти дубоког појачаног учења) који су имплементирани и евалуирани на одговарајући начин. Примена ових модела је такође наведена, као и идеје за будуће имплементације и генерално, за будуће истраживање у овој области.

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

Приказ свих резултата истраживања је ваљано организован по логичким целинама, а формулација

результата је прецизна и илустрована примерима. Тумачење добијених резултата је коректно изведено, уз њихову детаљну анализу.

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

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

Дисертација је у потпуности написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе?

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

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци?

Први оригинални научни допринос се огледа у увођењу нове врсте вештачких неуронских мрежа као алгоритама у области машинског учења. Приказано је више врста модела негативног дубоког учења, а фокус је био на моделима за класификацију на основу недостајућих особина и моделима синергије негативних и традиционалних конволутивних дубоких неуронских мрежа. Модели негативног дубоког учења представљени у овој дисертацији представљају нову парадигму у области дубоког (и машинског) учења и као такви имају велик допринос у овој научној области.

Други оригинални допринос дисертације је детаљан опис, евалуација и имплементација приказаних конкретних модела негативног дубоког учења. У дисертацији је приказан велики број разних експеримената и начина имплементације који могу бити корисни истраживачима из научне области машинског учења. Приказани су експерименти са класификацијом парцијалних улаза код класификације слика, експерименти са оклузијама код класификације слика, експерименти негативних модела са разним врстама активационих функција, експерименти са негираним активационим функцијама, негативним конволутивним филтерима, вишефазним тренирањем неуронских мрежа, експерименти са разним врстама адверсаријалних напада, експерименти са разним начинима спајања негативних и традиционалних модела, експерименти са негативним моделима учења сличности (сијамске неуронске мреже), експерименти са негативним моделима појачаног учења.

Истакнути оригинални доприноси првог и другог дела дисертације приказани су овде:

1. Дефиниција модела негативног дубоког учења са приказом постојећих најнапреднијих модела дубоког учења и негативног учења. Детаљан опис разних врста негативних модела и начин на који се они могу користити.
2. Дефиниција модела за класификацију на основу недостајућих особина, имплементација, експерименти и евалуација ових модела.
3. Приказ побољшања перформанси модела за класификацију на основу недостајућих особина у случају класификације парцијалних улаза и адверсаријалним нападима.
4. Дефиниција модела синергије негативних и традиционалних модела конволутивних неуронских мрежа, њихова имплементација, експерименти и евалуација.
5. Приказ побољшања перформанси модела синергије у случајевима оклузија, парцијалних улаза и адверсаријалних напада код проблема класификације слика.
6. Дефиниција негативних сијамских мрежа и негативних агената појачаног учења, њихова имплементација и експерименти.

Који су недостаци дисертације и какав је њихов утицај на резултат истраживања?

Дисертација нема недостатака.

**X ПРЕДЛОГ:**

На основу наведеног, комисија предлаже да се докторска дисертација „Негативно дубоко учење“ кандидата Немање Милошевића прихвати, а кандидату одобри јавна одбрана дисертације.

Место и датум:  
Нови Сад,

1. др Срђан Шкрбић, редовни професор, председник

\_\_\_\_\_

2. др Милош Рацковић, редовни професор, ментор

\_\_\_\_\_

3. др Милош Радовановић, ванредни професор, члан

\_\_\_\_\_

4. др Јелена Сливка, ванредни професор, члан

\_\_\_\_\_

5. др Владимир Лончар, научни сарадник, члан

\_\_\_\_\_

**НАПОМЕНА:** Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не жели да потпише извештај и да исти потпише.