

Факултет техничких наука, Нови Сад

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

-обавезна садржина- свака рубрика мора бити попуњена

(сви подаци уписују се у одговарајућу рубрику, а назив и место рубрике не могу се мењати или изоставити)

| I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ |
|---|
| <p>1. Датум и орган који је именовao комисију</p> <p>Решење број 012-199/29-2016 од 27.10.2016., декан Факултета техничких наука, проф. др Раде Дорословачки</p> |
| <p>2. Састав комисије са назнаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање, датума избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен:</p> <p>1. др Станиша Даутовић, доцент, уже научна област Теоријска електротехника, изабран у звање 02.06.2015. године, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду,</p> <p>2. др Вук Врањковић, доцент, уже научна област Електроника, изабран у звање 23.10.2015. године, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду,</p> <p>3. др Иван Мезеи, доцент, уже научна област Електроника, изабран у звање 20.12.2012. године, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду,</p> <p>4. др Теуфик Токић, редовни професор, уже научна област Рачунарство и информатика, изабран у звање 24.11.2004. године, Електронски факултет, Универзитет у Нишу,</p> <p>5. др Растислав Струхарик, ванредни професор, уже научна област Електроника, изабран у звање 08.07.2015. године, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду.</p> |
| II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ |
| <p>1. Име, име једног родитеља, презиме:</p> <p>Богдан, Зоран, Вукобратовић</p> |
| <p>2. Датум рођења, општина, држава:</p> <p>09.10.1985. Нови Сад, Србија</p> |
| <p>3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив</p> <p>Факултет техничких наука, Нови Сад, Енергетика, електроника и телекомуникације, Дипломирани инжењер електротехнике и рачунарства – мастер</p> |

4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија
2009. Енергетика, електроника и телекомуникације

5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране:
(нема)

6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука:
(нема)

III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Хардверска акцелерација неинкременталних алгоритама за формирање стабала одлуке и њихових ансамбала

ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

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

Докторска дисертација је написана на енглеском језику и има 160 страна, 7 поглавља, 94 референце, 56 слика, 45 табела и 17 листинга алгоритама. Детаљнији садржај докторске дисертације приказан је у наставку:

1. Abstract
2. Introduction
- 2.1 Machine learning
- 2.2 Decision Trees
- 2.3 Decision tree induction
 - 2.3.1 General approaches to DT induction
 - 2.3.2 Evolutionary oblique full DT induction
- 2.4 Hardware aided decision tree induction
- 2.5 Induction of decision tree ensembles
- 2.6 Hardware aided induction of decision tree ensembles
- 2.7 UCI Database Library
- 2.8 The structure of the experiments used in the thesis
3. EFTI algorithm
 - 3.1 The algorithm overview
 - 3.2 Detailed description
 - 3.2.1 Mutation
 - 3.2.2 The DT node insertion algorithm
 - 3.2.3 Fitness evaluation
 - 3.2.4 Selection
 - 3.3 Improvements to the basic EFTI algorithm
 - 3.3.1 Unrepresented classes
 - 3.3.2 Search probability
 - 3.3.3 Partial reclassification
 - 3.4 Complexity of the EFTI algorithm
 - 3.5 Experiments
 - 3.5.1 Dependence on the number of iterations
 - 3.5.2 Equitemporal comparison with the existing solutions
 - 3.5.3 Group comparison of all algorithms
4. Co-processor for the DT Induction - the EFTIP
 - 4.1 Profiling Results
 - 4.2 Existing Architectures for Hardware Acceleration of the DT Classification
 - 4.3 EFTIP Detailed Description
 - 4.3.1 Classifier

- 4.3.2 Training Set Memory
- 4.3.3 DT Memory Array
- 4.3.4 Accuracy Calculator
- 4.3.5 Control Unit
- 4.4 Required Hardware Resources and Performance
- 4.5 Software for the EFTIP Assisted DT Induction
- 4.6 Experiments
 - 4.6.1 Required Hardware Resources for the EFTIP Co-Processor Used in Experiments
 - 4.6.2 Estimation of Induction Speedup
- 5. EEFTI algorithm
 - 5.1 Bagging Algorithm
 - 5.2 EEFTI Description
 - 5.3 Advantages of the DT ensembles
- 6. Co-processor for the DT ensemble induction - EEFTIP
 - 6.1 IRQ Status Module
 - 6.2 Theoretical estimation of the achievable speedup of the proposed HW/SW system
 - 6.2.1 Random sampling without replacement
 - 6.2.2 Whole training set for each member
 - 6.3 Software for the EEFTIP assisted DT ensemble induction
 - 6.4 Experiments
 - 6.4.1 Required Hardware Resources for the EEFTIP co-processor
 - 6.4.2 Estimation of the Induction Speedup
- 7. Conclusion

ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Највећи допринос докторске дисертације представља развој нових алгоритама за неинкрементално формирање стабала одлуке, који се базирају на еволутивним алгоритмима који не захтевају популацију, као и хардверских акцелератора за њихово убрзање. Према најбољим сазнањима комисије ово су први такви алгоритми и копроцесори.

У уводном поглављу дисертације дата је мотивација за предложена истраживања. Потом је дат кратак преглед постојећих резултата у области и наглашени су главни резултати докторске дисертације. Дат је преглед најчешће коришћених алгоритама за формирање стабала одлуке и њихових ансамбала, као и преглед постојећих архитектура за њихову хардверску акцелерацију.

У поглављу три изложен је нови алгоритам за неинкрементално формирање стабала одлуке на бази еволутивних алгоритама – EFTI. EFTI алгоритам је први неинкрементални алгоритам у отвореној литератури за формирање стабала одлуке који не захтева популацију. У низу експеримената упоређене су перформансе EFTI алгоритма са постојећим алгоритмима за формирање стабала одлуке.

У поглављу четири, представљен је EFTIP копроцесор који се може користити за убрзање алгоритама за формирање стабала одлуке. Предложени EFTIP копроцесор је први хардверски акцелератор за убрзавање формирања стабала одлуке неинкременталном методом. Показано је како се овај копроцесор може користити у оквиру хардвер-софтвер архитектуре за убрзање EFTI алгоритма. Коначно, приказани су резултати експеримената који показују колико убрзање је могуће остварити коришћењем ове архитектуре у односу на чисто софтверску имплементацију EFTI алгоритма.

У петом поглављу представљен је нови алгоритам за неинкрементално формирање ансамбала стабала одлуке на бази еволутивних алгоритама – EEFTI. Експериментално је показано да је тачност ансамбала формираних коришћењем овог алгоритма већа од тачности појединачних стабала одлуке.

У шестом поглављу, приказан је копроцесор за хардверску акцелерацију алгоритама за формирање ансамбала стабала одлуке – EEFTIP. EEFTIP копроцесор за хардверску акцелерацију алгоритама за формирање ансамбала стабала одлуке је први такав предложен хардверски акцелератор у отвореној литератури. Дата је хардвер-софтвер имплементација EEFTI алгорита која користи EEFTIP копроцесор, и експериментално је показано колико убрзање је могуће остварити на овај начин у односу на чисто софтверску имплементацију EEFTI алгорита.

У седмом поглављу је дат закључак докторске дисертације.

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

Рад у међународном часопису (M23):

1. Vukobratović, Bogdan Z., Rastislav JR Struharik. "Co-Processor for evolutionary full decision tree induction", *Microprocessors and Microsystems*, Volume 45, Part B, September 2016, pp. 253–269, ISSN: 0141-9331, DOI: 10.1016/j.micpro.2016.05.013.

Рад саопштен на скупу међународног значаја штампан у целини (M33)

1. Vukobratović Bogdan, Struharik Rastislav, "Evolving full oblique decision trees", 16th IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics, CINTI 2015, Budapest, Hungary, November 19-21 2015, pp. 95-100, ISBN: 978-1-4673-8520-6, DOI: 10.1109/CINTI.2015.7382901.

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Основна идеја иза предложеног EFTI алгорита је употреба неинкременталне методе за формирање стабала одлуке у функцији побољшања перформанси формираних стабала одлуке: а) смањење величине генерисаног стабла одлуке, б) без значајног умањења његове тачности одлучивања. Додатно, EFTI алгорита је базиран на коришћењу (1+1) еволутивне стратегије, којој је потребна само једна јединка за еволутивни процес формирања стабла одлуке. За разлику од других постојећих еволутивних алгоритама исте намене, ово EFTI алгорита чини адекватним за хардверску имплементацију у погледу потребних хардверских ресурса, и самим тим погодним за коришћење у ембедед системима, где су хардверски ресурси веома ограничени. Поређењем са постојећим инкременталним алгоритмима за формирање стабала одлуке, показано је да предложени алгорита производи значајно мања стабла одлуке, без битног утицаја на њихову тачност. Са друге стране, у поређењу са постојећим неинкременталним алгоритмима, показано је да EFTI алгорита производи стабла упоредиве или мање величине, уз значајно повећану тачност.

На основу анализе временске комплексности EFTI алгорита и испитивања његових критичних делова (eng. *profiling*), утврђено је да је одређивање тачности стабла (еволуиране јединке) на тренинг скупу временски најзахтевнији део приликом извршавања EFTI алгорита. У циљу убрзања извршавања EFTI алгорита, развијен је EFTIP копроцесор који имплементира у хардверу управо процес одређивања тачности стабла одлуке на тренинг скупу. Такође је развијена и хардвер-софтвер имплементација EFTI алгорита, која користи EFTIP копроцесор. Експериментално је показано да се коришћењем хардверског убрзања критичне секције EFTI алгорита добијају знатна убрзања у односу на чисто софтверску имплементацију.

У циљу формирања ансамбала стабала одлуке, развијен је EEFTI алгорита који комбинује EFTI алгорита са стандардним *Bagging* алгоритмом за формирање ансамбала предиктивних модела. Експериментално је показано да је EEFTI алгорита у могућности да произведе ансамбле стабала одлуке који су тачнији од појединачних стабала одлуке формираних уз помоћ EFTI алгорита.

Коначно, на бази EFTIP копроцесора, пројектован је EEFTIP копроцесор за хардверску акцелерацију EEFTI алгоритма и развијена је хардвер-софтвер имплементација EEFTI алгоритма која користи EEFTIP копроцесор. Експериментално је показано да оваква хардвер-софтвер имплементација пружа значајно убрзање у односу на чисто софтверску имплементацију.

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

Тумачење добијених резултата је јасно, истраживачки коректно и разумљиво. Сви добијени резултати стављени су у добар контекст и упоређени са до сада познатим и публикованим резултатима. Резултати су приказани исцрпно и прегледно, уз ослањање и навођење претходних истраживачких резултата у овој области.

Комисија жели да истакне чињеницу да је текст докторске тезе је написан на енглеском језику, што доприноси видљивости рада кандидата, као и Факултета техничких наука и Универзитета у Новом Саду.

На основу свега наведеног, комисија позитивно оцењује начин приказа и тумачења резултата добијених у оквирима активности кандидата на изради докторске дисертације.

IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање:

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

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

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе

Дисертација садржи све битне елементе који су дефинисани у правилнику „Правила докторских студија“ Универзитета у Новом Саду од 28.09.2015., као и Закона о високом образовању Републике Србије.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци

Оригинални научни допринос докторске дисертације чине четири јасно представљена резултата:

1. Нови алгоритам за неинкрементално формирање стабала одлуке који формира мања стабла од постојећих решења доступних у отвореној литератури, без утицаја на њихову тачност класификације,
2. Пројектовани копроцесор за хардверску акцелерацију алгоритама за формирање стабала одлуке неинкременталном методом,
3. Нови алгоритам за неинкрементално формирање ансамбала стабала одлуке,
4. Копроцесор за хардверску акцелерацију алгоритама за формирање ансамбала стабала одлуке неинкременталном методом.

Резултати дисертације су објављени у међународном часопису са импакт фактором и саопштени на међународном скупу, што потврђује оригинални допринос дисертације науци.

4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања

Комисија нема примедбе које би суштински утицале на позитивну оцену вредности резултата докторске дисертације.

X ПРЕДЛОГ:

На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:

да се докторска дисертација **Богдана Вукобратовића**, са насловом

„Хардверска акцелерација неинкременталних алгоритама за формирање стабала одлуке и њихових ансамбала“

прихвати, а кандидату одобри одбрана.

ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

1. др Станиша Даутовић, доцент
ФТН, Нови Сад, председник комисије

2. др Вук Врањковић, доцент
ФТН, Нови Сад, члан комисије

3. др Иван Мезеи, доцент
ФТН, Нови Сад, члан комисије

4. др Теуфик Токић, редовни професор
ЕФ, Ниш, члан комисије

5. др Растислав Струхарик, ванредни професор
ФТН, Нови Сад, ментор

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.