

Наставно-научном већу
Математичког факултета
Универзитета у Београду

Одлуком Наставно-научног већа Математичког факултета у Универзитета у Београду, донетом на 313. седници која је одржана 21.03.2014. године, именовани смо у комисију за преглед и оцену рукописа „Примене метахеуристике засноване на електромагнетизму у решавању проблема класификације“ који је предат као докторска дисертација **Александра Картеља**, мастера информатике. Након прегледа рукописа, подносимо следећи

Извештај

1. Биографија кандидата

Александар Картељ је рођен 10. новембра 1986. године у Новом Кнежевцу. У Кикинди је завршио основну школу као добитник Вукове награде и ђак генерације, а потом и гимназију „Душан Васиљев“ као добитник Вукове дипломе. Основне студије на Математичком факултету Универзитета у Београду, смер Информатика, је уписао 2005. године и завршио 2008. године, са просечном оценом 9,94. Мастер студије је уписао 2008. године и завршио 2010. године са просечном оценом 9,92 и одбрањеним мастер радом „Решавање проблема минималне енергетске повезаности у тежинском графу коришћењем генетског алгорита“ под руководством др Владимира Филиповића. Године 2010., по завршетку мастер студија, уписује докторске студије на истом факултету, модул Информатика. Положио је све испите на докторским студијама са просечном оценом 10,00.

Од 2009. до 2011. године, кандидат је био запослен као сарадник у настави, а 2011. бива биран у звање асистента за научну област Рачунарство и информатика на Математичком факултету Универзитета у Београду. Држао је вежбе из следећих предмета: Програмирање 1, Програмирање 2, Дизајн програмских језика, Програмске парадигме, Образовни софтвер и Паралелни алгоритми. Године 2010. је добио награду за најбољег асистента на Математичком факултету.

Почев од 2011. године до данас учесник је на научном пројекту број 174010 „Математички модели и методе оптимизације великих система“ на Математичком институту САНУ, у оквиру Програма истраживања научног и технолошког развоја финансираног од стране Министарства за науку Републике Србије.

2. Проблем и садржај тезе

Рукопис кандидата Александар Картеља под називом „Примене метахеуристике засноване на електромагнетизму у решавању проблема класификације“ (у даљем тексту рукопис) састоји се из: резимеа на српском и енглеском језику, предговора, садржаја, пет поглавља и литературе. Рукопис садржи 121 библиографску јединицу.

У овом рукопису се испитује могућност побољшавања процеса класификације кроз разматрање три проблема који се појављују у класификацији: проблем подешавања параметара класификатора, проблем одабира атрибута и проблем подешавања тежина атрибута. Сва три проблема су изазовна за решавање и тренутно се налазе у фокусу научних истраживања. У рукопису се предажу популационе метахеуристике засноване на електромагнетизму за њихово решавање. Метахеуристика заснована на електромагнетизму (ЕМ) представља методу комбинаторне и глобалне оптимизације која је инспирисана законитостима привлачења и одбијања наелектрисаних честица. Свака честица је представљена низом реалних вредности. Решење се добија пресликавањем низа који представља честицу у домен проблема. Честице које се пресликавају у боља решења остварују виши ниво наелектрисања, што за последицу има да те честице јаче утичу на остале. Итеративним померањем популације честица, које је индуковано наелектрисањима, врши се претрага простора могућих решења.

Уводно поглавље рукописа говори о основним појмовима и дефиницијама класификације. Приказана је и подела метода за класификацију, а детаљније су објашњене методе класификације које су касније коришћене у рукопису: класификација методом k -најближих суседа, линеарна дискриминанта функција, класификација методом подржавајућих вектора (SVM) и класификација помоћу дрвета одлучивања. Описани су и следећи аспекти класификације: мера квалитета, оцена квалитета и препроцесирање података. Потом су описане методе оптимизације, при чему је највећа пажња посвећена метахеуристици заснованој на електромагнетизму. Поред тога, дат је детаљан преглед примене метахеуристике за проблеме класификације.

У другом поглављу аутор решава проблем подешавања параметара SVM. Подешавање параметара класификатора има велики утицај на квалитет класификације. У овом случају, ЕМ метода је примењена на проблему подешавања параметара унутар методе подржавајућих вектора (SVM), која има сложену параметарску структуру када су у питању број параметара и домени њихових вредности. Извршена су исцрпна тестирања над тест проблемима различитих димензија и различите структуре атрибута: хомогене и хетерогене. У случају хомогене структуре, примењено је учење појединачних кернела, док се код хетерогених података користило вишекернелско учење. Упоредна анализа са методама из литературе је показала супериорност предложене методе када је у питању учење засновано на једном или више кернела са радијалном основом. Такође је показано да у осталим случајевима, предложена метода даје упоредиве резултате.

У трећем поглављу разматран је проблем одабира атрибута чијим се решавањем врши двојачко побољшавање класификационог процеса. Елиминацијом непотребних атрибута може се

елиминисати шум који нарушава класификациони модел, а истовремено се смањује димензија улазног проблема па се и ефикасност процеса класификације повећава. Проблем одабира атрибута је врло ефикасно решен предложеном методом, при чему је квалитет класификације у великом броју случајева (тест проблема) унапређен у односу на методе из литературе. Што се времена извршавања тиче, код неких тест проблема, времена извршавања предложене методе су и до два реда величине краћа од времена извршавања сродних метода из литературе.

У четвртог поглављу аутор решава проблем подешавања тежина атрибута који има сличну репрезентацију решења као и проблем подешавања параметара класификатора, размотрен у другом поглављу. У оба случаја реч је о низовима реалних вредности, а будући да је и репрезентација наелектрисаних честица заснована на низовима реалних вредности, омогућен је *глатки* прелаз из простора честица у простор решења. Квалитет методе за решавање проблема подешавања тежина је демонстриран на методи најближих суседа. Извршена су тестирања над разнородним скуповима тест проблема и поређења са неколико метода из литературе. У већини случајева, предложени метод је надмашио остале упоредне методе.

У последњем поглављу је дат кратак преглед добијених резултата, правци могућих даљих истраживања и опис научних доприноса. На крају рукописа је дат списак коришћене литературе и биографија кандидата.

3. Полазне претпоставке

Проблеми подешавања тежина атрибута и параметара класификатора имају сличну интерну структуру јер се решења оба проблема могу представити као низови реалних вредности. Ово омогућава да се при примени ЕМ методе, решења добијају скалирањем вредности ЕМ тачака које су представљене као низови реалних вредности из $[0,1]$. Када је у питању проблем одабира атрибута, решење проблема се представља низом бинарних вредности тако да се у том случају решења из ЕМ тачака добијају коришћењем „праг“ вредности. На пример, свим вредностима мањим од 0.5 се додељује вредност 0, а већим или једнаким од 0.5 вредност 1. Поред основних елемената ЕМ методе, користе се и технике локалног побољшавања и скалирања решења. Код проблема одабира атрибута се разматра и убрзавање методе коришћењем техника кеширања.

4. Научни методи који су коришћени у раду на тези

У раду су коришћене две методе комбинаторне и/или глобалне оптимизације: линеарно целобројно програмирање и метахеуристика заснована електромагнетизму. Надаље, коришћене су и две технике машинског учења за класификацију: класификација машином подржавајућих вектора и класификација методом најближих суседа.

5. Остварени научни допринос истраживања

Најважнији научни доприноси су:

- Побољшање процеса одређивања раздвајајуће хиперравни при решавању произвољног класификационог проблема развојем ефективне оптимизационе методе која користи идеју електромагнетизма за подешавање параметара SVM;
- Интерна репрезентација решења у предложеној методи за решавање проблема подешавања параметара SVM заснована на вектору реалних вредности омогућава *глатко* пресликавање из простора EM јединки у простор параметара;
- Решавање једног од есенцијалних проблема класификације, проблема одабира атрибута, помоћу метахеуристике засноване на електромагнетизму. Добро осмишљена репрезентација решења доприноси драстичном смањењу броја атрибута и грешке класификације у широком опсегу проблема преузетих из праксе;
- Развој EM методе за подешавање тежина атрибута која се поред примене у класификацији може применити и у решавању проблема закључивања на основу претходних случајева.

Развијене методе су од изузетног значаја, јер врло успешно и ефикасно решавају широк спектар класификационих проблема великих димензија који су добијени директно из праксе.

Истраживање приказано у овом раду представља допринос у областима класификације, машинског учења, комбинаторне и глобалне оптимизације.

6. Главне референце које су генерисане у току рада на тези

Неки од резултата су објављени у међународним и домаћим часописима, док је значајан део резултата у фази припреме за објављивање. Следи листа референци:

[1] Kartelj, A., Mitić, N., Filipović V., Tošić, D., „Electromagnetism-like Algorithm for Support Vector Machine Parameter Tuning“, *Soft Computing*, Springer, 2013, in press, doi = 10.1007/s00500-013-1180-x. (M23 IF2012=1.124)

[2] Kartelj, A., Šurlan, N., Cekić, Z., „Case-based Reasoning and Electromagnetism-like Algorithm in Construction Management“, *Kybernetes*, Emerald, 2014, accepted for publication. (M23 IF2012=0.318)

[3] Kartelj, A., „Classification of Smoking Cessation Status Using Various Data Mining Methods“, *Mathematica Balkanica*, Vol. 24, pp. 199 - 205, 2010. (M53)

[4] Filipović, V., Kartelj, A., Matic, D., „An Electromagnetism Metaheuristic for Solving the Maximum Betweenness Problem“, *Applied Soft Computing*, Elsevier, Vol. 13, pp. 1303-1313, 2013. (M21 IF2012=2.140)

[5] Kartelj, A., „Electromagnetism Metaheuristic Algorithm for Solving The Strong Minimum Energy Topology Problem“, *Yugoslav Journal of Operations Research*, Vol. 23, pp. 43 - 57, 2013. (M51)

[6] Kartelj, A., Filipović, V., Milutinović, V., „Novel Approaches to Automated Personality Classification: Ideas and Their Potentials“, *MIPRO 2012, Proceedings of the 35th International Convention*, pp. 1017-1022, 2012. (M33)

[7] Kartelj, A., Filipović, V., Milutinović, V., „Automated Personality Classification“, *Proceedings of the 18th Conference on Information and Communication Technologies*, pp. 658-663, 2012. (M63)

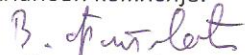
[8] Fijuljanin, J., Kartelj, A., Kojić, J., „Electromagnetism metaheuristic for probabilistic satisfiability problem“, Probabilistic logics and applications, Sept. 29-30, 2011, Mathematical Institute of the Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade, Serbia, pp. 22-23, 2011. (M64)

7. Закључак

У рукопису „Примене метахеуристике засноване на електромагнетизму у решавању проблема класификације“ кандидат магст. инф. Александар Картељ је на нов и оригиналан начин, темељно обрадио проблематику и успешно решио проблеме, актуелне у областима комбинаторне и глобалне оптимизације, и машинског учења. С обзиром на изложено, може се констатовати да су испуњени сви циљеви истраживања наведени приликом предлагања теме. Сматрамо да научно истраживање приказано у овом раду даје допринос решавању проблема у областима класификације, машинског учења, комбинаторне и глобалне оптимизације. Стога предлагемо Наставно-научном већу да поменути рукопис прихвати као докторску дисертацију и одреди комисију за јавну одбрану.


Београд, 25.5.2014.

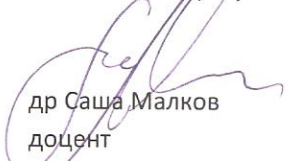
Чланови комисије:


др Владимир Филиповић
ванредни професор
Математички факултет у Београду


др Душан Тошић
редовни професор
Математички факултет у Београду


др Вељко Милутиновић
редовни професор
Електротехнички факултет у Београду


др Ненад Митић
ванредни професор
Математички факултет у Београду


др Саша Малков
доцент
Математички факултет у Београду