Рецензия

по процедура за защита на дисертационен труд на тема:
„Невронни мрежи за задачи за разполагане на обекти“
за придобиване на
образователна и научна степен „доктор“

от Владислав Валериев Харалампиев,

редовен докторант в област на висше образование 4. Природни науки, математика и информатика, професионално направление 4.6. Информатика и компютърни науки, докторска програма „Компютърни науки“ – алгоритми и сложност, катедра "Математическа логика и приложенията ѝ", Факултет по математика и информатика, Софийски университет „Св. Климент Охридски“.

Рецензията е изготвена от **доц. д-р Христо Александров Ганчев, ФМИ-СУ**, в качеството ми на член на научното жури, съгласно Заповед № РД-38-292 / 02.07.2021 г. на Ректора на Софийския университет.

1. **Обща характеристика на дисертационния труд и представените материали**

   Представеният дисертационен труд е на английски език. Той е в обем на 180 страници разделени на абстракт, пет глави, два апендиска и 10 страници библиография, съдържаща 107 заглавия. Освен дисертационния труд документацията по процедурата включва още автореферат на български и английски, дипломи за висше образование (ОКС Бакалавър и ОКС Магистър), автобиография, заповед за зачисляване и за отчисляване, удостоверение за положени изпити по учебен план, доклад от научен ръководител за готовност за защита на дисертационен труд, декларация за авторство на дисертационния труд, протокол и становище на научния ръководител относно проверка за оригиналност на дисертационния труд, справка за минималните национални изисквания (както и документи, доказващи декларираните точки), списък с всички статии, участия в конференции и научни проекти на докторанта, научни трудове, свързани с дисертационния труд.

2. **Данни и лични впечатления за кандидата**

Владислав Хараламииев е роден през 1992 г. Последователно завършва с отличие Софийската математическа гимназия (2011 г.), Факултета по математика и информатика на СУ „Св. Климент Охридски“: ОКС Бакалавър, спец. Компютърни Науки (2015 г.) и ОКС Магистър, спец. Информатика, магистърска програма Изкуствен интелект (2017 г). През 2017 г. е зачислен за редовен докторант към ФМИ на СУ „Св. Климент Охридски“ в докторска програма Компютърни науки – алгоритми и сложност. Отчислен е с право на защита през 2020 г. Участвал е в 7 научни проекта и е изнесъл доклад на 11 национални и международни научни форуми. Има 9 публикации, три от които са реферирани в zbMath, както и една публикация в сборник от конференция от поредица с SJR.

За съжаление нямам удоволствието да познавам лично г-н Хараламииев, но съм чувал изключително добри отзиви за него от колегите във ФМИ. Техните думи се потвърждават от отличията, които той е спечелил като ученик и студент. Достатъчно е само да се отбележи, че като студент той е спечелил всички възможни награди, в това число Студент на годината на Министерството на образованието и науката (2014 г.), Студент на годината на Софийски университет (за учебната 2015-2016 г.), както и специална стипендия на Huawei Technologies за достижения в компютърните науки (2016-2017 г.).

3. **Съдържателен анализ на научните и научно-приложните постижения на кандидата, съдържащи се в представения дисертационен труд и публикациите към него, включени по процедурата**

Дисертацията е добре написана и по мое мнение е едно приятно и увлекателно четиво. Всички понятия, задачи и алгоритми са описани достъпно, като за много от тях дисертантът е подпомогнал читателя с подходяща интуиция.

По същество в дисертацията е предложен и анализиран алгоритъм, наречен Конкуриращи се невронни мрежи (КНП) за решаване на следната оптимизационна задача: да се намери най-малката стойност на целева функция

$$F(x_1, \dots, x_t) \text{ при}$$

$$\textstyle\sum_{x_i \in G_k} x_i = 1, \text{ за } k = 1, \dots, r,$$

където $x_1, \dots, x_t$ са променливи, приемащи стойност 0 или 1, а $G_1, \dots, G_k$ е разбиване на множеството $\{x_1, \dots, x_t\}$.

Както дисертантът правилно е отбелязал, с помощта на този формализъм могат да се моделират редица оптимизационни задачи за разполагане на обекти, като например задачата за разполагане на p на брой склада, така че да се минимизира сумата от минималните разстояния между тях и клиентите им (p-MiniSum), задачата за разполагане на p на брой пощенски станции, така че да се минимизират транспортните разходи (p-Hub), задачата за разполагане на p на брой обекти, така че те да бъдат максимално отдалечени един от друг (p-Defence-Sum), задачата за разполагане на p на брой клетки на мобилен оператор, така че да бъде покрита максимална част от територията (p-MCLP), задачата за разполагане на p на брой рекламни билборда, така че да се максимизира броят на хората, които ги виждат (FIFL). За тези задачи е известно, че са NP-трудни и следователно предложената формална задача също е NP-трудна. Алгоритъмът, разгледан в дисертацията, няма за цел да даде точен резултат, а решение, което е „близко“ до оптималното и се намира за „разумен“ брой стъпки.

Първата глава на дисертация е уводна. В нея дисертантът запознава читателя на един много достъпен език със задачите на комбинаторната оптимизация и по-специално със оптимизационните задачи за разполагане на обекти, както и с някои от основните методи за решаване на подобни задачи. Дава се интуитивна представа за класа на NP-трудните задачи. Формулирани са задачите p-MiniSum, p-Hub, p-DefenceSum и p-MCLP.

Втора глава запознава читателя по-подробно с някои от най-използваните методи за решаване на оптимизационни комбинаторни задачи. Специално внимание е отделено на клас от методи, наречени невронни мрежи, към които спада и алгоритъмът, който е централен обект на изследване в дисертацията. Представени и внимателно анализирани са методите Мрежи на Хопкрофт, Машини на Болцман и Самоорганизиращи се подходи, които може да се каже, че служат като вдъхновение на алгоритъма КНМ. Изследвани са силните и слабите страни на тези методи, като е обосновано, защо те не са особено подходящи за решаване на оптимизационни задачи за разполагане на обекти.

В трета глава е въведен алгоритъма КНМ. Той е описан много подробно и разбираемо. Направена е аналогия с опростена бизнес система, съставена от конкуриращи се помежду си предприятия във въображаем регион. Обсъдени са също така някои модификации на алгоритъма, които в някои конкретни задачи водят до по-голямо бързодействие.

По същество алгоритъмът работи по следния начин: алгоритъмът се изпълнява на стъпки, като на всяка стъпка се разглежда само една от променливите $x_1, \dots, x_t$, да речем x_i от групата G_j. В случай, че за всяка променлива $x_s \in G_j, s \neq i$, която на тази стъпка има стойност 1, е в сила $F[x_i = 1](\vec{x}) < F[x_s = 1](\vec{x})$ (където $F[x_s = 1](\vec{x})$ е стойността на F, която се получава, когато анулираме всички променливи от групата G_j с изключение на променливата x_s), то тогава алгоритъма има „рационалното желание“ да присвои на x_i стойност 1, а в противен случай – стойност 0. В случай, че изпълнението на алгоритъма започне от неподходяща конфигурация, ако той следва само „рационалните си желания“, изпълнението би могло да попадне на локален (но не глобален) минимум на F, от който да не може да се измъкне. За да може да избягва подобни лоши сценарии в алгоритъма се въвежда недетерминизъм по следния начин: алгоритъмът прави точно обратното на своето „рационално желание“ с вероятност $\frac{1}{1+e^{\frac{\Delta}{T}}}$, където Δ е абсолютната стойност на най-голямата от разглежданите разлики $F[x_i = 1](\vec{x}) - F[x_s = 1](\vec{x})$, а T е глобален параметър за алгоритъма. Ясно е, че при по-големи стойности на Δ, както и при по-малки стойности на параметъра T, вероятността за „ирационално“ поведение на алгоритъма намалява.

Стъпките, които прави алгоритъма за групирани в епохи. Във всяка епоха се правят фиксиран брой стъпки (което е фиксиран параметър на алгоритъма). За всяка стъпка разглежданата променлива се избира по случаен начин. Броят на стъпките в епохата се подбира така, че всяка променлива да се разгледа няколко пъти. В рамките на една епоха параметърът T е фиксиран. С всяка следваща епоха стойността на T намалява експоненциално. Броят на епохите е вторият фиксиран глобален параметър на алгоритъма.

Четвърта глава е посветена на анализ на действието на алгоритъма. Дадена е аргументация, защо ако бъде оставен да работи достатъчно дълго, алгоритъмът ще намери оптимално решение. За целта по естествен начин с всяка епоха от изпълнението на алгоритъма се свързва Марковска верига. Състоянията на веригата са всички 2^t конфигурации на променливите $x_1, \ldots, x_t$. Вероятността $P(v, v')$ за преминаване от състояние v към състояние v', различаващи се в стойностите на повече от една променлива, е 0. Вероятността за преминаване от състояние v към състояние v', различаващи се в точно от една променлива, е равна на $\frac{1}{t}\left(1 - \frac{1}{1+e^{\frac{\Delta}{T}}}\right)$, ако това е рационалното желание на алгоритъма, и е равна на $\frac{1}{t}.\frac{1}{1+e^{\frac{\Delta}{T}}}$ в противен случай. Вероятността да останем в състоянието v е $P(v,v) = 1 - \sum_{v' \neq v} P(v,v')$. Прилагайки общата теория, лесно се вижда, че получената Марковска верига има неподвижно разпределение. Следващата стъпка е да се види, че при малки стойности на параметъра T, това разпределение дава превес на конфигурациите, в които се достига най-малката стойност на F. За целта Марковската верига се изменя така, че при състояния v и v', различаващи се в стойността на точно една променлива, вероятността $P'(v,v')$ за преход от v към v' е $\frac{1}{t}\left(1 - \frac{1}{1+e^{\frac{|F(v)-F(v')|}{T}}}\right)$, при $F(v) > F(v')$ и $\frac{1}{t}.\frac{1}{1+e^{\frac{|F(v)-F(v')|}{T}}}$ в противен случай. За тази Марковска верига е изведен явният вид на неподвижното разпределение, от където ясно се вижда, че състоянията, даващи оптимално решение, са по-вероятни от останалите, като с намаляването на параметъра T, тази вероятност се увеличава. В теорема 4.4.1 се твърди, че в случая на задачата p-MiniSum двете Марковски вериги са близки, като при много малки стойности на T те на практика съвпадат. С това твърдение ми е трудно да се съглася по следната причина. В задачата p-MiniSum целевата функция е сума на едночлени от вида $d_{ij}x_ix_j$, където d_{ij} са фиксирани неотрицателни числа, а променливите x_i и x_j са от различни групи. Така за да е изпълнено условието $F(v) > F(v')$ за състояния v и v', различаващи се в стойността на точно една променлива, да речем x_s, трябва в състоянието v' променливата x_s да има стойност 0, а в v - стойност 1. В този случай при намаляване на стойността на T, $P'(v,v')$ клони към $\frac{1}{t}$. Същевременно рационалното желание на оригиналния алгоритъм може да бъде x_s да има стойност 1 и тогава в първоначалната Марковска верига при намаляване на стойността на T, $P(v,v')$ клони към 0.

Предвид казаното по-горе, разглеждам доказателството на Теорема 4.4.1 като интуитивна обосновка (с която съм склонен да се съглася), а не като истинско доказателство.

Петата глава е с най-голям обем (51 страници). Тя е посветена на експерименти с алгоритъма КНМ. В нея се разглеждат задачите p-MiniSum, p-Hub, p-SumDefence, p-MCLP, FIFL и проблемът за възлагане на работа на работници. Всяка една от задачите е подробно разгледана, като е представена интуиция и подробно описание, както и как може да бъде формализирана, така че да бъде подходяща за решаване с КНМ. За всяка задача са проведени експерименти, като данните за тези експерименти (с изключение на последната задача) са взети от реални географски данни, като са използвани основно данни за пътната мрежа в България, а за задачата p-Hub – данни от базата Australia Post. Решенията, получени чрез алгоритъма КНМ, са сравнени със съответните оптимални решения. Във всички експерименти алгоритъма КНМ успява в повечето случаи да намери оптималното решение, а когато не успява грешката е в рамките на 5%, като обичайно е около 2-3%. Тези резултати изглеждат много добри, но трябва да се има предвид, че с оглед на това да може да бъде калкулирано оптималното решение са взети твърде малки стойности на параметъра p, указващ, колко обекта трябва да бъдат разположени (максималната използвана стойност на p е 20, но в почти всички експерименти не надвишава 5-6). Обичайно задачите стават по сложни за решаване при по-големи стойности на p и не е сигурно, че доброто представяне на алгоритъма ще се запази.

Последната задача е подбрана заради това, че за нея има полиномиален алгоритъм, намиращ оптимално решение, което позволява да се правят експерименти с по-големи входни данни. В тези експерименти алгоритъма КНМ е сравнен с други три алгоритъма (един – базиран на алчна стратегия, един – на локално търсене и един, съчетаващ двата подхода), като във всеки един от направените опити КНМ връща най-доброто решение.

4. Апробация на резултатите

Резултатите от дисертацията са представени в 5 публикации. Всички публикации са самостоятелни. Една от публикациите е в сборник от конференция, част от ACM International Conference Proceeding Series, която има SJR. Друга публикация е в годишника на Софийския университет и е реферирана в zbMath. С това напълно се удовлетворяват минималните национални изисквания (по чл. 2б, ал. 2 и 3 на ЗРАСРБ) и съответно на допълнителните изисквания на СУ „Св. Климент Охридски“ за придобиване на образователна и научна степен „доктор“ в научната област и професионално направление на процедурата.

Няма доказано по законоустановения ред плагиатство в представения дисертационен труд и научни трудове по тази процедура.

5. Качества на автореферата

Авторефератът е по-малко подробен от обичайното (аз например бих очаквал той да съдържа поне интуитивно описание на алгоритъма КНМ, каквото липсва, тъй като това е централният обект на изследване на дисертацията). Въпреки това авторефератът правилно отразява резултатите и приносите в дисертацията.

6. Критични бележки и препоръки

Имам две по-съществени забележки. Първата е свързана с алгоритъма КНМ. Тъй като броят стъпки, които алгоритъма ще работи се фиксира преди неговото изпълнение, няма гаранция, че той ще завърши в допустима конфигурация на променливите $x_1, \dots, x_t$ (т.е., че във всяка една от групите $G_1, \dots, G_k$, точно една от променливите ще има стойност 1). Наясно съм, че надали има обща стратегия по отношение на този проблем, но той трябваше поне да бъде отбелязан, както в конкретните приложения, които се разглеждат, да бъде предложена някакво решение. Така например за задачата p-MiniSum (с неотрицателни коефициенти (разстояния) d_{ij}) има съвсем елементарна стратегия, а именно за всяка една от групите $G_1, \dots, G_k$ избираме по случаен начин една от променливите, които имат стойност 1, като на всички останали даваме стойност 0 (това със сигурност няма да влоши решението, намерено от алгоритъма).

Втората забележка е свързана с направените експерименти. Сравняването на решението, дадено от КНМ, с оптималното решение е важно и интересно. От друга страна, поради сложността на намирането на оптимално решение, тези сравнения могат да се правят само при твърде ниски (нереалистични) стойности на броя на обектите p (обикновено 5-6 в направените експерименти), които трябва да бъдат разположени. Друго важно сравнение, което липсва в дисертацията, е това между представения алгоритъм и други алгоритми, за които е известно, че дават добри резултати за дадената задача. Струва ми се, че тази съпоставка е дори по-важна, защото априори е ясно, че в реалистични примери алгоритъмът няма да дава оптимално решение. Тъй като всички, разгледани задачи, са добре известни, със сигурност има и то не един и два алгоритъма за тяхното решаване, които се използват в практиката. При това за конкретните задачи сравняването на два алгоритъма върху конкретен експеримент е елементарно и не изисква намирането на оптимално решение.

7. Заключение

След като се запознах с представените в процедурата дисертационен труд и придружаващите го научни трудове и въз основа на направения анализ на тяхната значимост и съдържащи се в тях научни и научно-приложни приноси,

потвърждавам, че представеният дисертационен труд и научните публикации към него, както и качеството и оригиналността на представените в тях резултати и постижения, отговарят на изискванията на ЗРАСРБ, Правилника за приложението му и съответния Правилник на СУ „Св. Климент Охридски“ за придобиване от кандидата на образователната и научна степен „доктор“ в научната област 4. Природни науки, математика и информатика и професионално направление 4.6. Информатика и компютърни науки. В частност кандидатът удовлетворява минималните национални изисквания в професионалното направление и не е установено плагиатство в представените по конкурса научни трудове.

Въз основа на гореизложеното, **препоръчвам** на научното жури да присъди на Владислав Валериев Харалампиев образователна и научна степен „доктор“ в научна област 4. Природни науки, математика и информатика, професионално направление 4.6. Информатика и компютърни науки.

30.08.2021 г.