

РЕЦЕНЗИЯ

**по процедура за придобиване на
образователна и научна степен „доктор“**

от

кандидат: Цветан Красимиров Цоков,

тема на дисертационния труд: „IoT платформи и протоколи“,

научен ръководител: доц. д-р Христо Костадинов,

в област на висше образование 4. Природни науки, математика и информатика,

в професионално направление 4.6 Информатика и компютърни науки,

докторска програма: „Информатика“,

**секция: Математически основи на информатиката (МОИ), Институт по
математика и информатика към Българска академия на науките (ИМИ-БАН).**

Рецензията е изготвена от **доц. д-р Тодорка Герасимова Александрова, ИМИ-БАН**, в качеството ми на вътрешен член на научното жури, съгласно Заповед № 322/19.09.2024 г. на Директора на ИМИ-БАН и решение на Научния съвет (Протокол № 11 /13.09.2024 г.).

Рецензията е изготвена според изискванията на Закона за развитието на академичния състав в Република България (ЗРАСРБ), Правилника за прилагане на ЗРАСРБ, Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени и за заемане на академични длъжности в БАН и съответния правилник на ИМИ-БАН.

1. Обща характеристика на дисертационния труд и представените материали

Дисертационният труд е на английски език и е в обем от **76** страници, като се състои от съдържание, списъци с фигури и таблици, резюме, увод, шест глави (съответно от по 1, 5, 4, 2, 1 и 1 параграфа), благодарности, три приложения, научни приноси на дисертацията, списъци с публикации и изнесени доклади по темата на дисертацията, и списък на използваната литература с **86** заглавия. Дисертационният труд отговаря на общоприетите изисквания за дисертация, с която може да се присъди образователната и научна степен „доктор“. Библиографията показва, че докторантът познава добре областта, в която работи.

Представените изискуеми документи и трудове удостоверяват, че Цветан Красимиров Цоков удовлетворява изискванията на ЗРАСРБ, Правилника за неговото

прилагане, правилниците за условията и реда за придобиване на научни степени и за заемане на академични длъжности в БАН и в Института по математика и информатика на БАН, както и на специфичните изисквания за придобиване на образователната и научна степен „доктор“, дадени в Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени и за заемане на академични длъжности в ИМИ-БАН.

2. Данни и лични впечатления за кандидата

Цветан Цоков е получил бакалавърската си степен по специалност „Компютърни системи и технологии“ в Техническия университет, гр. София през 2015 г. и магистърската си степен по специалност „Информатика – Разпределени системи и мобилни технологии“ във Факултета по математика и информатика на Софийския университет „Св. Климент Охридски“, гр. София през 2017 г. От 01.01.2020 е зачислен в задочна докторантура към ИМИ-БАН, докторска програма „Информатика“, секция „Математически основи на информатиката“, като през януари 2024 г. е отчислен с право на защита. В последните 12 години работи като софтуерен разработчик в две големи международни софтуерни компании.

Познавам лично Цветан Цоков от зачисляването му в докторантура в секция „Математически основи на информатиката“ и смятам, че е изключително талантлив млад изследовател, който има много задълбочени както теоритични, така и практични знания и умения в областта, в която работи. От лични разговори с научния му ръководител доц. д-р Христо Костадинов знам, че имат отлични професионални работни взаимоотношения като научен ръководител и докторант, което е видно и от представените от тях съвместни научни резултати.

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

Основната цел на представената дисертацията е да предостави решение за оптимално разпределение и управление на изчислителни и мрежови ресурси в различни платформи (Облачни/Крайни/Мъглявинни (Cloud/Edge/Fog)) от сферата на разпределените системи, които включват динамични и подвижни инфраструктурни възли и крайни потребители. В такава динамична среда съвременните платформи от този тип не успяват да управляват Качеството на Услугата (Quality of Service - QoS) и Качеството на Потребителското Изживяване (Quality of Experience - QoE) на латентно-чувствителните бизнес приложения, което води до големи общи закъснения и

влошено потребителско изживяване. Дисертацията предлага решение на този проблем, което позволява поддържането на IoT приложения, работещи в реално време с мобилни възли, като автономни превозни средства, добавена/виртуална реалност, космически изчисления, умни градове и други.

Дисертацията извършва цялостен анализ на свързаните публикации в областта и идентифицира няколко ключови параметъра, които трябва да бъдат поддържани от всяка платформа, за да се справи ефективно с динамично движещи се инфраструктурни възли и с качеството на услугата/потребителското изживяване на приложението. Всички изследвания, включително предложеното решение в дисертацията, се сравняват спрямо тези параметри и накрая ползите от предложеното решение са валидирани и подчертани.

Дисертацията формулира представения проблем като математическа оптимизационна задача и предлага модел на Смесено Целочислено Линеино Програмиране (Mixed-Integer Linear Programming - MILP) за намиране на най-оптимално решение. Архитектурата на модела е проектирана и внедрена в най-популярната платформа, използвана в практиката, известна като Kubernetes. Имплементацията е осъществена на езика за програмиране Golang. Изграден е тестов клъстер, съдържащ устройства с ограничени ресурси (Raspberry Pi) и имплементираната платформа е инсталирана върху него. Тестовият клъстер емулира динамична среда, съставена от географски разпределени мобилни Крайни/Мъглявинни възли, които се движат в пространството. Основната му цел е да оцени как предложеният модел намалява общата мрежова латентност на бизнес приложение в тази среда. Бизнес приложението, използвано за оценката, е част от дисертацията и се нарича Ecologic. То представлява практическо облачно IoT приложение и неговата функционалност е да измерва и контролира емисиите на въглероден диоксид от превозни средства, което го прави подходящо за работа в сценарии на умни градове. Получените резултати показват, че моделът ефективно планира, управлява и премества ресурси върху близки инфраструктурни възли, като същевременно се адаптира към движенията на тези възли по динамичен начин. Така мрежовата латентност на бизнес приложението непрекъснато се свежда до минимум по време на изпълнение. Един от най-важните резултати на дисертацията е, че решението е подходящо за практически инфраструктури с ограничени ARM64 устройства от реалния свят.

Първа глава представя обзор на Крайни/Мъглявинни системи, съществуващите проблеми в тях и анализ на предишни изследвания по темата, който показва актуалността на проблема и необходимостта от ефективно решение.

Втора глава предлага решение за наблюдение и откриване в реално време на нарастващи нива на въглероден диоксид от превозни средства, наречено Ecologic. То също така се използва за оценка на представената платформа за планиране на ресурси в динамични Облачни/Крайни/Мъглявинни платформи с мобилни инфраструктурни възли, описана в следващите глави. Предложеното приложение Ecologic включва хардуерен модул, който измерва сензорни данни, свързани с емисиите на въглероден диоксид от превозно средство. Данните се изпращат към облачно приложение, където се съхраняват и анализират. Резултатите от анализа се използват за контролиране на емисиите на въглероден диоксид чрез известия до водача и ограничения на мощността на превозното средство. Получените резултати, ресурси и изходен код на основните софтуерни компоненти на решението са публично достъпни. Хранилищата съдържат информация как да се настройат проектите и да се инсталират на хардуерно устройство, сървър или в Облак.

Трета глава прави сравнителен анализ на някои важни резултати за разпределение на ресурси в Крайни/Мъглявинни платформи, свързани с основните характеристики идентифицирани в първа глава. Тези характеристики са осведоменост относно топологията на инфраструктурата, тип виртуализация, поддръжка на приложения с взаимозависими микроуслуги, динамичност, мобилност, осведоменост относно мрежова латентност, поддръжка на ARM64 процесорна архитектура и начин на валидиране на решението.

Четвърта глава представя нов MILP оптимизационен модел за мрежово-чувствително разполагане на контейнери с микроуслуги в динамични инфраструктури, съставени от подвижни и ограничени възли с ARM процесорна архитектура. Неговите целеви функции максимизират общия брой инсталирани бизнес приложения, минимизират общото движение на реплики между възлите и минимизират мрежовата латентност на бизнес приложенията, за да осигури възможно най-доброто решение за поставяне.

Пета глава представя два примера, които илюстрират как предложеният модел се справя с основните характеристики на платформите в реална мобилна среда. Примерите се провеждат в тестова постановка, която използва Kubernetes (версия 1.24.3)

Облачна/Мъглявинна платформа и контейнерна виртуализация. Те имат за цел да валидират реалистично бизнес приложение в лицето на Ecologic.

Основните научни приноси на докторант Цветан Цоков в представения дисертационен труд са както следва:

1. Съществуващ MILP модел е разширен с нова матрица на закъснението, която дефинира изискването за мрежово забавяне във връзките между микроуслугите, нова променлива за наличност на възел в даден регион и целева функция за минимизиране на движението на реплики между мобилни възли.
2. Векторите за капацитет и изисквания са заменени с директни променливи, използвани в ограниченията и целевите функции на описания MILP модел.
3. Стъпките на изпълнение на MILP модела са модифицирани, за да се поддържа динамична непрекъсната оптимизация на реплики с подвижни възли. Стъпките съдържат фази и итерации.
4. MILP оптимизационният модел е имплементиран в реална Облачна/Крайна/Мъглявинна платформа (Kubernetes).
5. Алгоритъмът и платформата са валидирани в тестова постановка.
6. Проектиране и имплементиране на реално практическо IoT приложение, наречено Ecologic, за следене и контрол на въглеродните емисии от превозни средства, подходящо за работа в сценарии на интелигентни градове.
7. Валидиране на алгоритъма на Ecologic за анализ на данни, който открива превозни средства, които замърсяват прекомерно въздуха.
8. Създаване на публично достъпни хранилища с отворен код, съдържащи програмен код и информация на основните микроуслуги на Ecologic.
9. Извършване на валидация в тестова постановка, използвайки Ecologic като тестово приложение и правейки емуляция на движение на възли в клъстер.
10. Получените резултати от извършената валидация с бизнес приложението Ecologic показват намаляване в общото му мрежово закъснение до 48% спрямо най-съвременните разработки в областта.

4. Аprobация на резултатите

Резултатите, представени в дисертацията на Цветан Цоков са публикувани в следните две публикации:

1. **T. Tsokov** and H. Kostadinov, "System for monitoring and control of vehicle's carbon emissions using embedded hardwares and cloud applications", in Service-Oriented

Computing - ICSOC 2020 Workshops, H. Hacid, F. Outay, H.-y. Paik, et al., Eds., Cham: Springer International Publishing, 2021, pp. 564-577, ISBN: 978-3-030-76352-7. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-76352-7_50. [Online]. **SJR (Q2)**.

2. **T. Tsokov** and H. Kostadinov, "Dynamic network-aware container allocation in Cloud/Fog computing with mobile nodes", Internet of Things, p. 101 211, 2024, ISSN: 2542-6605. doi: <https://doi.org/10.1016/j.iot.2024.101211>. [Online]. **IF (Q1)**.

И двете публикации са в съавторство с научния ръководител на докторанта. Приемам, че приносът на докторанта в съвместните публикации е равностоен. Получените резултати са представени на общо три международни и национални конференции и семинари. Не е представена информация за цитирания на публикациите на докторанта по дисертацията. Нямам съмнения за плагиатство в представения дисертационен труд и научните трудове по тази процедура.

В резултат кандидатът Цветан Цоков **покрива и надвишава** минималните национални изисквания по чл. 2б, ал. 2 и 3 на ЗРАСРБ, изискуеми за придобиване на ОНС „доктор“ в професионално направление 4.6. Информатика и компютърни науки.

5. Качества на автореферата

Авторефератът е представен на български език в обем от 34 страници и на английски език в обем от 31 страници. Той отразява правилно съдържанието, резултатите и приносите на дисертацията. Основните приноси в дисертационния труд са правилно отразени в авторската справка.

6. Критични бележки и препоръки

Нямам критични бележки препоръки. Надявам се кандидатът да продължи да се занимава активно с научни изследвания по темата и в бъдеще.

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 съдържащите се в тях научни и научно-приложни приноси, **давам съвета положителна оценка и потвърждавам**, че представеният дисертационен труд и научните публикации към него, както и качеството и оригиналността на представените в тях резултати и постижения, отговарят напълно на изискванията на Закона за развитие на академичния състав в Република България (ЗРАСРБ), Правилника за прилагане на

ЗРАСРБ (ППЗРАСРБ), Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени и за заемане на академични длъжности в БАН и съответния Правилник на ИМИ-БАН за придобиване от кандидата на образователна и научна степен „доктор“ в научната област 4. Природни науки, математика и информатика, 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 процедурата научни трудове.

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

23. 10. 2024 г.
гр. София

Изготвил рецензията:
(доц. д-р Тодорка Александрова)