

10-07.2024  
1  
СТАНОВИЩЕ

върху дисертационен труд за придобиване на образователна и научна степен „доктор“  
Автор на дисертационния труд: маг. инж. Равиндър Бениуол

Тема на дисертационния труд: **ИЗСЛЕДВАНЕ НА АЛГОРИТМИ И ПРОТОКОЛИ ЗА КОМУНИКАЦИОННИ МРЕЖИ С ОГРАНИЧЕНИ РЕСУРСИ**

Член на научното жури: проф. д-р инж. Станимир [ ] Садинов

**1. Актуалност на разработвания в дисертационния труд проблем в научно и научноприложно отношение.**

Темата за изследване на алгоритми и протоколи за комуникационни мрежи с ограничени ресурси е актуална и интересна. В дисертационния труд са идентифицирани основните предизвикателства в алгоритмите за маршрутизиране в безжичните сензорни мрежи (WSN) и е направено сравнително проучване и анализ на различните протоколи за маршрутизиране, предназначени за 6LoWPAN мрежи. Въз основа на това е определено, че маршрутизиращите протоколите, предназначени за 6LoWPAN мрежи, могат да бъдат внедрени в мрежите с ограничени ресурси.

В научно-приложно отношение в дисертационния труд са решени множество задачи, свързани с адаптирането на MMSPEED маршрутизиращ протокол за 6LoWPAN мрежи. Извършен е сравнителен анализ на резултатите от SPEED, MMSPEED и HiLoW, имплементирани в 6LoWPAN мрежа по отношение на надеждност, закъснение, пропускателна способност и скорост на предаване, както и влиянието на няколко параметъра върху резултатите, свързани с производителността.

Направена е експериментална оценка на производителността на предложените алгоритми за енергийно ефективен и надежден протокол за маршрутизиране на базата на MMSPEED за 6LoWPAN мрежи. Направен е сравнителен анализ на резултатите от MMSPEED, EMMSPEED и EMMSPED (с поддържане на мобилност) по отношение на закъснение, пропускателна способност и отпаднали възли, както и влиянието на няколко параметъра върху резултатите, свързани с производителността.

В заключението на дисертационния труд са посочени значимите според автора резултати и общи изводи, представляващи научно и научно – приложни приноси. Представени са накратко и насоки за бъдеща работа на докторантът.

**2. Степен на познаване състоянието на проблема и творческа интерпретация на литературния материал.**

Дисертационният труд е в обем от 135 стр. и включва благодарности на автора, съдържание, въведение, четири глави за решаване на формулираните основни задачи и заключение, авторски публикации по дисертационните изследвания, списъци на абревиатури, фигури, таблици, списък на цитиранията и използвана литература, която съдържа 85 научни източника. В дисертационния труд са цитирани и 6 публикации на докторантът, чрез които получените резултати са станали достояние на научната общност. Всички литературни източници са подбрани така, че да отразяват съвременните научни достижения в областта на тематиката на дисертационния труд. Цитирани са статии от авторитетни научни списания, конференции и книги. Извършеният аналитичен обзор позволява на докторантът да дефинира коректно целта и основните задачи за изследване, които той решава успешно в отделните глави.

### **3. Съответствие на избраната методика на изследване и поставената цел и задачи на дисертационния труд с постигнатите приноси.**

Методите за изследване са обособени основно в отделните глави, като аналитични, симулационни и експериментални.

Много алгоритми са адаптирани за мрежи с ограничени ресурси, обаче системите за интернет маршрутизиране все още се нуждаят от подобрене и проучване. От решаващо значение е да се разработят алгоритми за интернет маршрутизиране в WSN, тъй като комуникацията на данни се увеличава в устройства с ограничени ресурси. В дисертационния труд се представя адаптирането на протокола за маршрутизиране MMSPEED в мрежи 6LoWPAN. Производителността на протокола MMSPEED се сравнява с два други протокола за маршрутизиране като SPEED и HiLoW в NS3. Предложени са механизмите и политиката за капсулиране за всички MMSPEED съобщения и пакетен формат на IEEE802.15.4 и 6LoWPAN. Производителността е сравнена със SPEED и HiLoW, реализирани с 6LoWPAN мрежа.

В глава 4 е предложен протокол за маршрутизиране за мрежата 6LoWPAN, който е едновременно надежден и ефективен по отношение на използването на енергия. Протоколът е базиран на алгоритъма MMSPEED. Методът, който е предложен, прави маршрутизирането в зависимост от количеството енергия, което все още е налично във всеки възел. Резултатите от симулацията показват, че натоварването на трафика е ефективно, когато е разпръснато във възлите на мрежата, а резултатите показват също, че предложеният протокол увеличава средния живот на възлите, като същевременно подобрява мрежата и надеждността на протокола.

### **4. Приноси на дисертационния труд.**

Приемам приносите в края на дисертационния труд, като подчертавам по съществената част от тях:

- Експерименталните резултати доказват, че адаптирането на MMSPEED протокола в 6LoWPAN мрежата е ефективно по отношение на пропускателна способност и надеждност в сравнение със SPEED и HiLoW. MMSPEED дава по-добра точност и е ефективен по отношение на надеждността в сравнение със SPEED и HiLoW;
- Експерименталните резултати доказват теоретичните твърдения, че EMMSPEED (с поддържане на мобилност) е ефективен по отношение на закъснение и пропускателна способност в сравнение с MMSPEED и EMMSPEED.

В обобщение, дисертацията свързва теорията и практиката, като допринася за безпроблемното предоставяне на високоефективни безжични комуникации, като отбелязва важните стъпки в областта на прилагането на различни протоколи за маршрутизиране, предназначени за специфичните 6LoWPAN мрежи.

### **5. Преценка на публикациите по дисертационния труд.**

По темата на дисертацията са представени 6 научни публикации, като 1 от тях е публикувано в международно списание, 5 са в международни конференции и симпозиуми. Една от публикациите е самостоятелна, а останалите са в съавторство с научните ръководители и колектив. В тях са публикувани и са станали достояние на научната общност голяма част от резултатите на проведените аналитични, симулационни и практически експерименти, представени в дисертацията. От

направена справка към момента за докторантът в популярните световни бази данни установих, че публикациите свързани с дисертационния труд са отразени в бази данни на Scopus, като е констатирано към момента 16 техни цитирания, като „Хирш“ фактора за цитиране е  $h=3$ .

Всичко това ми дава основание да заявя, че научните постижения на автора са огласени достатъчно широко и са известни у нас и в чужбина.

#### **6. Мнения, препоръки и бележки.**

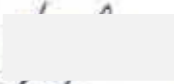
Считам, че дисертационният труд постига заявената цел, а дефинираните задачи са изпълнени на високо научно ниво и дисертацията има завършен характер. Лека критика изразявам относно лошото качество на някои приложени фигури и в малкия брой отразени използвани литературни източници по тази интересна и актуална тематика. Би било добре приносите на дисертационния труд да се оформят и разделят като научни, научно-приложни и приложни приноси. Препоръчвам в бъдеще докторантът да продължи научноизследователската си работа съвместно с колегите от ТУ София, като получените резултати да бъдат представени и публикувани в международни конференции и в реферирани списания с „импакт“ фактор (WoS) или Scopus ранг.

#### **7. Заключение с ясна положителна или отрицателна оценка на дисертационния труд.**

Считам, че представеният дисертационен труд **отговаря** на изискванията на Закона за развитие на академичния състав в Република България и оценката ми за него е напълно **положителна**. Постигнатите резултати ми дават основание **да предлага** да бъде придобита образователната и научна степен „доктор“ от **маг. инж. Равиндър Бениуол**

в област на висше образование - 5. Технически науки,  
професионално направление - 5.3 „Комуникационна и компютърна техника“,  
докторска програма - „Комуникационни мрежи и системи“.

Дата: 10.07.2024 г.

ЧЛЕН НА ЖУРИТО:   
(проф. д-р инж. Станимир Садинов)

10.07.2024



## OPINION

on a dissertation work for the acquisition of an educational and scientific degree "doctor"  
Author of the dissertation: **eng. Ravinder Beniwal, M.Sc.**

Dissertation topic: **INVESTIGATION OF ALGORITHMS AND PROTOCOLS IN RESOURCE CONSTRAINED NETWORKS**

Member of the scientific jury: **Prof. eng. Stanimir [redacted] Sadinov, PhD**

### **1. Relevance of the problem developed in the dissertation work in scientific and scientific applied terms.**

The research topic of algorithms and protocols for communication networks with limited resources is current and interesting. The thesis identifies the main challenges in routing algorithms in wireless sensor networks (WSNs) and makes a comparative study and analysis of the different routing protocols designed for 6LoWPAN networks. Based on this, it has been determined that the routing protocols designed for 6LoWPAN networks can be implemented in resource-constrained networks.

In a scientific-applied sense, numerous tasks related to the adaptation of the MMSPEED routing protocol for 6LoWPAN networks have been solved in the dissertation work. A comparative analysis of the results of SPEED, MMSPEED and HiLoW implemented in a 6LoWPAN network was performed in terms of reliability, delay, throughput and transmission rate, and the impact of several parameters on the performance-related results.

An experimental evaluation of the performance of the proposed algorithms for an energy-efficient and reliable routing protocol based on MMSPEED for 6LoWPAN networks is done. A comparative analysis of the results of MMSPEED, EMMSPED, and EMMSPED (with mobility support) in terms of delay, throughput, and dropped nodes, as well as the impact of several parameters on performance-related results, is performed.

In the conclusion of the dissertation, the significant results and general conclusions, representing scientific and scientific - applied contributions, are indicated according to the author. Guidelines for the future work of the doctoral student are also briefly presented.

### **2. Degree of knowledge of the state of the problem and creative interpretation of the literary material.**

The dissertation is in a volume of 135 pages and includes thanks to the author, table of contents, introduction, four chapters for solving the formulated main tasks and conclusion, author's publications on the dissertation research, lists of abbreviations, figures, tables, list of citations and used literature, which contains 85 scientific sources. In the dissertation, 6 publications of the doctoral student are cited, through which the obtained results became known to the scientific community. All literary sources have been selected in such a way as to reflect modern scientific achievements in the field of the subject of the dissertation work. Articles from authoritative scientific journals, conferences and books are cited. The performed analytical overview allows the doctoral student to correctly define the goal and the main research tasks, which he solves successfully in the individual chapters.

### **3. Correspondence of the chosen research methodology and the set goal and tasks of the dissertation with the contributions achieved.**

Research methods are mainly identified in individual chapters, such as analytical, simulation and experimental.

Many algorithms have been adapted for resource-constrained networks, however, Internet routing systems still need improvement and research. It is critical to develop Internet routing algorithms in WSNs as data communication increases in resource-constrained devices. The thesis presents the adaptation of MMSPEED routing protocol in 6LoWPAN networks. The performance of the MMSPEED protocol is compared with two other routing protocols such as SPEED and HiLoW in NS3. The encapsulation mechanisms and policy for all MMSPEED messages and packet format of IEEE802.15.4 and 6LoWPAN are proposed. Performance is compared with SPEED and HiLoW implemented with a 6LoWPAN network.

In Chapter 4, a routing protocol for the 6LoWPAN network that is both reliable and energy efficient is proposed. The protocol is based on the MMSPEED algorithm. The method that is proposed makes the routing dependent on the amount of energy still available at each node. The simulation results show that the traffic load is efficient when spread across the network nodes, and the results also show that the proposed protocol increases the average lifetime of the nodes while improving the network and protocol reliability.

### **4. Dissertation Contributions.**

I accept the contributions at the end of the dissertation work, emphasizing the essential part of them:

- The experimental results prove that the adaptation of the MMSPEED protocol in the 6LoWPAN network is effective in terms of throughput and reliability compared to SPEED and HiLoW. MMSPEED gives better accuracy and is efficient in terms of reliability compared to SPEED and HiLoW;
- The experimental results prove the theoretical claims that EMMMSPEED (with mobility maintenance) is efficient in terms of delay and throughput compared to MMSPEED and EMMMSPEED.

In summary, the thesis bridges theory and practice, contributing to the seamless delivery of high-performance wireless communications by marking the important steps in the field of implementing different routing protocols designed for the specific 6LoWPAN networks.

### **5. Assessment of dissertation publications.**

6 scientific publications are presented on the subject of the dissertation, 1 of them was published in an international journal, 5 were in international conferences and symposia. One of the publications is independent, and the others are co-authored with the scientific supervisors and team. In them, a large part of the results of the analytical, simulation and practical experiments presented in the dissertation were published and became available to the scientific community.

From a search made at the moment for the doctoral student in the popular world databases, I found that the publications related to the dissertation work are reflected in Scopus databases, and 16 of their citations have been found at the moment, with the "Hirsch" factor for citations being  $h=3$ .

All this gives me reason to state that the scientific achievements of the author have been announced widely enough and are known at home and abroad.

## 6. Opinions, recommendations and notes.

I believe that the dissertation work achieves the stated goal, the defined tasks are fulfilled at a high scientific level and the dissertation has a completed character. I express a slight criticism regarding the poor quality of some attached figures and the small number of used literary sources on this interesting and current topic. It would be good if the contributions of the dissertation work were shaped and divided into scientific, scientific-applied and applied contributions. In the future, I recommend that the doctoral student continue his research work together with his colleagues from TU Sofia, and that the obtained results be presented and published in international conferences and in refereed journals with an "impact" factor (WoS) or Scopus rank.

## 7. Conclusion with a clear positive or negative evaluation of the dissertation work.

I believe that the submitted dissertation **meets** the requirements of the Law on the Development of the Academic Staff in the Republic of Bulgaria and my assessment of it is completely **positive**. The achieved results give me the reason to **propose** that the educational and scientific degree "Doctor" be acquired from the M.Sc. Eng Ravinder Beniwal

in the field of higher education - 5. Technical sciences,  
professional field - 5.3 "Communication and computer technology",  
doctoral program - "Communication networks and systems".

Date: 10.07.2024

MEMBER OF THE JURY:   
(Prof. eng. Stanimir Sadinov, PhD)