

ОТКЗ-НС1-0841
15.04.2024



РЕЦЕНЗИЯ

върху дисертационен труд за придобиване на образователна и научна степен „доктор“ по научна специалност „Комуникационни мрежи и системи“ от професионално направление 5.3 Комуникационна и компютърна техника

Автор: маг. инж. Равнидър Бениуол
Тема: Изследване на алгоритми и протоколи за комуникационни мрежи с ограничени ресурси
Рецензент: доц. д-р инж. Кирил Късев
катедра „Комуникационни мрежи“, Технически университет – София

1. Актуалност на разработвания в дисертационния труд проблем в научно и научно-приложно отношение. Степен и нива на актуалността на проблема и конкретните задачи, разработени в дисертацията

Темата на труда е в областта на комуникационни мрежи с ниски изчислителни възможности, базирани на IPv6. Конкретните изследвания са свързани с подобряване на работата на маршрутизиращи протоколи, използвани в 6LoWPAN. Предмет на изследване са маршрутизиращи протоколи, които отчитат географското местоположение на възлите. Акцентирано е върху усъвършенстване на маршрутизиращи протоколи и тяхното адаптиране към безжични мрежи с възли с ограничени изчислителни възможности. В работата са предложени нови подходи за имплементация на маршрутизиращи протоколи в 6LoWPAN, чрез които се постига подобрена енергийна ефективност и мобилност на сензорните възли.

Интегрирането на безжичните сензорни мрежи (WSN) в света на Интернет е основното предизвикателство пред внедряването на Интернет на нещата (IoT). IPv6 методите за адресиране и комуникационните протоколи, които са адаптирани в IoT, трябва да бъдат модифицирани, за да отговарят на изискванията на безжичните сензорни възли, като напр. ограничена памет, малък размер на пакета, ограничена консумация на енергия, ниски оперативни разходи и др. Това води до интензивна изследователска и публикационна дейност в тази област. Въпреки разработените алгоритми, които са адаптирани към мрежи с ограничени ресурси, все още има нерешени задачи, което обуславя актуалността на дисертационния труд. Направените от автора обосновка на актуалността и изложените предпоставки са коректни и основателни.

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

Докторантът демонстрира задълбочено познаване на състоянието на проблема. В дисертацията са използвани 85 литературни източника. Направен е критичен анализ на методи, алгоритми и протоколи за комуникация в мрежи с ограничени изчислителни

ресурси. Всичко това показва, че докторантът е запознат със състоянието на проблема. На базата на представения литературен обзор коректно са дефинирани задачите за постигане на поставената цел.

3. Съответствие на избраната методика на изследване с поставената цел и задачи на дисертационния труд

Дисертационният труд има за цел да се анализират алгоритми за маршрутизиране и да се адаптират към комуникационни възли с ограничена памет, мощност и изчислителен капацитет, с цел да се постигне същата точност, скорост, ефективност и гарантиране на QoS, както в традиционните комуникационни мрежи. За нейното постигане са дефинирани 4 задачи. Поставените задачи са адекватни на целта и са решени в необходимия обем. В труда са предложени и изследвани редица методи и средства за анализ и моделиране на маршрутизиращи протоколи, с приложение в 6LoWPAN. Изследванията са подчинени основно на подхода за симулационно моделиране.

4. Кратка аналитична характеристика на естеството и оценка на достоверността на материала, върху който се градят приносите на дисертационния труд

Дисертационният труд е добре структуриран и разработен в обем от 135 страници. Обхваща увод, четири глави и заключение. Проведените експериментални изследвания са изчерпателни. Ясно са дефинирани предимствата и недостатъците, както на съществуващите протоколи, така и на разработените нови. Направени са достатъчно сравнения, които доказват достоверността на постигнатите резултати и приноси.

В първа глава „*State of the Art*“ са показани основните характеристики, и предизвикателства пред безжичните сензорни мрежи. Представен е сравнителен анализ на технологии за изграждане на този тип мрежи. Извършен е критичен анализ на подходи и алгоритми за маршрутизация в безжични сензорни мрежи. Обърнато е внимание на аспекти на сигурността в IoT технологии. Направени са 5 извода, които показват актуалността на дисертационния труд, и са дефинирани 4 основни задачи за изпълнение на поставената цел.

Във втора глава „*A Comparative Study of Routing Protocols for 6LoWPAN*“ са анализирани различни изисквания за маршрутизиране в мрежите 6LoWPAN. Извършена е класификация на протоколите за маршрутизиране в 6LoWPAN, на базата на което са формулирани четири основни групи протоколи. Отчетена е необходимостта от подобрения, чрез търсене на решения за оптимизиране на алгоритъма за маршрутизиране.

Трета глава „*Adoption and investigation of MM-SPEED: Multipath Multi-SPEED Routing Protocol in 6LoWPAN Networks*“ представя адаптирането на протокола за маршрутизиране MMSPEED в мрежи 6LoWPAN. Чрез разработен симулационен модел е проведен сравнителен анализ на производителността на MMSPEED протокола, спрямо протоколи за маршрутизиране SPEED и HiLoW. Предложени са механизми и политики за капсулиране на всички MMSPEED съобщения и пакетен формат на IEEE802.15.4 и 6LoWPAN. Производителността е сравнена със SPEED и HiLoW протоколи, чрез реализация в 6LoWPAN мрежа. Изследвани са възможностите на MMSPEED протокола, в посока гарантиране на QoS. Обърнато е внимание на показатели на надеждността на MMSPEED протокола, спрямо SPEED и HiLoW, в контекста на 6LoWPAN среда. Анализирани е производителността на протокола за маршрутизиране MMSPEED в среда 6LoWPAN.

В четвърта глава „*Energy Efficient Routing Protocols in Resource Constrained IoT Networks*“ е предложен маршрутизиращ протокол, приложим за Ad-hoc 6LoWPAN, който е едновременно надежден и енергийно ефективен. Протоколът е базиран на алгоритъма MMSPEED. Предложената стратегия води до подобряване на надеждността и времето за автономна работа на мрежовите възли.

Резултатите от изследването са представени в графичен вид. Дисертационният труд е добре структуриран. Описанието е коректно. Към всяка глава са посочени приноси и са представени публикациите на докторанта по нея.

5. Научни и/или научно-приложни приноси на дисертационния труд

От проведените изследвания, могат да се обобщят следните приноси:

Научно-приложни приноси:

- Разработен е енергийно ефективен и надежден маршрутизиращ протокол, на базата на MMSPEED за 6LoWPAN мрежа. В предложения подход маршрутизирането се извършва въз основа на оставащата енергия на възела, което повишава надеждността на мрежата;
- Предложен е подобрен подход за работа на 6LoWPAN EMMSPPEED маршрутизиращ протокол, с цел поддържане на мобилност на възлите – постига се ефективно разпределяне на натоварването на трафика между възлите на мрежата и подобряване на средното време за автономна работа;
- Предложен е подход за адаптиране на работата на MMSPEED маршрутизиращ протокол за 6LoWPAN мрежи. Чрез експериментални изследвания се доказва ефективна работа на протокола, по отношение на пропускателна способност и надеждност, в сравнение с аналогични маршрутизиращи протоколи, като SPEED и HiLoW.

Приложни приноси:

- На база на сравнителен анализ на маршрутизиращи протоколи в безжични сензорни мрежи, е верифицирана възможността за тяхното внедряване в мрежи с ограничени ресурси;
- Предложена е класификация на съществуващите маршрутизиращи протоколи за 6LoWPAN;
- Изследвана е възможността за влияние върху системни параметри, като мобилност, енергийна консумация, чрез модифициране на формата на протоколната структура на сензорния възел.

Научно-приложните приноси се свеждат до предложения, изследвания и анализ чрез нови и модифицирани методи, модели и алгоритми.

Приложните приноси се свеждат до конкретни изследвания с предложените алгоритми, модели и подходи.

Приносите в дисертационния труд имат научно-приложен и приложен характер, със значимост на новост в областта на 6LoWPAN. Представяват подобряване на известни подходи, модели и методи за решаване на конкретни научно-приложни и приложни задачи, свързани с работата на маршрутизиращи протоколи. С получените знания се обогатява теорията и практиката в областта на ресурсно ограничените комуникационни мрежи.

6. Оценка за степента на личното участие на дисертанта в приносите

Връзката между отделните глави на труда, както и специфичния стил и начин на изложение потвърждават авторството на кандидата и личното му участие в приносите.

Към дисертационния труд са представени 6 литературни източника, които са цитирани към отделните глави. Една от работата е самостоятелна и 5 са с двама съавтори. Във всички публикации докторантът е на първо място. Не са представени разделителни протоколи, което обуславя поравно участие на съавторите.

7. Претенция на публикациите по дисертационния труд

Броят на авторските публикации, отразяващи постиженията в дисертационния труд са 6. В една от тях маг. инж. Равиндър Беннуол е самостоятелен автор, а в останалите 5 е в съавторство с научните си ръководители.

Характерно за всички представени публикации на английски език е, че са в актуална и развиваща се област на телекомуникациите – ресурсно ограничени мрежи. Публикувани са в международни конференции и в национални конференции с международно участие. Една от научните разработки е публикувана в международно списание. Допълнителен атестат за качеството на публикационната дейност е индексването на 4 публикации в базата данни Scopus. Забелязват се и цитирания на авторските публикации – за индексирания в базата данни Scopus са налични 10 цитирания.

Публикационната дейност на кандидата показва, че дисертационния труд е получил публичност пред специалистите в областта, а също че докторантът има задълбочени познания по научната специалност на конкурса и може да анализира информация и да решава актуални научно-приложни и приложни задачи.

Публикациите по дисертационния труд в количествено и качествено отношение напълно удовлетворяват и дори надхвърлят минималните национални изисквания, както и минималните изисквания на Технически университет – София за придобиване на образователна и научна степен „доктор“.

8. Използване на резултатите от дисертационния труд в научната и социалната практика. Наличие на постигнат пряк икономически ефект и пр. Документи, на които се основава твърдението

Не са представени документи за конкретно приложение на резултатите в практиката, както и за постигнат икономически ефект.

В дисертационния труд са представени резултати, които са достъпни за обсъждане сред международната научно-изследователската общност, а част от тях са разпространени в световно известните научни бази данни Scopus и Web of Science (WoS).

Считам, че получените резултати са полезни и ще се използват от специалисти, ангажирани с разработване на стандарти и технически решения за комуникационни мрежи с ограничени ресурси.

9. Оценка на съответствието на автореферата с изискванията за изготвянето му, както и на адекватността на отразяване на основните положения и приносите на дисертационния труд

Авторефератът представя адекватно и в пълен обем съдържателната част и получените резултати в дисертационния труд.

10. Мнения, препоръки и бележки

Докторантът в голяма степен е отчетел направените препоръки и забележки, следствие от процедурата за предварително обсъждане. Въпреки това, имам следните препоръки и забележки, които са важни за бъдещата работа:

1. Добре би било към симулационното моделиране да се опишат използваните методи за статистическа обработка на данните.
2. Докторантът ясно описва избраните, модифицирани и предложени модели и формули, но понякога не отделя необходимото внимание на избора на стойностите на променливите, на анализа и на приложението на получените резултати.
3. Необходимо е по-добро формулиране на приносите на автора към отделните глави на дисертационния труд.

11. Заключение с ясна положителна или отрицателна оценка на дисертационния труд

Темата на дисертационния труд е актуална и с повишена трудност. Получените резултати са следствие от проведени задълбочени изследвания и са станали достойни на научната общност. Подходите и методите, използвани за решаване на поставените задачи, се отличават с адекватност и научност.

Посочените по-горе препоръки и забележки не оказват влияние върху много добрите впечатления от работата на докторанта.

Вземайки под внимание гореизложеното, считам, че напълно са удовлетворени изискванията на ЗРАСРБ и на Правилника за прилагането му, за разработване на дисертационен труд. Препоръчвам на уважаемото Научно жури да присъди образователната и научна степен „доктор“ на маг. инж. Равиндър Бениуол, по научна специалност „Комуникационни мрежи и системи“.

12.07.2024 г.

гр. София

Рецензент:

(доц. д-р Кирил Къев)

07078-HE1-084
15.07.2024



REVIEW REPORT

on a PhD thesis to obtain
the Educational and scientific degree "Doctor of Philosophy (Ph.D.)"
in Scientific specialty "Communication networks and systems"
within 5.3 Communication and computer technology field

Author: **Ravinder Beniwal, MSc.**
Title: **Investigation of Algorithms and Protocols
in Resource Constrained Networks**
Reviewer: **Dr. Kiril [redacted] Kasev, Assoc. Prof.**
Department of "Communication Networks", Technical University of Sofia

1. The relevance of the problem developed in the dissertation in both scientific and scientific-applied terms. Degree and levels of relevance of the problem and specific tasks developed in the dissertation

The thesis topic falls in the field of resource-constrained communication networks based on IPv6. The research is related to improving the performance of routing protocols used in 6LoWPAN. The research subject comprises routing protocols considering the geographic location of the network nodes. It is focused on the improvement of routing protocols and their adaptation to wireless networks containing nodes with limited computing capabilities. The work proposes new approaches for the implementation of routing protocols in 6LoWPAN, through which improved energy efficiency and mobility of sensor nodes are achieved.

The integration of wireless sensor networks (WSN) into the Internet world is the main challenge facing the implementation of the Internet of Things (IoT). IPv6 addressing methods and communication protocols, adapted in IoT, need to be modified to meet the requirements of wireless sensor nodes, such as limited memory, small packet size, limited power consumption, low operating costs, etc. This leads to intensive research and publication activity in this area. Despite the developed algorithms that are adapted to networks with limited resources, there are still unsolved tasks, which govern the relevance of the dissertation work. The author's justification about the topic state of the art and defined claims are correct and reasonable.

2. State-of-the-art degree of knowledge and the references creative interpretation

The PhD student demonstrates in-depth knowledge of the topic state of the art. The reference number within the PhD work is 85. A critical analysis of methods, algorithms and protocols for communication in networks with limited computing resources has been carried out. All this shows that the PhD student is familiar with the problem state of the art. Based on the presented literature review, the tasks to achieve the PhD thesis goal are correctly defined.

3. Relevance of the chosen research methodology with the goal and tasks defined of the PhD thesis

The thesis aims to analyze routing algorithms and adapt them to communication nodes with limited memory, power and computing capacity, to achieve the same accuracy, speed, efficiency and QoS guarantee as in traditional communication networks. In order to achieve this goal, four tasks have been defined. The tasks defined are adequate to the goal and are solved in the necessary volume. Within the thesis, several methods and tools for analysis and modeling of routing protocols, with application in 6LoWPAN, are proposed and investigated. The research is mainly based on the simulation modeling approach.

4. Brief analytical description and PhD thesis originality assessment on which the contributions have been made

The PhD thesis is well structured and developed in a volume of 135 pages. It includes an introduction, four chapters and a conclusion. The experimental studies conducted are comprehensive. The advantages and disadvantages of both existing protocols and newly developed ones are clearly defined. Sufficient comparisons have been made that prove the achieved results and contributions originality.

In the first chapter "*State of the Art*", the main characteristics and challenges of wireless sensor networks are shown. A comparative analysis of technologies for building this type of network is presented. A critical analysis of routing approaches and algorithms in wireless sensor networks is performed. Attention is paid to security aspects in IoT technologies. Five conclusions have been made, which show the thesis topic state of the art, and four main tasks have been defined to fulfill the thesis goal.

The second chapter, "*A Comparative Study of Routing Protocols for 6LoWPAN*" analyzes various routing requirements in 6LoWPAN networks. A classification of routing protocols in 6LoWPAN was performed, based on which four main groups of protocols were formulated. It is concluded the need for present routing protocols improvements, by looking for solutions for routing algorithms optimization.

Third chapter "*Adoption and investigation of MM-SPEED: Multipath Multi -SPEED Routing Protocol in 6LoWPAN Networks*" presents the adaptation of the MMSPEED routing protocol in 6LoWPAN networks. By means of a developed simulation model, a comparative analysis of the performance of the MMSPEED protocol was carried out, compared to the SPEED and HiLoW routing protocols. Mechanisms and policies are proposed to encapsulate all MMSPEED messages and packet format of IEEE802.15.4 and 6LoWPAN. Performance is compared with SPEED and HiLoW protocols, through implementation in a 6LoWPAN network. The possibilities of the MMSPEED protocol, towards QoS guarantee, have been studied. Attention has been paid to the reliability indicators of the MMSPEED protocol, relative to SPEED and HiLoW, in the context of a 6LoWPAN environment. The performance of the MMSPEED routing protocol in a 6LoWPAN environment has been analyzed.

Fourth chapter "*Energy Efficient Routing Protocols in Resource Constrained IoT Networks*" proposes a routing protocol applicable to Ad-hoc 6LoWPAN that is both reliable and energy efficient. The protocol is based on the MMSPEED algorithm. The proposed strategy improves the reliability and the autonomous operation time of the network nodes.

The results of the study are presented in graphic form. The overall thesis is well structured. The thesis description is correct. Each chapter concludes with defined contributions as well as a list of published research papers, covering the chapter content.

5. Scientific and/or scientific-applied contributions of the PhD thesis

Based on the overall research activities carried out within the thesis scope, the following contributions can be summarized:

Scientific and applied contributions:

- An energy efficient and reliable routing protocol based on MMSPEED for 6LoWPAN network is developed. In the proposed approach, routing is based on the remaining energy of a network node, which increases the reliability of the network.
- An improved approach to the operation of the 6LoWPAN EMMSPEED routing protocol has been proposed, in order to maintain the mobility of the nodes – an effective distribution of the traffic load is achieved between the network nodes and the average time for autonomous operation is improved.
- An approach to adapt the operation of the MMSPEED routing protocol for 6LoWPAN networks has been proposed. Through experimental studies, the efficient operation of the protocol is proven, in terms of throughput and reliability, compared to similar routing protocols, such as SPEED and HiLoW.

Applied Contributions:

- Based on a comparative analysis of routing protocols in wireless sensor networks, the possibility of their implementation in networks with limited resources has been verified.
- A classification of existing routing protocols for 6LoWPAN has been proposed.
- The possibility of influencing system parameters, such as mobility, energy consumption, by modifying the protocol structure of the sensor node has been investigated.

Scientific and applied contributions refer to proposals, research and analysis through new and modified methods, models and algorithms.

Applied contributions refer to carrying out specific research with proposed algorithms, models and approaches.

The contributions in the dissertation have a scientific-applied and applied nature, with significance of novelty in the field of 6LoWPAN. They represent the improvement of known approaches, models and methods for solving specific scientific-applied and applied tasks related to the routing protocols operation. The knowledge gained enriches the theory and practice in the field of resource-constrained communication networks.

6. Assessment of the personal involvement of the PhD student in the thesis contributions

The relationship between the individual chapters of the work, as well as the specific style and manner of presentation, confirm the authorship of the PhD candidate and his personal involvement in the thesis contributions.

The PhD thesis includes 6 author research publications, cited to the corresponding thesis chapter. One research paper is independent and the rest five are with two co-authors. In all publications, the PhD student comes first. No authorship distribution protocols have been presented, which governs equally distributed participation of the co-authors in all publications.

7. PhD thesis publications assessment

There are a total of six author publications, presenting the PhD thesis achievements. In one of them, M.Sc. Ravinder Beniwal is an independent author, and in the other 5 he co-authored with his scientific supervisors.

All published and presented research publications fall into a developing field of telecommunications - resource-constrained networks. They have been published in international conferences and in national conferences with international participation. One research has been published in an international journal. The high quality of publication activity could be proven by indexing 4-out-of-6 publications in the Scopus database. Citations of the author's publications have also been noted – for Scopus-indexed publications currently a total of 10 citations are available.

The PhD student publication activity shows that the thesis has received publicity in front of the specialists in the field. The PhD student has in-depth knowledge within the scope of the PhD competition, and he can analyze information and solve current scientific-applied and applied tasks.

Based on quantitative and qualitative terms, all research publications within the PhD thesis satisfy and even exceed the minimum national requirements, as well as the minimum requirements of the Technical University of Sofia for obtaining the educational and scientific degree "Doctor of Philosophy (Ph.D.)".

8. Using the PhD thesis results in scientific and social practice. Existence of achieved direct economic effect, etc. Documents on which the statement is based

No documents have been presented for the specific application of the results in practice, as well as for the achieved economic effect.

The PhD thesis presents results that are available for discussion among the international scientific research community, and some of them are distributed in the renowned international scientific databases, such as Scopus and Web of Science (WoS).

I believe that the obtained results are useful and will be used by specialists engaged in the development of standards and technical solutions for resource-constrained communication networks.

9. Assessment of the compliance of the PhD Thesis Summary with the PhD thesis main points and contributions as well as fulfilling requirements for its preparation

The PhD Thesis Summary presents adequately and in full the descriptive part as well as obtained results presented in the PhD thesis work.

10. Opinions, recommendations and remarks

The PhD student has largely considered the recommendations and remarks made because of the preliminary defense procedure. However, I have the following recommendations and remarks that are important for future work:

1. It would be more beneficial, statistical data processing methods, applied to simulation modeling, to be described.
2. The PhD student clearly describes the selected, modified and proposed models and formulas, but sometimes he does not pay the necessary attention to the choice of the variables values; to the analysis and to the application of the obtained results.
3. A better formulation of the author's contributions to the individual chapters of the PhD thesis is needed.

11. Conclusion with a clear positive or negative evaluation of the PhD thesis

The PhD thesis topic is current and of increased difficulty. The obtained results are based on extensive research and have become available to the scientific community. The approaches and methods used to solve the defined tasks are distinguished by adequacy and scientific approach.

The above-mentioned recommendations and remarks do not have an impact on the very good impressions of the PhD student research work.

Referring to the above-mentioned facts, I consider that the normative requirements in the Law on the development of the academic staff in the Republic of Bulgaria as well as the Regulations of its implementation, have been fully complied with. I recommend to the respected Scientific Jury to award the educational and scientific degree "Doctor of Philosophy (Ph.D.)" to M.Sc. Ravinder Beniwal, within Communication Networks and Systems scientific specialty.

12.07.2024
Sofia, Bulgaria

Reviewer:

(Dr. Kiril Kasev, Assoc. Prof.)