



РЕЦЕНЗИЯ

върху дисертационен труд за придобиване на образователна и научна степен „Доктор“ в професионално направление 5.3 Комуникационна и компютърна техника по научна специалност „Електроакустика, звукотехника и кинотехника“

Автор на дисертационния труд: маг. инж. Костадин [REDACTED] Панчев

Автор на рецензията: доц. д-р инж. Иво [REDACTED] Драганов, катедра РКВТ, ФТК, ТУ-София

Тема на дисертационния труд: „АКУСТИЧНИ СЕНЗОРНИ МРЕЖИ НА ОСНОВАТА НА ИНТЕРНЕТ НА НЕЩАТА И ИЗКУСТВЕН ИНТЕЛЕКТ“

1. Актуалност на разработвания в дисертационния труд проблем

Акустичните сензорни мрежи намират широко приложение в практиката за повече от половин век. Някои от типичните реализации включват локализирането на източници на звук, както във въздушна, така и във водна среда, определянето на разпределението на шумови нива в широки зони, моделиране на акустиката на помещения и определяне на нивото на разбираемост на човешка реч в тях, както и много други. Началните реализации на тези мрежи са включвали използването на относително големи по размер микрофони, а предаването на записваната акустична информация е изисквало наличие на захранващи източници с повишен капацитет. Началното преобразуване, анализирането и обобщаването на получаваните данни е било възможно с използването на мини и микрокомпютри, често разполагани на голямо разстояние от зоната на развитие на звуковата картина. Ограниченият изчислителен ресурс не е позволявал прилагането на сложни по своята структура алгоритми за анализ на звуковата информация, както и за визуализация на резултатите от нейната обработка. С развитието на технологията за изготвяне на електронно-изчислителната техника, микрофони и микрофонни решетки, което води до миниатюризация и понижена консумация на енергия, доведе и до значително развитие на акустичните сензорни мрежи в последните няколко години. Появата на MEMS сензори, едночипови и едноплаткови компютри, масовото навлизане на безжични мрежи с голям капацитет на обменяната по цифров път информация дава възможност обхвата на акустичните сензорни мрежи да бъде сериозно разширен, а обработваните данни да дават отговор на въпроси от все по-високо абстрактно ниво. Две ключови области – Интернет на нещата (IoT) и Изкуствения интелект (AI) силно допринасят понастоящем за прилагането на акустичните сензорни мрежи, както в широкомащабни професионални проекти, така и за реализации от любителско ниво. Повишената чувствителност, ниска консумация и цена, както и възможност за извършване на аналогово-цифрово преобразуване с голяма разредност в сензорите и свързването им към устройства от IoT тип позволява началната обработка на информация да се извършва в точките на регистриране на звука. Wi-Fi и Bluetooth свързаността осигурява от своя страна възможност за предаване на първоначално обработените данни до централизирани хранилища, където да бъдат допълнително

обработени от сървър с голяма изчислителна мощност, в т.ч. и с прилагане на възможностите на AI.

В представения дисертационен труд са засегнати всички аспекти от така описаните тенденции в развитието на акустичните сензорни мрежи, което прави избраната тема изключително актуална.

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

Докторантът е представил аналитичен обзор, в който са дефинирани основните особености на акустичните сензорни мрежи и връзката им с Интернет на нещата и Изкуствения интелект. Класифицирани са също така основните видове мрежи от този тип. Централен акцент в анализа заема разглеждането на методите и алгоритмите за измерване, оценка и повишаване на точността на обработката на звукови сигнали. В разширение на традиционните методи са оценени възможностите за приложение на Изкуствен интелект при анализа на аудио информация с цел оценка на акустиката на зали. Особено внимание е обърнато на интеграцията между типичните основни звена в системи за вземане на крайно решение след направения анализ.

Широкият набор от литературни източници (107 на брой), който е проучен и в който влизат основни публикации по темата от последните 10 години е позволил на докторанта задълбочено да изследва настоящото състояние на проблема. Не липсват и основополагащи трудове от областта на акустичните мрежи от втората половина на миналия век, които дават възможност да се проследи развитието на системи от разглеждания вид. Всичко това показва високата степен на познаване на състоянието на проблема от докторанта, на чиято база е направена и една широка творческа интерпретация на различните негови аспекти. Демонстрирано е добро познаване на приложенията на безжичните акустични сензорни мрежи като освен на технологичните им аспекти е направено разглеждане и на възможностите за предоставяне на услуги. Възможностите за създаване на глобални профили на изследваната среда като напр. от екологична гледна точка са друг аспект, който е анализиран от докторанта и той е насочил вниманието си и към политиките за устойчиво развитие.

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

Налице е съответствие на избраната методика на изследване с поставената цел и задачи на дисертационния труд. Съставена е структурна схема на акустична сензорна мрежа на база на система от уравнения, описващи на системно ниво връзката между входни и изходни сигнали. Разработен е модел за оценка на акустични параметри на затворени помещения с използването на изкуствена невронна мрежа. Параметрите биват извличани чрез прилагане на вълновия апарат за описание на звукови вълни – използва се нееднородното уравнение на Хелмхолц и законът за запазване на импулса. С помощта на преобразуването на Фурие в операторен вид се намират решения за функцията на Грийн. Приложен също така е и методът модите като е намерена честотата на Шрьодер. Намерен е и в общ вид предавателната функция на изследваното помещение. Синтезирани са алгоритми за работа

на акустична сензорна мрежа, която включва в себе си IoT устройства и елементи на Изкуствен интелект. С тяхна помощ биват извличани статистически параметри за описание на регистрираните звуци – продължителност, сила на звука, ниво на шума, височина на тона, дължина на вълната, скорост на звука, ADSR, RT60 и ехо. При експерименталната проверка на разработения модел се намират параметри като разбираемост на речта (в % и STI), SNR и RMS. Намерените взаимовръзки по теоретичен и експериментален път доказват правилността на избраната методика в рамките на проведеното изследване. В рамките на експеримента са използвани подходи на модулното и обектно-ориентираното програмиране.

4. Характеристики на дисертационния труд

Дисертационният труд е с обем 137 страници. Той съдържа 3 таблици, 58 фигури и 62 математически израза. Използваната литература е оформена в списък със 107 заглавия на научни публикации като всички те са на английски език.

Съдържанието на дисертационния труд включва въведение, 4 глави, списък с приносите на докторанта, библиография и 2 приложения. В Първа глава докторантът е анализирал съдържанието на литературните източници, свързани с темата на дисертационния труд. В началото ѝ са представени общи сведения за акустичните сензорни мрежи като е отделено внимание на Интернет на нещата и Изкуствения интелект. Анализирани е структурата на безжичните акустични сензорни мрежи – физически слой, слой за локална обработка и слой за комуникация и интеграция. Направена е класификация на акустичните сензорни мрежи – за локализация, за оценка на акустиката на зали, за научни приложения и др. Разгледани са методите и алгоритмите за измерване, оценка и повишаване на точността на мрежи от същия вид с прилагане на Интернет на нещата и Изкуствен интелект. Анализирани са методите с честотно разпределение и мултиплексиране. При частта с оценка на акустиката на зали са анализирани метода с реверберация, със стояща вълна и чрез разпадане на тона. Оценена е възможността за интегриране на ChatGPT с безжични акустични сензорни мрежи. В Глава 2 е разработен модел на акустична сензорна мрежа на основата на Интернет на нещата и Изкуствен интелект. Синтезирана е блокова схема на акустичен сензор за измервания в зали. Изведени са основни уравнения, които описват всички сигнали от предложената акустична сензорна мрежа. Разработен е модел за оценка на акустичните параметри на затворени помещения, който включва и прилагането на невронна мрежа. Представен е детайлен математически апарат на основа на вълновата теория за звука. Приложен е и методът на модите. В Трета глава са разработени алгоритми за моделиране на предложената акустична сензорна мрежа. Описани са отделните етапи на нейното проектиране – проектиране на акустичен сензорен възел, свързване с IoT модул и конфигуриране на I2S интерфейс. В Четвърта глава са представени резултати от експериментални изследвания с цел потвърждаване на теоретичните изводи от предходните глави. Включена е симулация на разработената акустична сензорна мрежа при измервания в затворени помещения. Комбинирани са IoT модули и система за Изкуствен интелект с цел проверка на предложените в Глава 3 алгоритми. Описан е детайлно изходен код на приложения, използвани в симулациите, заедно с графичен потребителски интерфейс при достъп до сървър. Извършена е експериментална проверка за разбираемост на говор от предложените модели като е интегрирана комуникация с приложението ChatGPT. Отчетени

са множество стойности на параметрите SNR, RMS и STP. Изложените експериментални резултати потвърждават верността на изготвените решения за алгоритми от Втора и Трета глави, а с това и решенията на задачите, поставени пред дисертационния труд.

5. Приноси в дисертационния труд

Докторантът е заявил 5 научно-приложни и 5 приложни приноса. Всички те са коректно дефинирани в съдържателно отношение и се подкрепят от отделните групи теоретични представяния и експериментални резултати от Глави 2, 3 и 4.

6. Преценка на публикациите по дисертационния труд

Разработените модели и алгоритми и получените експериментални резултати са докладвани в 4 научни публикации. Три са доклади от международни научни конференции, 1 е доклад от национална конференция с международно участие. Всички 4 публикации са индексирани в SCOPUS и Web of Science. Налице са 9 цитирания. Докторантът има участие в 1 университетски научно-изследователски договор, пряко свързан с тематиката на неговия дисертационен труд.

7. Оценка на автореферата на дисертацията

Представеният автореферат съдържа основните резултати от работата на докторанта, които показват в задоволителна степен изпълнението на задачите, поставени в дисертационния труд и постигането на дефинираната в него цел.

8. Препоръки и критични забележки

В предварителен разговор с докторанта бяха посочени от мен някои забележки в съдържателно и стилово отношение, които не засягат дисертабилността на представения научен труд. Докторантът направи съответните корекции и към момента нямам съществени забележки към дисертационния труд.

Препоръчвам на докторанта да продължи своите изследвания в научната област, в която той работи като разшири своите експерименти по оценка на акустиката на зали с по-голям набор от сензори и управляващи модули, както и чрез прилагане на по-нови подходи за обработка на регистрираните сигнали от областта на изкуствения интелект.

9. Заключение

Дисертационният труд на маг. инж. Костадин [] Панчев на тема „АКУСТИЧНИ СЕНЗОРНИ МРЕЖИ НА ОСНОВАТА НА ИНТЕРНЕТ НА НЕЩАТА И ИЗКУСТВЕН ИНТЕЛЕКТ“ съдържа достатъчни по обем оригинални експериментални резултати и теоретични модели, които подкрепят заявената теза чрез поставената цел и съответстват на решението на поставените задачи за изпълнение. Изпълнени са основните изисквания на ЗРАСРБ, правилника за неговото приложение и ПУРПНС на ТУ-София за придобиване на образователната и научна степен „Доктор“, което ми дава основание да подкрепя придобиването на последната от маг. инж. Костадин [] Панчев.

18.06.2025 г.

гр. София

Изготвил: []

(доц. д-р Иво Драганов)

18.06.2025

REVIEW

on the dissertation for the acquisition of the educational and scientific degree "Doctor"
in the professional field **5.3 Communication and Computer Engineering**
in the scientific specialty "**Electroacoustics, Sound Engineering and Cinematography**"

Author of the dissertation: M.Eng. Kostadin [redacted] Panchev

Author of the review: Assoc. Prof. Dr. Eng. Ivo [redacted] Draganov, Department of Radio
Communications and Video Technologies, Faculty of Telecommunications, Technical
University of Sofia

Topic of the dissertation: "ACOUSTIC SENSOR NETWORKS ON THE BASIS OF THE
INTERNET OF THINGS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE"

1. Relevance of the problem developed in the dissertation

Acoustic sensor networks have been widely used in practice for more than half a century. Some of the typical implementations include the localization of sound sources, both in air and water environments, determining the distribution of noise levels in wide areas, modeling the acoustics of rooms and determining the level of intelligibility of human speech in them, as well as many others. The initial implementations of these networks involved the use of relatively large microphones, and the transmission of the recorded acoustic information required the presence of power sources with increased capacity. The initial conversion, analysis and summarization of the received data was possible with the use of mini and microcomputers, often located at a great distance from the area of development of the sound scene. The limited computing resources did not allow the application of complex algorithms for analyzing sound information, as well as for visualizing the results of its processing. With the development of technology for the production of electronic computing equipment, microphones and microphone arrays, which leads to miniaturization and reduced energy consumption, it has also led to a significant development of acoustic sensor networks in the last few years. The emergence of MEMS sensors, single-chip and single-board computers, the mass penetration of wireless networks with high capacity of digitally exchanged information allows the scope of acoustic sensor networks to be seriously expanded, and the processed data to provide answers to questions of an increasingly high abstract level. Two key areas – Internet of Things (IoT) and Artificial Intelligence (AI) – are currently strongly contributing to the application of acoustic sensor networks, both in large-scale professional projects and for implementations at the amateur level. Increased sensitivity, low consumption and cost, as well as the ability to perform analog-to-digital conversion with high order in the sensors and connect them to IoT-type devices allows the initial processing of information to be performed at the sound registration points. Wi-Fi and Bluetooth connectivity, in turn, provides the ability to transmit the initially processed data to centralized storages, where they can be further processed by a server with high computing power, including with the application of AI capabilities.

The presented dissertation work covers all aspects of the trends described in the development of acoustic sensor networks, which makes the chosen topic extremely relevant.

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

The doctoral candidate has presented an analytical review, which defines the main features of acoustic sensor networks and their connection with the Internet of Things and Artificial Intelligence. The main types of networks of this type are also classified. The central emphasis in the analysis is on the consideration of methods and algorithms for measuring, evaluating and increasing the accuracy of sound signal processing. As an extension of traditional methods, the possibilities for applying Artificial Intelligence in the analysis of audio information for the purpose of assessing the acoustics of halls have been evaluated. Particular attention has been paid to the integration between typical basic units in systems for making a final decision after the analysis.

The wide range of literary sources (107 in number), which was studied and which includes major publications on the topic from the last 10 years, has allowed the doctoral student to thoroughly investigate the current state of the problem. There is also no shortage of fundamental works in the field of acoustic networks from the second half of the last century, which make it possible to trace the development of systems of the type under consideration. All this shows the high degree of knowledge of the state of the problem by the doctoral student, on the basis of which a broad creative interpretation of its various aspects has been made. Good knowledge of the applications of wireless acoustic sensor networks has been demonstrated, and in addition to their technological aspects, the possibilities for providing services have also been considered. The possibilities for creating global profiles of the studied environment, such as from an ecological point of view, are another aspect that has been analyzed by the doctoral student and he has also focused his attention on sustainable development policies.

3. Compliance of the selected research methodology with the set goal and tasks of the dissertation

There is compliance of the selected research methodology with the set goal and tasks of the dissertation. A structural diagram of an acoustic sensor network has been compiled based on a system of equations describing the relationship between input and output signals at the system level. A model for estimating acoustic parameters of closed rooms using an artificial neural network has been developed. The parameters are extracted by applying the wave apparatus for describing sound waves - the inhomogeneous Helmholtz equation and the law of conservation of momentum are used. With the help of the Fourier transform in operator form, solutions for the Green's function are found. The mode method is also applied, and the Schröder frequency is found. The transfer function of the studied room has also been found in general form. Algorithms for the operation of an acoustic sensor network have been synthesized, which includes IoT devices and elements of Artificial Intelligence. With their help, statistical parameters are extracted to describe the registered sounds - duration, loudness, noise level, pitch, wavelength, sound speed, ADSR, RT60 and echo. During the experimental verification of the developed model, parameters such as

speech intelligibility (in % and STI), SNR and RMS are found. The relationships found theoretically and experimentally prove the correctness of the chosen methodology within the framework of the conducted research. Modular and object-oriented programming approaches were used within the framework of the experiment.

4. Characteristics of the dissertation work

The dissertation work has a volume of 137 pages. It contains 3 tables, 58 figures and 62 mathematical expressions. The literature used is presented in a list of 107 titles of scientific publications, all of which are in English.

The content of the dissertation work includes an introduction, 4 chapters, a list of the doctoral student's contributions, a bibliography and 2 appendices. In Chapter One, the doctoral student has analyzed the content of the literary sources related to the topic of the dissertation. At the beginning, general information about acoustic sensor networks is presented, with attention paid to the Internet of Things and Artificial Intelligence. The structure of wireless acoustic sensor networks is analyzed - physical layer, local processing layer and communication and integration layer. A classification of acoustic sensor networks is made - for localization, for evaluating hall acoustics, for scientific applications, etc. The methods and algorithms for measuring, evaluating and increasing the accuracy of networks of the same type with the application of the Internet of Things and Artificial Intelligence are examined. The methods with frequency distribution and multiplexing are analyzed. In the part with evaluating hall acoustics, the methods with reverberation, with standing wave and by tone decay are analyzed. The possibility of integrating ChatGPT with wireless acoustic sensor networks is evaluated. In Chapter 2, a model of an acoustic sensor network based on the Internet of Things and Artificial Intelligence is developed. A block diagram of an acoustic sensor for measurements in halls is synthesized. Basic equations are derived that describe all signals from the proposed acoustic sensor network. A model for estimating the acoustic parameters of enclosed spaces is developed, which also includes the application of a neural network. A detailed mathematical apparatus based on the wave theory of sound is presented. The method of modes is also applied. In Chapter Three, algorithms for modeling the proposed acoustic sensor network are developed. The individual stages of its design are described - design of an acoustic sensor node, connection to an IoT module and configuration of an I2S interface. In Chapter Four, results of experimental studies are presented in order to confirm the theoretical conclusions from the previous chapters. A simulation of the developed acoustic sensor network for measurements in enclosed spaces is included. IoT modules and an Artificial Intelligence system are combined to verify the algorithms proposed in Chapter 3. The source code of the applications used in the simulations is described in detail, along with a graphical user interface for accessing the server. An experimental check of speech intelligibility by the proposed models is performed, integrating communication with the ChatGPT application. Multiple values of the SNR, RMS and STI parameters are reported. The presented experimental results confirm the correctness of the prepared solutions for algorithms from Chapters Two and Three, and thus the solutions to the tasks set for the dissertation.

5. Contributions to the dissertation

The doctoral student has declared 5 scientific and applied contributions and 5 applied contributions. All of them are correctly defined in terms of content and are supported by the separate groups of theoretical presentations and experimental results from Chapters 2, 3 and 4.

6. Assessment of publications on the dissertation

The developed models and algorithms and the obtained experimental results have been reported in 4 scientific publications. Three are reports from international scientific conferences, 1 is a report from a national conference with international participation. All 4 publications are indexed in SCOPUS and Web of Science. There are 9 citations. The doctoral student has participated in 1 university research contract directly related to the topic of his dissertation.

7. Assessment of the dissertation abstract

The presented abstract contains the main results of the doctoral student's work, which demonstrate to a satisfactory degree the fulfillment of the tasks set in the dissertation and the achievement of the goal defined therein.

8. Recommendations and critical remarks

In a preliminary conversation with the doctoral student, I pointed out some remarks in terms of content and style, which do not affect the distributability of the presented scientific work. The doctoral student made the appropriate corrections and at the moment I have no significant comments on the dissertation.

I recommend that the doctoral student continue his research in the scientific field in which he works by expanding his experiments on the assessment of the acoustics of halls with a larger set of sensors and control modules, as well as by applying newer approaches to processing the registered signals from the field of artificial intelligence.

9. Conclusion

The dissertation of M.Eng. Kostadin [redacted] ev on the topic "ACOUSTIC SENSOR NETWORKS BASED ON THE INTERNET [redacted] AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE" contains sufficient original experimental results and theoretical models that support the stated thesis through the set goal and correspond to the solution of the tasks set for implementation. The basic requirements of the Law on the State Educational Service of the Republic of Bulgaria, the regulations for its implementation and the General Regulations of the Technical University of Sofia for the acquisition of the educational and scientific degree "Doctor" have been met, which gives me reason to support the acquisition of the latter by M. Eng. Kostadin [redacted] Panchev.

18.06.2025

Sofia, Bulgaria

Prepared by: [redacted]

(Assoc. Prof. Dr. Ivo Draganov)