



РЕЦЕНЗИЯ

върху дисертационен труд за придобиване на образователна и научна степен
„доктор”

Автор на дисертационния труд: маг. инж. *Иван Красимиров Кънев*

Тема на дисертационния труд: *Синтез и изследване на методи и алгоритми за звукова трансформация (сонификация) на електрокардиографски сигнали при пациентна телеметрия*

Изготвил: проф. д-р *Ирена Илиева Жекова, ИБФБМИ - БАН*

1. Актуалност на разработвания в дисертационния труд проблем

Проблемите свързани с проектиране и реализиране на системи за персонализирано здравеопазване са важна област на изследвания през последните години. Развитието на тази услуга е заложено в приоритетите на Програма „Хоризонт Европа“ - 2021-2027 г., клъстер „Здравеопазване“, „Инструменти, технологии и цифрови решения за здраве и грижи, включително персонализирана медицина“. Представеният дисертационен труд на инж. Иван Кънев е свързан с преобразуването на електрокардиограмата (ЕКГ) в звук и нейното предаване посредством мрежите на мобилните оператори, което прави възможно дистанционното проследяване на пациенти със сърдечно-съдови проблеми. Актуалността на поставените цели и задачи в дисертационния труд е извън всякакво съмнение.

2. Степен на познаване състоянието на проблема

Дисертационният труд е представен на 108 страници и се състои от увод, литературен обзор, три глави посветени на изследване на акустичните характеристики на различни класове мобилни апарати, проектиране и изследване на аналогов модулатор за звукова трансформация на ЕКГ сигнали и проектиране на цифров пациентен модул реализиращ ЕКГ сонификация с цел дистанционно проследяване на кардиологични пациенти.

Литературният обзор е осъществен посредством разработен от докторанта софтуер за систематично литературно проучване, който реализира подбор на публикации от избрани научни бази данни по оказани ключови думи, времеви интервал на публикуване и език. След допълнителен анализ са селектирани 16 публикации свързани със звуково интерпретиране на ЕКГ сигнали и предаване в реално време на



аудио трансформирани биосигнали, и 24 статии отнасящи се до приложение на мобилни устройства за отдалечено мониториране на пациенти. Тези публикации са разгледани в литературния обзор заедно с други, отнасящи се до регистриране и анализ на ЕКГ сигнали. Библиографската справка обхваща 103 литературни източника, 70% от които публикувани през последните 10 години. Докторантът е запознат с постигнатите резултати в областта на сонификация на биосигнали и наличните технологични възможности за осъществяване на дистанционно проследяване на пациенти. На тази база адекватно са формулирани целите и задачите на дисертационния труд.

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

За решаване на задачите дефинирани от поставената цел на дисертационния труд инж. Кънев е приложил следните методи:

- Анализ на амплитудно-честотните характеристики на различни мобилни телефони с цел гарантиране на възможността за надежден трансфер на ЕКГ сигнали
- Аналогово схемно решение за трансформация на ЕКГ в аудио сигнал на базата на честотна модулация
- Процедура за цифрова демодулация на сонифициран ЕКГ сигнал

Приложените методи обезпечават реализирането на поставените задачи, което се потвърждава от разработения прототип на ЕКГ сонификатор.

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

Обект на дисертационния труд е нов подход за обработка на електрокардиограми осигуряващ конвертиране на регистрирания ЕКГ сигнал в звуков и предаването му на разстояние посредством мрежите на мобилните оператори. Разработката дава възможност за отдалечено мониториране на рискови пациенти със сърдечносъдови заболявания, предоставяйки подходящи технологични решения адаптирани към възможностите на възрастното население, което е най-голямата целева група при такива изследвания. Използването на стандартния аудио канал в мобилни устройства не само улеснява комуникация, но и осигурява защита (криптиране) на данните, тъй като използва стандартните канали за трансфер осигурени от комуникационните компании. Това прави представената разработка конкурентна на масовите цифрови



интерфейси и протоколи за пренос на данни, които изискват специални мерки за защита на предаваните данни.

Структурата на представения дисертационен труд следва логическа последователност от анализ на текущото състояние на изследвания проблем (Глава 1), през описание на приложената методология и постигнатите резултати при изследването на акустичните характеристики на различни мобилни телефони (Глава 2), както и при проектирането на аналогов модул за сонификация на ЕКГ сигнали и цифров пациентен модул за отдалечено мониториране на сърдечната дейност (Глави 3, 4). Представените блокови и принципни схеми, кодове на програмни процедури, както и експериментални резултати свидетелстват за достоверността на материала, върху който се градят приносите на дисертационния труд.

5. Научни и/или научноприложни приноси на дисертационния труд

Приемам формулираните от автора приноси, които имат научно-приложен и приложен характер.

Научно-приложните приноси могат да бъдат отнесени към създаване на нови методи на изследване, нови технологии, получаване на потвърдителни факти, а именно:

- Научно-приложен принос от типа „получаване на потвърдителни факти“: Гарантирана е възможността за надежден трансфер на сонифицирани ЕКГ сигнали посредством анализ на амплитудно-честотните характеристики на различни мобилни телефони.
- Научно-приложен принос от типа създаване на нови методи на изследване и нови технологии: Реализирана и тествана е аналогова схема на преобразувател на ЕКГ в аудио сигнал. Разработени са алгоритми и съответни програмни процедури за модулация и демодулация на сонифицирания ЕКГ сигнал, необходими при транслирането му до отдалечен приемник.

Приложните приноси са свързани с:

- Внедряване на методи и технологии в разработения прототип на ЕКГ сонификатор.
- Разработване на софтуер за систематично литературно проучване работещ с бази данни с научни публикации. Софтуерът може да бъде използван за оценка на текущото състояние на изследванията по дадена тема.



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

Постигнатите резултати са публикувани в 6 статии на малък колектив (от 1 до 5 автора). Маг. инж. Иван Кънев е първи автор в 2, втори автор в 1 и последен (отговорен за разработката) автор в 3 от тях. В една от публикациите докторантът е единствен автор. На база анализ на публикационната дейност на инж. Кънев считам, че степента на личното му участие в приносите е висока.

7. Преценка на публикациите по дисертационния труд

Пет от публикациите на докторанта са в издания, които са реферирани и индексирани в световноизвестни бази данни с научна информация. Една от публикациите е в не реферирано списание с научно рецензиране.

Точките от публикационна дейност на докторанта са 77 т., което надвишава над 2 пъти изискванията от Правилника на ТУ – София за присъждане на образователна и научна степен „доктор“. Трябва да се отбележи, че са открити 3 цитирания на 3 от публикациите, които носят допълнителни 30 т.

8. Използване на резултатите от дисертационния труд в научната и социалната практика. Наличие на постигнат пряк икономически ефект.

Разработеният във връзка с литературния обзор софтуер за систематично литературно проучване на бази данни с научни публикации би могъл да бъде използван за осъществяване на литературни проучвания свързани с подготовката на статии или други дисертации.

Резултатите от проведените експериментални изследвания за определяне на честотната лента на аудио канала на различни GSM апарати, както и разработените програмни процедури за аудио трансформация и последващо възстановяване на ЕКГ сигнала са добра основа за планиране на бъдещи разработки свързани с приемане и предаване на сонифицирани биомедицински сигнали.

Разработеният прототип на портативен пациентен модул за телеметрично регистриране и предаване към GSM на сонифицирана електрокардиограма би могъл да доведе до реализиране на пряк икономически ефект, свързан с намаляване на болничния престой на кардиологични пациенти и съответните разходи. Това се потвърждава от проведените клинични тестове в болнична среда, които потвърждават коректността в работата на разработените прототипни устройства и техния потенциал за целите на телеметрично наблюдение на кардиологични пациенти.



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 е оформен в съответствие с изискванията на Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени в ТУ – София. Той съдържа основната информацията отразена в дисертационния труд и представя точно и ясно резултатите от литературния обзор, поставените цели и задачи, приложената методология, постигнатите резултати и приносите на дисертационния труд. Представен е и списък на публикациите по темата на дисертацията, както и абстракт на английски език.

10. Мнения, препоръки и бележки

- На места в литературния обзор докторантът е пропуснал да цитира източници – напр. в изречението „Редица проучвания, през последните години, разглеждат внедряването на нови ИКТ технологии в помощни системи за възрастни хора и хора с увреждания ...“ няма цитирани проучвания.
- Подробното описание на разработения софтуер за систематично литературно проучване в обем на 10 страници, поместено в глава „Литературен обзор“, накъсва изложението.
- Не е спазен един стил на цитиране на литературните източници – срещат се цитирания както по име на първи автор и година (в началото на литературния обзор), така и цитиране в „[]“ (във втората част на литературния обзор).
- На Фиг. 17, 18, 19 липсват стойности по x/y скалите. Не са обяснени показаните стойности на честоти и амплитуди в горната част на фигурите.
- Глава 4.4. – Защо са необходими описаните два режима на работа на устройството (директно изпращане на ЕКГ и запис на ЕКГ с последващо изпращане на сигнала)? Какви предимства дават тези 2 режима на разработката?
- Наблюдават се разлики във формите на ЕКГ сигналите, регистрирани с Nikon Kohden и разработения прототип (фиг. 41 сравнена с фиг. 42 и фиг. 43 сравнена с фиг. 44), причините за които не са дискутирани в дисертацията. Биха ли се отразили подобни разлики върху дистанционното поставяне на коректна диагноза?



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

Докторантът е направил задълбочено изследване на поставения проблем, предложил е и е осъществил на практика конкретна реализация на система за сонифициране на ЕКГ сигнали и транслирането им до отдалечен приемник. Въпреки направените забележки и възникналите въпроси считам, че дисертационният труд отговаря на изискванията на Закона за развитие на академичния състав в Република България и Правилника за неговото прилагане. Всичко това ми дава основание за **положителна оценка на дисертационния труд**, въз основа на която предлагам на научното жури да присъди образователната и научна степен «доктор» на маг. инж. Иван Красимиров Кънев.

Дата: 10.09.2023 г.

РЕЦЕНЗЕНТ: (И)

/проф. И. Жекова/





REVIEW

of a PhD thesis for the acquisition of PhD educational and scientific degree

Author of the PhD thesis: M.Sc. Eng. *Ivan Krasimirov Kanev*

Topic of the PhD thesis: *Synthesis and investigation of methods and algorithms for transformation of electrocardiographic signals into sound (sonification) for the purposes of patient telemetry*

Prepared by: *Prof. Irena Jekova, PhD, IBPhBME - BAS*

1. Relevance of the problem addressed in the PhD thesis

The problems related to the design and implementation of systems for personalized health care have been an important area of research in recent years. The development of this service is included in the priorities of the Horizon Europe Program - 2021-2027, cluster "Health", "Tools, technologies and digital solutions for health and care, including personalized medicine". The presented PhD thesis of Eng. Ivan Kanev is related to the conversion of the electrocardiogram (ECG) into sound and its transmission through the networks of mobile services providers, which makes remote monitoring of patients with cardiovascular problems possible. The relevance of the goals and tasks set in the PhD thesis is beyond any doubt.

2. Degree of knowledge of the state of the problem

The PhD thesis is presented on 108 pages and consists of an introduction, a literature review, three chapters dedicated to the study of the acoustic characteristics of different classes of mobile devices, the design and study of an analog modulator for sound transformation of ECG signals and the design of a digital patient module implementing ECG sonification for remote monitoring of cardiac patients.

The literature review was carried out by means of a systematic literature research software developed by the PhD student, which implements a selection of publications from selected scientific databases according to provided keywords, time interval of publication and language. After additional analysis, 16 publications related to sound interpretation of ECG signals and real-time transmission of audio transformed biosignals, and 24 articles related to the application of mobile devices for remote patient monitoring were selected. These publications are considered in the literature review along with others related to recording and analysis of ECG signals. The references cover 103 scientific papers, 70% of which



published in the last 10 years. The PhD student is familiar with the results achieved in the field of biosignals sonification and the available technologies for remote monitoring of patients. On this basis, the aims set in the PhD thesis and the related tasks are adequately formulated.

3. Correspondence of the chosen research methodology with the goals and tasks set in the PhD thesis

In order to solve the tasks defined by the goals set in the PhD thesis, Eng. Kanev applied the following methods:

- Analysis of the amplitude-frequency characteristics of different mobile phones in order to ensure the possibility for reliable transfer of the ECG signals
- Design of an analog circuit for transformation of ECG into audio signal based on frequency modulation
- Procedure for digital demodulation of a sonified ECG signal

The applied methods lead to successful implementation of the set tasks, which is confirmed by the developed prototype of the ECG sonifier.

4. Brief analytical description of the PhD thesis and assessment of the reliability of the material on which the contributions of the PhD thesis are based

The subject of the PhD thesis is a new approach for processing of electrocardiograms that ensures the conversion of the registered ECG signal into sound and its remote transmission through the networks of mobile services providers. The development enables remote monitoring of patients at risk with cardiovascular diseases by providing appropriate technological solutions adapted to the capabilities of the elderly population, which is the largest target group for such research. The use of the standard audio channel in mobile devices not only facilitates the communication, but also supports the protection (encryption) of the data, as it uses the standard transfer channels provided by the communication companies. This makes the presented development competitive with the widespread digital interfaces and data transfer protocols that require special measures to protect the transmitted data.

The structure of the presented PhD thesis follows a logical sequence starting with an analysis of the current state of the problem under investigation (Chapter 1), which is followed by a description of the applied methodology and the results achieved in the study dedicated to the acoustic characteristics of different mobile phones (Chapter 2), as well as the design of an analog module for sonification of ECG signals and a digital patient module for remote cardiac monitoring (Chapters 3, 4). The presented block diagrams and circuits,



codes of program procedures, as well as experimental results prove the reliability of the material on which the contributions of the PhD thesis are based.

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

I accept the contributions formulated by the author, which can be classified as scientific-applied and applications by their nature.

The scientific-applied contributions can be classified to the creation of new research methods, new technologies, obtaining confirmatory facts, namely:

- The scientific-applied contribution of the type "obtaining confirmatory facts": The possibility of reliable transfer of sonified ECG signals is guaranteed by means of analysis of the amplitude-frequency characteristics of different mobile phones.
- The scientific-applied contribution of the type "creation of new research methods and new technologies": An analog circuit of an ECG to audio signal converter was implemented and tested. Algorithms and corresponding program procedures for modulation and demodulation of the sonified ECG signal, necessary for its translation to a remote receiver, have been developed.

The application contributions are related to:

- Implementation of methods and technologies in the developed prototype of the ECG sonifier.
- Development of a software for systematic literature research over databases containing scientific publications. The software can be used to assess the current state of research on a given topic.

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

The achieved results were published in 6 articles written by a small team (from 1 to 5 authors). Eng. Ivan Kanev is first author in 2, second author in 1 and last (responsible for the development) author in 3 of them. In one of the publications, the PhD student is the sole author. Based on the analysis of the publication activity of Eng. Kanev's, I believe that the degree of his personal involvement in the contributions is high.

7. Assessment of the publication activity related with the PhD thesis

Five of the PhD student's publications are in journals that are referenced and indexed in internationally recognized databases with scientific information. One of the publications is in a non-refereed peer-reviewed journal.



The points from the publication activity of the PhD student are 77, which exceeds by more than 2 times the requirements of the Rules of TU - Sofia for awarding PhD educational and scientific degree. It should be noted that 3 citations were found on 3 of the publications, which brings an additional 30 pts.

8. Using the results of the PhD thesis in scientific and social practice. Existence of achieved direct economic effect

The software developed for a systematic search of databases with scientific publications could be used to carry out the literature reviews related to the preparation of articles or other PhD theses.

The results of the conducted experimental studies to determine the frequency band of the audio channel of various GSM devices, as well as the developed program procedures for audio transformation and subsequent recovery of the ECG signal are a good basis for planning future developments related to the reception and transmission of sonified biomedical signals.

The developed prototype of a portable patient module for telemetric registration and transmission of a sonified electrocardiogram to a GSM device could lead to the realization of a direct economic effect related to the decrease of the hospital stay of cardiology patients and reduction of the corresponding costs. This is confirmed by clinical tests carried out in a hospital environment, which verified the correctness in the work of the developed prototype devices and their potential for the purposes of telemetric monitoring of cardiac patients.

9. Assessment of the compliance of the abstract with the requirements for its preparation, as well as its adequacy for representation of the main points and contributions of the PhD thesis.

The abstract is written in accordance with the requirements set in the Rules for acquiring scientific degrees at TU - Sofia. It contains the main information presented in the PhD thesis and accurately and clearly reports the results of the literature review, the set goals and objectives, the applied methodology, the achieved results and the contributions of the PhD thesis. A list of publications on the topic of the PhD thesis is also presented, as well as a short abstract in English.

10. Estimation, recommendations and notes

- There are places in the literature review where the PhD student has omitted to cite references - e.g. in the sentence "A number of studies, in recent years, have looked at



the implementation of new ICT technologies in assistive systems for the elderly and people with disabilities ..." no studies are cited.

- The detailed description of the developed software for systematic literature review (about 10 pages), which is placed in chapter "Literature review", is interrupting the presentation.
- The author has not followed one and the same style in referring the literary sources – i.e. citations are found both by name of the first author and year (at the beginning of the literature review) and citations in "[]" (in the second part of the literature review).
- In Fig. 17, 18, 19 there are missing values on the x/y scales. The values of frequencies and amplitudes shown at the top of the figures are not explained.
- Chapter 4.4. – Why are the described two modes of device operation (direct sending of ECG and recording of ECG with subsequent sending of the signal) necessary? What advantages do they provide?
- There are differences in the shapes of the ECG signals recorded with the Nikon Kohden and the developed prototype (Fig. 41 compared to Fig. 42 and Fig. 43 compared to Fig. 44), the reasons for which are not discussed in the thesis. Would such differences affect the remote diagnosis?

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

The PhD student has made a thorough study of the problem, he has proposed and implemented in practice a particular realization of a system for sonification of ECG signals and their transmission to a remote receiver. Despite the remarks made and the questions that have arisen, I believe that the PhD thesis meets the requirements of the Law on the Development of the Academic Staff in the Republic of Bulgaria and the Regulations for its implementation. All this gives me reasons for a **positive evaluation of the PhD thesis**. Based on this, I propose to the scientific jury to award a **PhD educational and scientific degree to Eng. Ivan Krasimirov Kanev**.

Date: 10.09.2023 г.



Reviewer: (2)

/Prof. I. Jekova/

