



РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационен труд за получаване 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“

Член на научно жури: чл.-кор. Георги Славчев Михов, доктор на науките, професор

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

Телеметричното мониториране на пациенти търпи интензивно развитие през последните години, особено за „отдалечено“ наблюдение на пациенти със сърдечносъдови заболявания. Търсят се и се развиват нови и усъвършенствани подходи и решения за отдалечена свързаност. Един такъв подход е звуковата комуникация, поддържан от почти всички съвременни средства за комуникация. Затова, дисертационният труд е напълно актуален, занимавайки се с въпросите за конвертиране на ЕКГ сигнали в звукови сигнали (сонификация – „озвучаване“), тяхното предаване на разстояние чрез системите за гласова комуникация и последващо обратно конвертиране в нормален ЕКГ сигнал.

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

Направеното литературно проучване (Глава 1) и направения анализ в него показват отлично познаване на тематиката – посочени са общо 103 литературни заглавия. Отчитам приноса на дисертанта при разработения вариант на систематично литературно проучване за оценка на текущото състояние на изследванията в областта на аудиотрансформацията и отдалеченото мониториране на пациенти.

Авторът е дефинирал целта на дисертационния труд като „...да се разработи, изследва и верифицира подход за отдалечно мониториране на рискови пациенти, със сърдечносъдови заболявания, използваш стандартния аудио канал, в мобилни устройства за комуникация, за предаване на сонифицирана електрокардиограма...“. За изпълнение на целта са поставени 4 задачи, които са свързани със следното:

- провеждане на експериментални изследвания за снемане на акустичните характеристики на мобилни комуникационни апарати и избор на оптимална носеща честота и девиация, съобразени с параметрите на регистрирания ЕКГ сигнал;

- проектиране и аппаратно реализиране на портативен електрокардиографски регистриращ модул за реализиране и тестване на методиката за сонификация на ЕКГ сигнал;

- верифициране на работоспособността на регистрация модул чрез предаване с мобилно устройство до отдалечен приемник на аудио конвертирани еталонни тестови и симулирани ЕКГ сигнали;

- разработване на телеметрична система за регистриране и транслация на сонифицирана електрокардиограма, тестване на системата за надеждност и провеждане на контролирани клинични тестове за доказване на приложимостта на аудио транслацията на сонифицирана електрокардиограма.

Отделните задачи са последователно решавани в главите на труда по същество. Образователните цели на дисертацията са изпълнени.



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

Методически, дисертационният труд е в логическата последователност от: преглед на съществуващото положение; предлагане на адекватни за целта решения; разработване на подходящи методики, алгоритми и схемни решения; тествания; анализ на резултатите. Методиката за провеждане на изследванията включва авторска разработка на аппаратно-програмна реализация за честотно кодиране и декодиране на сониран ЕКГ сигнал.

Получените експериментални резултати са адекватна верификация на предложените решения. Всичко това съответства напълно на целта и задачите на дисертационния труд.

4. Кратка аналитична характеристика на естеството и оценка на достоверността на материала

Представеният труд е в обем от 108 страници. Разпределението на материала е както следва: заглавна стр., съдържание и увод – 6 стр.; четири глави 7-80 стр.; приноси в дисертационния труд, публикации във връзка с дисертационния труд и участие в научноизследователски проекти 5 стр.; използвана литература 86-96 стр.; две приложения 97-103 стр.

Глава 1 представлява систематично литературни проучване, в която е направен целенасочен преглед върху отдалеченото пациентно мониториране, сонификацията като метод за регистриране, анализ и обработка на биомедицински сигнали и приложението на мобилни устройства за предаване и регистриране на електрокардиографски сигнали. Литературното проучване завършва с обобщение и изводи, на базата на които са поставени целта и задачите на дисертационния труд.

Глава 2 е посветена на изследването на акустичните характеристики на различни класове мобилни апарати. Композирана е експериментална опитна постановка. Проведени са изследвания с пет различни мобилни апарати и на базата на експерименталните резултати са дефинирани оптималните обхвати за носеща честота, нейната девиация и честота на дискретизация на сонифицирания сигнал.

Глава 3 описва проектирането аналогов модулатор за звукова трансформация на електрокардиографски сигнал и изследване на процеса на сонификация. Модулът за звукова трансформация се състои от предаваща част, включваща блок за снемане на електрокардиограмата, честотен модулатор, аудио усилвател и високоговорител. Работоспособността на модула е проверена чрез обработка на сонифицирания сигнал в персонален компютър, който записва, демодулира и визуализира трансферираания сигнал, чрез разработен софтуер във VisualStudio.

Глава 4 представя проектирането на цифров портативен пациентен модул за отдалечено мониториране на сърдечната дейност с приложение на електрокардиографска сонификация. Опитният образец на модула регистрира II периферно ЕКГ отвеждане по Айндховен, като конструктивното му оформление е разделено на две отделни части, включващи електроди и електронни компоненти с възможност за закрепването им към пръстите на дясната ръка. Модулът включва инструментален усилвател за ЕКГ сигнала, лентов филтър, микроконтролер с вграден аналогово-цифров преобразувател и разработения в глава 3 аудио модул за звуково възпроизвеждане на ЕКГ сигнала. За микроконтролера е разработено програмно осигуряване за сонификация на аналоговия ЕКГ сигнал. В прототипа на сонификатора са заложени два режима на работа – „директно изпращане на електрокардиограма“ и „първоначален запис и последващо изпращане на електрокардиограма“. Демодулацията на сигнала се извършва от персонален компютър, който записва и обработва аудио сигнала, подаван на входа на звуковата му карта. Разработена е специализирана програмна процедура за цифрова демодулация на сонифицирания ЕКГ сигнал.



Проведените успешни експерименти в спешното кардиологично отделение на МБАЛ Тракия – Стара Загора и кардиологичното отделение към Клиниката по пропедевтика на вътрешните болести на Медицински университет – София потвърждават достоверността на материала.

5. Научни и/или научноприложни приноси на дисертационния труд.

Заявените от дисертанта приноси имат научно-приложен характер и се отнасят до отделните етапи от сонифицирането и предаването на ЕКГ сигнали по стандартния аудио канал на мобилни комуникационни устройства. Те могат да се обособят в следното:

- реализираният вариант на систематично литературно проучване с разработен алгоритъм и програмна процедура за автоматично премахване на дублирани статии в пет от значимите бази данни с научни публикации, допринася за адекватна оценка на текущото състояние на изследванията в направленията за приложимост на аудиотрансформацията при регистриране, предаване, анализ и представяне на биомедицински сигнали, както и за използването на съвременни средства за комуникация в системите за отдалечно мониториране на пациенти;

- проведените експериментални изследвания за определяне на честотната лента на аудио канала на GSM апарати, както и предложените и верифицирани критерии дават възможност за избор на оптimalни параметри (носеща честота, девиация, чувствителност и др.) при конвертиране на електрокардиографски сигнали в аудио формат;

- синтезираните програмни процедури за цифрова модулация и цифрова демодулация на ЕКГ сигнал дават възможност за извършване на процесите по аудио трансформация и последващо възстановяване на ЕКГ сигнала без изкривявания;

- разработените алгоритми и програмни процедури за модулация и демодулация на ЕКГ сигнал, които са реализирани в портативен пациентен модул за телеметрично регистриране и предаване към GSM на сонифицирана електрокардиограма, осигуряват вярно транслиране на аудио сигнал до отдалечен приемник;

- проведените контролирани от специалисти кардиолози клинични тестове в болнична среда потвърждават приложимостта на метода „Сонификация на ЕКГ“ за целите на пациентната телеметрия и коректната работа на разработените образци.

Заявените от автора приноси вярно отразяват постигнатото в дисертационния труд и могат да се характеризират като „създаване на нови конструкции и получаване на потвърдителни факти“.

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

Според дадения материал и направените по него публикации, считам че приносите в настоящия труд са предимно лично дело на дисертанта, под ръководството на неговия ръководител проф. дтн Иво Илиев.

7. Преценка на публикациите по дисертационния труд

По дисертационния труд са направени 6 публикации, от които 1 в Годишник на ТУ – София [3], 2 на конференцията Electronics ET'xxxx (Созопол) [2, 5], 2 на конференцията ELECTRONICA (София) [1, 4] и 1 – на симпозиум Bioinformatics and Biomedicine (Бургас) [6]. Публикация [3] е самостоятелна, а останалите са в съавторство. Считам, че направените публикации са достатъчни по количество и качество. Дисертантът е представил 3 цитирания по публикациите. Четири от статиите са индексирани в Scopus [1, 2, 4, 5], където се откриват още 3 цитирания. Събраните точки от Минимално изискваните по показател Г точки са 63, с което значително се надхвърлят изискуемите 30.



8. Използване на резултатите от дисертационния труд

Получените резултати от дисертационния труд са пряко приложими при сонифициране и предаване на нискочестотни сигнали по стандартния аудио канал на мобилни комуникационни устройства. Особено подходящи са при отдалечено мониториране на рискови пациенти, със сърдечносъдови заболявания. Предложена е завършена технически разработка.

Разработки на дисертанта са намерили приложение в два научноизследователски проекта, финансиирани от фонд „Научни изследвания“ – „Високочестотна електрокардиография при амбулаторно проследяване на пациенти с пейсмейкър“ (проект № ДН 17/19, 2017 г.) и „Звукова трансформация (сонификация) на електрокардиограма – нов подход при телеметрично мониториране на сърдечната дейност“ (проект № КП-06-Н37/9, 2019 г.).

9. Оценка на съответствието на автореферата

Представеният автореферат е в обем от 32 страници Съдържанието му съответства на съдържанието на дисертационния труд. Той съдържа концентрирано представяне на отделните глави от дисертацията. Авторефератът завършва с описание на приносите, списък на публикациите по труда и анотация на английски език. Оценката ми за автореферата е, че той отговаря на общоприетите изискванията и отразява вярно съдържанието и приносите на дисертационния труд.

10. Мнения, препоръки и бележки

Дадох свое официално мнение за вътрешната защита на дисертацията на маг. инж. Иван Кънев. Отчитам, че повечето от забележките, които бях отправил към дисертанта са взети предвид при окончателното оформяне на труда. Имам някои забележки от технически и редакционен характер:

- на някои от цитиранията в литературния обзор не е добавен поредния им номер от литературната справка, което затруднява намирането на литературния източник;

- цитиранията (Smith Jr et al., 2004) и (Balsam et al., 2018) не са намерени в литературната справка, а (Marian et al., 2017) и (Rothman et al., 2017) са цитирани погрешно;

- за описаните статии в табл. 4, след първите три, няма съответствие между авторите на статията и нейния номер от литературната справка;

- публикацията [3] по дисертационния труд е представено непълно – липсват номера на том, книга и страници. Публикацията не е представена на езика на който е публикувана;

Нямам забележки по отношение на количеството и качеството на извършената от дисертанта работа по темата на дисертацията. Извършена е значителна работа, която е довела до убедителни резултати.

11. Заключение:

Считам, че образователната и научната задачи на дисертацията са изпълнени на високо ниво. Предвид актуалността на темата, направените разработки, изследвания и анализи, постигнатите резултати, както и направените публикации, давам ПОЛОЖИТЕЛНА оценка на дисертационния труд и предлагам на членовете на уважаемото Научно жури да гласуват за даването на образователната и научна степен „доктор“ на маг. инж. Иван Красимиров Кънев по професионално направление 5.2. Електротехника, електроника и автоматика, научна специалност „Медицински уреди“.

ДАТА: 10.09.2023 г.

РЕЦЕНЗЕНТ: (n)

/ проф. дтн инж. Г. Михов /

ТУ - СОФИЯ

ФЕТТ

ВЯРНО С ОРИГИНАЛА





REVIEW

of dissertation for awarding educational and scientific degree "Doctor"

Author of the dissertation: M.Sc. Eng. Ivan Krasimirov Kanev

Title of the dissertation: "Synthesis and research of methods and algorithms for sound transformation (sonification) of electrocardiographic signals in patient telemetry"

Reviewer: Corr. Mem. of BAS Eng. Georgy Slavchev Mihov, Professor, DSc

1. The actuality of the problem solved in the dissertation in scientific and scientific-applied terms:

Telemetric monitoring of patients has undergone intensive development in recent years, especially for "remote" monitoring of patients with cardiovascular diseases. New and advanced remote connectivity approaches and solutions are being sought and developed. One such approach is audio communication, supported by almost all modern means of communication. Therefore, the dissertation work is completely up-to-date, dealing with the issues of converting ECG signals into sound signals (sonification - "voicing"), their transmission at a distance through voice communication systems and subsequent reverse conversion into a normal ECG signal.

2. Level of knowledge of the problem's state and author creative interpretation of the bibliography

The literature study (Chapter 1) and the analysis carried out in it show an excellent knowledge of the subject - a total of 103 articles are cited. I acknowledge the dissertation's contribution to the developed version of a systematic literature review to assess the current state of research in the field of audio transformation and remote patient monitoring.

The author has defined the goal of the dissertation work as "*...to develop, investigate and verify an approach for remote monitoring of at-risk patients with cardiovascular diseases, using the standard audio channel, in mobile communication devices, for the transmission of a sonified electrocardiogram...*". To fulfill the goal, 4 tasks are set, which are related to the following:

- performing experimental studies for recording the acoustic characteristics of mobile communication devices and choosing the optimal carrier frequency and deviation, consistent with the parameters of the recorded ECG signal;
- design and hardware implementation of a portable electrocardiographic recording module for implementation and testing of the ECG sonification methodology;
- verifying the functionality of the recording module by transmitting with a mobile device to a remote receiver audio converted reference test and simulated ECG signals;
- development of a telemetry system for recording and translation of a sonified electrocardiogram, testing the system for reliability and conducting controlled clinical trials to demonstrate the feasibility of audio translation of a sonified electrocardiogram.

Individual tasks are sequentially solved in the chapters of the work in substance. The educational objectives of the dissertation have been met.

3. Compliance of the chosen research methodology with the goals and tasks of the dissertation

Methodologically, the dissertation is in the logical sequence of: review of the existing



situation; offering solutions adequate for the purpose; development of appropriate methodologies, algorithms and schematic solutions; testing; results analysis. The research methodology includes the author's development of a hardware-program implementation for frequency coding and decoding of a sonified ECG signal.

The obtained experimental results are an adequate verification of the proposed solutions. All this fully corresponds to the goal and tasks of the dissertation work.

4. Brief analytical characterization of the thesis and evaluation of material reliability

The work presented is in a volume of 108 pages. The distribution of the material is as follows: title page, content and introduction - 6 pages; four chapters pp. 7-80; contributions to the dissertation, publications related to the dissertation and participation in research projects 5 pages; used literature pp. 86-96; two appendices pp. 97-103

Chapter 1 is a systematic literature review in which a targeted review of remote patient monitoring, sonification as a method for recording, analysis and processing of biomedical signals and the application of mobile devices for transmission and recording of electrocardiographic signals is made. The literature review concludes with a summary and conclusions on the basis of which the purpose and tasks of the dissertation are set.

Chapter 2 is devoted to the study of the acoustic characteristics of different classes of mobile devices. An experimental test bench was set up. The tests were carried out with five different mobile devices and based on the experimental results the optimal ranges for the carrier frequency, its deviation and the sampling frequency of the sonified signal were determined.

Chapter 3 describes the design of an analog modulator for the sound transformation of an electrocardiographic signal and the study of the sonification process. The sound transformation module consists of a transmitting part, including an electrocardiogram recording unit, a frequency modulator, an audio amplifier and a speaker. The functionality of the module has been verified by processing the sonified signal in a personal computer, which records, demodulates and visualizes the transferred signal through software developed in VisualStudio.

Chapter 4 presents the design of a digital portable patient module for remote cardiac monitoring using electrocardiographic sonification. The trial sample of the module registers II peripheral ECG lead according to Eindhoven, and its design is divided into two separate parts, including electrodes and electronic components with the possibility of attaching them to the fingers of the right hand. The module includes an instrumental amplifier for the ECG signal, a band-pass filter, a microcontroller with a built-in analog-to-digital converter and developed in Chapter 3 the audio module for sound reproduction of the ECG signal. Software for sonification of the analog ECG signal has been developed for the microcontroller. The sonifier prototype has two modes of operation - "direct sending of an electrocardiogram" and "initial recording and subsequent sending of an electrocardiogram". Demodulation of the signal is performed by a personal computer, which records the audio signal supplied to the input of its sound card. A specialized software procedure has been developed for digital demodulation of the sonified ECG signal.

The successful experiments carried out in the emergency cardiology department of GHAT Trakiya - Stara Zagora and the cardiology department at the Clinic for Propaedeutic of Internal Diseases of Medical University - Sofia confirm the reliability of the material.

5. Contributions of the dissertation.

The contributions requested by the dissertation have a scientific-applied nature and refer to the individual stages of the sonification and transmission of ECG signals over the



standard audio channel of mobile communication devices. They can be summarized in the following:

- the realized version of a systematic literature survey with a developed algorithm and program procedure for automatic removal of duplicate articles in five of the significant databases with scientific publications contributes to an adequate assessment of the current state of research in the areas of applicability of audio transformation in registration, transmission, analysis and representation of biomedical signals, as well as the use of modern means of communication in remote patient monitoring systems;
- the carried out experimental studies to determine the frequency band of the audio channel of GSM devices, as well as the proposed and verified criteria enable the selection of optimal parameters (main frequency, deviation, sensitivity, etc.) when converting electrocardiographic signals into audio format;
- the synthesized program procedures for digital modulation and digital demodulation of an ECG signal make it possible to carry out the processes of audio transformation and subsequent restoration of the ECG signal without distortions;
- the developed algorithms and program procedures for modulation and demodulation of an ECG signal are implemented in a portable patient module for telemetric registration and transferring to the GSM of a sonified electrocardiogram, ensuring faithful translation of an audio signal to a remote receiver;
- the clinical tests conducted by specialist cardiologists, in a hospital environment, confirm the applicability of the "Sonification of ECG" method for the purposes of patient telemetry and the correct operation of the developed samples.

The author's claimed contributions faithfully reflect what has been achieved in the dissertation work and can be characterized as "creating new constructions and obtaining corroborative facts".

6. Degree assessment of the candidate personal participation in the contributions

According to the material done and the publications made on it, I believe that the contributions in the present work are mainly the personal work of the author, under the guidance of his supervisor Prof. DSc Ivo Iliev.

7. Assessment of the dissertation publications.

Six papers on the dissertation work were published, one of which was published in the Proceedings of Technical University of Sofia [3], two - at the Electronics ET'xxx conference (Sozopol) [2, 5], two - at the conference ELECTRONICA (Sofia) [1, 4] and one - at the Symposium on Bioinformatics and Biomedicine (Burgas) [6]. The paper [3] is single-authored and the others are co-authored. I believe that the papers are sufficient in terms of quantity and quality. The candidate submitted 3 citations to the papers. Four of the papers are indexed in Scopus, where 3 more citations were found. The points collected from the Minimum requirements for indicator "Г" are 63, which is significantly more than the required 30 points.

8. Applicability of the dissertation results in scientific and social practice

The obtained results of the dissertation work are directly applicable in the sonification and transmission of low-frequency signals on the standard audio channel of mobile communication devices. They are particularly suitable for remote monitoring of high-risk patients with cardiovascular diseases. A complete technical development is proposed.

Developments of the candidate have found application in two scientific research projects



financed by the "Scientific Research" fund - "High-frequency electrocardiography during ambulatory monitoring of patients with a pacemaker" (project No. ДН 17/19, 2017) and "Sound transformation (sonification) of electrocardiogram - a new approach in telemetric monitoring of cardiac activity" (project No. КП-06-Н37/9, 2019).

9. Author's essay assessment

The presented author's essay is 32 pages long. Its content corresponds to the content of the dissertation work. The essay contains a concentrated presentation of the individual chapters of the dissertation. It ends with a description of the contributions, a list of publications on the work and an annotation in English. My assessment of the author's essay is that it meets the generally accepted requirements and accurately reflects the content and contributions of the dissertation work.

10. Opinions, recommendations and notes

I gave my official opinion on the internal defense of the thesis M.Sc. Eng. Ivan Kanev. I believe that most of the remarks I made to the dissertation were taken into account in the final design of the paper. I have some comments of a technical and editorial nature:

- some of the citations in the literature overview have not been given their sequential number from the literature reference, which makes it difficult to find the literary source;
- the citations (Smith Jr et al., 2004) and (Balsam et al., 2018) were not found in the literature reference, and (Marian et al., 2017) and (Rothman et al., 2017) were cited incorrectly;
- for the articles described in table. 4, after the first three, there is no correspondence between the authors of the article and its reference number;
- the paper [3] on the dissertation is presented incompletely – the volume, book and page numbers are missing. The publication is not presented in the language in which it was published;

I have no objections regarding the quantity and quality of the dissertation's work. Considerable work has been done which has led to convincing results.

11. Conclusion:

I believe that the educational and scientific tasks of the dissertation have been fulfilled at a high level. Given the actuality of the topic, the developments, research and analyses, the results achieved, as well as the publications made, I give a POSITIVE evaluation of the dissertation work and propose to the members of the respected Scientific Jury to vote for the awarding of the educational and scientific degree "doctor" to M.Sc. Eng. Ivan Krasimirov Kanev in professional field 5.2. Electrical engineering, electronics and automation, scientific specialty "Medical equipment".

September 10, 2023

REVIEWER:

(н)

/ Corr. Mem. of BAS Prof. DSc Eng. G. Mihov /

