

РЕЦЕНЗИЯ

върху дисертационен труд за придобиване на образователна и научна степен “Доктор”

Автор на дисертационния труд: **маг. Мирослав Весков Марков**

Тема на дисертационния труд: **„Изследване на възможностите за усъвършенстване на интелигентни интерфейси човек-машина”**

професионално направление 5.3 „Комуникационна и компютърна техника“

докторска програма „Компютърни системи, комплекси и мрежи”

Рецензент: **проф. д-р инж. Милена Николова Милева-Карова**

1. Обща характеристика на дисертационния труд

Дисертационният труд е оформен в увод, четири глави, списък с приноси, заключение, декларация за оригиналност и достоверност, списък с фигури, списък с таблици, списък с публикации на докторанта по дисертационния труд, списък с участия в научно-изследователски проекти, списък с използвани съкращения, библиография. Общият обем е 136 страници, като включва 37 фигури и 8 таблици. Списъкът на използваната литература включва 140 литературни източника, по-голяма част от тях са от последните 10 години.

Дисертационният труд е посветен на изследване на възможностите за усъвършенстване на интелигентни интерфейси човек-машина.

В първа глава е представен много детайлизиран анализ на методи и средства за реализация на входни модалности, методи и средства за реализация на функционалности за вземане на решения и методи и средства за реализация на адаптивни стратегии чрез различни изходни модалности. Разгледани са много подробно технологии за вербално възприятие и технологиите за невербално възприятие. Направени са 5 обстойни изводи, свързани с актуалността и състоянието по отношение на разглежданата тематика. Формулирани са целите и задачите на дисертационния труд.

Втора глава е посветена на концептуалната рамка за проектиране и създаване на интелигентни интерфейси, човек-машина. Основните акценти са насочени към проектиране на топология на концептуалната рамка за проектиране на интелигентни интерфейси човек – машина (iHMIfr). Разгледани са компонентите и функционалността на iHMIfr, хронология и карта на процесите при интелигентни интерфейси човек-машина, базирани на концептуалната рамка iHMIfr.

Трета глава представя методи и средства за реализация на ефективна тюторна система. Много подробно е описана и анализирана интелигентна тюторна система, базирана на iHMIfr. Детайлно са разгледани особеностите на процесите, свързани с колаборативната задача и е дадена концептуална архитектура на мултимодална ефективна тюторна система (mATS). Експерименталното изследване, в посока разпознаване на емоционални и когнитивни състояния на обучаемия, като реакция на различен тип задачи включва: концептуална обосновка, протокол от изследването, набор данни CLAS, обработка на сигналите с извличане на описатели и проектиране на експериментална постановка. Експерименталните изследвания са свързани с анализиране на точността на класификация с различни класификатори в два сценария: обобщени и персонифицирани. Получени са таблици с осреднени резултати и са направени обобщени изводи.

Четвърта глава е посветена на методите и средствата за постигане на ефективна колаборация човек-машина. Това включва проектирането на интелигентна система в съответствие с избраната концептуална рамка iHMIfr. Избрана е примерна задача за колаборация, с променящи се параметри - използване на когнитивен тест, целящ запълване

на работната памет и индуциране на умора. Разработено е софтуерно приложение, което реализира когнитивен тест TloadDbackINDV за предизвикване на умствена умора. Системата, адаптираща се към състоянието и параметрите на задачата включва мениджър на приложението, интегриращ логиката и специфичните характеристики на задачата и слоеве, отговарящи за вземане на решения и за адаптация. Описани са експериментални изследвания с подробен агрегиран анализ на данните и анализ на индивидуалните данни на участниците в експериментите.

2. Актуалност на проблема

Дисертационният труд е насочен в изключително нова, актуална област: изграждане на потребителски интерфейси, свързани с интелигентните интерфейси човек-машина, както и технологиите свързани с тях. Формулира се рамка за развитието на тези интерфейси, като основа на бъдещи интелигентни системи, свързани с мозъчно-компютърно взаимодействие. Това е реална интердисциплинарна област, свързана с познания от различни области на науката и практиката. В дисертационния труд са изследвани и разработени методи и средства за реализация на входни модалности, за реализация на адаптивни стратегии чрез различни изходни модалности, за предварителна обработка на физиологични сигнали посредством методите на филтриране и сегментиране, за определяне на характеристични описатели, за агрегиран и индивидуален анализ на данни. Използвани са алгоритми и методи на машинното обучение за автоматизирано разпознаване на емоционално и когнитивно състояние на човек.

Навлизането на изкуствения интелект в проектирането на потребителските интерфейси улеснява взаимодействието човек-компютър. Създава се възможност за цялостно адаптиране на компютърните приложения към индивидуалната успеваемост на всеки човек и неговите текущи емоционални и когнитивни състояния. Това способства за усъвършенстване на интелигентните НМІ интерфейси и в областта на невербалното човешко поведение, както и възможността им да реагират в съответствие с контекста на самото взаимодействие човек-машина.

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

В настоящия дисертационния труд е направен подробен литературен обзор на голям набор от литературни източници. Разглеждат се състоянието и достиженията в съвременните системи, базирани на интелигентни интерфейси човек-машина, както и методите и средствата, използвани при тяхната реализация. Предлага се анализ на текущото състояние и актуалността на тематиката. Разглеждат се методи и средства за реализация на интелигентни интерфейси човек-машина. Технологиите са тематично разделени по групи, започвайки от такива, осигуряващи сензитивност на системата, през технологиите за вземане на решение и стигайки до технологиите, осигуряващи адаптивно действие на системата по отношение на човека чрез различни канали за комуникация. Много добре е анализирана и приложена концептуалната архитектурна рамка (iNMIfr) за проектиране и реализация на интелигентни интерфейси човек-машина в специфична практико-приложна област - образование. Разработена е интелигентна система в съответствие с концептуалната рамка iNMIfr. Добрата интерпретация на литературния материал, задълбочения анализ и направените изводи в главите на дисертационния труд, доказват висока степен на познаване на състоянието на проблема от страна на докторанта. Като резултат са дефинирани целта на дисертационния труд и конкретните научноизследователски задачи.

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

Представените в дисертационния труд резултати са получени въз основа на задълбочен теоретичен анализ на интелигентните интерфейси човек-машина. Разработването на

унифицирана карта на процесите при интелигентни интерфейси човек-машина и прилагането и в разработването на концептуална архитектура на интелигентна система човек-машина в сферата на образованието, заедно с нейното експериментално създаване и прилагане, решава напълно поставените в дисертационния труд задачи.

Използването на метод за оценка на когнитивното състояние на човек, използването на методики за адаптацията на машината по отношение на параметрите на колаборативната задача е решаващо за успеха на направените изследвания. Прилагането на алгоритмите и методите на машинното обучение за автоматизирано разпознаване на емоционално и когнитивно състояние на човек, на методите за агрегиран и индивидуален анализ на данни доразвива постиженията в областта на интелигентните интерфейси човек-машина, както и технологиите свързани с тях.

5. Приноси по дисертационната работа

Приемам формулираните от автора приноси, които са обобщени в Приноси по дисертационния труд и могат да бъдат систематизирани като научни и научно-приложни както следва:

Научни приноси:

1. Създадена е концептуална рамка за проектиране и създаване на интелигентни интерфейси човек – машина (iHMIfr).

Научно-приложни приноси:

1. Създадена е карта на процесите при интелигентни интерфейси човек-машина, базирани на концептуалната рамка iHMIfr, като инструмент за нейното прилагане.
2. Разработена е концептуална архитектура на мултимодална афективна тюторна система (mATS), базирана на концептуалната рамка iHMIfr.
3. Разработен е модел за разпознаване на когнитивно натоварване при решаване на задачи с различна степен на сложност.
4. Валидирана е концептуалната архитектурна рамка за проектиране на интелигентни интерфейси iHMIfr чрез проект и реализация на адаптивна система “човек-машина“ базирана на параметрите на задачата в т.ч. успеваемостта на човека;
5. Предложена е методика за адаптиране на параметрите на задачата към индивидуалната успеваемост на всеки човек;
6. Предложена е методика за адаптиране на параметрите на задачата към текущото емоционално и когнитивно състояние на човека;
7. Създадени са ресурси чрез експериментални изследвания - база данни, свързана с емоционални и когнитивни състояния при изпълнение на колаборативна задача;
8. Експериментално е потвърден закона на Yerkes-Dodson и доразвиването му в посока на взаимовръзката “Arousal-Attention”;
9. Разработени са алгоритми за определяне на зависимостта между възбуда и кумулативна успеваемост в два сценария: обобщен и индивидуален;
10. Разработен модел за машинно обучение за разпознаване на атипични състояния (в т.ч. водеща лява ръка на човек), на база внимание и емоционална възбуда;

Постигнатите научноизследователски резултати са актуални и значими в научен и научно-приложен аспект и с успех могат да се използват за бъдещи научно-практически разработки.

6. Оценка на степента на лично участие на докторанта в приносите

Считам, че докторантът в значителна степен, изцяло е участвал при извършване на отделните етапи от изследванията в дисертационния труд. Представените научни и научно-приложни приноси са лично дело на маг. Мирослав Марков, под научното и методическо ръководство на неговия научен ръководител проф. Ганчев. Доказателство за това са публикациите на докторанта и участието в различни изследователски проекти.

7. Преценка на публикациите по дисертационния труд

Получените от автора резултати от дисертационното изследване са публикувани в 5 научни статии. Две от статиите са докладвани на международни научни конференции, проведени в България, които са индексирани в Scopus. 2 статии са публикувани в международни списания. 1 статия е публикувана в научно списание в България. Публикациите са направени в периода 2021-2022 година и покриват тематиката на представената дисертационна работа като отразяват основните постигнати резултати и приноси. Не са представени данни за забелязани цитирания на публикациите по дисертационния труд. В направена справка в международната индексирана база Scopus се вижда, че докторантът има още 3 публикации (от общо 6) в други области и 3 цитирания върху тях. Хирш факторът е 1. Докторантът има участие в 2 научни проекта с тематика, свързана с темата на докторантския труд.

Оценявам публикационната дейност на докторанта като много добра и считам, че резултатите от работата по дисертационния труд са станали в достатъчна степен достойни на българската и международната научна общност. Доказателство за това твърдение са цитатите в международната БД Scopus.

Публикациите по дисертационния труд в количествено и качествено отношение напълно удовлетворяват изискванията за придобиване на образователна и научна степен „Доктор“.

8. Използване на получените резултати

Не са представени данни (сертификати, удостоверения) за практическо внедряване на получените резултати от научните изследвания и разработки в дисертационния труд. Прави впечатление голямото количество експериментални изследвания и тяхната оценка. Това дава възможност за по-ефективно добавяне на емоционална интелигентност, свързана с „чувствителност“ и „разбиране“ на състоянието на човека от страна на машината. Използва се потенциала на потребителя за повишаване ефективността на системата при осигуряване на максимален комфорт на човешкия фактор в нея, вследствие на адаптивност към трите компонента на взаимодействието (човек-машина-контекст). Така потребителите могат да комуникират, контролират и да си сътрудничат с машини по по-естествен и по-достъпен начин. Прави впечатление много големия брой графики и диаграми, чрез които много точно и ясно са видими направените анализи и обобщения вследствие на проведените експерименти.

Считам, че изследванията в дисертационния труд и постигнатите резултати могат да се използват успешно за изграждане на интелигентни приложения в областта на интелигентните интерфейси човек-машина, както и технологиите свързани с тях: обработката на естествен език, компютърното зрение, разпознаване и „разбиране“ на човешки говор и невербално поведение, реагиране в съответствие с контекста на самото взаимодействие.

9. Мнения, забележки и препоръки

Дисертационният труд е оформен много старателно и прилежно. Видно е високото ниво на компетентност на докторанта, неговите дълбоки познания в областта на: НМІ системи и функционалните връзки между тях, интелигентни интерфейси човек-машина, оценяване на когнитивното и емоционално състояние на човек, анализ на взаимодействието човек-

машина, алгоритми и методи на машинното обучение за автоматизирано разпознаване на емоционално и когнитивно състояние на човек. В тези актуални тематика работят огромен брой световни изследователи и научни колективи. Докторантът е постигнал поставените цели и задачи в дисертационния труд и на тяхна база е формулирал посочените научни и научно-приложни приноси. Всички експериментални резултати са публикувани в международни конференции и списания. Част от тях са видими и в международната индексирана база Scopus.

Всички посочени забележки и препоръки в предварителната рецензия са отстранени и взети в предвид от докторанта в направените корекции.

Считам, че дисертационният труд свидетелства за много добро запознаване на автора с разглежданата предметна област, представя голям брой извършени научно-практически изследвания и дава възможност за бъдещи разработки в областта на интелигентните интерфейси и интерфейсите мозък-компютър (BCI).

Препоръките ми към автора на дисертационния труд са следните:

- да продължи научните си изследвания по темата на дисертационния труд като ги насочи към разработване и внедряване на други приложения, свързани с хора в неравностойно положение.
- да публикува резултатите от проведените научни изследвания в международни издания с Q ранг.

10. Заключение

Дисертационният труд отговаря на изискванията на Закона за развитие на академичния състав в Република България, Правилника за прилагане на закона и съответния Правилник на Техническия университет – Варна. Проведените научни изследвания са в актуална област и третират проблематика, която е обект на засилен изследователски интерес. Получените резултати съдържат научни и научно-приложни приноси, които са разпространени и направени достояние на заинтересованата научна общност чрез публикуването им в научни статии в списания и представянето им на специализирани научни форуми и конференции.

Постигнатите резултати в дисертационния труд ми дават основание да предложа на членовете на научното жури да бъде придобита образователна и научна степен „Доктор“ от маг. Мирослав Марков в област на висше образование 5. „Технически науки“, професионално направление – 5.3. „Комуникационна и компютърна техника“, докторска програма „Компютърни системи, комплекси и мрежи“.

27.10.2023

гр. Варна

Рецензент:

/проф. д-р Милена Карова/

REVIEW

on a dissertation for obtaining an educational and scientific degree PhD

Author of the dissertation: mag. Miroslav Markov

Dissertation theme: "Research on the opportunities for the advancement of intelligent human-machine interfaces"

Professional field: 5.3 "Communication and Computer Engineering"

Scientific specialty: "Computer systems, Complex and Networks"

Reviewer: Prof. Milena Nikolova Mileva-Karova, PhD

1. General description of the dissertation

The dissertation includes an introduction, four chapters, a list of contributions, a conclusion, a statement of originality and reliability, a list of figures, a list of tables, a list of the doctoral student's publications on the dissertation, a list of participations in research projects, a list of abbreviations used, bibliography. The total volume is 136 pages, including 37 figures and 8 tables. The list of used literature includes 140 literary sources, most of them from the last 10 years.

The dissertation is dedicated to researching the possibilities for improving intelligent human-machine interfaces.

The first chapter presents a very detailed analysis of methods and means of implementing input modalities, methods and means of implementing decision-making functionalities, and methods and means of implementing adaptive strategies through different output modalities. Verbal perception technologies and non-verbal perception technologies are discussed in great detail. 5 comprehensive conclusions have been made related to the relevance and status of the topic under consideration. The goals and tasks of the dissertation work are formulated.

A second chapter is devoted to the conceptual framework for designing and creating intelligent human-machine interfaces. The main emphasis is on the topology design of the conceptual framework for the design of intelligent human-machine interfaces (iHMIfr). The iHMIfr components and functionality, a timeline, and a process map of intelligent human-machine interfaces based on the iHMIfr conceptual framework are reviewed.

The third chapter presents methods and means of implementing an effective tutoring system. An intelligent tutoring system based on iHMIfr is described and analyzed in great detail. The features of the processes involved in the collaborative task are detailed and a conceptual architecture of a multimodal affective tutoring system (mATS) is given. Experimental research, in the direction of recognizing the emotional and cognitive states of the learner, as a reaction to different types of tasks, includes conceptual justification, research protocol, CLAS data set, signal processing with descriptor extraction, and design of an experimental setup. Experimental studies are concerned with analyzing classification accuracy with different classifiers in two scenarios: generalized and personified. Tables with averaged results were obtained and generalized conclusions were drawn.

The fourth chapter is devoted to the methods and means of achieving effective human-machine collaboration. This includes the design of an intelligent system following the chosen iHMIfr conceptual framework. An example collaboration task was chosen, with changing parameters - using a cognitive test aimed at filling the working memory and inducing fatigue. A software application was developed that implements a TloadDbackINDV cognitive test to induce mental fatigue. A system adapting to the state and the task's parameters includes an application manager integrating the logic and the specific task's characteristics and layers responsible for decision-making and adaptation. Experimental studies are described with detailed aggregated data analysis and individual data analysis of the experimental participants.

2. The problem relevance

The dissertation work is focused on an extremely new, up-to-date field: building user interfaces related to intelligent human-machine interfaces, as well as the technologies related to them. A framework is formulated for the development of these interfaces as the basis of future intelligent systems related to brain-computer interaction. It is a real interdisciplinary field, related to knowledge from different fields of science and practice. The dissertation researches and develops

methods and tools for the implementation of input modalities, for the implementation of adaptive strategies through different output modalities, for pre-processing of physiological signals through filtering and segmentation methods, for determining characteristic descriptors, and for aggregated and individual analysis data. Algorithms and methods of machine learning are used for automated recognition of a person's emotional and cognitive state.

The introduction of artificial intelligence into the user interface design facilitates human-computer interaction. An opportunity is created to completely adapt computer applications to the individual success rate of each person and their current emotional and cognitive states. This contributes to the advancement of intelligent HMI interfaces in the area of non-verbal human behavior as well as their ability to respond according to the context of the human-machine interaction itself.

3. State knowledge degree of the problem and a creative interpretation of the bibliographic material.

In the present dissertation, a detailed literature review of a large set of literary sources has been made. The state and achievements of modern systems based on intelligent human-machine interfaces, as well as the methods and means used in their implementation, are examined. An analysis of the current state and topicality of the subject is offered. Methods and means of implementing intelligent human-machine interfaces are considered. The technologies are thematically divided into groups, starting from those providing system sensitivity, through decision-making technologies, and reaching technologies providing adaptive action of the system to the person through different communication channels. The conceptual architectural framework (iHMIfr) for the design and implementation of intelligent human-machine interfaces in a specific practical application area - education - has been very well analyzed and applied. An intelligent system has been developed following the iHMIfr conceptual framework. The good interpretation of the literary material, the in-depth analysis, and the conclusions drawn in the chapters of the dissertation prove a high degree of knowledge of the state of the problem on the part of the doctoral student. As a result, the purpose of the dissertation work and the specific research tasks are defined.

4. A Correspondence of the chosen research methodology and the dissertation goal and tasks

The results presented in the dissertation were obtained based on a thorough theoretical analysis of intelligent human-machine interfaces. The development of a unified process map for intelligent man-machine interfaces and its application in the development of a conceptual architecture of an intelligent man-machine system in the field of education, along with its experimental creation and application, fully solves the tasks set in the dissertation.

The use of a method to assess the cognitive state of a person, and the use of methods for the adaptation of the machine to the parameters of the collaborative task is decisive for the research success. The application of algorithms and methods of machine learning for automated recognition of a person's emotional and cognitive state and methods of aggregated and individual data analysis further develops achievements in the field of intelligent human-machine interfaces, as well as technologies related to them.

5. Main scientific-applied and applied contributions

I accept the contributions formulated by the author, which are summarized in Contributions to the dissertation work and they can be systematized as scientific and scientific-applied as follows:

Scientific contributions:

1. A conceptual framework for the design and creation of intelligent human-machine interfaces (iHMIfr) has been created;

Scientific and applied contributions:

1. A process map of intelligent human-machine interfaces based on the iHMIfr conceptual framework was created as a tool for its implementation;

2. A conceptual architecture of a multimodal affective tutoring system is developed (mATS), based on the iHMIfR conceptual framework;
3. A model is developed for recognizing a cognitive load when solving tasks of varying degrees of complexity;
4. The conceptual architectural framework for the design of intelligent iHMIfR interfaces has been validated through the design and implementation of an adaptive "human-machine" system based on the parameters of the task, including the person's success rate;
5. A methodology is proposed for adapting the parameters of the task to the individual success rate of each person;
6. A methodology is proposed for adapting the parameters of the task to the current emotional and cognitive person's state;
7. The resources are created through experimental research - a database related to emotional and cognitive states when a collaborative task is performed;
8. A confirmation of the Yerkes-Dodson law and its further development in the direction of the "Arousal-Attention" relationship is experimented;
9. Algorithms are developed for determining the dependence between excitement and cumulative success rate in two scenarios: generalized and individual;
10. A machine learning model is developed to recognize atypical states (including the leading left hand of a person), based on attention and emotional arousal.

The achieved research results are relevant and significant in a scientific and scientific-applied aspect and can be successfully used for future scientific-practical developments.

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

I believe that the doctoral student has, to a significant extent, fully participated in the implementation of the individual stages of the research in the dissertation work. The presented scientific and scientific-applied contributions are the personal work of M.Sc. Miroslav Markov, under the scientific and methodical guidance of his supervisor Prof. Ganchev. Proof of this is the PhD student's publications and participation in various research projects.

7. Evaluation of the dissertation publications

The results of the dissertation research obtained by the author have been published in 5 scientific articles. Two of the articles were reported at international scientific conferences held in Bulgaria, which are indexed in Scopus. 2 articles have been published in international journals. 1 article was published in a scientific journal in Bulgaria. The publications were made in the period 2021-2022 and cover the subject of the presented dissertation work, reflecting the main achieved results and contributions. No data is presented on noticed citations of the publications on the dissertation work. A search made in the internationally indexed database Scopus shows that the doctoral student has 3 more publications (out of a total of 6) in other fields and 3 citations on them. The Hirsch factor is 1. The doctoral student has participated in 2 scientific projects with topics related to the topic of the doctoral work.

I assess the publication activity of the doctoral student as very good and I believe that the work's results of the dissertation work have become sufficiently available to the Bulgarian and international scientific community. The evidence for this statement is the citations in the international database Scopus.

The publications on the dissertation in quantitative and qualitative terms fully satisfy the requirements for obtaining the educational and scientific degree "Doctor".

8. The obtained results use

No data (certificates, certificates) for the practical implementation of the results of scientific research and development in the dissertation have been presented. The large amount of experimental studies and their evaluation is impressive. It enables the machine to more effectively add emotional intelligence related to "sensitivity" and "understanding" of the human condition. The

potential of the user is used to increase the efficiency of the system while ensuring maximum comfort of the human factor in it, as a result of adaptability to the three components of the interaction (human-machine-context). So the users can communicate, control and collaborate with machines in a more natural and accessible way. It is striking the very large number of graphs and diagrams, through which the analyzes and generalizations made as a experiments result are very clearly visible.

I believe that the research in the dissertation work and the achieved results can be successfully used to build intelligent applications in the field of intelligent human-machine interfaces, as well as the technologies related to them: natural language processing, computer vision, recognition and "understanding" of human speech and non-verbal behavior, responding according to the context of the interaction itself.

9. Opinions, remarks and recommendations

The dissertation work is designed very carefully and diligently. The high level of PhD student's competence is visible, his deep knowledge in the field of HMI systems and the functional connections between them, intelligent human-machine interfaces, assessment of the cognitive and emotional state of a person, analysis of human-machine interaction, algorithms and methods of machine learning for automated recognition of a person's emotional and cognitive state. A huge number of global researchers and scientific teams work on these current topics. The doctoral student has achieved the goals and tasks set in the dissertation and based on them formulated the specified scientific and scientific-applied contributions. All experimental results have been published in international conferences and journals. Some of them are also visible in the internationally indexed database Scopus.

All the mentioned remarks and recommendations in the preliminary review have been removed and taken into account by the PhD student in the corrections made.

I believe that the dissertation testifies to a very good familiarity of the author with the subject area under consideration, presents a large number of scientific and practical studies carried out, and provides an opportunity for future developments in the field of intelligent interfaces and brain-computer interfaces (BCI).

My recommendations to the author of the dissertation are as follows:

- to continue his research on the topic of the dissertation by directing it to the development and implementation of other applications related to disabled people.
- to publish the results of the conducted scientific research in international publications with Q rank.

10. Conclusion

The dissertation corresponds with the requirements of the Law on the Development of the Academic Staff in the Republic of Bulgaria, the Regulations for the Implementation of the Law, and the relevant Regulations of the Technical University - Varna. The scientific research carried out is in an up-to-date field and deals with issues that are the subject of increased research interest. The obtained results contain scientific and scientific-applied contributions that are disseminated and made available to the interested scientific community through their publication in scientific articles in journals and their presentation at specialized scientific forums and conferences.

Based on the results achieved in the dissertation, I find it reasonable to propose to the members of the scientific jury that the educational and scientific degree "Doctor" be acquired from M.Sc. Miroslav Markov in the field of higher education 5. "Technical Sciences", professional field - 5.3. "5.3 "Communication and Computer Engineering", PhD program "Computer systems, Complexes and Networks".

29.10.2023

Varna

Reviewer:

/Prof. Milena Karova, PhD/