

07/18-НС1-086
08.01.2025

РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационен труд за придобиване на образователна и научна степен „Доктор“

Автор на дисертационния труд: *маг. инж. Пламен Христов*

Тема на дисертационния труд: *Визуален анализ на поведението на индивиди в киберфизични системи*

Рецензент: *доц. д-р инж. Юлия Велчев*

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

Научната област на представения за рецензия дисертационен труд без съмнение е изключително актуална и е свързана с все по-бързо развиващата се проблематика на автоматизираното разпознаване и класифициране на човешки активности. По-точно това се отнася до разработване на усъвършенствани модели, които комбинират невронни мрежи с други методи за обучение с учител, както и до разработване на усъвършенствани методи за откриване на взаимодействието между индивида с други обекти в многокурсна видеосистема. Не на последно място е необходимостта от разработване на нови методи и алгоритми за откриване на необичайна човешка активност в реално време.

Представеният дисертационен труд предлага решение на актуален проблем от научно-приложен аспект – създаване на методи и алгоритми за автоматизирано разпознаване и класифициране на човешки активности. Получените резултати биха могли да залегнат в разработването на нови системи за сигурност и наблюдение, медицински системи за подпомагане на възрастни индивиди и индивиди с увреждания и др.

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

Дисертационният труд показва, че докторантът познава отлично актуалните методи свързани с приложението на дълбокото обучение, вероятностните модели, както и други методи, чрез които се решават задачи от класификация и регресия. Въз основа на анализа на цитираните в дисертацията литературни източници са направени изводи показващи недостатъците и възможностите за усъвършенстване на съществуващите подходи за представянето на човешки активности, техният анализ, откриване и класифициране. Идентифицирани са нерешени проблеми и недостатъци на съществуващите методи и алгоритми, основно свързани с трудната им реализация в практически приложения. Обърнато е внимание на недостатъчното използване на предимствата от прилагането на многокурсните системи, особено при проследяване на множество индивиди в динамични среди.

Литературният обзор обхваща 103 заглавия. Освен класическите, значителен процент са съвременните източници (31 % от последните пет години и 77 % от последните десет). Въз основа на направения критичен анализ, точно и коректно са формулирани целта и задачите в дисертационната работа.

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

Поставената цел и дефинираните задачи на дисертационния труд изискват познаване на методите за машинно и дълбоко обучение, както и детайлното познаване на вероятностните модели. За решаването на поставените задачи докторантът е използвал най-съвременни методи в теоретичните постановки при създаване на алгоритмите за визуален анализ на поведението на индивиди в киберфизичните системи. Представените методи и алгоритми са коректно описани, базирани на солидна теоретична основа и обосновани чрез резултати от експериментални изследвания. Подборът на изследователски методи е в съответствие със спецификата на разглеждания проблем.

В заключение ще отбележа, че избраната методика за изследване е в съответствие с поставената цел и задачи на дисертационния труд.

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

Основната цел (Разработване на методи и алгоритми за различни видове анализ на активност с приложна насоченост, както при моноракурсни системи, така и при многоракурсни) и задачите на дисертационния труд определят структурата на изследването в следните части: разработване на каскаден метод за класификация на човешка активност, комбиниращ невронна мрежа и машина с поддържащи вектори (SVM); разработване на алгоритъм за откриване на необичайна човешка активност в реално време чрез конволюционна невронна мрежа (CNN) и мрежа с дълга краткосрочна памет (LSTM); разработване на алгоритъм за откриване на взаимодействие индивид-обект чрез CNN; разработване на алгоритъм за разпознаване на многоракурсна човешка активност чрез оптимална поза; разработване на алгоритъм за разпознаване на многоракурсна човешка активност чрез Калманов филтър; експериментални изследвания за оценка на ефективността на предложените методи и алгоритми.

Трудът се състои от 101 страници с 40 фигури и 12 таблици и включва общо 4 глави. В края на работата са формулирани приносите и перспективите за бъдеща работа. Приложени са списъци на използваната литература, публикациите по дисертацията с участие на докторанта, както и списък на трудовете, в които се цитират споменатите публикации.

В Глава I подробно са разгледани: визуалният анализ на поведение, общите постановки на проблема и насоките за решаването му; представяне на активностите и видовете представяне; представяне на активностите посредством скелетон-поза; методите и алгоритмите за анализ на активности; методите и алгоритмите за разпознаване на действие и активност; методите за откриване на необичайна човешка активност; многоракурсните видеосистеми за проследяване и анализ на активностите. Направен е критичен анализ на съществуващите системи за анализ на човешкото поведение. Формулирана е целта на дисертационния труд, както и произлизащите от нея задачи.

В Глава II е описано разработването на методи и алгоритми за анализ на активности от скелетонни данни чрез използване на дълбоки невронни мрежи. Разработен е каскаден метод за разпознаване на човешка активност, комбиниращ CNN и SVM. Анализът е активностите е от офлайн тип, където са налични всички данни във всеки един момент от времето. Хиперпараметрите на CNN и SVM са избрани чрез Бейсова оптимизация. SVM е от нелинеен тип, с полиномно ядро, което е избрано по същия начин. Разработен е и алгоритъм за откриване на необичайна активност в реално време чрез CNN-LSTM. Активностите са представени като поредица от скелетон вектори. В главата е предложен и алгоритъм за откриване на взаимодействие индивид-обект чрез 1D конволюционна невронна мрежа, включващ обучение с трансфер чрез YOLO v5.

Глава III е посветена на анализа на активности от скелетонни данни в многоракурсните системи. Представен е алгоритъм за разпознаване на многоракурсна човешка активност чрез оптимална поза. Предложена е нормализация на скелетоните чрез уеднаквяване на размерите на костите до константни такива. Предложена е и синхронизация на активностите чрез алгоритъма за динамична трансформация по времевата скала (DTW), след което кадър по кадър успоредно се извършва сливане на данните чрез избор на скелетон с оптимална поза. В главата е предложен и алгоритъм за сливане на скелетони чрез филтър на Калман. Разработен е класификатор, изграден от множество Марковски модели, с цел разпознаване на активности.

Един от важните моменти в дисертацията е процесът на валидиране и оценка на ефективността на разработените от автора методи и алгоритми. На него е посветено изложението в Глава IV. Комбинираният метод за разпознаване на активност чрез CNN и SVM е валидиран и оценен чрез три бази от данни. Постигнатата точност е около 81 %. При сравняването и с други конкурентни методи, се вижда, че предложеният от докторанта метод демонстрира най-висока ефективност. Извършени са експериментални изследвания по отношение на алгоритъма за откриване на необичайна човешка дейност в реално време с помощта на CNN-LSTM. Оценката е извършена с два набора от данни. Резултатите са оценени като повече от задоволителни (точността е над 90 %). Експерименталните изследвания към алгоритъма за откриване на взаимодействие човек-обект също демонстрират висока ефективност. По отношение на разпознаването на многоракурсна човешка активност, е предложено определяне на „оптимален“ брой на състоянията в скрития Марковски модел чрез използване на информационния критерий на Бейс.

Четирите глави на дисертационния труд са разработени в пълнота и задълбочено разглеждат основните въпроси, поставени в тях. Постигнато е добро структурно съотношение и логическа връзка в цялостното изложение. Това създава впечатление за дълбочина и завършеност на дисертационния труд.

5. Научни и научно-приложни приноси на дисертационния труд: формулиране и обосновка на нов научен проблем (област).

Научните приноси могат да се обобщят до следните:

1. Разработен е комбиниран, каскаден метод за разпознаване на човешка активност, включващ конволюционна невронна мрежа (CNN) и машина за опорни вектори (SVM). (Глава 3, точка 3.2). Методът е с по-висока точност (2% и 5% подобрене) от

предложените от други автори. Използването на SVM позволява по-висока точност при по-кратко обучение и по-малко количество данни.

Научно-приложните приноси могат да се обобщят до следните:

1. Разработена е архитектура на комбинирана невронна мрежа за откриване на аномална човешка активност, включваща едномерна конволюционна невронна мрежа (1DCNN) и мрежа с дълга краткосрочна памет (LSTM). (Глава 2, точка 2.3). Постигнатата точност надвишава тази на конкурентните подходи с почти 4 %;
2. Разработен е алгоритъм за покадрова класификация на активности за наличие на взаимодействие между индивид и обект. (Глава 2, точка 2.4). Постигнатата класификационна покадрова точност е 93.4%;
3. Разработен е алгоритъм за разпознаване на многоракурсни активности от скелетони чрез сливане на данните. (Глава 3, точка 3.3). Постигната е класификационна точност от 66.7 % преди сливане на данните и 72 % след сливане на данните при класификатор от множество Марковски модели.

Приложните приноси могат да се обобщят до следните:

1. Извършени са експериментални изследвания на представените методи и алгоритми. (Глава 4, точки 4.1.1, 4.1.2, 4.1.3, 4.2.1 и 4.2.2.).

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

Резултатите от дисертационния труд са представени на авторитетни международни научни форуми, и съответно са получили необходимата публичност. Нямам съвместна научно-изследователска дейност с докторанта и затова нямам пряко впечатление от изследователската му дейност. Изложението в оригиналните глави от дисертацията, анализът на литературните източници и задълбоченото познаване на разглежданите в труда проблеми, в което се убедих при контактите и дискусиите с докторанта, категорично затвърдиха преценката ми за неоспоримото му лично участие в изготвянето на разглеждания дисертационен труд. Докторантът има и самостоятелна публикация, която е свързана с дисертационните изследвания. Тя е индексирана в Scopus и към месец ноември 2024 г. има 7 цитирания, всички в индексирани издания от международни конференции и списания. Този факт недвусмислено удостоверява голямата степен на лично участие на докторанта в приносите от дисертационния труд.

7. Преценка на публикациите по дисертационния труд: брой, характер на изданията, в които са отпечатани. Отражение в науката – използване и цитиране от други автори, в други лаборатории, страни и пр.

Резултатите, свързани с дисертационния труд намират отражение в четири научни публикации в пълен текст, всички от тях на английски. Те са представени на авторитетни международни конференции. Една от публикациите е самостоятелна, а останалите три в съавторство, като във всички публикации докторантът е първи автор. Всички публикации са индексирани в Scopus. Представените към дисертационния труд авторски публикации имат общо 14 цитирания (към месец ноември 2024), всички в индексирани издания от международни конференции и списания.

След преглед на представените публикации приемам, че те отразяват изцяло и пълно получените резултати и приноси в дисертационния труд. Също така, науко-

метричните данни (76.7 точки по показатели от 5 до 11) превишават минималните изисквания за брой и качество на публикациите за присъждане на образователна и научна степен „Доктор“.

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

Предложените методи и алгоритми за разпознаване на човешките активности са нови и се отличават с висока ефективност. В този смисъл те се явяват база, с която ще се сравняват други такива, разработвани в бъдеще.

Предложените методи и алгоритми несъмнено имат и икономически ефект, особено в случаите когато ще се прилагат за откриване на необичайни активности при възрастни хора. Те биха могли да намалят себестойността на грижите, като същевременно запазват или повишават качеството на живота.

През последните пет години докторантът е участвал в три проекта, финансирани от ФНИ, както и в три проекта, които са финансирани от НИС при ТУ-София. Проектът на тема „Разработване на алгоритми за разпознаване на активности с използване на невронни класификатори“ (номер 202ПД0024-07, финансиран от НИС при ТУ-София) е най-пряко свързан с разработваните методи и алгоритми в дисертационния труд. Проектът е приключил успешно.

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.

Представеният автореферат е направен в съответствие с изискванията за изготвянето му по обем и съдържание и отразява достатъчно пълно основното съдържание на дисертационния труд и неговите приноси.

10. Мнения, препоръки и бележки.

Представеният дисертационен труд има характер на напълно завършено изследване върху приложението на машинното обучение за анализ на поведението на индивиди в киберфизични системи. Въз основа на предложените методи и алгоритми са направени програмни реализации, които могат да се реализират в различни практически системи от реалния живот.

Към работата мога да отправя следните забележки:

1. Декларираните като алгоритми и архитектури в научно-приложните приноси се споменават като методи в някои части от Глава 2;
2. В Глави 2 и 3 фигурират обзорни части. По-удачно би било те да бъдат в Глава 1, тъй като имат отношение и към формулиране на целта и задачите на дисертационния труд.

Тези забележки са от формален характер и не омаловажават достойнствата на представения за рецензия дисертационен труд.

Към автора мога да отправя препоръка - да продължи работата по усъвършенстване на методите за разпознаване на човешките активности и да публикува резултатите от изследванията си в още по-реномирани научни издания или форуми.

II. Заключение.

Представеният дисертационен труд на маг. инж. Пламен [REDACTED] Христов има характер на завършено научно изследване и се отличава с множество достойнства в теоретичен и експериментално-приложен план. Оценявайки заявените приноси, смятам, че дисертационният труд отговаря напълно на изискванията на Закона за развитие на академичния състав в Република България и Правилника за прилагането му, както и на минималните наукометрични показатели съгласно Правилника за условията и реда на придобиване на научните степени в ТУС.

Въз основа на изложеното мога убедено да препоръчам на научното жури да присъди на маг. инж. Пламен [REDACTED] Христов образователната и научна степен „Доктор“ в професионално направление 5.3 „Комуникационна и компютърна техника“, научна специалност „Телевизионна и видеотехника“.

Дата: 08.01.2025 г.

РЕЦЕНЗЕНТ: [REDACTED]

/доц. д-р инж. Юлиян [REDACTED] Велчев/

08-01-2025
100-18-NC1-056
REVIEW

of a PhD thesis for the acquisition of an educational and scientific degree "Doctor"

Author of the thesis: *M.Sc. Eng. Plamen Hristov*

Topic of the thesis: *Visual analysis of the behavior of individuals in cyber-physical systems*

Reviewer: *Assoc. Prof. Eng. Yuliyana Velcheva*

1. Relevance of the problem developed in the PhD thesis in scientific and scientific applied terms.

The scientific field of the thesis presented for review is undoubtedly extremely relevant and is related to the increasingly rapidly developing problems of automated recognition and classification of human activities. More specifically, this refers to the development of advanced models that combine neural networks with other tutored learning methods, as well as the development of advanced methods for detecting the interaction between the individual and other objects in a multi-angle video system. Last but not least is the need to develop new methods and algorithms for detecting unusual human activity in real time.

The presented thesis offers a solution to an actual problem from a scientific and applied aspect - creation of methods and algorithms for automated recognition and classification of human activities. The obtained results could inform the development of new security and surveillance systems, medical systems to support elderly individuals and individuals with disabilities, etc.

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

The thesis shows that the PhD candidate knows very well the up-to-date methods related to the application of deep learning, probabilistic models, as well as other methods by which classification and regression tasks are solved. Based on the analysis of the literary sources cited in the thesis, conclusions have been drawn showing the shortcomings and opportunities for improvement of the existing approaches to the presentation of human activities, their analysis, detection and classification. Unsolved problems and shortcomings of the existing methods and algorithms have been identified, mainly related to their difficult implementation in practical applications. Attention is paid to the underutilization of the advantages of implementing multi-view systems, especially when tracking multiple individuals in dynamic environments.

The literature review covers 103 titles. Apart from the classics, a significant percentage are contemporary sources (31% from the last five years and 77% from the last ten). Based on the critical analysis, the goal and tasks in the thesis are precisely and correctly formulated.

3. Correspondence of the chosen research methodology with the set goal and tasks of the thesis.

The set goal and defined tasks of the thesis require knowledge of machine and deep learning methods, as well as detailed knowledge of probabilistic models. To solve the set tasks, the doctoral student used the most modern methods in theoretical settings when creating

the algorithms for visual analysis of the behavior of individuals in cyber-physical systems. The presented methods and algorithms are correctly described, based on a solid theoretical basis and justified by the results of experimental studies. The selection of research methods is in accordance with the specifics of the problem under consideration.

In conclusion, I will note that the chosen research methodology is in accordance with the set goal and tasks of the thesis.

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

The main goal (Development of methods and algorithms for various types of application-oriented activity analysis, both in mono-angle systems and in multi-angle systems) and the tasks of the thesis determine the structure of the study in the following parts: development of a cascade method for human activity classification combining neural network and support vector machine (SVM); developing an algorithm for detecting unusual human activity in real time using a convolutional neural network (CNN) and a long short-term memory (LSTM) network; development of an algorithm for detecting individual-object interaction using CNN; development of an algorithm for recognizing multi-angle human activity through optimal posture; development of an algorithm for recognizing multi-angle human activity using a Kalman filter; experimental studies to evaluate the performance of the proposed methods and algorithms.

The work consists of 101 pages with 40 figures and 12 tables and includes a total of 4 chapters. At the end of the work, the contributions and perspectives for future work are formulated. Lists of the literature used, the publications on the thesis with the participation of the doctoral student, as well as a list of the works in which the mentioned publications are cited are given.

In Chapter I, the following are discussed in detail: the visual analysis of behavior, the general statements of the problem and the guidelines for solving it; representation of activities and types of such representation; representation of the activities by means of a skeleton-pose; the methods and algorithms for activity analysis; the methods and algorithms for action and activity recognition; methods for detecting unusual human activity; multi-angle video systems for tracking and analyzing activities. A critical analysis of existing systems for the analysis of human behavior is made. The purpose of the thesis is formulated, as well as the tasks arising from it.

Chapter II describes the development of methods and algorithms for activity analysis from skeletal data using deep neural networks. A cascade method for human activity recognition combining CNN and SVM is developed. The analysis of the activities is of an offline type, where all data is available at any moment of time. CNN and SVM hyperparameters are selected by Bayesian optimization. The SVM is of non-linear type, with a polynomial kernel that is chosen in the same way. A real-time abnormal activity detection algorithm using CNN-LSTM is also developed. Activities are represented as a series of skeleton vectors. The chapter also proposed an algorithm for detecting individual-object interaction using a 1D convolutional neural network, including transfer learning using YOLO v5.

Chapter III is devoted to the analysis of activities from skeletal data in multi-angle systems. An algorithm for multi-angle human activity recognition through optimal pose is

presented. A normalization of the skeletons by making the sizes of the bones equal to constant ones is proposed. Synchronization of activities is also proposed using the Dynamic Time Warping (DTW) algorithm, after which frame-by-frame data fusion is performed in parallel by selecting a skeleton with an optimal pose. An algorithm for merging skeletons using a Kalman filter is also proposed in the chapter. A classifier built from multiple Markov models was developed to recognize activities.

One of the important moments in the thesis is the process of validation and evaluation of the performance of the methods and algorithms developed by the author. The exposition in Chapter IV is devoted to it. The combined CNN and SVM activity recognition method is validated and evaluated through three databases. The achieved accuracy is around 81%. When comparing with other competing methods, it can be seen that the method proposed by the PhD candidate demonstrates the highest efficiency. Experimental studies have been carried out regarding the real-time abnormal human activity detection algorithm using CNN-LSTM. The evaluation was performed with two sets of data. The results are rated as more than satisfactory (accuracy is over 90%). Experimental studies on the human-object interaction detection algorithm also demonstrate high performance. Regarding the recognition of multi-angle human activity, it is proposed to determine an "optimal" number of states in the hidden Markov model by using the Bayes information criterion.

The four chapters of the thesis are fully developed and thoroughly address the main issues raised in them. A good structural relationship and logical connection is achieved in the overall presentation. This creates an impression of depth and completeness of the thesis work.

5. Scientific and scientific-applied contributions of the thesis: formulation and justification of a new scientific problem (area).

The scientific contributions can be summarized as follows:

1. A combined, cascaded human activity recognition method involving a Convolutional Neural Network (CNN) and a Support Vector Machine (SVM) is developed. (Chapter 3, point 3.2). The method has higher accuracy (2% and 5% improvement) than those proposed by other authors. Using SVM allows higher accuracy with shorter training and less data amount.

The scientific and applied contributions can be summarized as follows:

1. A combined neural network architecture is developed for abnormal human activity detection, including a one-dimensional convolutional neural network (1DCNN) and a long short-term memory (LSTM) network. (Chapter 2, point 2.3). Achieved accuracy exceeds that of competing approaches by almost 4%;

2. An algorithm was developed for frame-by-frame classification of activities for the presence of interaction between an individual and an object. (Chapter 2, point 2.4). The classification frame-by-frame accuracy achieved is 93.4%;

3. An algorithm was developed to recognize multi-angle activities from skeletons by merging the data. (Chapter 3, point 3.3). A classification accuracy of 66.7% before data fusion and 72% after data fusion was achieved for a multiple Markov model classifier.

The applied contributions can be summarized as follows:

1. Experimental studies of the presented methods and algorithms have been carried out. (Chapter 4, points 4.1.1, 4.1.2, 4.1.3, 4.2.1 and 4.2.2.).

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

The results of the work have been presented at authoritative international scientific forums, and accordingly received the necessary publicity. I do not have a joint research activity with the PhD student and therefore I have no direct impression of his research activity. The exposition in the original chapters of the thesis, the analysis of the literary sources and the in-depth knowledge of the problems considered in the work, which I was convinced of during the contacts and discussions with the candidate, definitely confirmed my assessment of his undeniable personal participation in the preparation of the considered work. The PhD student also has an independent publication that is related to the research in the thesis. It is also indexed in Scopus as of November 2024. there are 7 citations, all in indexed editions of international conferences and journals. This fact unequivocally certifies the great degree of personal participation of the PhD candidate in the contributions of the thesis.

7. Assessment of PhD thesis publications: number, nature of editions in which they are printed. Reflection in science - use and citation by other authors, in other laboratories, countries, etc.

The results related to the thesis are reflected in four scientific publications in full text, all of them in English. They are presented at authoritative international conferences. One of the publications is independent, and the other three are co-authored, and in all publications the PhD student is the first author. All publications are indexed in Scopus. Author publications submitted to the thesis have a total of 14 citations (as of November 2024), all in indexed editions of international conferences and journals.

After reviewing the presented publications, I accept that they fully and completely reflect the obtained results and contributions in the thesis. Also, the scientific-metric data (76.7 points according to indicators from 5 to 11) exceed the minimum requirements for the number and quality of publications for awarding the educational and scientific degree "Doctor".

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

The proposed methods and algorithms for recognizing human activities are new and distinguished by high efficiency. In this sense, they are a base against which others developed in the future will be compared.

The proposed methods and algorithms undoubtedly have an economic effect, especially in cases where they will be applied to detect unusual activities in elderly people. They could reduce the cost of care while maintaining or improving quality of life.

In the last five years, the doctoral student has participated in three projects financed by the National Institute of Scientific Research, as well as in three projects financed by the NIS at TU-Sofia. The project on the topic "Development of algorithms for recognizing activities using neural classifiers" (number 2021ИД0024-07, funded by NIS at TU-Sofia) is most directly related to the developed methods and algorithms in the thesis. The project has been completed successfully.

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

The presented abstract is made in accordance with the requirements for its preparation in terms of volume and content and sufficiently fully reflects the main content of the thesis and its contributions.

10. Opinions, recommendations and notes.

The presented thesis has the character of a fully completed study on the application of machine learning for the analysis of the behavior of individuals in cyber-physical systems. Based on the proposed methods and algorithms, program implementations have been made that can be implemented in various practical real-life systems.

I can make the following remarks about the work:

1. Declared as algorithms and architectures in scientific and applied contributions are referred to as methods in some parts of Chapter 2;
2. Chapters 2 and 3 contain overview parts. It would be more appropriate to have them in Chapter 1, as they are also related to formulating the goal and tasks of the thesis.

These remarks are of a formal nature and do not detract from the merits of the thesis submitted for review.

I can make a recommendation to the author - to continue the work on improving the methods for recognizing human activities and to publish the results of his research in even more reputable scientific journals or forums.

11. Conclusion.

The presented PhD thesis written by M.Sc. Eng. Plamen [redacted] Hristov has the character of a completed scientific study and is distinguished by numerous merits in theoretical and experimental-applied terms. Evaluating the stated contributions, I believe that the thesis fully meets the requirements of the Law on the Development of the Academic Staff in the Republic of Bulgaria and the Rules for its Implementation, as well as the minimum scientometric indicators according to the Regulations for the conditions and procedure for acquiring scientific degrees in TUS.

Based on the above, I can confidently recommend to the scientific jury to award M.Sc. Eng. Plamen [redacted] Hristov the educational and scientific degree "Doctor" in professional direction 5.3 "Communication and computer technology", scientific specialty "Television and video technology".

Date: 08.01.2025

REVIEWER: [redacted]

[redacted]
✓ /Assoc. Prof. Eng. Yuliyana [redacted] Velchev/