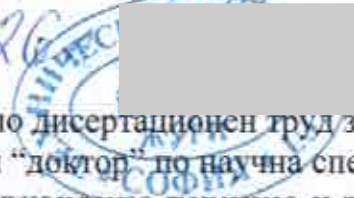


ФТК 78-НС 1-0964
23.06.2026



РЕЦЕНЗИЯ

относно дисертационен труд за придобиване на образователната и научна степен "доктор" по научна специалност:

„Телевизионна техника и видеотехника“

в професионално направление:

5.3. Комуникационна и компютърна техника

Автор на дисертационния труд:

маг. инж. Ивайло [REDACTED] Божилков

Тема на дисертационния труд:

КОДИРАНЕ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ НА 3D ОБЕКТИ, ЧРЕЗ АРХИТЕКТУРИ ЗА ДЪЛБОКО ОБУЧЕНИЕ

Изготвил мнението: проф. д-р инж. Александър [REDACTED] Бекарянски

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

Темата и актуалността на представения дисертационен труд "Кодиране и визуализация на 3D обекти, чрез архитектури за дълбоко обучение" са свързани от една страна с развитието на методите за кодиране на изображения в насока на тримерните обекти, а от друга страна с прилагането на невронните мрежи с дълбоко обучение за съществено подобряване на ефективността на кодирането, особено важна при представянето, предаването и визуализацията на тримерните обекти в кодирана форма.

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

Степента на познаване състоянието на проблема и творческа интерпретация на литературния материал се презентира в цялото съдържание на дисертационния труд. Представените 97 литературни източници и анализирани в първа глава „Анализ на състоянието на проблема по литературни данни“ напълно и обстойно аргументират тематиката на дисертацията, необходимостта от нови по-ефективни методи за обработка, кодиране, предаване и визуализация на 3D обекти. Въз основа на този анализ са дефинирани правилно целта и задачите на дисертацията.

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

Съответствието на избраната методика на изследване и поставената цел и задачи на дисертационния труд с постигнатите приноси е добре обосновано и следва да се подчертае, че поставената цел и задачи на дисертационния труд са дефинирани и тясно свързани с постигнатите резултати и приноси в дисертационния труд. В това твърдение следва да се включи обосноваването на целите и задачите в дисертационния труд, напълно основателно дефинираната значимост и необходимост в научно и научно-приложно отношение от изследвания в избраната научна област – обработка на информация, в случая тримерни обекти, чрез архитектури за дълбоко обучение с цел кодиране, предаване и визуализация.

Предложен е правилен подход, по който докторанът е формулирал точно и в синтезиран вид както целта, така и задачите в своя дисертационен труд, както следва:

Цел на дисертацията:

Изследване и разработване на методи за интегриране на обучаеми и семантично ориентиране подходи в системи за заснемане, предаване и визуализация на 3D съдържание, с цел повишаване на ефективността, адаптивността и функционалността на процеса на кодиране.

Тази цел е реализирана чрез формулиране и изпълнение на **следните задачи на дисертацията:**

1. Анализ на възможностите за интеграция на обучаеми и семантично ориентирани подходи за кодиране в системи за заснемане, предаване и визуализация на 3D съдържание.
2. Изследване и разработка на автоенкодерни архитектури за кодиране на 3D източници.
3. Изследване и разработка на автоенкодерни архитектури за JSCC на 3D съдържание, с цел постигане на устойчивост на канални смущения и ефективност при крайни дължини на блоковете.
4. Реализация, експериментално изследване и сравнителен анализ на предложените методи и архитектури.

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

Дисертационният труд е с обем 138 страници. Реализирането на правилно поставената цел и съответни задачи на дисертационния труд е обект на следващите глави на дисертацията, между които е постигната последователност в изложението, логическа връзка и методичност в представяне на новите важни, относно приносите на дисертацията, теоретични и практически решения в областта на тематиката на дисертацията.

В глава 2 са представени възможности за интегриране на обучаеми методи за кодиране в системи за тримерно съдържание. Предложени са: унифициран 4-слоен операционен модел за системи за заснемане, предаване и визуализация на 3D съдържание, практически подходи за кодиране в слоя за заснемане, включително компресия на RGB-D данни чрез оцветяване, мултиплексиране и семантично-ориентирана обработка и теоретична постановка за кодиране в слоя за визуализация.

Третата глава на дисертационния труд е посветена на автоенкодерни архитектури за кодиране на геометричната структура на разпределени облаци от точки. Представени са особеностите на FoldingNet автоенкодери, граф-конволюционни автоенкодери и хибридни автоенкодери, а също така стратегии за позиционно кодиране и механизми за самовнимание.

В четвъртата глава на дисертационния труд е изследвана и е представена експериментална оценка на компресията на разредени облаци от точки, чрез автоенкодерни архитектури, разгледани в глава 3.

В глава 5 „Дълбоко съвместимо кодиране на източник-канал за облаци от точки“ е анализирана устойчивостта на моделите към шума в канала и са предложени решения за синхронизация и надеждно предаване. Представени са получените резултати при дълбоко съвместимо кодиране на източник-канал и предаване в канали с шум.

Всяка от главите завършва с изводи и формулирани приноси на докторанта.

5. Научни, научно-приложни и приложни приноси на дисертационния труд

В дисертационния труд са представени следните научни, научно-приложни и приложни приноси:

Научни приноси:

1. Разработена е теоретична постановка за ентропийно кодиране с несъгласувани вероятностни модели и е изведено условие за ефективност.
2. Предложен е метод за фазово-инвариантно декодиране при предаване на динамични облаци от точки.

Научно-приложни приноси:

1. Извършена е систематизация и задълбочен анализ на методите за кодиране на 3D съдържание и е предложена таксономия според използваните технологични принципи и интерпретацията на междинните представяния. Формулиран е и концептуален модел за семантична компресия чрез разделяне на информацията на глобален и детайлен семантичен контекст.
2. Прилагане на 4-слоен операционен модел като универсална рамка за анализ на системи за заснемане, предаване и визуализация на тримерно съдържание, с акцент върху разпределението на изчислителните и комуникационните ресурси.
3. Изследван е широк спектър от методи за обработка на облаци от точки, обхващащи FoldingNet-базирани модели, граф-конволюционна архитектури, хибридни архитектури със самовнимание, 3D-конволюционни архитектури и са обучени и сравнени общо 37 модела при различни размерности на латентното пространство и условия на обучение.
4. Изследвана е компресията на разредени облаци от точки чрез автоенкодерни архитектури, като е анализирано влиянието на архитектурата, броя на параметрите и размерността на латентното пространство върху зависимостта скорост-изкривяване.
5. Изследване на DPCT архитектура в режима за дълбоко съвместно кодиране източник-канал на облаци от точки. Разработени и сравнени са подходи за синхронизация на кадрите, включително фазово инвариантно декодиране, като е анализирано поведението им при различни нива на шум и десинхронизация.

Приложни приноси:

1. Анализ и имплементация на методи за компресия на RGB-D изображения чрез оцветяване и използване на кодиращи схеми за цветни изображения, включително оценка на влиянието на различни стратегии за оцветяване, мултиплексиране и семантично-ориентирана обработка върху R-D характеристиките.

2. Разработена е програмна реализация на система за кодиране на геометричната структура на разреждени облаци от точки, включваща имплементация на автоенкодерни архитектури от различен тип, механизми за позиционно кодиране, процедури за подготовка и разширяване на данните, както и пълен цикъл за обучение, валидация и тестване.

3. Разработена е програмна реализация на кодираща схема за разделно кодиране на геометричната структура, включваща покомпонентно скаларно квантуване на латентните вектори, деквантуване, пакетиране, сериализация и вторично кодиране.

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

Описаните по-горе, научни, научно-приложни и приложни приноси фигурират в достатъчната по обем и съдържание публикационна дейност на докторанта. Те са популяризирани в подходящи и утвърдени в областта на дисертацията научни форуми, което означава, че резултатите от дисертацията са придобили съответната популярност и признание в научните среди. В тази връзка и личното участие на докторантът в приносите се проявява и е неоспоримо и потвърдено от наличието на 6 публикации в съавторство с ръководителя на докторанта и колектив.

7. Преценка на публикациите по дисертационния труд

Основните постижения в дисертационния труд са популяризирани в 6 научни публикации. Във всички публикации докторантът е на първо място. Всички публикации са с теоретично и приложно значение, свързани са с тематиката на дисертацията и с професионалното направление **5.3. Комуникационна и компютърна техника**. Приемам публикационната дейност като напълно достатъчна по обем, на високо научно ниво и популяризирана в достатъчна степен на национално и международно научно ниво.

8. Използване на резултатите от дисертационния труд в научната и социалната практика

В дисертацията не са представени директно конкретни данни за използване на резултатите от дисертационния труд в научната и социалната практика. Но може да се приеме, че представеният списък от три програмни реализации, публикувани в GitHub са основа за реални бъдещи практически приложения на разработените методи за кодиране, предаване и визуализация на тримерни обекти.

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

Оформянето на автореферата е в съответствие с изискванията и напълно съдържа най-важните и съществени теоретични и практически постижения в дисертацията, което показва неговата адекватност със съдържанието на дисертационния труд.

10. Мнения, препоръки и бележки

В окончателното оформление на дисертационния труд са отстранени повечето от посочените пропуски и неточности в моето мнение представено при предварителната вътрешна защита, затова в настоящата рецензия са посочени само следните забележки и препоръки:

- има математически изрази, които следва да бъдат цитирани в текста от съответни литературни източници, за да няма съмнение за некоректно взаимстване и така да се акцентира върху посочените приноси на докторанта;
- в блоковите схеми и в текста на глава пета се използват термини и изрази „предавател“, „приемник“, „например чрез модулация на носещ сигнал“, „до пропускателната способ на канала“, „квантуването, подобно на AWGN канала“, „прилага се AWGN“ и др., някои от които не звучат професионално, а други следва да бъдат конкретизирани, за да се обосноват правилно представените данни от експерименталните изследвания за влиянието на параметрите на канала върху чувствителността на автоенкодерите към шум.

11. Заключение

Считам, че общата положителна оценка на теоретичните и практически експериментални резултати, постигнати при разработката на настоящия дисертационен труд, дефинирани като научни, научно-приложни и приложни приноси, отразени в достатъчен на брой научни публикации и в подходящи научни списания и конференции, са напълно достатъчно основание за ясно положително заключение относно квалификацията на докторанта и неговите потвърдени в дисертационния труд качества на учен в избраната от него научна област. Затова считам за напълно основателно и препоръчвам на Уважаемото научно жури да присъди на образователната и научна степен „доктор“ на **маг. инж. Ивайло [REDACTED] Божилов** в професионално направление **5.3. Комуникационна и компютърна техника** по научна специалност **Телевизионна и видеотехника**.

Дата: 23.06.2026 г.

Рецензент: .. [REDACTED]

(проф. д-р Александър Бекярски)

01K 78-141-096
23.06.2020



REVIEW

regarding the dissertation for the acquisition of the educational and scientific degree "Doctor" in the scientific specialty:

"Television and Video Engineering"

in the professional field:

5.3. Communication and Computer Engineering

Author of the dissertation:

M.Sc. Eng. Ivaylo [redacted] Bozhilov

Topic of the dissertation:

CODING AND VISUALIZATION OF 3D OBJECTS THROUGH DEEP LEARNING ARCHITECTURES

Prepared by the opinion: Prof. Dr. Eng. Alexander [redacted] Bekyarski

1. Relevance of the problem developed in the dissertation in scientific and scientific-applied terms

The topic and relevance of the presented dissertation "Coding and visualization of 3D objects through deep learning architectures" are related, on the one hand, to the development of image coding methods in the direction of three-dimensional objects, and on the other hand, to the application of deep learning neural networks to significantly improve the efficiency of coding, especially important in the presentation, transmission and visualization of three-dimensional objects in coded form.

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

The degree of knowledge of the state of the problem and creative interpretation of the literary material is presented throughout the content of the dissertation. The 97 literary sources presented and analyzed in the first chapter "Analysis of the state of the problem by literary data" fully and comprehensively argue the topic of the dissertation, the need for new more effective methods for processing, encoding, transmission and visualization of 3D objects. Based on this analysis, the goal and objectives of the dissertation are correctly defined.

3. Compliance of the selected research methodology and the set goal and objectives of the dissertation with the achieved contributions

The compliance of the selected research methodology and the set goal and objectives of the dissertation with the achieved contributions is well justified and it should be emphasized that the set goal and objectives of the dissertation are defined and closely related to the achieved results and contributions in the dissertation. This statement should include the justification of the goals and objectives of the dissertation, the fully

justified definition of the significance and necessity in scientific and scientific-applied terms of research in the chosen scientific field - information processing, in this case three-dimensional objects, through deep learning architectures for the purpose of coding, transmission and visualization. A correct approach is proposed, according to which the doctoral student has formulated precisely and in a synthesized form both the goal and the tasks in his dissertation, as follows:

Purpose of the dissertation:

Research and development of methods for integrating learnable and semantically oriented approaches in systems for capturing, transmitting and visualizing 3D content, in order to increase the efficiency, adaptability and functionality of the coding process.

This goal is realized by formulating and implementing the following tasks of the dissertation:

1. Analysis of the possibilities for integrating learnable and semantically oriented approaches for coding in systems for capturing, transmitting and visualizing 3D content.
2. Research and development of autoencoder architectures for encoding 3D sources.
3. Research and development of autoencoder architectures for JSCC of 3D content, in order to achieve robustness to channel interference and efficiency at finite block lengths.
4. Implementation, experimental study and comparative analysis of the proposed methods and architectures.

4. Brief analytical description of the nature and assessment of the reliability of the material on which the contributions of the dissertation are built

The dissertation is 138 pages long. The realization of the correctly set goal and relevant tasks of the dissertation is the subject of the following chapters of the dissertation, between which consistency in the exposition, logical connection and methodicality in presenting the new important, regarding the contributions of the dissertation, theoretical and practical solutions in the field of the dissertation's topic are achieved.

Chapter 2 presents possibilities for integrating learnable coding methods into three-dimensional content systems. The following are proposed: a unified 4-layer operating model for systems for capturing, transmitting and visualizing 3D content, practical approaches to coding in the capture layer, including compression of RGB-D data through coloring, multiplexing and semantic-oriented processing and a theoretical formulation for coding in the visualization layer.

The third chapter of the dissertation is dedicated to autoencoder architectures for encoding the geometric structure of distributed point clouds. The features of FoldingNet autoencoders, graph-convolutional autoencoders and hybrid autoencoders are presented, as well as positional coding strategies and self-attention mechanisms.

In the fourth chapter of the dissertation, an experimental evaluation of the compression of sparse point clouds using autoencoder architectures discussed in chapter 3 is investigated and presented.

In chapter 5 “Deeply compatible source-channel coding for point clouds”, the robustness of the models to channel noise is analyzed and solutions for synchronization and reliable transmission are proposed. The results obtained for deep compatible source-channel coding and transmission in noisy channels are presented.

Each chapter ends with conclusions and formulated contributions of the doctoral student.

5. Scientific, scientific-applied and applied contributions of the dissertation work

The following scientific, scientific-applied and applied contributions are presented in the dissertation work:

Scientific contributions:

1. A theoretical formulation for entropy coding with inconsistent probabilistic models has been developed and a condition for efficiency has been derived.
2. A method for phase-invariant decoding in the transmission of dynamic point clouds has been proposed.

Scientific-applied contributions:

1. A systematization and in-depth analysis of the methods for encoding 3D content has been carried out and a taxonomy has been proposed according to the technological principles used and the interpretation of the intermediate representations. A conceptual model for semantic compression has also been formulated by dividing the information into a global and detailed semantic context.
2. Application of a 4-layer operating model as a universal framework for the analysis of systems for capturing, transmitting and visualizing 3D content, with an emphasis on the allocation of computational and communication resources.
3. A wide range of point cloud processing methods has been studied, covering FoldingNet-based models, graph-convolutional architectures, hybrid self-attentive

architectures, 3D-convolutional architectures, and a total of 37 models have been trained and compared under different latent space dimensions and training conditions.

4. Compression of sparse point clouds using autoencoder architectures has been studied, analyzing the influence of the architecture, the number of parameters and the dimensionality of the latent space on the rate-distortion dependence.

5. Investigation of a DPCT architecture in the mode of deep joint source-channel encoding of point clouds. Frame synchronization approaches, including phase invariant decoding, have been developed and compared, and their behavior at different levels of noise and desynchronization has been analyzed.

Applied contributions:

1. Analysis and implementation of methods for compression of RGB-D images by coloring and using coding schemes for color images, including assessment of the influence of different coloring strategies, multiplexing and semantic-oriented processing on R-D characteristics.

2. A software implementation of a system for encoding the geometric structure of sparse point clouds has been developed, including implementation of autoencoder architectures of different types, positional coding mechanisms, data preparation and expansion procedures, as well as a full cycle for training, validation and testing.

3. A software implementation of a coding scheme for discrete coding of the geometric structure has been developed, including component-wise scalar quantization of the latent vectors, dequantization, packetization, serialization and secondary coding.

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

The scientific, scientific-applied and applied contributions described above appear in the doctoral student's publication activity, which is sufficient in volume and content. They have been popularized in appropriate and established scientific forums in the field of the dissertation, which means that the results of the dissertation have gained the appropriate popularity and recognition in scientific circles. In this regard, the personal participation of the doctoral student in the contributions is manifested and is undeniable and confirmed by the presence of 6 publications in co-authorship with the doctoral student's supervisor and team.

7. Assessment of publications on the dissertation work

The main achievements in the dissertation work have been popularized in 6 scientific publications. In all publications, the doctoral student is in first place. All publications are of theoretical and applied importance, are related to the topic of the dissertation and the professional field 5.3. Communication and computer technology. I accept the publication activity as being fully sufficient in volume, at a high scientific level and sufficiently popularized at the national and international scientific level.

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

The dissertation does not directly present specific data on the use of the results of the dissertation in scientific and social practice. However, it can be assumed that the presented list of three program implementations published on GitHub is the basis for real future practical applications of the developed methods for coding, transmission and visualization of three-dimensional objects.

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 dissertation

The design of the abstract is in accordance with the requirements and fully contains the most important and essential theoretical and practical achievements in the dissertation, which indicates its adequacy with the content of the dissertation.

10. Opinions, recommendations and notes

In the final layout of the dissertation, most of the indicated omissions and inaccuracies in my opinion presented during the preliminary internal defense have been eliminated, therefore, in this review, only the following remarks and recommendations are indicated:

- there are mathematical expressions that should be cited in the text from relevant literary sources, so that there is no doubt of incorrect borrowing and thus to emphasize the indicated contributions of the doctoral student;
- in the block diagrams and in the text of chapter five, the terms and expressions "transmitter", "receiver", "for example, by modulation of a carrier signal", "to the bandwidth of the channel", "quantization, similar to the AWGN channel", "AWGN is applied", etc. are used, some of which do not sound professional, and others should be specified in order to properly substantiate the presented data from experimental studies on the influence of channel parameters on the sensitivity of autoencoders to noise.

11. Conclusion

I believe that the overall positive assessment of the theoretical and practical experimental results achieved in the development of this dissertation work, defined as scientific, scientifically applied and applied contributions, reflected in a sufficient number of scientific publications and in appropriate scientific journals and conferences, are a fully sufficient basis for a clear positive conclusion regarding the qualification of the doctoral student and his confirmed in the dissertation qualities of a scientist in his chosen scientific field. Therefore, I consider it completely justified and recommend to the Honorable Scientific Jury to award the educational and scientific degree "doctor" to M. Eng. Ivaylo [redacted] Bozhilov in the professional field 5.3. Communication and computer technology in the scientific specialty Television and video technology.

Date: 23.06.2026

Reviewer: [redacted]

(Prof. Dr. Alexander Bekyarski)