

0728-Н/1-096  
19.06.2024



**РЕЦЕНЗИЯ**

върху дисертационен труд за придобиване на образователна и научна степен „доктор” в професионално направление 5.3. Комуникационна и компютърна техника по докторска програма „Телевизионна и видеотехника“

Автор на дисертационния труд: маг. инж. Ивайло [REDACTED] Божилов  
Тема на дисертационния труд: **КОДИРАНЕ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ НА 3D ОБЕКТИ, ЧРЕЗ АРХИТЕКТУРИ ЗА ДЪЛБОКО ОБУЧЕНИЕ**  
Рецензент: доц. д-р инж. Никол [REDACTED] Христова

**1. Актуалност на разработвания в дисертационния труд проблем в научно и научно-приложно отношение. Степен и нива на актуалността на проблема и конкретните задачи, разработени в дисертацията**

Актуалността на разработения в дисертационният труд проблем е свързана с развитието на системите за тримерно съдържание, виртуална, добавена и смесена реалност, холографската комуникация и интелигентните аудио-визуални системи, при които се изисква висока компресия, предаване и визуализация на тримерни обекти.

Докторанта правилно е идентифицирал ограниченията на традиционните методи за кодиране и визуализация на 3D обекти и е насочил изследванията си към използване на моделите за кодиране, базирани на архитектури с дълбоко обучение и подходите за съвместно кодиране източник-канал, които имат съществено научно и научно-приложно значение за развитието на съвременните комуникационни и мултимедийни технологии. Поставените задачи са ясно формулирани и съответстват на целта на дисертационния труд.

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

Степента на познаване на състоянието на проблема и творческата интерпретация на литературния материал са представени чрез задълбочен анализ на съвременните методи за кодиране и компресия на тримерно съдържание, включващи класически и обучаеми подходи, стандарти за компресия, както и архитектури за дълбоко обучение. Направен е структуриран и подробен литературен обзор, обхващащ 100 литературни източници, аргументиращ тематиката на дисертацията и показва умение за критичен анализ и творческа интерпретация на разглежданите методи, което е послужило като основа за правилно формулиране на целта и основните задачи на дисертацията.

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

Съответствието между избраната методика на изследване, поставените цели и задачи на дисертационния труд и постигнатите научни резултати и

приноси е ясно аргументирано и добре обосновано. Следва да се подчертае, че формулираните цели и задачи са дефинирани и логически свързани с реализираните изследвания и получените резултати в дисертационния труд. Обоснована е както необходимостта, така и значимостта на изследванията в научно и научно-приложно отношение в областта на обработката на информация и по-конкретно - на тримерни обекти чрез архитектури за дълбоко обучение с цел кодиране, предаване и визуализация.

Докторантът е предложил правилен подход при формулирането на целта и задачите на дисертационния труд, като те са представени точно, ясно и в синтезиран вид, както следва:

#### **Цел на дисертацията:**

Изследване и разработване на методи за интеграция на обучаеми и семантично ориентирани 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 към 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 разработен в 5 глави с обем от 151 страници и съдържа 48 фигури и 8 таблици.

В първа глава е извършен анализ на състоянието на проблема, свързан с методите за кодиране (в това число семантично кодиране), компресия и предаване на 3D съдържание, както и съвременните обучаеми методи и архитектури за дълбоко обучение.

Във втора глава се разглежда внедряването на обучаеми методи за кодиране в системи за заснемане, предаване и визуализация на тримерно съдържание.

В трета глава са разгледани и анализирани автоенкодерни архитектури за кодиране на геометричната структура на разреждени облаци от точки. Представени са FoldingNet автоенкодери, граф-конволюционни автоенкодери, хибридни

автоенкодери, както и използваните бази данни за обучение и параметри за оценка на предложените архитектури.

В четвърта глава е разгледана и представена компресия на облаци от точки чрез автоенкодерни архитектури и тяхната експериментална оценка, както и получените резултати.

В пета глава са изследвани дълбоко съвместно кодиране източник-канал за облаци от точки, устойчивостта на автоенкодерите към шум и подходи за надеждно предаване и синхронизация на 3D съдържание, както и получените резултати от направените сравнения.

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

В дисертационния труд са представени следните научни, научно-приложни и приложни приноси, които правилно отразяват постигнатото от автора в процеса на проведените изследвания:

### **Научни приноси:**

1. Разработена е теоретична постановка на задачата за ентропийно кодиране при несъгласувани вероятностни модели в слоя за визуализация.
2. Предложен е метод за фазово-инвариантно декодиране (PID) при предаване на динамични облаци от точки.

### **Научно-приложни приноси:**

1. Извършена е систематизация и задълбочен анализ на методите за кодиране на 3D съдържание.
2. Адаптиране и използване на 4-слоен операционен модел като универсална рамка за анализ на системи за заснемане, предаване и визуализация на тримерно съдържание.
3. Изследван е широк спектър от методи за обработка на облаци от точки, обхващащ FoldingNet-базиран модели, граф-конволюционни архитектури, хибридни архитектури със самовнимание, както и архитектури с 3D конволюции.
4. Изследвана е компресията на геометричната структура на разреждени облаци от точки чрез автоенкодерни архитектури в режим на разделно кодиране.
5. Изследвана е DPCT архитектурата в режим за дълбоко съвместно кодиране източник-канал на облаци от точки.

### **Приложни приноси:**

1. Анализ и имплементация на методи за компресия на RGB-D изображения чрез оцветяване и използване на кодиращи схеми за цветни изображения.
2. Разработена е програмна реализация на система за кодиране на геометричната структура на разреждени облаци от точки.
3. Разработена е програмна реализация на кодираща схема за разделно кодиране на геометричната структура в рамките на AEPCC.

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

Описаните по-горе научни, научно-приложни и приложни приноси фигурират в достатъчна по обем и съдържание публикационна дейност на докторанта. Те са популяризирани в подходящи и утвърдени в областта на дисертацията научни форуми и издания, което означава, че резултатите от

дисертацията са придобили съответната популярност и признание в научните среди. В тази връзка личното участие на докторанта в приносите се доказва от наличието на общо 6 публикации, от които 1 самостоятелна и 5 в съавторство с колектив.

#### **7. Преценка на публикациите по дисертационния труд**

Докторантът е публикувал резултатите от дисертационния труд в 6 научни публикации, от които 3 в списания в кuartил Q1 и 3 са докладвани на научни конференции. Всички статии са реферирани и индексирани в световните бази данни Scopus/WoS. Представените публикации са по темата на дисертацията, като са установени и 7 цитирания. 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.

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

Постигнатите резултати в дисертационния труд дават възможност за приложение в практиката при разработването на системи за холографска комуникация, 3D телевизия, системи за разширена реалност и др. Изследванията намират приложение в научно-изследователската и учебната дейност на Факултета по телекомуникации.

#### **9. Оценка на съответствието на автореферата с изискванията за изготвянето му, както и на адекватността на отразяване на основните положения и приносите на дисертационния труд**

Авторефератът е с обем от 30 страници и е изготвен съгласно изискванията на ТУ-София. Той представя в обобщен вид структурата, съдържанието и основните приноси на дисертационния труд.

#### **10. Мнения, препоръки и бележки**

В представения за вътрешна защита първи вариант на дисертационния труд присъстват технически и стилски забележки, които не намаляват стойността на постигнатите научни, научно-приложни и приложни резултати в дисертационния труд. В настоящото мнение са включени само по-важните забележки и препоръки, с цел подобряване на окончателното оформяне на дисертационния труд:

- Липсва номерация на много от математическите изрази (стр. 65 – 71);
- В разделите, свързани с обучението на моделите (стр. 88–90), липсва информация за използваните хардуерни ресурси и времето за обучение на отделните архитектури;
- При сравнението с референтни методи (Глава 4) би могло по-явно да се посочат предимствата и ограниченията на предложените архитектури

- чрез допълнителна таблица с обобщени показатели за сложност, памет и време за обработка;
- Липсва по-подробен анализ на грешките и артефактите, възникващи при реконструкцията и декодирането на 3D съдържанието чрез предложените методи за кодиране;
  - При част от фигурите, например Фиг. 5.1 на стр. 112, липсват доверителни интервали или информация за статистическата устойчивост на получените резултати;
  - Препоръчително е в раздел „Заклучение и бъдеща работа“ да бъдат по-ясно формулирани ограниченията на предложените методи и възможностите за тяхното приложение в реалновремени системи;
  - В използваната литература (стр. 142–143) GitHub реализациите са включени в общия списък с литература, въпреки че е по-подходящо да бъдат отделени като самостоятелен списък с програмни реализации.

## II. Заклучение

В резултат на запознаването ми с дисертационния труд, както и прилежащите научни публикации, потвърждавам, че са изпълнени образователната цел на докторантурата, изискванията на Закона за развитието на академичния състав в Република България (ЗРАСРБ), Правилника за прилагането му и Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени в ТУ-София.

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.

На основание на гореизложеното предлагам на почитаемото Научно жури да гласува положително и да присъди на **маг. инж. Ивайло [REDACTED] Божилов** образователна и научна степен „доктор“ в професионално направление **5.3. Комуникационна и компютърна техника** по научна специалност **Телевизионна и видеотехника**.

Дата: 19.06.2026 г.

Рецензент: [REDACTED] .....

(доц. д-р Никол Христова)

0728-HE1-09  
19.06.2020



**REVIEW**

on the dissertation for acquiring the educational and scientific degree "Doctor" in the professional field 5.3. Communication and Computer Technology under the doctoral program "Television and Video Technology "

Author of the dissertation: M.Eng. Ivaylo [redacted] **Bozhilov**

Topic of the dissertation: **ENCODING AND VISUALIZATION OF 3D OBJECTS USING DEEP LEARNING ARCHITECTURES**

Reviewer: Assoc. Prof. Dr. Eng. Nicole [redacted] **Christoff**

**1. Relevance of the problem developed in the dissertation in scientific and scientific-applied terms. Degree and levels of relevance of the problem and specific objectives developed in the dissertation**

The relevance of the problem developed in the dissertation is related to the development of three-dimensional content systems, virtual, augmented and mixed reality, holographic communication and intelligent audio-visual systems, which require high compression, transmission and visualization of three-dimensional objects.

The doctoral candidate has correctly identified the limitations of traditional methods for encoding and visualization of 3D objects and has directed his research towards the use of coding models based on deep learning architectures and source-channel joint coding approaches, which have significant scientific and scientific-applied significance for the development of modern communication and multimedia technologies. The objectives are clearly formulated and correspond to the purpose of the dissertation.

**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 are presented through an in-depth analysis of modern methods for encoding and compression of three-dimensional content, including classical approaches, compression standards, as well as deep learning architectures. A structured and detailed literature review has been made, covering 100 references, justifying the topic of the dissertation and showing the ability for critical analysis and creative interpretation of the methods considered, which has served as a basis for correctly formulating the goal and main objectives of the dissertation.

**3. Compliance of the selected research methodology with the aim and objectives of the dissertation**

The correspondence between the selected research methodology, the stated goals and objectives of the dissertation and the achieved scientific results and contributions

is clearly and well justified. It should be mentioned that the formulated goals and objectives are defined and logically related to the implemented research and the results obtained in the dissertation. Both the necessity and the significance of the research in scientific and scientific-applied terms in the field of information processing and, more specifically, of three-dimensional objects through deep learning architectures for the purpose of encoding, transmission and visualization are substantiated.

The PhD student has applied the correct approach in formulating the goal and objectives of the dissertation, as they are presented accurately, clearly and in a synthesized form, as follows:

#### **Purpose of the dissertation:**

Research and development of methods for integration of 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 encoding process. This goal is achieved by formulating and implementing the following objectives of the dissertation:

1. Analysis of the possibilities for integration of learnable and semantically oriented approaches to 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 resistance 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 characterization of the nature and assessment of the reliability of the material on which the contributions of the dissertation are based**

The dissertation is developed in 5 chapters with a volume of 151 pages and contains 48 figures and 8 tables.

In the first chapter, an analysis of the state of the art related to encoding methods (including semantic encoding), compression and transmission of 3D content, as well as modern learnable methods and architectures for deep learning, is performed.

In the second chapter, the implementation of learnable coding methods in systems for capturing, transmitting and visualizing three-dimensional content is considered.

In the third chapter, autoencoder architectures for encoding the geometric structure of sparse point clouds are considered and analyzed. FoldingNet autoencoders, graph-convolutional autoencoders, hybrid autoencoders, as well as the used training databases and parameters for evaluating the proposed architectures are presented.

In the fourth chapter, compression of point clouds using autoencoder architectures and their experimental evaluation, as well as the obtained results, are considered and presented.

In the fifth chapter, deep joint source-channel coding for point clouds, the robustness of autoencoders to noise and approaches for reliable transmission and synchronization of 3D content are studied, as well as the results are presented.

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

The following scientific, scientific-applied and applied contributions are presented in the dissertation, which correctly reflect the achievements of the author in the process of the conducted research:

#### **Scientific contributions:**

1. A theoretical formulation of the entropy coding problem for inconsistent probabilistic models in the visualization layer is developed.
2. A method for phase-invariant decoding (PID) is proposed for the transmission of dynamic point clouds.

#### **Scientific and applied contributions:**

1. Systematization and in-depth analysis of 3D content encoding methods.
2. Adaptation and application of a 4-layer operating model as a universal framework for analyzing systems for capturing, transmitting and visualizing 3D content.
3. A wide range of point cloud processing methods has been studied, covering FoldingNet-based models, graph-convolutional architectures, hybrid architectures with self-attention, as well as 3D convolutional architectures.
4. Compression of the geometric structure of sparse point clouds by autoencoder architectures in the split coding mode has been studied.
5. The DPCT architecture in the deep joint source-channel encoding mode of point clouds has been studied.

#### **Applied contributions:**

1. Analysis and implementation of methods for compression of RGB-D images through colorization and coding schemes for color images.
2. A software implementation of a system for encoding the geometric structure of sparse point clouds has been developed.
3. A software implementation of a coding scheme for separate encoding of the geometric structure within the AEPCC framework has been developed.

### **6. Assessment of the degree of the doctoral candidate's personal contributions**

The scientific, scientific-applied, and applied contributions described above are reflected in a publication record of sufficient volume and quality. They have been popularized in appropriate and established scientific forums and publications 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 doctoral student's personal participation in the contributions is evidenced by the presence of a total of 6 publications, of which 1 is independent and 5 are co-authored with a team.

### **7. Assessment of the publications related to the dissertation**

The doctoral student has published the dissertation results in 6 scientific publications, of which 3 in journals in the Q1-ranked journals and 3 were reported at scientific conferences. All articles are refereed and indexed in the global databases

Scopus/WoS. The publications are directly related to the dissertation topic and have received seven citations. The candidate is listed as the first author on all publications. Their content is both theoretically and practically significant and relevant to Professional Field 5.3 Communication and computer technology.

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

The dissertation results provide an opportunity for application in practice in the development of holographic communication systems, 3D television, augmented reality systems, etc. The research is applied in the research and educational activities of the Faculty of Telecommunications.

#### **9. Assessment of the compliance of the dissertation abstract with the requirements for its preparation, as well as the adequacy of reflecting the main statements and contributions of the dissertation**

The dissertation abstract consists of 30 pages and is prepared in accordance with the requirements of the Technical University of Sofia. It presents in a summarized form the structure, content and main contributions of the dissertation.

#### **10. Opinions, recommendations and remarks**

The first version of the dissertation submitted for internal defense contains technical and stylistic remarks that do not diminish the value of the achieved scientific, scientific-applied and applied results in the dissertation. This opinion includes only the most important remarks and recommendations in order to improve the final version of the dissertation:

- There is no numbering of many of the mathematical expressions (pp. 65 – 71);
- In the sections related to model training (pp. 88–90), there is no information about the used hardware resources and the training time of the individual architectures;
- When comparing with reference methods (Chapter 4), the advantages and limitations of the proposed architectures could be more clearly indicated through an additional table with summarized indicators of complexity, memory and processing time;
- There is no detailed analysis of the errors and artifacts that occur during the reconstruction and decoding of 3D content using the proposed encoding methods;
- Some of the figures, for example Fig. 5.1 on page 112, lack confidence intervals or information about the statistical stability of the obtained results;
- It is recommended that the limitations of the proposed methods and the possibilities for their application in real-time systems be more clearly formulated in the section "Conclusion and future work";
- GitHub implementations (pp. 142–143) should be separated from the general bibliography and presented as a dedicated list of software implementations.

#### **11. Conclusion**

Based on my familiarization with the dissertation, as well as the accompanying scientific publications, I confirm that the educational objectives of the doctoral program, the requirements of the Act on the Development of the Academic Staff in the Republic

of Bulgaria (ADSRB), the Regulations for its implementation and the Regulations for the conditions and procedure for acquiring scientific degrees at TU-Sofia have been fulfilled.

I believe that the overall positive assessment of the theoretical and practical experimental results achieved in the development of this dissertation, defined as scientific, scientifically applied and applied contributions, reflected in a sufficient number of scientific publications and in appropriate scientific journals and conferences, are fully sufficient basis for a clear positive conclusion regarding the qualification of the PhD student and his confirmed in the dissertation qualities of a scientist in his chosen scientific field.

Based on the above, I propose to the esteemed Scientific Jury to vote positively and award M.Sc. Eng. Ivaylo [REDACTED] Bozhilov educational and scientific degree "Doctor" in professional field 5.3. Communication and computer technology in scientific specialty Television and video technology.

Date: 19/06/2026

Reviewer: .... [REDACTED] .....

(Assoc. Prof. Nicole Christoff)