



## РЕЦЕНЗИЯ

върху дисертационен труд

за придобиване на образователна и научна степен „доктор”

Автор на дисертационния труд: *маг.инж. Георги Георгиев Георгиев*Тема на дисертационния труд: *„Платформено независими приложения с използване на GPU и машинно обучение”*Професионално направление: *5.3 Комуникационна и компютърна техника*Научна специалност: *Системно програмиране*Рецензент: *проф. д-р инж. Емил Иванов Йончев***1. Актуалност на разработвания в дисертационния труд проблем в научно и научно-приложно отношение**

Бързото нарастване на графичните и изчислителните изисквания на съвременния софтуер протича в условия на все по-голяма фрагментация при хардуерните платформи и приложно-програмните интерфейси и извежда на преден план изследвания проблем. В научно отношение трудът адресира фундаменталното предизвикателство за постигане на пълна платформена независимост без загуба на изчислителна производителност при работа с графичните процесори. В научноприложно отношение той отговаря на нуждата от единен програмен модел, който намалява сложността при управлението на ресурсите и ускорява разработването на кросплатформени приложения. Изследването разглежда проблема системно на няколко нива – започвайки от архитектурното и програмното ниво за преодоляване на хардуерната фрагментация, преминавайки през алгоритмичното ниво за оптимизация на проследяването на светлинни лъчи в реално време и достигайки до интегрирането на методи от машинното обучение за суперрезолюция и генериране на междинни кадри с цел преодоляване на изчислителната сложност при фотореалистично рендиране. Крайната цел се постига на ниво системна интеграция, където съвместната работа между платформено независимия конвейер, проследяването на светлинни лъчи и машинното обучение изгражда практически приложима и хардуерно независима система, свързваща максималната производителност с преносимостта на съвременния софтуер.

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

Дисертационният труд е посветен на актуална тематика, която предполага задълбочен преглед на интерфейсите от ниско ниво на графичните процесори за преодоляване на хардуерната фрагментация, анализ на парадигмите в езиците за системно програмиране, както и на стохастичните алгоритми за оптимизирано проследяване на светлинни лъчи, комбинирани с методи на машинното обучение за генериране и мащабиране на кадри. Цитираните 108 литературни източника в библиографската справка свидетелстват за извършения задълбочен критичен анализ и доброто познаване на спецификата на материята, обект на дисертационния труд. На тази база правилно са формулирани целта и задачите на изследването. Творческата интерпретация на литературния материал е довела до разработването на предложения модел, архитектура, подходи и методика, а проведените изследвания и получените резултати показват, че докторантът познава задълбочено състоянието на проблема, което му е позволило успешно да изпълни поставените задачи.

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

Целта на дисертационния труд е да се изследват възможностите за създаване на унифициран и платформено независим софтуер за изграждане на приложения с графични процесори в областта на компютърната графика и интегрирането им с машинно обучение. Обект на проучването са средите за генериране на изображения в реално време и съответните алгоритми, а предмет са методите, архитектурните решения и организацията на графичните и изчислителните процеси чрез единен програмен модел, оптимизацията на трасирането на светлинни лъчи и мащабиране на базата на изкуствен интелект. Избраната методология се основава на теоретичен обзор на съвременните архитектури на графични процесори и приложно-програмен интерфейс (като Vulkan, Direct3D 12 и CUDA), концептуално и системно моделиране, практически експерименти и детайлна оценка на получените резултати. Този комплексен подход позволява добре обоснован избор на Vulkan Compute и езика Rust, както и ефективно адаптиране на алгоритми като ReSTIR DI и ReSTIR GI. Предложени са нови методи, модели и системни архитектури, които демонстрират подобрена преносимост, скорост на обработка, висока производителност и оптимална консумация на памет при рендиране в реално време. Постигнатите резултати потвърждават формулираните хипотези и водят до успешното решаване на поставените задачи и постигането на общата цел на труда.

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

Дисертационният труд е в обем от 135 страници, като включва увод, четири глави за решаване на формулираните основни задачи, списък на основните приноси, списък на публикациите по дисертацията и използвана литература. Цитирани са общо 108 литературни източника, като всички те са на латиница. Работата включва общо 63 фигури и 4 таблици.

В първа глава е направен критичен аналитичен преглед на съвременното състояние на архитектурите на графичните процесори и основните приложно-програмен интерфейс (OpenGL, Direct3D 12, Vulkan, CUDA, OpenCL). Материалът в тази част стъпва върху реални архитектурни спецификации и технологични показатели, което позволява научно аргументирания избор на Vulkan и Vulkan Compute като най-подходяща технологична основа за платформено независима графика. Във втора глава изследователският материал преминава в областта на концептуалното и системното моделиране, където е дефинирана архитектурата на платформено независима система за рендиране в реално време с единен програмен модел. Трета и четвърта глава разширяват материала в посока на алгоритмичните оптимизации и практическото приложение – съответно чрез адаптиране на алгоритми за проследяване на светлинни лъчи (ReSTIR DI и ReSTIR GI) и интегриране на методи от машинното обучение за мащабиране и генериране на междинни кадри.

Оценката за достоверността на изследователския материал и формулираните въз основа на него приноси се аргументира със следните фактори:

- Приносите не се базират единствено на теоретични хипотези, а върху реално развит и функциониращ прототип на платформено независим графичен конвейер (реализиран чрез Rust и Vulkan);
- Извършени са обективни измервания и сравнителни тестове под различни операционни среди (Windows и Linux) и върху хардуер от различни производители (NVIDIA, AMD, Intel, Apple);
- Приложените тестови сценарии и показатели за изчислителна производителност, опреснителна честота и консумация на видеопамет са количествено измерими и напълно възпроизводими при идентични експериментални условия;
- Анализът отчита както предимствата, така и установените ограничения, което доказва обективния и критичен подход при изследването.

В заключение, използваният материал е достатъчен по обем и актуален по съдържание, а получените резултати потвърждават достоверността на формулираните научни и научно-приложни приноси.

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

В резултат на проведените изследвания, получените резултати са обобщени и представени като приноси систематизирани в три категории:

### **Научни приноси:**

1. Разработен е концептуален модел за изграждане на платформено независима система за рендиране на изображения в реално време основан на единен програмен модел за графични и изчислителни операции чрез Vulkan.
2. Предложен е функционално-императивен подход при разработването на високопроизводителни графични приложения в реално време, който се базира на безопасно управление на ресурсите, модулност и ефективно използване на съвременните многоядрени архитектури.

### **Научно-приложни приноси:**

1. Предложена е архитектура на платформено независим rendering engine за рендиране на изображения в реално време с проследяване на лъчи, реализирана чрез Vulkan и езика Rust, която позволява използването на единен модел за управление на графичните и изчислителните ресурси върху различни операционни системи без необходимост от междинни слоеве и платформено специфични промени.
2. Разработен е подход за интегриране на модифицирани и адаптирани алгоритми за директно и глобално осветление ReSTIR DI и ReSTIR GI в платформено независима среда за рендиране на изображения в реално време с path tracing, който позволява преносимо рендиране в реално време и използване на хардуерно ускорено проследяване на лъчи върху различни GPU архитектури.
3. Предложен е подход за използване на машинно обучение при рендиране на изображения чрез AI-базирано мащабиране на изображения към високи резолюции и генериране на междинни кадри в реално време с цел намаляване на изчислителното натоварване в графичния конвейер при запазване на визуалното качество на рендираните изображения.

### **С приложен характер:**

1. Разработена е методика за експериментално изследване и сравнителна оценка на производителността на платформено независими графични приложения при различни операционни системи, графични среди и графични интерфейси.
2. Реализиран е прототип на платформено независим rendering engine за рендиране на изображения в реално време с проследяване на лъчи с path tracing, използващ Vulkan и Rust, с който са проведени експериментални тестове, доказващи еднаква или еквивалентна производителност при изпълнение върху Windows и Linux среди.
3. Експериментално е доказана възможността за постигане на съпоставима производителност при използване на разработената система върху различни операционни системи и графични среди без използване на платформено специфични реализации.

Считам, че приносите отразяват постиженията на докторанта в резултат на проведените изследвания и могат да намерят практическо приложение.

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

Постигнатите резултати от направените анализи и проведените изследвания в дисертационния труд, са представени на научни форуми, като са били рецензирани от

независими рецензенти и са получили необходимата публичност и оценки от научната общност. На тази база, внимателен прочит и анализ на дисертационния труд, автореферата и на публикациите на автора, мога да направя заключение, че изследванията и приносите са негово лично дело.

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

По темата на дисертационния труд са представени 4 публикации в периода 2023 – 2026 г. Две от тях са публикувани в докладите на международната научна конференция COMSCI 2023 и COMSCI 2025, а една е приета за докладване и публикуване на COMSCI 2026. Една публикация е представена на 60-ата международна научна конференция ICEST 2025. Докторантът е самостоятелен автор на една от публикациите, а в останалите три е първи автор. Към момента не са регистрирани цитирания. Представените научни трудове напълно покриват минималните национални изисквания и спецификата на Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени в Техническия университет – София за придобиване на образователната и научна степен „доктор“.

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

Получените резултати от дисертационния труд притежават методологическа и практическа стойност и могат да намерят активно приложение в научната и научно-приложната практика в няколко основни направления. На първо място, изграденият платформено независим графичен конвейер, представлява готов за ползване софтуерен прототип и стабилна експериментална платформа за последващи изследвания в областта на компютърната графика, трасирането на светлинни лъчи и GPGPU изчисленията, без да ограничава изследователите до конкретна операционна система или хардуерен производител. Методологията за интегриране на методи от машинното обучение за мащабиране и генериране на междинни кадри в графичния конвейер може да послужи за основа при разработването на нови невронни мрежи за оптимизация на производителността при ограничени ресурси. Разработеният концептуален модел и функционално-императивната парадигма за безопасно управление на ресурсите, може успешно да бъде интегриран и в учебния процес за специализирани курсове по системно програмиране, паралелни изчислителни архитектури и компютърна графика.

## **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 от маг. инж. Георги Георгиев автореферат на дисертационния труд е в обем от 30 страници и е оформен в съответствие с изискванията на Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени в ТУ-София. Той представя вярно съдържанието, съществените страни на изследванията, постигнатите теоретични и практически резултати и дефинираните научни, научно-приложни и приложни приноси, съдържащи се в пълния текст на дисертационния труд. Представен е и списък на публикациите по темата на дисертацията, както и резюме на английски език.

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

Докторантът е извършил значителен по обем и качество изследователски труд по темата на дисертацията, който е довел до ценни научни и научно-приложни резултати. Към оформянето на дисертационния труд мога да отправя една основна редакционна забележка с цел докторантът да подобри своята бъдеща научна и публикационна дейност – в текста се срещат множество съкращения, които не са пояснени при първата им употреба и не са включени в списъка на използваните съкращения.

Посочената забележка има изцяло оформящ характер, като не намалява стойността на постигнатите научни резултати и не влияе на положителната ми крайна оценка за дисертационния труд. Темата е в изключително актуална и перспективна научна област,

поради което препоръката ми към маг. инж. Георгиев е да продължи своята изследователска работа и научно развитие за надграждане на постигнатите резултати.

## 11. Заключение

След като се запознах с дисертационния труд, считам, че той отговаря на всички изисквания на Закона за развитието на академичния състав в Република България, Правилника за неговото прилагане, както и на Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени в Техническия университет – София. Актуалността на темата, извършените изследвания и анализи, както и постигнатите резултати, отразени в научните публикации, ми дават пълно основание да дам положителна оценка на дисертационния труд. Въз основа на това предлагам на уважаемото Научно жури да присъди образователната и научна степен **„доктор“ на маг. инж. Георги Георгиев Георгиев** в област на висше образование 5. Технически науки, професионално направление 5.3 „Комуникационна и компютърна техника“ по научна специалност „Системно програмиране“.

31.08.2026 г.  
гр.София

Изготвил рецензията:.....  
/проф. д-р инж. Емил Йончев/

## REVIEW

of a dissertation for the acquisition of an educational and scientific degree „Doctor“

Author of the dissertation: *Eng. Georgi Georgiev Georgiev, M.Sc.*

Title of the dissertation: *“Platform independent applications using GPU and machine learning”*

Professional direction: *5.3. Communication and Computer Engineering*

Scientific specialty: *System Programming*

Reviewer: *Prof. Emil Ivanov Iontchev, PhD*

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

The rapid growth of graphical and computational demands in modern software takes place amid increasing fragmentation of hardware platforms and application programming interfaces, bringing the researched problem to the forefront. From a scientific perspective, the dissertation addresses the fundamental challenge of achieving full platform independence without sacrificing computational performance when working with graphics processing units. From an applied scientific perspective, it meets the need for a unified programming model that reduces resource management complexity and accelerates the development of cross-platform applications. The research approaches the problem systemically across multiple levels - starting from the architectural and software levels to overcome hardware fragmentation, proceeding through the algorithmic level to optimize real-time ray tracing, and culminating in the integration of machine learning methods for super-resolution and frame generation to overcome the computational complexity of photorealistic rendering. The ultimate objective is achieved at the system integration level, where the interplay between the platform-independent pipeline, ray tracing, and machine learning yields a practical and hardware-agnostic system that bridges maximum performance with the portability of modern software.

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

The dissertation is dedicated to a highly relevant topic that requires an in-depth review of low-level graphics processing unit (GPU) interfaces to overcome hardware fragmentation, an analysis of paradigms in system programming languages, as well as stochastic algorithms for optimized ray tracing, combined with machine learning methods for frame generation and super-resolution. The 108 literature sources cited in the bibliography bear witness to the thorough critical analysis performed and a strong grasp of the specifics of the subject matter of the dissertation. On this basis, the objective and tasks of the research have been correctly formulated. The creative interpretation of the literature material has led to the development of the proposed model, architecture, approaches, and methodology, while the conducted research and achieved results demonstrate that the doctoral candidate possesses a deep understanding of the state of the art, enabling him to successfully fulfill the set tasks.

### **3. Correspondence of the chosen research methodology with the set goal and tasks of the dissertation work**

The objective of the dissertation is to investigate the possibilities for creating unified and platform-independent software for building applications with graphics processors in the field of

computer graphics, as well as their integration with machine learning. The object of the study comprises environments for real-time image generation and their corresponding algorithms, while the subject covers the methods, architectural solutions, and organization of graphical and computational processes through a unified programming model, the optimization of ray tracing, and AI-based super-resolution. The chosen methodology is based on a theoretical review of modern GPU architectures and application programming interfaces (such as Vulkan, Direct3D 12 and CUDA), conceptual and system modeling, practical experiments and a detailed evaluation of the obtained results. This comprehensive approach enables a well-justified choice of Vulkan Compute and the Rust language, as well as the effective adaptation of algorithms such as ReSTIR DI and ReSTIR GI. New methods, models, and system architectures are proposed, demonstrating improved portability, processing speed, high performance and optimal memory consumption in real-time rendering. The achieved results confirm the formulated hypotheses and lead to the successful resolution of the set tasks and the attainment of the overall goal of the work.

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

The dissertation spans 135 pages and includes an introduction, four chapters addressing the formulated core objectives, a list of main contributions, a list of publications related to the dissertation and references. A total of 108 literature sources are cited, all of which are in the Latin alphabet. The work contains 63 figures and 4 tables.

The first chapter presents a critical analytical review of the state of the art in graphics processing unit architectures and key application programming interfaces (OpenGL, Direct3D 12, Vulkan, CUDA, OpenCL). The material in this section relies on real architectural specifications and technological metrics, providing a scientifically grounded rationale for selecting Vulkan and Vulkan Compute as the most suitable technological foundation for platform-independent graphics. In the second chapter, the research material shifts toward conceptual and systems modeling, where the architecture of a platform-independent real-time rendering system with a unified programming model is defined. Chapters three and four expand the material toward algorithmic optimizations and practical implementation—specifically through the adaptation of ray tracing algorithms (ReSTIR DI and ReSTIR GI) and the integration of machine learning methods for super-resolution and frame generation, respectively.

The evaluation of the reliability of the research material and the contributions formulated on its basis is supported by the following factors:

- The contributions are not based solely on theoretical hypotheses, but on a fully developed and functioning prototype of a platform-independent graphics pipeline (implemented via Rust and Vulkan);
- Objective measurements and comparative benchmarks were conducted across different operating systems (Windows and Linux) and on hardware from various vendors (NVIDIA, AMD, Intel, Apple);
- The applied test scenarios and performance metrics—including computational throughput, refresh rate and video memory consumption—are quantitatively measurable and fully reproducible under identical experimental conditions;
- The analysis accounts for both the advantages and the identified limitations, demonstrating an objective and critical research methodology.

In conclusion, the material used is sufficient in volume and up to date in content and the obtained results confirm the reliability of the formulated scientific and applied contributions.

#### **5. Scientific and/or scientific-applied contributions of the dissertation work**

As a result of the conducted research, the obtained results have been summarized and presented as contributions categorized into three groups:

### **Scientific Contributions:**

1. A conceptual model has been developed for building a platform-independent real-time image rendering system based on a unified programming model for graphics and compute operations via Vulkan.
2. A functional-imperative approach has been proposed for developing high-performance real-time graphics applications, based on safe resource management, modularity, and the effective utilization of modern multi-core architectures.

### **Applied Scientific Contributions:**

1. An architecture for a platform-independent real-time rendering engine with ray tracing has been proposed, implemented using Vulkan and the Rust language, allowing the use of a unified resource management model for graphics and compute operations across various operating systems without the need for abstraction layers or platform-specific modifications.
2. An approach has been developed for integrating modified and adapted direct and global illumination algorithms (ReSTIR DI and ReSTIR GI) into a platform-independent real-time path tracing rendering environment, enabling portable real-time rendering and the use of hardware-accelerated ray tracing across different GPU architectures.
3. An approach has been proposed for utilizing machine learning in image rendering through AI-based super-resolution to high resolutions and real-time frame generation, aimed at reducing computational load in the graphics pipeline while preserving the visual quality of the rendered images.

### **Applied Contributions:**

1. A methodology has been developed for the experimental evaluation and comparative benchmark of platform-independent graphics applications performance across different operating systems, graphics environments and graphical interfaces.
2. A prototype of a platform-independent real-time rendering engine with path-traced ray tracing using Vulkan and Rust has been implemented, with which experimental tests were conducted, proving identical or equivalent execution performance under Windows and Linux environments.
3. The feasibility of achieving comparable performance using the developed system across different operating systems and graphics environments without relying on platform-specific implementations has been experimentally proven.

I consider that these contributions reflect the achievements of the doctoral candidate resulting from the conducted research and hold clear potential for practical application.

### **6. Evaluation of the degree of personal participation of the PhD student in the contributions**

The results obtained from the analysis and research conducted in the dissertation have been presented at scientific forums, peer-reviewed by independent reviewers and have received the necessary publicity and recognition from the scientific community. On this basis, as well as upon a careful reading and analysis of the dissertation, the abstract and the author's publications, I can conclude that the research and contributions are his personal work.

### **7. Evaluation of the publications on the dissertation**

Four publications have been presented on the topic of the dissertation in the period 2023–2026. Two of them have been published in the proceedings of the international scientific conference COMSCI (COMSCI 2023 and COMSCI 2025), and one has been accepted for presentation and publication at COMSCI 2026. One publication was presented at the 60th International Scientific Conference ICEST 2025. The doctoral candidate is the sole author of one publication and the primary author of the remaining three. To date, no citations have been

registered. The presented scientific works fully satisfy the minimum national requirements and the specific criteria of the Regulations on the Terms and Conditions for Acquiring Academic Degrees at the Technical University of Sofia for obtaining the educational and scientific degree of 'Doctor'.

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

The obtained results of the dissertation hold significant methodological and practical value and can find active application in scientific and applied scientific practice across several main areas. First and foremost, the developed platform-independent graphics pipeline represents a ready-to-use software prototype and a robust experimental framework for future research in computer graphics, ray tracing and GPGPU computing, without restricting researchers to a specific operating system or hardware vendor. The methodology for integrating machine learning methods for super-resolution and frame generation into the graphics pipeline can serve as a foundation for developing new neural networks aimed at optimizing performance under resource-constrained conditions. The developed conceptual model and the functional-imperative paradigm for safe resource management can also be successfully integrated into the educational process for specialized courses in system programming, parallel computing architectures and computer graphics.

#### **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 work**

The dissertation abstract presented by M.Sc. Eng. Georgi Georgiev spans 30 pages and is formatted in accordance with the requirements of the Regulations on the Terms and Conditions for Acquiring Academic Degrees at the Technical University of Sofia. It accurately reflects the content, the essential aspects of the research, the achieved theoretical and practical results and the defined scientific, applied scientific and applied contributions contained in the full text of the dissertation. A list of publications on the dissertation topic and a summary in English are also included.

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

The doctoral candidate has performed a significant body of research work on the dissertation topic, which has led to valuable scientific and applied scientific results. Regarding the formatting of the dissertation, I can offer one main editorial remark to help the doctoral candidate refine his future scientific and publishing activities - the text contains numerous abbreviations that are not explained upon their first appearance and are not included in the list of abbreviations.

The aforementioned remark is strictly formatting in nature, does not diminish the value of the achieved scientific results and does not affect my overall positive evaluation of the dissertation. The topic lies in an exceptionally relevant and promising field of research; therefore, my recommendation to M.Sc. Eng. Georgiev is to continue his research work and scientific development to further build upon the achieved results.

## 11. Conclusion

Having reviewed the dissertation, I consider that it meets all the requirements of the Act on Development of Academic Staff in the Republic of Bulgaria, the Regulations for its implementation, as well as the Regulations on the Terms and Conditions for Acquiring Academic Degrees at the Technical University of Sofia. The relevance of the topic, the conducted research and analyses, as well as the achieved results reflected in the scientific publications, provide me with full grounds to give a positive evaluation of the dissertation. Based on this, I propose to the esteemed Scientific Jury to award the educational and scientific degree of **“Doctor” to M.Sc. Eng. Georgi Georgiev Georgiev** in the field of higher education 5. Technical Sciences, professional field 5.3 “Communication and Computer Engineering” in the scientific specialty “System Programming”.

Date: 31.08.2026 r.

Reviewer:.....

/Prof. Emil Iontchev, PhD/