



СТАНОВИЩЕ

върху дисертационен труд за придобиване на научна степен „доктор“
професионално направление 5.3 „Комуникационна и компютърна техника“
научна специалност „Системно програмиране“

Автор на дисертационния труд: маг. инж. Георги Георгиев Георгиев

Тема на дисертационния труд: „Платформено независими приложения с използване на GPU и машинно обучение“

Член на научното жури: проф. д-р инж. Атанас Велков Атанасов, ХТМУ-София

1. Актуалност на дисертационния труд

Актуалността на дисертационния труд се определя от нарастващото значение на графичните процесори като високопроизводителна платформа за паралелни изчисления, компютърна графика и машинно обучение. Съвременните приложения за рендиране в реално време изискват едновременно висока производителност, фотореалистично качество и възможност за работа върху различни хардуерни и софтуерни платформи. В същото време съществуващите GPU решения често са обвързани с конкретни архитектури, програмни интерфейси, и операционни системи, което усложнява разработката на преносим софтуер и ограничава ефективното използване на изчислителния потенциал на съвременните графични процесори.

В този контекст особено актуален е проблемът за създаване на унифицирана и платформено независима среда за GPU приложения, която да съчетава графични и изчислителни процеси. Дисертацията изследва този проблем чрез използване на Vulkan и Rust, като едновременно с това разглежда оптимизацията на проследяването на светлинни лъчи в реално време чрез съвременни алгоритми като ReSTIR. Допълнителна актуалност придава интегрирането на методи на машинното обучение за AI-базирано мащабиране към високи резолюции и генериране на междинни кадри с цел намаляване на изчислителното натоварване при запазване на приемливо визуално качество.

Актуалността има както научен, така и научноприложен характер, тъй като предложените решения са реализирани в прототип на платформено независим rendering engine и са експериментално оценени при различни операционни системи и графични среди. Получените резултати показват възможност за постигане на съпоставима производителност без използване на платформено специфични реализации, което потвърждава практическата значимост на изследвания проблем.

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

Дисертантът Георги Георгиев демонстрира висока степен на познаване на състоянието на изследвания проблем. Тое е направил систематичен анализ на съвременните подходи за високопроизводително графично и GPGPU програмиране, като са разгледани основните програмни интерфейси и технологии, включително CUDA, OpenCL, OpenGL и Vulkan, както и техните предимства и ограничения по отношение на производителност, преносимост и платформена независимост. Особено внимание е отделено на съвременните методи за проследяване на лъчи в реално време, path tracing, ReSTIR DI и ReSTIR GI, както и на използването на машинно обучение за мащабиране на изображението (image upscaling) и генериране на междинни кадри.

Литературният материал (108 литературни източници на латиница) не е представен само описателно, а е подложен на сравнителен и критичен анализ. Авторът извежда конкретни ограничения на съществуващите решения – например зависимостта на CUDA от хардуера на NVIDIA и ограниченията на съществуващите AI-базирани методи за мащабиране и генериране на кадри по отношение на платформената независимост и интеграцията в съществуващи rendering системи.

След творческа интерпретация на литературния материал дисертантът е предложил концептуален модел за система за рендиране в реално време, основана на единен програмен модел чрез Vulkan, както и функционално-императивен подход, съчетаващ безопасно управление на ресурсите, модулност и ефективно използване на многоядрени архитектури.

В резултат на анализа авторът не само идентифицира съществуващите научни и технологични ограничения, но и ги използва като основа за формулиране на собствено решение, което впоследствие е реализирано и експериментално проверено чрез прототип на платформено независима rendering engine.

3. Съответствие на предложената методика на изследване и поставените цел и задачи на дисертационния труд

Избраната методика на изследване е адекватна и в пряко съответствие с поставената цел и формулираните задачи на дисертационния труд. Целта е насочена към изследване на възможностите за създаване на унифициран и платформено независим софтуер за GPU приложения в компютърната графика и интегрирането му с машинно обучение. За нейното постигане са поставени задачи, обхващащи разработване на платформено независима архитектура и единен програмен модел, оптимизация на проследяването на лъчи и изследване на методи за машинно обучение при рендиране с висока резолюция и генериране на кадри.

Методиката последователно включва анализ и сравнение на съществуващи технологии и програмни интерфейси, проектиране на архитектурни решения, разработване на алгоритми и прототип, както и експериментална проверка и сравнителна оценка на получените резултати. Този подход позволява теоретичните постановки да бъдат проверени практически върху реални GPU архитектури и различни софтуерни среди. В дисертацията например е извършено сравнение между графичните интерфейси Vulkan и DirectX 12 при реализация на едни и същи оптимизационни алгоритми, като са измерени резултатите при различни разделителни способности.

Особено съществено е, че методиката е експериментално ориентирана. Разработеният rendering engine е тестван върху различни сцени и конфигурации, а получените резултати са използвани за оценка на производителността, платформената независимост и приложимостта на предложените алгоритми. Така методиката не се ограничава до теоретичен анализ, а осигурява възможност за количествена проверка на поставените хипотези и на ефективността на предложените решения.

Считам, че използваните в дисертацията методи, подходи и средства за анализ са адекватни на поставената цел и задачи.

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

Приемам всички заявени от маг. инж. Георги Георгиев приноси, които той е формулирал като:

Научни:

- 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;

- 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.

Научноприложни:

- 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;

- 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;

- 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.

Приложни:

- 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;

- 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;

- 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.

5. Преценка на публикациите по дисертационния труд

Докторантът е представил 4 публикации, които са разработени по време на докторантурата. Публикациите са свързани с проблемите, и задачите решавани в дисертацията. Същите са представени в международни конференции, като са отпечатани в пълен текст. Три от публикациите (под номера 1,3 и 4) са представени през различни години (2023, 2025, 2026-приета за печат) на международната конференция International Scientific Conference on Computer Science (COMSCI), Sozopol, Bulgaria, която е индексирана в Scopus. Публикация под номер 2 е представена на 60th International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies (ICEST), Ohrid, North Macedonia, 2025, която е индексирана в Scopus и Wos. В една от публикациите Г. Георгиев е единствен автор а в останалите три е първи съавтор заедно с един от двамата си научни ръководители. Сборът от точките на публикациите на докторанта надвишава трикратно изискуемия минимум, заложен в

Правилника за условията и реда за придобиване на научната степен "Доктор" на ТУ-София по ПН 5.3.

6. Мнения, препоръки и бележки

Нямам особени забележки към дисертационния труд. Той е оформен внимателно и старателно с високо ниво на представяне на научните изследвания и свидетелства за доброто познаване на предметната област.

Считам, че докторантът има научен потенциал за провеждане на самостоятелни изследвания, както в областта на системното програмиране, изкуствения интелект и машинното обучение, така и областта на компютърната графика и рендирането на изображения в реално време.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценката ми относно съдържанието на дисертационния труд и приносите на маг. инж. **Георги Георгиев Георгиев е положителна**. Дисертантът е извършил значителна по обем и съдържание изследователска работа. Дисертационният труд отговаря напълно на изискванията на Закона за развитие на академичния състав на Република България, на Правилника за неговото приложение и на Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени в Техническия Университет – София.

Гореизложеното ми дава основание да препоръчам на Уважаемото Научно жури да **присъди на инж. Георги Георгиев Георгиев образователната и научната степен „доктор“** по професионално направление 5.3 Комуникационна и компютърна техника, научна специалност „Системно програмиране“.

София, 31. 08. 2026 г.

Член на журито:

/проф. д-р инж. А. Атанасов/

OPINION

**on a dissertation work for obtaining a scientific degree "Doctor"
professional direction 5.3 "Communication and computer technology"
scientific specialty "System Programming"**

Author of the dissertation: MSc, Eng. Georgi Georgiev Georgiev

Dissertation title: "Platform independent applications using GPU and machine learning"

Member of the scientific jury: Prof. Dr. Eng. Atanas Velkov Atanasov, UCTM-Sofia

1. Actuality of the dissertation

The relevance of the dissertation work is determined by the growing importance of graphics processors as a high-performance platform for parallel computing, computer graphics and machine learning. Modern real-time rendering applications require both high performance, photorealistic quality and the ability to work on different hardware and software platforms. At the same time, existing GPU solutions are often tied to specific architectures, programming interfaces, and operating systems, which complicates the development of portable software and limits the effective use of the computational potential of modern graphics processors. In this context, the problem of creating a unified and platform-independent environment for GPU applications that combines graphics and computational processes is particularly relevant. The dissertation explores this problem using Vulkan and Rust, while simultaneously considering the optimization of real-time ray tracing using modern algorithms such as ReSTIR. The integration of machine learning methods for AI-based scaling to high resolutions and generation of intermediate frames in order to reduce the computational load while maintaining acceptable visual quality is of additional relevance.

The relevance is both scientific and applied, as the proposed solutions are implemented in a prototype of a platform-independent rendering engine and are experimentally evaluated under different operating systems and graphical environments. The obtained results show the possibility of achieving comparable performance without using platform-specific implementations, which confirms the practical significance of the studied problem.

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

The PhD. student Georgi Georgiev demonstrates a high level of knowledge of the state of the art of the problem under study. He has made a systematic analysis of modern approaches to high-performance graphics and GPGPU programming, examining the main programming interfaces and technologies, including CUDA, OpenCL, OpenGL and Vulkan, as well as their advantages and limitations in terms of performance, portability and platform independence. Particular attention is paid to modern methods for real-time ray tracing, path tracing, ReSTIR DI and ReSTIR GI, as well as the use of machine learning for image scaling (image upscaling) and generation of intermediate frames.

The literature material (108 literary sources in Latin) is not only presented descriptively, but is subjected to comparative and critical analysis. The author brings out specific limitations of existing solutions - for example, the dependence of CUDA on NVIDIA hardware and the

limitations of existing AI-based methods for scaling and frame generation in terms of platform independence and integration into existing rendering systems.

After a creative interpretation of the literature, the PhD student proposed a conceptual model for a real-time rendering system based on a unified programming model using Vulkan, as well as a functional-imperative approach combining safe resource management, modularity, and effective use of multi-core architectures.

As a result of the analysis, the author not only identified the existing scientific and technological limitations, but also used them as a basis for formulating his own solution, which was subsequently implemented and experimentally verified through a prototype of a platform-independent rendering engine.

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

The chosen research methodology is adequate and in direct accordance with the set goal and formulated tasks of the dissertation. The goal is aimed at exploring the possibilities of creating a unified and platform-independent software for GPU applications in computer graphics and its integration with machine learning. To achieve it, tasks have been set, covering the development of a platform-independent architecture and a unified programming model, optimization of ray tracing and research of machine learning methods for high-resolution rendering and frame generation.

The methodology consistently includes analysis and comparison of existing technologies and program interfaces, design of architectural solutions, development of algorithms and a prototype, as well as experimental verification and comparative evaluation of the obtained results. This approach allows the theoretical statements to be verified practically on real GPU architectures and different software environments. For example, in the dissertation, a comparison has been made between the Vulkan and DirectX 12 graphic interfaces when implementing the same optimization algorithms, and the results have been measured at different resolutions.

It is particularly important that the methodology is experimentally oriented. The developed rendering engine has been tested on various scenes and configurations, and the results obtained have been used to assess the performance, platform independence and applicability of the proposed algorithms. Thus, the methodology is not limited to theoretical analysis, but provides an opportunity for quantitative verification of the hypotheses and the effectiveness of the proposed solutions.

I believe that the methods, approaches and analysis tools used in the dissertation are adequate to the set goal and tasks.

4. Scientific and/or applied science contributions of the dissertation.

I accept all contributions stated by MSc. Georgi. Georgiev, which he formulated as:

The scientific:

- 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;

- A functional-imperative approach has been proposed for the development of high-performance real-time graphics applications, based on safe resource management, modularity, and efficient utilization of modern multi-core architectures.

The scientific and applied:

- An architecture for a platform-independent real-time ray tracing rendering engine has been proposed, implemented using Vulkan and the Rust language, which enables the use of a unified model for managing graphics and compute resources across different operating systems without the need for intermediate layers or platform-specific modifications.

- 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 on different GPU architectures.

- An approach has been proposed for using machine learning in image rendering through AI-based image upscaling to high resolutions and real-time intermediate frame generation in order to reduce the computational load in the graphics pipeline while preserving the visual quality of the rendered images.

The applied:

- A methodology has been developed for experimental investigation and comparative evaluation of the performance of platform-independent graphics applications across different operating systems, graphics environments, and graphics interfaces;

- A prototype of a platform-independent real-time ray tracing rendering engine with path tracing has been implemented, using Vulkan and Rust, and experimental tests were conducted with it, demonstrating identical or equivalent performance when running on Windows and Linux environments;

- The capability of achieving comparable performance when using the developed system on different operating systems and graphics environments without employing platform-specific implementations has been experimentally proven.

5. Evaluation of the publications on the dissertation

The PhD student has presented 4 publications that were developed during the doctoral studies. The publications are related to the problems and tasks solved in the dissertation. The same have been presented at international conferences and have been printed in full text. Three of the publications (under numbers 1, 3 and 4) have been presented in different years (2023, 2025, 2026-accepted for publication) at the international conference International Scientific Conference on Computer Science (COMSCI), Sozopol, Bulgaria, which is indexed in Scopus. Publication under number 2 was presented at the 60th International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies (ICEST), Ohrid, North Macedonia, 2025, which is indexed in Scopus and WoS. In one of the publications, G. Georgiev is the sole author and in the other three, he is the first co-author together with one of his two scientific supervisors. The sum of the points of the doctoral student's publications exceeds three times the required minimum set out in the Regulations on the conditions and procedure for acquiring the scientific degree "Doctor" of TU-Sofia under Professional Direction 5.3.

6. Notes, opinions and recommendations

I have no particular comments on the dissertation. It is carefully and thoroughly prepared with a high level of presentation of scientific research and evidence of good knowledge of the subject area.

I believe that the doctoral student has the scientific potential to conduct independent research, both in the field of system programming, artificial intelligence and machine learning, and in the field of computer graphics and real-time image rendering..

CONCLUSION

My assessment of the content of the dissertation and the contributions of **MSc. Eng. Georgi Georgiev Georgiev is positive**. The dissertation candidate has carried out significant research work in terms of volume and content. The dissertation fully meets the requirements of Law on the Development of the Academic Staff of the Republic of Bulgaria, the Regulations for its Application and the Regulations for the Conditions and Procedures for Acquiring Scientific Degrees at the Technical University - Sofia.

The above gives me reason to recommend to the Honorable Scientific Jury **to award MSc. Eng. Georgi Georgiev Georgiev the educational and scientific degree "Doctor"** in professional direction 5.3 Communication and Computer Engineering, scientific specialty "System programming".

Sofia, 31. 08. 2026

Jury member:

/Prof. Dr. Eng. Atanas Atanassov/