

УДК 004.94

<https://doi.org/10.32362/2500-316X-2021-9-3-58-65>

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

Методика точечной визуализации напряженности электрического поля в пространстве и времени

З.М. Курбанисмаилов,
А.Т. Тарланов[@],
Э.М. Акимов

МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, 119454 Россия

[@] Автор для переписки, e-mail: lev.brave@gmail.com

Резюме. Тестирование электронных устройств является неотъемлемой частью технологического процесса любого производителя такой техники. Под электронным устройством в данном случае понимается энергоемкая единица такая, как мобильный телефон, центр обработки данных или космический аппарат. Одним из ключевых этапов тестирования является выявление влияния электрических полей на различные электронные компоненты устройства. Данный этап зачастую требует изготовления макета некоторой части незаконченного устройства с целью фиксации помех специальным оборудованием. Это требует временных, финансовых и человеко-ресурсных расходов. С целью уменьшения данных издержек в настоящее время становится популярным использование средств математического моделирования для задач проверки помехоустойчивости и электромагнитной совместимости. В работе предложено использовать легко встраиваемый в приложения алгоритм визуализации электрических полей в трехмерном пространстве и времени, как компонент системы математического моделирования. В работе рассмотрены три способа визуализации напряженности электрического поля: начиная от простого задания точек в пространстве, на основе которых будет строиться электрическое поле вокруг источника излучения электрического поля, заканчивая применением алгоритмов, позволяющих расставить точки равномерно, исходя из заданного их количества в пространстве для формирования электрического поля. Проанализирована производительность и визуальная составляющая этих способов. Предложенная в работе методика будет полезна сообществу разработчиков, как встраиваемое решение по точечной визуализации электрического поля в любой проект на любом алгоритмическом языке с возможностью анимации во времени.

Ключевые слова: электрическое поле, напряженность, визуализация, моделирование, компьютерная графика, анимация

• Поступила: 25.05.2020 • Доработана: 25.08.2020 • Принята к опубликованию: 09.03.2021

Для цитирования: Курбанисмаилов З.М., Тарланов А.Т., Акимов Э.М. Методика точечной визуализации напряженности электрического поля в пространстве и времени. *Российский технологический журнал*. 2021;9(3):58–65. <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2021-9-3-58-65>

Прозрачность финансовой деятельности: Никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

RESEARCH ARTICLE

The technique of point visualization of the electric field in space and time

Zaur M. Kurbanismailov,
Arslan T. Tarlanov[@],
Emil M. Akimov

MIREA – Russian Technological University, Moscow, 119454 Russia

[@] Corresponding author, e-mail: lev.brave@gmail.com

Abstract. Testing of electronic devices is an integral part of the technological process of any manufacturer of such equipment. In this case, an electronic device is understood as an energy-intensive unit such as a mobile phone, data center or spacecraft. One of the key stages of testing is to identify the effect of electric fields on various electronic components of the device. This stage often requires making a mock-up of some part of an unfinished device in order to fix interference with special equipment. This requires time, financial and human resource costs. In order to reduce these costs in the modern world, the use of mathematical modeling tools for testing noise immunity and electromagnetic compatibility is becoming popular. In this paper, it is proposed to use an algorithm for visualizing electric fields in three-dimensional space and time. The algorithm is easily embedded into applications as a component of a mathematical modeling system. The work considered three ways of visualizing the electric field strength: starting from a simple setting of points in space, on the basis of which the electric field will be built, around the source of electric field radiation, to the use of algorithms that make it possible to arrange points equidistantly based on a given number of points in space for the formation of an electric field. The performance and visual implications of these methods were analyzed. The proposed methodology will be useful to the developer community as an embedded solution for point visualization of the electric field in any project in any algorithmic language with the ability to animate in time.

Keywords: electric field, intensity, visualization, modeling, computer graphics, animation

• Submitted: 25.05.2020 • Revised: 25.08.2020 • Accepted: 09.03.2021

For citation: Kurbanismailov Z.M., Tarlanov A.T., Akimov E.M. The technique of point visualization of the electric field in space and time. *Rossiiskii tekhnologicheskii zhurnal = Russian Technological Journal*. 2021;9(3):58–65 (in Russ.). <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2021-9-3-58-65>

Financial disclosure: No author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

The authors declare no conflicts of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня темпы производства электронных устройств весьма велики. Это объясняется большим спросом на товары разных электронных категорий и огромным количеством заводов-производителей. Люди нуждаются в бытовых и иных электронных устройствах, потому что их использование предоставляет больше свободного времени, возможность коммуникаций, однако мало кто задумывается о том, какие этапы проходит электронное устройство до того, как появится на прилавках магазинов.

В разных странах применяются разные подходы к производству, однако в любом из них используется многоэтапное тестирование устройства,

позволяющее выявить недочеты, связанные с реализованными техническими или софтверными решениями. Как правило, эти этапы требуют изготовления некоторого необходимого для тестирования количества деталей, что влечет за собой дополнительные финансовые и временные затраты.

Электроника – это комплекс сложных технологий и устройств, требующих внимательного отношения к их проектированию [1]. От качества компоновки электронных элементов в устройстве зависит то, насколько быстро компании приступят к производству. Игнорирование этого этапа может обойтись проекту в несколько раз дороже.

Методика, описанная в данной работе, позволяет сократить финансовые, человеко-ресурсные и временные

затраты компаний, минуя некоторые этапы тестирования за счет компьютерного моделирования электрических полей в пространстве и во времени [2]. Обладая простой реализацией, хорошей производительностью и точностью представления информации, данная методика может быть привлекательной для компаний, ориентированных на производство электронных устройств.

СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЗИЦИЙ РАСЧЕТНЫХ ТОЧЕК

Для точечной визуализации напряженности электрического поля в пространстве и во времени необходимо сначала определить позицию точек расчета. Точками расчета (желтые точки на рис. 1) мы будем называть точки в пространстве, для которых рассчитаны значения напряженности электрического поля, излучаемого электронным устройством [3]. Существует несколько способов определения позиций точек.

Первый способ – задать точки вручную [4, 5]. Данный способ является не всегда удобным, так как требует больших человеко-ресурсных и временных затрат.

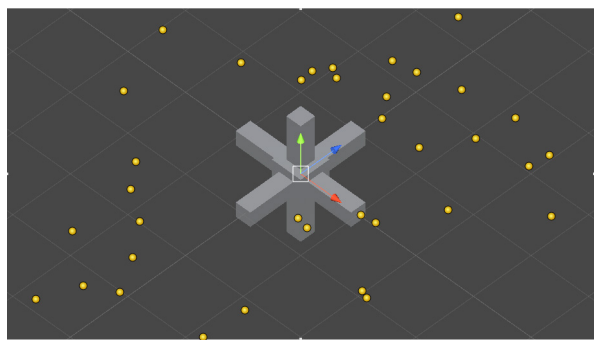


Рис. 1. Способ задания точек вручную

Сложность инстанциации точек расчета [6] в данном случае можно вычислить по формуле:

$$O = C \cdot P, \quad (1)$$

где C – количество заданных вручную позиций точек; P – количество операций, необходимое для создания точки.

Второй способ (рис. 2) – высчитать точки, равноудаленные по направлению нормалей плоскостей трехмерной модели электронного устройства [7]. Это реализуется с помощью специального алгоритма, учитывающего позицию и нормали вершин и плоскостей трехмерной модели, однако данный способ, как правило, требует намного больше вычислительной производительности, и к тому же алгоритм не способен одинаково хорошо обрабатывать модели с множеством мелких деталей и крупногабаритные модели, потому что в некоторых случаях между точками остаются большие объемы неучтенного пространства.

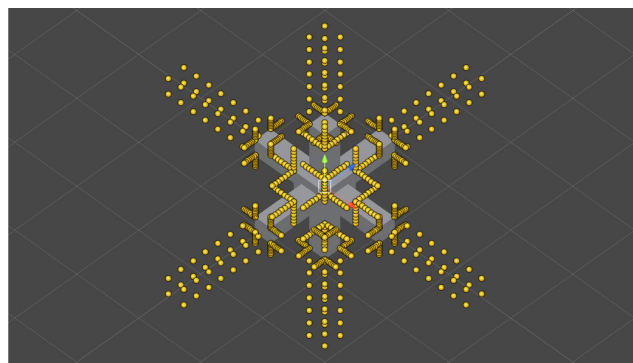


Рис. 2. Способ задания точек на основе формы объекта

В данном случае формула расчета сложности создания точек расчета будет иметь следующий вид:

$$O = C \cdot P + CN \cdot (P + NP), \quad (2)$$

где C – количество точек, «вшитых» в трехмерную модель; P – количество операций, необходимое для создания точки; CN – количество точек, создаваемых вдоль направления нормали точки трехмерной модели электронного устройства; NP – количество операций, необходимое для определения позиции точки, расположенной вдоль нормали.

Третий способ – использовать алгоритм для задания равноудаленных друг от друга позиций расчетных точек [8]. Этот способ одинаково хорошо работает для трехмерных моделей любой сложности и формы, а также обладает возможностью легко и интуитивно контролировать разрешение напряженности электрического поля.

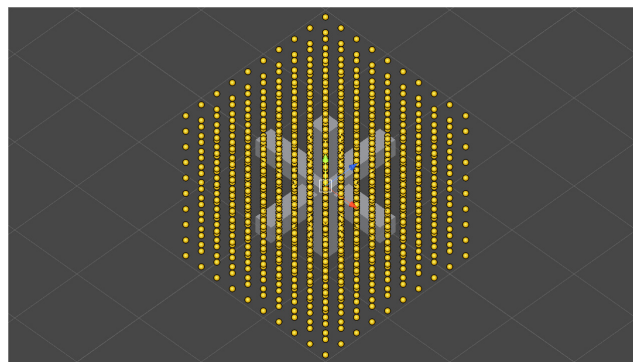


Рис. 3. Способ равноудаленного задания точек с необходимым разрешением

Формула сложности в этом случае имеет вид:

$$O = \text{Ceil}(R \cdot \text{Max}(Lx, Ly, Lz))^3, \quad (3)$$

где Ceil – функция округления вверх; R – разрешение электрического поля (количество точек на метр); Max – функция нахождения максимума; Lx , Ly и

Lz – длины сторон (в метрах), описывающие куб, в который вписана трехмерная модель.

Третий способ, хотя и требует большего числа операций, обладает преимуществами перед первыми двумя, так как не требует времени на ручную установку точек и автоматически равномерно покрывает все необходимое пространство расчетными точками независимо от детализации модели.

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Использование алгоритма для задания равноудаленного расположения точек расчета является удобным началом для определения способа визуализации напряженности электрического поля в этих точках. Всякую расчетную точку можно представить как сферу с радиусом, вычисляемым по формуле:

$$Rs = \frac{1}{R}, \quad (4)$$

где R – разрешение электрического поля (количество точек на метр).

Такой размер сферы гарантирует ее пересечение с соседней. Это необходимо для того, чтобы в будущем организовать плавный переход от одного значения напряженности электрического поля к соседнему. Значение напряженности поля сопоставляется с яркостью сферы: чем ярче сфера, тем большее значение было рассчитано в ее центре [9].

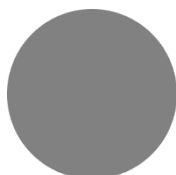


Рис. 4. Поле (сфера) со средним значением

На рис. 4 сфера закрашена в серый цвет, это является причиной того, почему визуально эта сфера

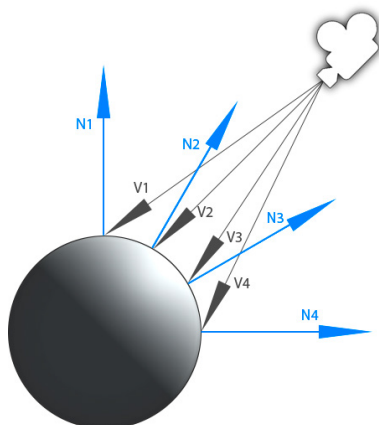


Рис. 5. Векторы взгляда и нормалей

ощущается как круг. Для того чтобы поле выглядело объемным, необходимо применить точечную проекцию инвертированного вектора взгляда камеры на вектор нормали текущего экранного пикселя сферы в глобальном пространстве [10, 11].

На рис. 5 векторы взгляда промаркированы от $V1$ до $V4$, векторы нормали от $N1$ до $N4$. Видно, что чем меньше угол между соответствующими векторами, тем больше освещена поверхность, а на краях, наоборот, наблюдается меньший угол и соответственно меньшая освещенность. Формула освещенности, описывающая данное поведение, выглядит так:

$$D = |\mathbf{V}| \cdot |\mathbf{N}| \cdot \cos(\theta), \quad (5)$$

где $\mathbf{V}$ – нормализованный вектор взгляда; $\mathbf{N}$ – нормализованный вектор нормали; θ – угол между векторами.

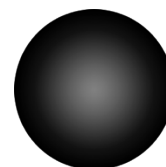


Рис. 6. Результат обработки векторов $\mathbf{V}$ и $\mathbf{N}$

В результате (рис. 6) на краях сферы по формуле (5) вычисляется нулевая освещенность (абсолютно черный цвет), потому что векторы расположены перпендикулярно друг другу. Чтобы края не были абсолютно черными, дополним предыдущую формулу следующей:

$$DR = L2 + D \cdot (1 - L2), \quad (6)$$

где D – результат проекции векторов (5); $L2$ – будущее минимальное значение.

Формула (6), по сути, линейно масштабирует текущее значение согласно заданному новому минимальному, что в результате сделает края более освещенными, если в качестве $L2$ задать значение в диапазоне $0 \leq L2 \leq 1$ [12].

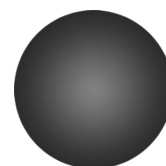


Рис. 7. Результат масштабирования проекции векторов

При таком отображении визуализировать переход между напряженностями расчетных точек невозможно, так как переход будет очень строгим

и мгновенным, а также сферы, расположенные к экрану ближе, будут заслонять те, что расположены дальше. Для организации линейного перехода от одной расчетной точки к другой необходимо линейно увеличивать прозрачность на краях сферы. Для этого хорошо подходит значение, которое получается в результате применения формулы (6). Если говорить проще, яркость поля определяет его непрозрачность. Чем выше яркость, тем меньше прозрачность. Однако необходимо превратить результат этой формулы в 4-компонентный вектор, представляющий цвет сферы в RGB цветовом режиме [13]:

$$\mathbf{RM} = [DR, DR, DR, DR], \quad (7)$$

где DR – итоговый монохромный цвет пикселя сферы из (6).

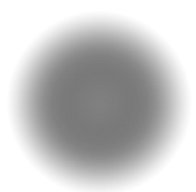


Рис. 8. Использование альфа-канала для линейного угасания поля

Компоненты вектора $\mathbf{RM}$ представляют R, G, B и A (альфа) каналы, соответственно. Дополнительный канал A необходим для того, чтобы организовать угасание напряженности поля: чем меньше его значение, тем больше прозрачность. Таким образом на краях достигается полная прозрачность.

Этот подход позволяет избавиться от ненужных помех на трехмерной карте электрического поля всех точек. Однако при большом количестве расчетных точек поля будут накладываться друг на друга, что создаст проблемы в плане понимания исследователем, в каком именно месте происходит превышение значения напряженности электрического поля.

Как видно из рис. 9, наложение полей приводит к тому, что визуально невозможно понять, в какой точке имеется превышение значения напряженности, так как почти полностью прозрачные поля наложились друг на друга, и изображение выглядит как одно большое поле. Помимо этого, напряженность поля необходимо отображать в ходе времени. Ход времени можно представить как упорядоченный по возрастанию массив чисел с плавающей точкой, представляющих конкретные значения времени (шаг), для которых надо выполнить расчет напряженности электрического поля.

Чтобы решить обе описанные выше проблемы, необходимо сопоставить минимальному и максимальному значениям напряженности электрического поля на всем отрезке времени соответствующие им цвета. Тогда поле можно отображать не как черно-белую сферу, а как цветную. Цветовая разница позволяет без труда обнаружить место превышения напряженности электрического поля.

Принято полям сопоставлять цвета из стандартной цветовой карты температур: голубой – минимальное значение напряженности поля, желтый – среднее, красный – максимальное.

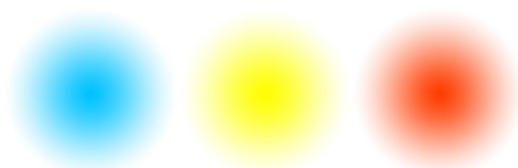


Рис. 10. Цветовая температура (минимальный, средний, максимальный)

Смежные значения интерполируются (покомпонентно) между голубым и красным цветами через желтый по формуле [14]:

$$NC = \frac{CF}{MF} \cdot MC, \quad (8)$$

где CF – значение напряженности электрического поля в текущей точке; MF – максимальное значение

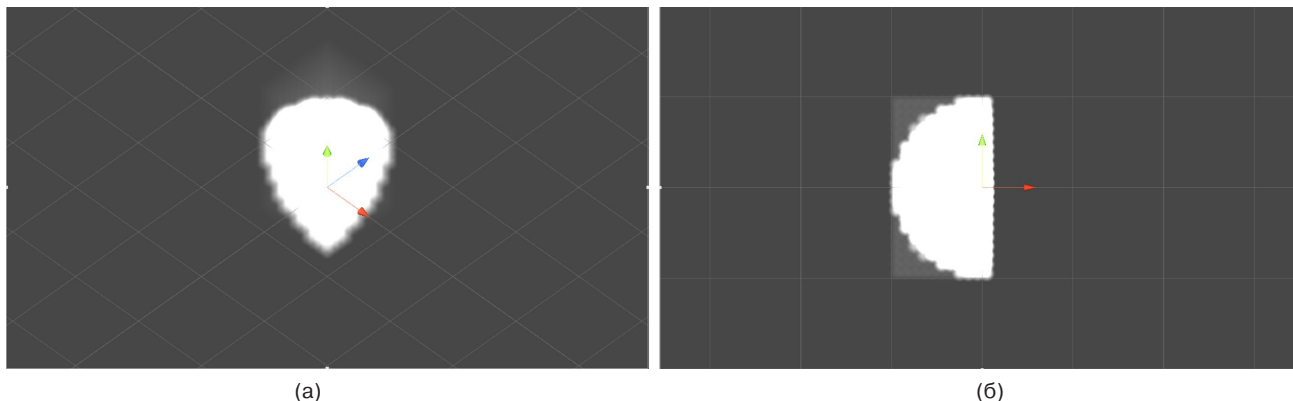


Рис. 9. Наложение полей: перспектива (а) и вид сбоку (б)

напряженности электрического поля среди всех точек на всем отрезке времени; MC – цвет максимальной напряженности электрического поля на всем отрезке времени.



Рис. 11. Интерполяция цветов

Интерполированные цвета умножаются на вычисленное по формуле (6) значение напряженности поля в заданной точке:

$$Result = DR \cdot Color, \quad (9)$$

где DR – монохромный цвет сферы; $Color$ – четырехкомпонентный вектор, представляющий цвет сферы (RGB) и ее прозрачность (A).

В результате после расчета всех точек электрического поля получим картину, показанную на рис. 12.

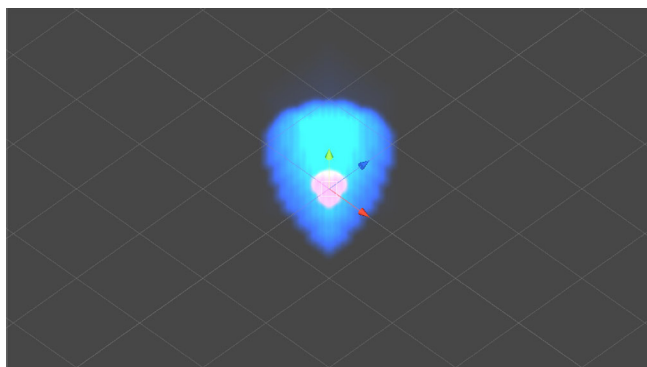


Рис. 12. Наложение полей с разграничением по цвету

Видно, что в центре сферы есть участок красного цвета – это расчетные точки с превышением напряженности, им соответствует максимальное значение среди всех рассчитанных точек во времени [15]. В большинстве случаев распознаваемость превышений на визуальном уровне не будет вызывать проблем, например, как на рис. 13, в котором для расчета напряженности электрического поля использовались формулы из [16].

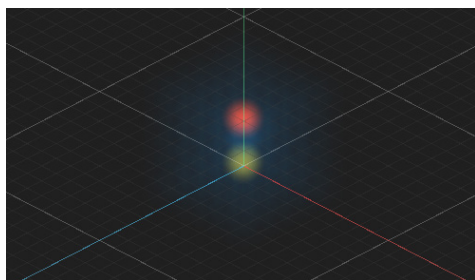


Рис. 13. Визуализация электрического поля на конкретной модели

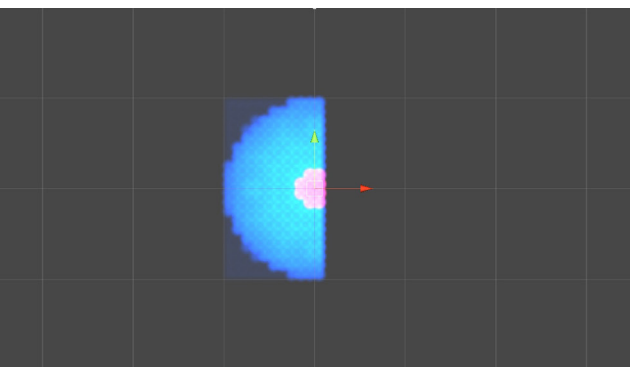
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

На рынке программного обеспечения существует множество программ, позволяющих работать с параметрами электрических полей, однако они обладают сложным интерфейсом, часто требуют навыков программирования, не все из них способны визуализировать электрическое поле в трехмерном пространстве вместе с моделью электронного устройства и во времени. При этом часть из них требует покупки лицензии.

Предложенная методика будет полезной сообществу разработчиков как встраиваемое решение по точечной визуализации электрического поля в любой проект на любом алгоритмическом языке с возможностью анимации во времени.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе были рассмотрены три способа генерации расчетных точек для вычисления параметров электрических полей. Следуя балансу между скоростью работы и качеством представления



рассчитываемого поля, был выбран способ равноудаленной генерации точек, так как он обладает неплохой производительностью и одновременно с этим – равномерным распределением точек расчета независимо от сложности и формы трехмерной модели, а также легкостью контроля качества представления электрического поля.

Предложено решение визуализации расчетных точек в виде сферических полей с цветом, соответствующим стандартной цветовой маркировке температуры (от синего до красного). При этом цвет центра соответствует цвету рассчитанного значения напряженности, а цвет края сфер угасает в соответствии со значением альфа-канала, что позволило реализовать линейное смешивание (переливание цветов) расположенных друг за другом полей.

На примере нескольких моделей и расчетов было выявлено, что наблюдателю установить точки условного превышения значения напряженности электрических полей во времени не составляет труда.

Методика обладает высокой производительностью и способна работать на компьютерах слабой мощности, а также легко встраивается в решения на языках программирования разного уровня.

Вклад авторов. Все авторы в равной степени внесли свой вклад в исследовательскую работу.

Authors' contribution. All authors equally contributed to the research work.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Покотило С.А., Панкратов В.И. *Электротехника и электроника*. Ростов-на Дону: Феникс; 2018. 283 с. ISBN 978-5-22229-376-8
2. Беневоленский С.Б., Марченко А.Л. *Основы электротехники*. М.: ФИЗМАТЛИТ; 2011. 565 с. ISBN 978-5-94052-117-4
3. Тарланов А.Т., Курбанисмаилов З.М. Учет магнитного поля системы электроснабжения энергоемкого технического объекта. *Российский технологический журнал*. 2020;8(6):130–142. <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2020-8-6-130-142>
4. Хокинг Д. *Unity в действии*. СПб.: Питер; 2019. 352 с. ISBN 978-5-44610-816-9
5. Бонд Д.Г. *Unity и C#. Геймдев от идеи до реализации*. М.: Питер; 2019. 925 с. ISBN 978-5-44610-715-5
6. Roughgarden T. *Algorithms Illuminated. Part 1. The Basics*. Soundlikeyourself Publisher, LLC; 2017. 220 p. ISBN 978-0-99928-291-5
7. Торн А. *Искусство создания сценариев в Unity*: пер. с англ. М.: ДМК Пресс; 2019, 360 с. ISBN 978-5-97060-381-9
8. Вазирани У., Дасгупта С., Пападимитриу Х. *Алгоритмы*. М.: МЦНМО; 2019. 320 с. ISBN 978-5-44392-893-7
9. Мартин Р. *Чистая архитектура. Искусство разработки программного обеспечения*. СПб.: Питер; 2018. 352 с. ISBN 978-5-4461-0772-8
10. Планк М. *Введение в теоретическую физику. Ч. 3. Теория электричества и магнетизма*. М.-Л.: ГТТИ; 1933. 184 с.
11. Вольф Д. *Язык шейдеров*. М.: ДМК Пресс; 2015. 368 с. ISBN 978-5-97060-255-3
12. Eimandar P. *DirectX 11.1 Game Programming*. Packt Publisher; 2013. 146 p. ISBN 978-978-1-84969-480-3
13. Ламмерс К. *Шейдеры и эффекты в Unity*. М.: ДМК Пресс; 2016. 274 с. ISBN 978-5-97060-213-3
14. Боресков А. *Программирование компьютерной графики*. М.: ДМК Пресс; 2019. 370 с. ISBN 978-5-97060-779-4
15. Mobeen M.M. *OpenGL Development Cookbook*. Packt Publisher; 2013. 326 p. ISBN 978-1-84969-504-6
16. Лоторейчук Е.А. *Расчет электрических и магнитных цепей и полей*. М.: Инфра-М; 2009. 272 с. ISBN 5-8199-0170-3

REFERENCES

1. Pokotilo S.A., Pankratov V.I. *Elektrotehnika i elektronika (Electrical and Electronic)*. Rostov-on-Don: Feniks; 2018. 283 p. (in Russ.). ISBN 978-5-22229-376-8
2. Benevolenskii S.B., Marchenko A.L. *Osnovy elektrotehniki (Fundamentals of Electrical Engineering)*. Moscow: FIZMATLIT; 2011. 565 p. (in Russ.). ISBN 978-5-94052-117-4
3. Tarlanov A.T., Kurbanismailov Z.M. Accounting of the magnetic field of the power supply system of a power-capacitive technical object. *Rossiiskii tekhnologicheskii zhurnal = Russian Technological Journal*. 2020;8(6):130–142 (in Russ.). <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2020-8-6-130-142>
4. Hocking J. *Unity v deistvii (Unity in Action)*. Saint Petersburg: Piter; 2019. 352 p. (in Russ.). ISBN 978-5-44610-816-9
5. Bond D.G. *Unity i C#. Geimdev ot idei do realizatsii (Unity and C #. Game development from idea to implementation)*. Moscow: Piter; 2019. 925 p. (in Russ.). ISBN 978-5-44610-715-5
6. Roughgarden T. *Algorithms Illuminated. Part 1. The Basics*. Soundlikeyourself Publisher, LLC; 2017. 220 p. ISBN 978-0-99928-291-5
7. Torn A. *Iskusstvo sozdaniya scenariyev v Unity (The art of scripting in Unity)*. Moscow: DMK Press; 2019. 360 p. (in Russ.). ISBN 978-5-97060-381-9
8. Vazirani U., Dasgupta S., Papadimitriu H. *Algoritmy (Algorithms)*. Moscow: MCNMO; 2019. 320 p. (in Russ.). ISBN 978-5-44392-893-7
9. Martin R. *Chistaya arkhitektura. Iskusstvo razrabotki programmogo obespecheniya (Pure architecture. The art of software development)*. Saint Petersburg: Piter; 2018. 352 p. (in Russ.). ISBN 978-5-4461-0772-8
10. Plank M. *Vvedenie v teoreticheskuyu fiziku. Ch. 3. Teoriya elektrichestva i magnetizma (Introduction to theoretical physics. V. 3. Theory of electricity and magnetism)*. Moscow-Leningrad: GTTI; 1933. 184 p. (in Russ.).
11. Vol'f D. *Yazyk sheiderov (The language of shaders)*. Moscow: DMK Press; 2015. 368 p. (in Russ.). ISBN 978-5-97060-255-3
12. Eimandar P. *DirectX 11.1 Game Programming*. Packt Publisher; 2013. 146 p. ISBN 978-1-84969-480-3
13. Lammers K. *Sheidery i efekty v Unity (Shaders and Effects in Unity)*. Moscow: DMK Press; 2016. 274 p. (in Russ.). ISBN 978-5-97060-213-3
14. Boreskov A. *Programmirovaniye komp'yuternoi grafiki (Computer Graphics Programming)*. Moscow: DMK Press; 2019. 370 p. (in Russ.). ISBN 978-5-97060-779-4
15. Mobeen M.M. *OpenGL Development Cookbook*. Packt Publisher; 2013. 326 p. ISBN 978-1-84969-504-6
16. Lotoreichuk E.A. *Raschet elektricheskikh i magnitnykh tsepei i polei (Calculation of electrical and magnetic circuits and fields)*. Moscow: Infra-M; 2009. 272 p. (in Russ.). ISBN 5-8199-0170-3

Об авторах

Курбанисмаилов Заур Магомедович, преподаватель кафедры КБ-4 «Интеллектуальные системы информационной безопасности» Института комплексной безопасности и специального приборостроения ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78). E-mail: kurbanismaiлов.92@gmail.com. Scopus Author ID: 57222128790, <https://orcid.org/0000-0002-5388-049X>

Тарланов Арслан Тарланович, преподаватель кафедры КБ-4 «Интеллектуальные системы информационной безопасности» Института комплексной безопасности и специального приборостроения ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78). E-mail: lev.brave@gmail.com. Scopus Author ID: 57222129018, <https://orcid.org/0000-0002-7508-9682>

Акимов Эмиль Муратович, студент кафедры КБ-4 «Интеллектуальные системы информационной безопасности» Института комплексной безопасности и специального приборостроения ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78). E-mail: akimov.emil.muratovich@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-3129-8191>

About the authors

Zaur M. Kurbanismaiлов, Lecturer, Department of Intelligent Information Security Systems, Institute for Integrated Security and Special Instrument Engineering, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo pr., Moscow, 119454 Russia). E-mail: kurbanismaiлов.92@gmail.com. Scopus Author ID: 57222128790, <https://orcid.org/0000-0002-5388-049X>

Arslan T. Tarlanov, Lecturer, Department of Intelligent Information Security Systems, Institute for Integrated Security and Special Instrument Engineering, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo pr., Moscow, 119454 Russia). E-mail: lev.brave@gmail.com. Scopus Author ID: 57222129018, <https://orcid.org/0000-0002-7508-9682>

Emil M. Akimov, Student, Department of Intelligent Information Security Systems, Institute for Integrated Security and Special Instrument Engineering, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo pr., Moscow, 119454 Russia). E-mail: akimov.emil.muratovich@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-3129-8191>