

Научная статья

УДК 004.519.8; DOI: 10.61260/2218-13X-2025-2-125-133

РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ ПО ВСЕЙ 3D-МОДЕЛИ УЧАСТКА МЕСТНОСТИ ДЛЯ АВИАЦИОННОГО ТРЕНАЖЕРА

✉ Кувшинова Ольга Александровна.

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, г. Пенза, Россия.

Роганов Владимир Робертович.

Пензенский государственный технологический университет, г. Пенза, Россия

✉ oly791702@rambler.ru

Аннотация. В настоящее время одним из ключевых направлений подготовки лётчиков является обучение их решению навигационных задач. Для этого используются авиационные тренажёры, которые позволяют отрабатывать полёты над 3D-моделью местности. Причём размеры такой модели могут достигать 1500×1500 км, что даёт возможность видеть 3D-объекты в поворотных точках маршрута на протяжении всего полёта. Раньше такие задачи решались только на тренажёрах с моделями аэродромов, размер которых не превышал 15×15 км. Это ограничение было связано с нехваткой исследований в области распределения ресурсов компьютерного генератора изображений на больших площадях. Цель данного исследования – разработка математических методов, которые позволят оценивать и оптимизировать информационные процессы и ресурсы генератора изображений. Это поможет равномерно распределять их по всей плошади модели местности, что значительно улучшит качество подготовки пилотов.

Ключевые слова: авиационный тренажёр, компьютерный генератор изображения, решение задачи распределение ресурсов, 3D-модель реперных объектов

Для цитирования: Кувшинова О.А., Роганов В.Р. Разработка метода распределения ресурсов по всей 3D-модели участка местности для авиационного тренажера // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербург. ун-та ГПС МЧС России». 2025. № 2. С. 125–133. DOI: 10.61260/2218-13X-2025-2-125-133.

Scientific article

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR DISTRIBUTION OF RESOURCES OVER THE WHOLE 3D MODEL OF A TERRAIN FOR AN AIRCRAFT SIMULATOR

✉ Kuvshinova Olga A.

Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russia.

Roganov Vladimir R.

Penza State Technological University, Penza, Russia

✉ oly791702@rambler.ru

Abstract. Currently, one of the key tasks in pilot training is teaching them to solve navigation problems. For this purpose, aviation simulators are used, which allow practicing flights over a 3D model of the terrain. Moreover, the size of such a model can reach up to 1500×1500 km, making it possible to see 3D objects at key points of the route throughout the flight. Previously, such tasks were only performed on simulators with airport models, the size of which did not exceed 15×15 km. This limitation was due to the lack of research in the field of distributing computer image generator resources over large areas. The goal of this work is to develop mathematical methods that will allow for the evaluation and optimization of information processes and resources of the image generator. This will help distribute them evenly across the entire area of the terrain model, significantly improving the quality of pilot training.

Keywords: aviation simulator, computer image generator, solution to the problem of distribution of information resources, 3D model of reference objects

For citation: Kuvshinova O.A., Roganov V.R. Development of a method for distribution of resources over the whole 3D model of a terrain for an aircraft simulator // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2025. № 2. P. 125–133. DOI: 10.61260/2218-13X-2025-2-125-133.

Введение

Синтез 3D-модели участка местности в режиме реального времени при полётах на авиационном тренажёре осуществляется имитатором визуальной обстановки. В его состав входит компьютерный генератор изображения (КГИ) – многопроцессорная специализированная программно-техническая система, обрабатывающая исходные данные в виде визуальных и управляющих примитивов [1]. Все примитивы размещены строго по заданным координатам 3D-модели участка местности. Две модели одинаковых по внешнему виду 3D-объектов отличаются друг от друга координатами 3D-полигонаов и хранятся в разных записях базы данных КГИ. В большинстве авиационных тренажеров достаточно точно моделируется только район аэродрома размером не более чем 15×15 км, в центре 3D-модель взлётно-посадочной полосы (ВПП) (рис. 1). В то время как размер 3D-модели участка местности задаётся от 400×400 до 1500×1500 км [2].



Рис. 1. 3D-модель международного аэропорта в центральном сегменте
3D-модели участка местности

КГИ синтезирует на плоскости подключённого к нему дисплея в режиме реального времени видеоряд из центральных 2D-проекций всей 3D-модели местности, попавшей в пирамиду видимости [3, 4]. Тогда для непрерывной визуализации модели местности при полете на авиационном тренажере в любом направлении необходимо решить задачу распределение ресурсов КГИ по всей квадратной 3D-модели участка местности с длиной стороны от 400 до 1500 км [5, 6]. Для решения задачи распределения ресурсов КГИ необходимо выбрать один из методов исследования операций. В статье приведены решения поставленных задач.

Теоретическая часть

В теории машинной графики основополагающими элементами, из которых синтезируется 3D-модель визуально наблюдаемых объектов, являются примитивы типа «охватывающая сфера» [7]. «Охватывающие сферы» могут иметь разную форму: квадрат, треугольник, шестиугольник. «Охватывающая сфера по дальности» — модель в виде сферы, включает в себя описание всех примитивов, принадлежащих модели местности, и направляет их на дальнейшую обработку, если наблюдатель находится на расстоянии не более заданного в описании конкретной охватывающей сферы [8]. «Охватывающая сфера по направлению» —

модель, представляющая собой сферу, которая активизирует сегменты (математическая выпуклая фигура, наложенная на абсолютно ровную подстилающую поверхность), попавшие в след пирамиды видимости, включает в себя описание всех примитивов, принадлежащих модели участка местности, и направляет их на дальнейшую обработку [9]. Модель привязанного к этому управляющему примитиву телесного угла охватывает все сегменты следующего уровня с принадлежащими им примитивами разного типа. При первоначальном этапе синтеза изображения используют управляющие примитивы, попадающие в пирамиду видимости.

Для того, чтобы отсечь невидимую часть 3D-модели района полёта надо отбросить те сегменты S_j на участке местности, которые не попадают в след пирамиды видимости S_p при данном положении подвижного наблюдателя [10]. Задача этом случае сводится к выявлению тех сегментов, которые должны попасть в пирамиду видимости в реальный момент времени.

$$\sigma_j = \begin{cases} 1, & \text{если } S_j \cap S_p \neq \emptyset \\ 0, & \text{если } S_j \cap S_p = \emptyset \end{cases} \quad (1)$$

где S_p – след пирамиды видимости; S_j – площадь сегмента первого уровня.

Таким образом, на первом этапе проверяются все сегменты первого уровня с целью ответить на вопрос – пересекается ли в данный момент времени площадь конкретного сегмента первого уровня с площадью следа пирамиды видимости на расстоянии не далее 30 км от подвижного наблюдателя.

Для реализации (1) необходимо разделить всю 3D-модель участка местности, называемую нулевым сегментом, на сегменты первого уровня. На начальном этапе создания изображения можно выделить сегменты, содержащие примитивы, из которых формируются 3D-модели реперных объектов, видимых в текущий момент. Тогда появляется задача по определению размера сегментов первого уровня, заданных в виде одинаковых квадратов.

Ранее при решении на авиационном тренажёре задач обучения лётчиков профессиональным навыкам пилотирования летательного аппарата в особых условиях полёта от имитатора визуальной обстановки требовалось только синтезировать 3D-модель ВПП аэродрома [11]. При вылете за пределы района полета имитировался вход в «сплошную облачность» и далее полёт проводился с решением навигационных задач по показаниям имитаторов приборов радиотехнических средств самолётования [12]. Такой подход был обусловлен недостаточной производительностью КГИ. В настоящее время повышение производительности КГИ позволяет обучать лётчика решению навигационных задач с визуальной ориентацией по 3D-моделям реперных объектов, находящимся в поворотных пунктах маршрута [13]. При таком подходе нецелесообразно использовать ранее разработанные методы конструирования 3D-модели участка местности, ориентированные на расход всех ресурсов КГИ на синтез модели ВПП и прилегающей местности [14]. Необходимо разработать метод, который обеспечит равномерное распределение всех ресурсов КГИ по всей 3D-модели участка местности.

Как показали результаты исследований [15], на сегодняшний день заказчик ставит задачу разработчикам авиационных тренажёров создавать 3D-модели участков местности размером от 400×400 до 1500×1500 км [16]. В то же время большинство современных КГИ имеют производительность от 1 000 до 300 000 управляющих $N^{(Y)}$ («охватывающая сфера по направлению» (DS_{ni}), «охватывающая сфера по дальности» (DS_{di}) и визуальных $N^{(V)}$ (3D-полигоны (D_i), 3D-огни (D_f) примитивов, которые характеризуются следующими параметрами:

$$N^{(V)} = \{D_i; D_f\},$$

$$D_i = \{D_{(3)}; D_{(4)}; D_{(5)}\},$$

где $D_{(3)}; D_{(4)}; D_{(5)}$ – 3D-полигоны (трехвершинные, четырехвершинные, пятивершинные) [17].

$$N^{(Y)} = \{DD_i; DS_{ni}; DS_{di}\}.$$

Равномерное распределение всех примитивов по площади 3D-модели участка не позволит синтезировать хотя бы один 3D-полигон на $1 \times 1 \text{ км}^2$.

Учитывая, что на 3D-модели участка местности разное число 3D-примитивов и 3D-огней, важно определить количество видимых 3D-примитивов в зависимости от производительности КГИ (рис. 2).

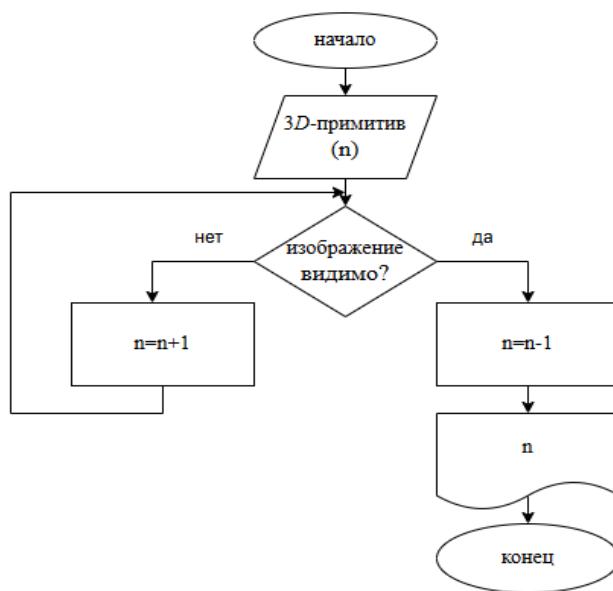


Рис. 2. Определение количества визуальных примитивов в режиме реального времени

Практическая часть

Исследования показали, что для получения точного расчетного времени для обработки визуальных примитивов, попавших в след пирамиды видимости, КГИ «Аксай» производительностью 1 000 полигонов необходимы 1 016 примитивов. Если примитивов больше, чем 1 016, то они не попадают в след пирамиды видимости, и производительности КГИ не хватает для их обработки. В таблице приведены результаты расчетного времени для КГИ «Аксай» производительностью 1000 полигонов.

Таблица

Время для определения примитивов в зависимости от производительности КГИ

Заданное время обработки, мс	Количество примитивов	Расчетное время, мс
120	1 000	112
120	1 005	115
120	1 010	116
120	1 016	118

Появляется задача распределения всех примитивов по сегментам первого уровня. За основу берётся время обработки сегментов первого уровня и 3D-полигоны, принадлежащие нулевому сегменту. Далее решается задача распределения оставшегося ресурса КГИ. Исследования показали, что целесообразно рассчитывать максимально допустимое время на обработку примитивов в каждом сегменте. Есть иные методы решения данной задачи. Один из них – расположить сегменты первого уровня, содержащие 3D-модели реперных объектов, на расстоянии, исключающем возможность обработки моделей другого сегмента.

Исследовался КГИ «Альбатрос» с производительностью 16 000 примитивов (рис. 3). Размер 3D-площади участка местности – 400 км. График числа примитивов в сегментах первого уровня построен с изменяемым шагом размера стороны предполагаемого квадратного сегмента от 1 км и далее.

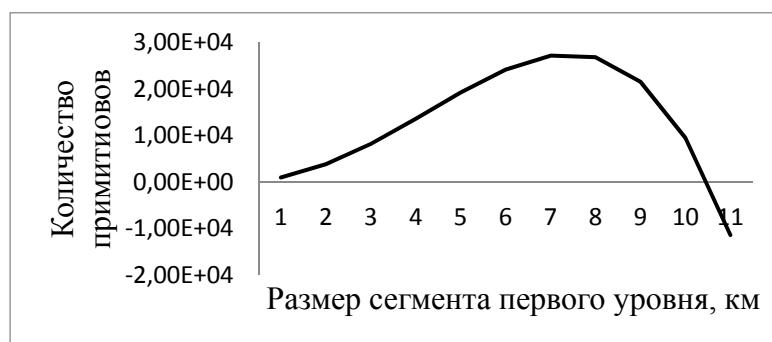


Рис. 3. Распределение количества примитивов в сегменте первого уровня при исследовании КГИ «Альбатрос 16000»

На графике видно превышение числа размещённых примитивов в модели района полётов при определённом размере сегмента первого уровня. Поиск оптимального размера сегмента является задачей исследования операций.

Для поиска решения применялся симплекс-метод, который можно описать так: в его основе лежит последовательное уточнение предварительного результата, удовлетворяющего системе ограничений. Используя затраты времени на обработку видимых примитивов и доказывая линейность затрат времени на обработку разных КГИ в заданных пределах, можно найти оптимальное решение поставленной нецелочисленной задачи. Исследования показали, что для авиационных тренажёров использовался этот метод поиска оптимального размера квадрата сегмента первого уровня с учетом максимально возможных моделей полигонов [18]. Однако симплекс метод предполагает получение дробных переменных и приближенных результатов.

В этом случае целесообразно применить метод Гомори, так как при расчетах количества примитивов, попавших в пирамиду видимости, нельзя использовать часть 3D-полигона или часть 3D-модели огня [19]. Достоинство метода Гомори заключается в том, что он позволяет прийти к конечному оптимальному целочисленному решению за минимальное число итераций. При использовании другого целочисленного метода исследования операций – метода ветвей и границ, полученное решение не всегда позволяет определить точное число примитивов 3D-модели в сегментах первого уровня, и необходимы дополнительные проверки на оптимальность полученного решения [20].

Постановка задачи в методе Гомори позволяет упростить целевую функцию W , которая определяет направление поиска оптимального значения (найти максимальное число визуальных примитивов при заданном размере квадратного сегмента первого уровня), а также задать систему ограничений:

$$W = (c, x) \rightarrow \max, \quad (2)$$

при ограничениях:

$$\begin{cases} 780t_1 - a \leq 0; \\ S - 5.5a \leq 0; \\ St_2 - 11a \leq 0. \end{cases} \quad (3)$$

где: S – размер 3D-модели участка местности, км; t_1 – время обработки примитивов в одном сегменте первого уровня, мс; a – размер сегмента первого уровня, км; t_2 – время, затраченное на выбор активных сегментов первого уровня при полном переборе всех сегментов, мс.

Результаты и обсуждения

Комплексное применение методов целочисленного программирования (2, 3) позволяет повысить эффективность оптимизации деления модели местности на сегменты первого уровня. Решение задачи оптимизации деления района на сегменты первого уровня связано с решением задач большой размерности заданного участка местности.

Заключение

1. Анализ показал, что распределение ресурсов является задачей исследования операций, где отдельно разбираются методы решения целочисленных задач.

2. При полёте на авиационном тренажёре в любом направлении целесообразно распределять ресурсы КГИ так, чтобы не превысить общую производительность КГИ и одновременно синтезировать для лётчика узнаваемое изображение части 3D-модели местности, над которой он пролетает.

3. Предложенный метод распределения информационных ресурсов по всей информационной структуре 3D-модели участка местности, заданной в виде целочисленных примитивов с применением метода Гомори, позволил решить задачу распределения ресурсов КГИ при конструировании 3D-модели местности.

Благодарности/финансирование: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-21-00445, <https://rscf.ru/project/25-21-00445/>.

Список источников

1. Flight simulator information support / V.R. Roganov [et al.] // Defences and Technical Bulletin. 2018. Vol. 11. № 1. P. 90–98.
2. Кувшинова О.А., Ахмед А.Л., Абдулвахаб Х. Особенности имитаторов авиационного тренажёра, синтезирующих для лётчика 3D-модели окружающего пространства в разном диапазоне световых волн // Надежность и качество: сб. трудов Междунар. симпозиума. Пенза, 2023. Т. 2. С. 75–78.
3. Белаго И.В., Кузиковский С.А., Некрасов Ю.Ю. Управление компьютерными генераторами изображений реального времени // Автометрия. 1994. № 6. С. 48–54.
4. Михеев М.Ю., Мещерякова Е.Н., Найниш Л.А. Некоторые аспекты качества синтеза 3D-изображений для специализированных когнитивных обучающих сред // Надежность и качество сложных систем. 2018. № 4 (24). С. 100–107.
5. Роганов В.Р., Михеев М.Ю. Управление ресурсами специализированной системы синтеза изображения района полетов для авиационного тренажера // Авиакосмическое приборостроение. 2023. № 3. С. 48–60.
6. Задачи моделирования района полетов для авиационных тренажеров и операторов беспилотных летательных аппаратов / В.И. Марчук [и др.] // Надежность и качество сложных систем. 2021. № 3 (35). С. 80–86.
7. Кемалов Б.К. К проблеме структурного синтеза моделирующей среды авиационного тренажера // Надежность и качество сложных систем. 2015. № 1 (9). С. 9–16.

8. Кувшинова Е.В., Кувшинова О.А. Специфика имитации изображения в тепловизионном имитаторе авиационного тренажера // Образование и наука в современном мире. Инновации. 2022. № 6 (43). С. 122–129.
9. Роганов В.Р., Кувшинова О.А., Гринцов Д.М. К вопросу о семиотической составляющей видимой для лётчика модели пространства за кабиной авиационного тренажёра // Пром-Инжиниринг: сб. трудов VI Всерос. науч.-техн. конф. Челябинск, 2020. С. 63–67.
10. Есимова Н.С., Кувшинова О.А., Аль-Амиди М.А.Д. Особенности окрашивания 3D-моделей, синтезируемых в режиме реального времени методами машинной графики // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2023. Т. 12. № 2 (62). С. 41–47.
11. Коваленко Г.В. Моделирование в профессиональной подготовке летного состава гражданской авиации. М.: ВИНИТИ, 1992. 136 с.
12. Особенности синтеза визуально наблюдаемой во время полета 3D-модели внешней среды для авиационного тренажера / М.Ю. Михеев [и др.] // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2023. № 10. С. 14–24.
13. Ковалев А.М., Талныкин Э.А. Машинальный синтез визуальной обстановки // Автометрия. 1984. № 4. С. 78–83.
14. Затуливетер Ю.С., Фищенко Е.А. К компьютерно-сетевым архитектурам для цифровой трансформации больших систем // Программные системы: теория и приложения. 2020. Т. 11. № 3 (46). С. 85–131.
15. Шукшунов В.Е. Автоматизированные обучающие системы профессиональной подготовки операторов летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1986. 240 с.
16. Авиационные тренажеры модульной архитектуры: монография / Э.В. Лапшин [и др.]. Пенза, 2005. 145 с.
17. Шукшунов В.Е. Тренажерные комплексы и тренажеры. Технологии разработки и опыт эксплуатации. М., 2005. 384 с.
18. Роганов В.Р. Организация визуальных баз данных и управление компьютерными генераторами изображений имитаторов визуальной обстановки тренажеров: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. / Пенза: Пензенский государственный университет, 1995. 17 с.
19. Мицель А.А., Шелестов А.А., Романенко В.В. Методы оптимизации. Ч. 1: учеб. пособие. Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2020. 350 с.
20. Неточность алгоритма ветвей и границ / С.Ф. Подшивалов [и др.] // Инженерный вестник Дона. 2018. № 2 (49). С. 90.

References

1. Flight simulator information support / V.R. Roganov [et al.] // Defences and Technical Bulletin. 2018. Vol. 11. № 1. P. 90–98.
2. Kuvshinova O.A., Ahmed A.L., Abdulvahab H. Osobennosti imitatorov aviacionnogo trenazhyora, sinteziruyushchih dlya lyotchika 3D-modeli okruzhayushchego prostranstva v raznom diapazone svetovyh voln // Nadezhnost' i kachestvo: sb. trudov Mezhdunar. simpoziuma. Penza, 2023. T. 2. S. 75–78.
3. Belago I.V., Kuzikovskij S.A., Nekrasov Yu.Yu. Upravlenie kompyuternymi generatorami izobrazhenij real'nogo vremeni // Avtometriya. 1994. № 6. S. 48–54.
4. Miheev M.Yu., Meshcheryakova E.N., Najnish L.A. Nekotorye aspekty kachestva sinteza 3D-izobrazhenij dlya specializirovannyh kognitivnyh obuchayushchih sred // Nadezhnost' i kachestvo slozhnyh sistem. 2018. № 4 (24). S. 100–107.
5. Roganov V.R., Miheev M.Yu. Upravlenie resursami specializirovannoj sistemy sinteza izobrazheniya rajona poletov dlya aviacionnogo trenazhera // Aviakosmicheskoe priborostroenie. 2023. № 3. S. 48–60.
6. Zadachi modelirovaniya rajona poletov dlya aviacionnyh trenazherov i operatorov bespilotnyh letatel'nyh apparatov / V.I. Marchuk [i dr.] // Nadezhnost' i kachestvo slozhnyh sistem. 2021. № 3 (35). S. 80–86.

7. Kemalov B.K. K probleme strukturnogo sinteza modeliruyushchej sredy aviacionnogo trenazhera // Nadezhnost' i kachestvo slozhnyh sistem. 2015. № 1 (9). S. 9–16.
8. Kuvshinova E.V., Kuvshinova O.A. Specifika imitacii izobrazheniya v teplovizionnom imitatore aviacionnogo trenazhera // Obrazovanie i nauka v sovremenном mire. Innovacii. 2022. № 6 (43). S. 122–129.
9. Roganov V.R., Kuvshinova O.A., Grincov D.M. K voprosu o semioticheskoy sostavlyayushchej vidimoj dlya lyotchika modeli prostranstva za kabinoj aviacionnogo trenazhyora // Prom-Inzhiniring: sb. trudov VI Vseros. nauch.-tekhn. konf. Chelyabinsk, 2020. S. 63–67.
10. Esimova N.S., Kuvshinova O.A., Al'-Amidi M.A.D. Osobennosti okrashivaniya 3D-modelej, sinteziruemyh v rezhime real'nogo vremeni metodami mashinnoj grafiki // XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plus. 2023. T. 12. № 2 (62). S. 41–47.
11. Kovalenko G.V. Modelirovanie v professional'noj podgotovke letnogo sostava grazhdanskoy aviacii. M.: VINITI, 1992. 136 s.
12. Osobennosti sinteza vizual'no nablyudaemoj vo vremya poleta 3D-modeli vnesnej sredy dlya aviacionnogo trenazhera / M.Yu. Miheev [i dr.] // Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika. 2023. № 10. S. 14–24.
13. Kovalev A.M., Talnykin E.A. Mashinnyj sintez vizual'noj obstanovki // Avtometriya. 1984. № 4. S. 78–83.
14. Zatuliveter Yu.S., Fishchenko E.A. K komp'yuterno-setevym arhitekturam dlya cifrovoj transformacii bol'shih sistem // Programmnye sistemy: teoriya i prilozheniya. 2020. T. 11. № 3 (46). S. 85–131.
15. Shukshunov V.E. Avtomatizirovannye obuchayushchie sistemy professional'noj podgotovki operatorov letatel'nyh apparatov. M.: Mashinostroenie, 1986. 240 s.
16. Aviacionnye trenazhery modul'noj arhitektury: monografiya / E.V. Lapshin [i dr.]. Penza, 2005. 145 s.
17. Shukshunov V.E. Trenazhernye kompleksy i trenazhery. Tekhnologii razrabotki i opyt ekspluatacii. M., 2005. 384 s.
18. Roganov V.R. Organizaciya vizual'nyh baz dannyh i upravlenie komp'yuternymi generatorami izobrazhenij imitatorov vizual'noj obstanovki trenazherov: avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk. / Penza: Penzenskij gosudarstvennyj universitet, 1995. 17 s.
19. Micel' A.A., Shelestov A.A., Romanenko V.V. Metody optimizacii. Ch. 1: ucheb. posobie. Tomsk: Izd-vo Tomsk. gos. un-ta sistem upr. i radioelektroniki, 2020. 350 s.
20. Netochnost' algoritma vetvej i granic / S.F. Podshivalov [i dr.] // Inzhenernyj vestnik Dona. 2018. № 2 (49). S. 90.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 10.04.2025; одобрена после рецензирования: 25.06.2025;
принята к публикации: 27.06.2025

Information about the article:

The article was submitted to the editorial office: 10.04.2025; approved after review: 25.06.2025;
accepted for publication: 27.06.2025

Информация об авторах:

Кувшинова Ольга Александровна, старший преподаватель кафедры информационно вычислительные системы Пензенского государственного университета архитектуры и строительства (440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, д. 28.), e-mail: oly791702@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9983-7067>, SPIN-код: 7733-6110

Роганов Владимир Робертович, доцент кафедры информационные технологические системы Пензенского государственного технологического университета (440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, д. 1а/11), e-mail: vladimir_roganov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4498-9821>, SPIN-код: 2525-0079

Information about authors:

Kuvshinova Olga A., senior lecturer of the department of information and computing systems, Penza State University of Architecture and Construction (440028, Penza, German Titov str., 28), e-mail: oly791702@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9983-7067>, SPIN: 7733-6110

Roganov Vladimir R., associate professor of the department of information technology systems of the Penza State Technological University (440039, Penza, Baidukova pass. / Gagarin str., 1a/11), e-mail: vladimir_roganov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4498-9821>, SPIN: 2525-0079