

Научная статья

УДК 004; DOI: 10.61260/2218-13X-2024-2-170-177

ОБОБЩЕННЫЙ АЛГОРИТМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ГЕНЕРАТОРА ИЗОБРАЖЕНИЯ ПО 3D-МОДЕЛИ ТЕРРИТОРИИ МЕСТНОСТИ

✉ Кувшинова Ольга Александровна.

Пензенский государственный технологический университет, г. Пенза, Россия

✉ oly791702@rambler.ru

Аннотация. Развитие современных программных систем, использующих алгоритмы компьютерной графики в реальном времени для создания 3D-моделей территории местности, расширяет спектр учебных задач, доступных заказчику для обучения летчиков на авиационных тренажерах. Особое внимание уделяется обучению пилотов навыкам решения навигационных задач во время полетов над определенными 3D-территориями местности, используя визуальные ориентиры в виде трехмерных моделей реперных объектов. Для достижения этой цели необходимо решить несколько важных вопросов: выбор 3D-объектов на территории местности в качестве точек отсчета, разработка алгоритма информационных ресурсов и оптимальное распределение ресурсов компьютерного генератора изображений по всей 3D-модели территории местности, чтобы обеспечить возможность синтеза достаточного количества 3D-моделей реперных объектов в реальном времени. Представлены решения для моделирования территории местности достаточного размера для распределения информационных ресурсов и обучения летчика решению навигационных задач.

Ключевые слова: компьютерный генератор изображения, сегмент первого уровня, 3D-модель реперных объектов, авиационный тренажер

Для цитирования: Кувшинова О.А. Обобщенный алгоритм распределения ресурсов компьютерного генератора изображения по 3D-модели территории местности // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России». 2024. № 2. С. 170–177. DOI: 10.61260/2218-13X-2024-2-170-177.

Scientific article

GENERALIZED ALGORITHM FOR DISTRIBUTION OF RESOURCES OF A COMPUTER IMAGE GENERATOR ACCORDING TO A 3D-MODEL OF THE TERRITORY

✉ Kuvshinova Olga A.

Penza state technological university, Penza, Russia

✉ oly791702@rambler.ru

Abstract. The development of modern software systems that use computer graphics algorithms in real time to create 3D-models of the terrain expands the range of training tasks available to the Customer for training pilots on aviation simulators. Particular attention is paid to training pilots in the skills of solving navigation problems while flying over certain 3D terrain, using visual references in the form of three-dimensional models of reference objects. To achieve this goal, it is necessary to solve several important aspects: the selection of 3D-objects on the terrain as reference points, the development of an information resource algorithm and the optimal distribution of computer image generator resources throughout the 3D-model of the terrain to ensure the possibility of synthesizing a sufficient number of 3D-models reference objects in real time. Solutions are presented for modeling a terrain area of sufficient size for distributing information resources and training the pilot to solve navigation problems.

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2024

Keywords: computer image generator, first level segment, 3D-model of reference objects, aviation simulator

For citation: Kuvshinova O.A. Generalized algorithm for distribution of resources of a computer image generator according to a 3D-model of the territory // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2024. № 2. P. 170–177. DOI: 10.61260/2218-13X-2024-2-170-177.

Введение

Компьютерный генератор изображений представляет собой оптико-программную систему, разработанную для обработки алгоритмов компьютерной графики в реальном времени. Она обладает высокой производительностью, достигая обработки свыше 16 000 примитивов за один цикл работы, продолжительность которого составляет 80 мс [1]. Система доказала свою эффективность в процессе обучения пилотов на авиационных тренажерах [2]. Заказчик разрешил использование методов решения навигационных задач [3], включающих визуальный поиск и мониторинг 3D-моделей реперных объектов [4] на поворотных пунктах маршрута, что способствует обучению управления летательными аппаратами [5]. Ранее навигационные задачи при использовании авиационных тренажеров сталкивались с ограничениями производительности компьютерных генераторов изображений [6] и недостатком исследований [7], направленных на оптимальное распределение системных ресурсов по всей 3D-модели территории [8]. Это приводило к тому, что 3D-модель местности оставалась стандартной [9]. 3D-модель взлетно-посадочной полосы (ВПП) с небольшим количеством 3D-моделей реперных объектов (рис. 1) размещается в центральной части модели аэродрома, что позволяет пилотам тренировать навыки визуальной посадки модели летательного аппарата на 3D-модели территории местности и тренировать свой глазомер.

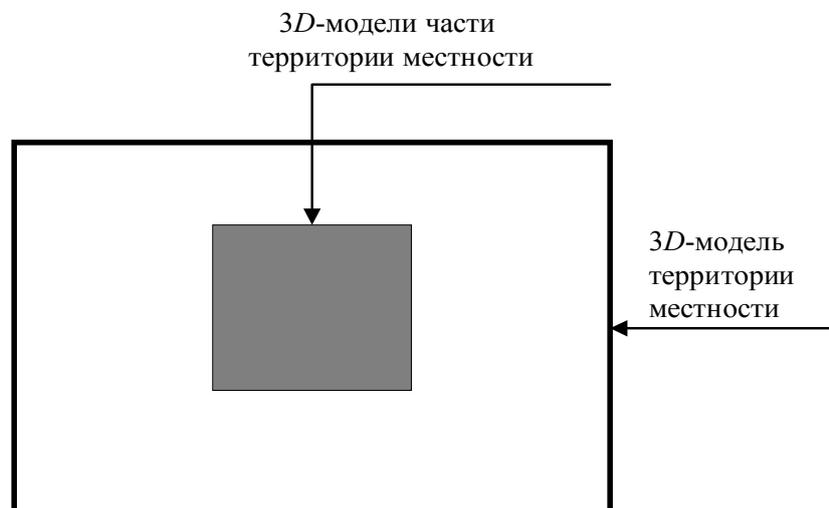


Рис. 1. Конструкция 3D-модели территории местности полётов
(в центре – модель участка: 3D-модель аэродрома)

Такой подход привел к результатам – все пилоты успешно завершают обучение по управлению летательным аппаратом, используя авиационный тренажёр. Практика показывает, что они овладевают всеми необходимыми навыками и умениями для пилотирования в реальных условиях, соответствующих учебным сценариям [10].

Заказчик поставил задачу обучения пилотов полетам над 3D-моделью местности большего размера. Из-за ограниченного числа исследований, связанных с распределением

ресурсов компьютерного генератора изображений по всей зоне полетов, возникли определенные трудности. Было принято решение использовать 3D-модель аэродрома размером 15×15 км с центральной моделью взлетно-посадочной полосы для взлета и посадки. При вылете за пределы этого района моделировался «полет в сплошной облачности», что было оправдано производительностью компьютерного генератора изображений [11]. Исследования показали [12] необходимость деления 3D-модели территории местности на сегменты для более эффективного распределения информационных ресурсов генератора изображений по сегментам первого уровня.

Рассмотреть алгоритм распределения информационных ресурсов компьютерного генератора изображений, применяя метод Гомори, для создания 3D-модели территории местности. Модель разбивается на сегменты первого уровня, используя одинаковые квадраты или равносторонние прямоугольные треугольники. Такой подход позволяет задействовать все основные примитивы, используемые в компьютерной графике. В статье представлены решения поставленных задач.

Методы исследования

В конце XX в. было определено, чтобы разделить 3D-модель местности на сегменты первого уровня понадобились системы, способные имитировать визуальную обстановку, которые внедрены в авиационный тренажер [13]. Эти системы, отображающие трехмерные объекты на подстилающей поверхности, потребовали разработки более сложных методов для эффективного управления ресурсами [14] и обеспечения тренировок.

Предполагалось, что в условиях ограниченной производительности компьютерного генератора изображений распределение большинства 3D-моделей реперных объектов по различным сегментам позволит на начальном этапе исключить из обработки те сегменты, в которых 3D-модели в данный момент не видны [15]. Используя компьютерный генератор изображений с 3D-моделями реперных объектов, окрашенными в разные цвета, разработчики авиационных тренажеров добились значительных результатов [16]. В таблице представлены характеристики компьютерного генератора изображений в зависимости от цветовой модели поверхности 3D-модели участка местности.

Таблица

Применение текстур для поверхности 3D-модели территории местности

Наименование компьютерного генератора изображения	Производительность	Количество огней	Текстура для поверхности в 3D-модели территории местности
«Аксай»	1 000 3D-полигонов	4 000	Нет
«Альбатрос»	16 000 3D-полигонов	64 000	Монохромно
«Max View»	16 000 3D-полигонов	12 000	Цветная
«Полигон»	300 000 3D-полигонов	1 200 000	Цветная

На абсолютно ровной подстилающей поверхности большего размера находится заданный участок местности, именуемый нулевым сегментом. На этот участок накладывается сегмент первого уровня, длина стороны которого обозначена как «а». Этот сегмент представлен либо одинаковыми квадратами, либо равносторонними прямоугольными треугольниками, на которых размещены 3D-модели реперных объектов (рис. 2).

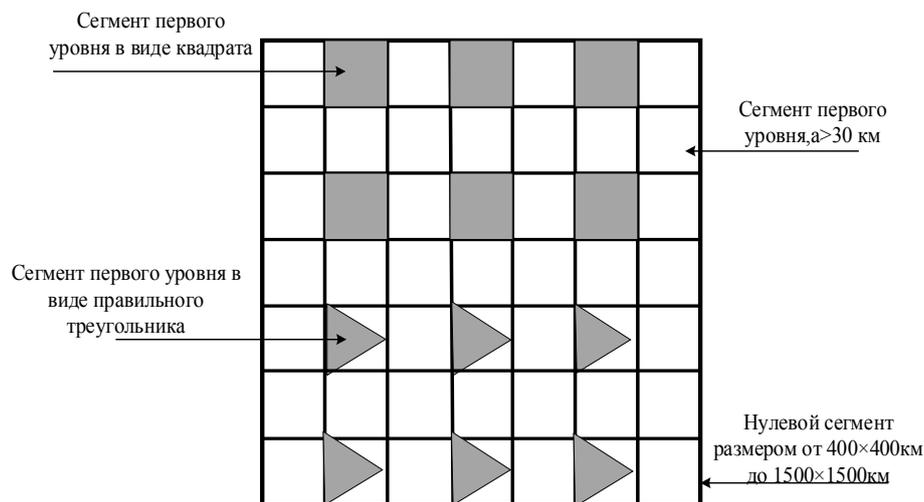


Рис. 2. Деление нулевого сегмента на сегмент первого уровня заданными одинаковыми квадратами или одинаковыми равнобедренными прямоугольными треугольниками

На обработку каждого сегмента, если этот сегмент активизирован, компьютерный генератор изображения (КГИ) расходует часть цикла режима реального времени. Активизация сегмента происходит в двух случаях:

1) если активный сегмент $S_{sf.dal}^a$ описан как «охватывающая сфера по дальности» и наблюдатель P_{nab} находится на расстоянии, меньшем, чем дистанция до центра данного сегмента;

2) если активный сегмент $S_{sf.nap}^a$ описан как «охватывающая сфера по направлению» и след пирамиды видимости P касается рассматриваемого сегмента или этот сегмент полностью находится внутри следа пирамиды видимости $P = S_{sf.nap}^a$.

По смыслу «охватывающие сферы» выполняют роль условного оператора, определяющего, когда будет обрабатываться заключённая в них информация о моделях реперных объектов с учётом правил их вызова.

В начале процесса создания двумерных проекций трехмерных моделей реперных объектов, попавших в поле зрения камеры и находящихся на расстоянии меньше заданной дистанции видимости, анализируются все охватывающие сферы, чтобы исключить те части 3D-модели полетов, которые в данный момент не обрабатываются. Возникает задача распределения всех примитивов по сегментам первого уровня. Основой для этого является время обработки сегментов первого уровня и трехмерные полигоны, относящиеся к нулевому сегменту. Далее необходимо решить задачу распределения оставшегося ресурса компьютерного генератора изображений; исследования показали, что наиболее эффективно рассчитывать время для обработки примитивов.

Для этого размещают в сегментах первого уровня 3D-модели реперных объектов на расстоянии друг от друга, где исключается включение в обработку других реперных объектов из других сегментов. Учитывая, что видимость в атмосфере составляет 30 км, можно разместить между ближайшими сегментами как минимум два «пустых» сегмента, предполагая полеты в условиях сплошной облачности. Получаем задачу исследования операций [17]. Исследования показали, что в данном случае наиболее целесообразно использовать метод Гомори [18], так как при расчетах количества примитивов, попавших в пирамиду видимости, нельзя использовать часть 3D-примитива. Для этого надо определить алгоритм по нахождению количества сегментов в первом уровне (рис. 3).

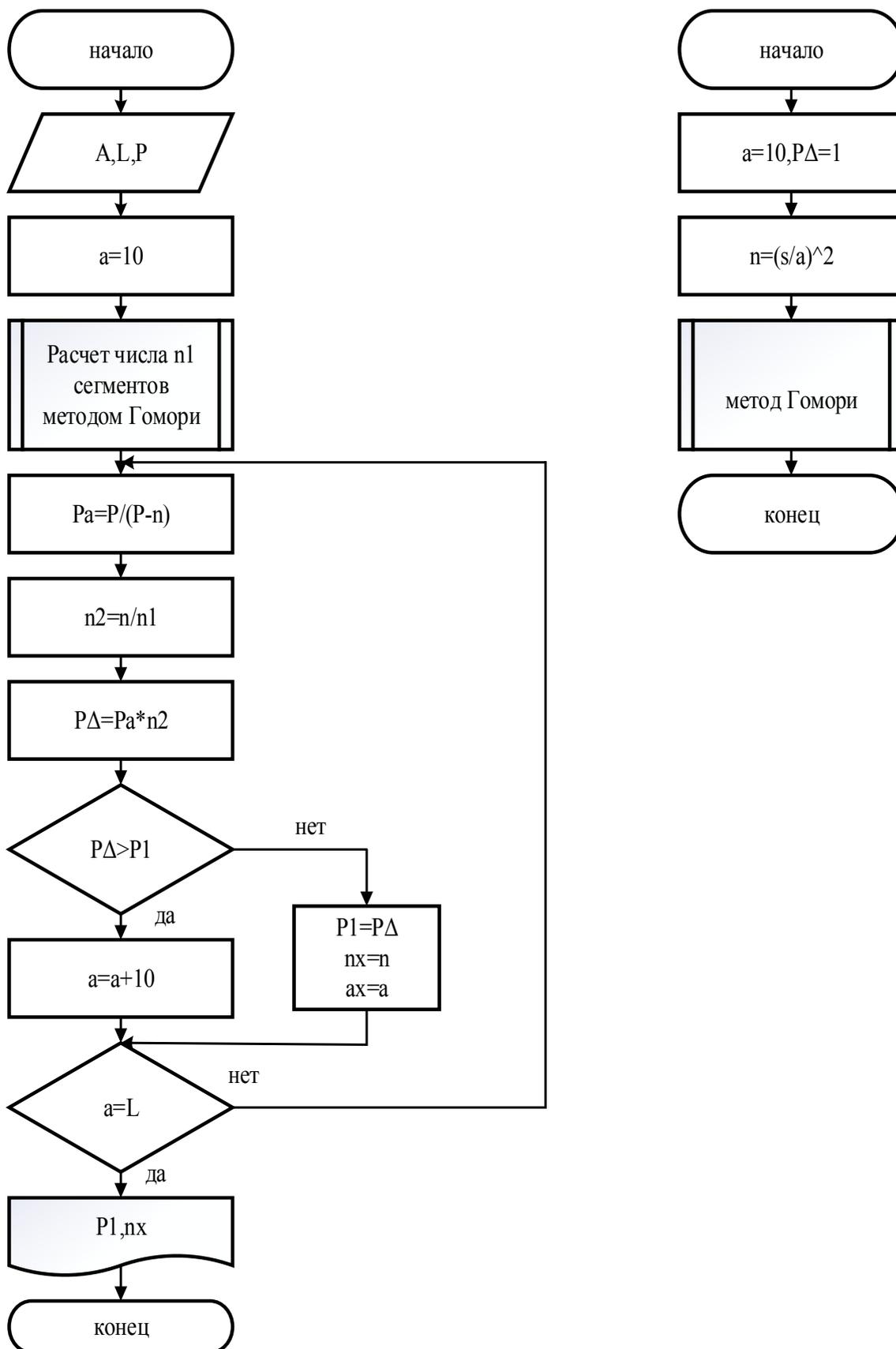


Рис. 3. Алгоритм нахождения количества сегментов в первом уровне (A – сторона нулевого сегмента; a_1 – размер первого сегмента; L_0 – максимальная дальность видимости; $n_1 = (S/a_2)$ – число сегментов первого уровня; P – производительность КГИ в примитивах)

Результатом расчета является сравнение двух моделей территории местности размером 15×15 км и 400×400 км (рис. 4).

Результаты исследования и их обсуждение

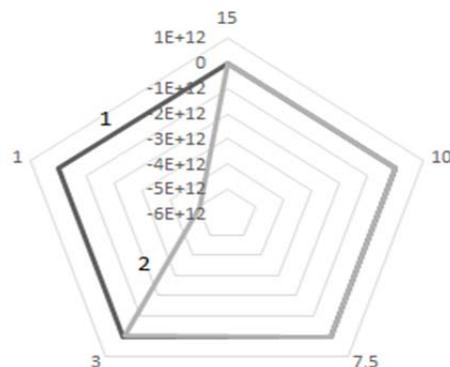


Рис. 4. Распределение визуальных примитивов в сегменте первого уровня в 3D-модели территории местности размером 15×15 км и 400×400 км

Таким образом, синтез информации о визуально наблюдаемых 3D-моделях реперных объектов, расположенных вокруг 3D-модели ВПП на участке не более 15×15 км. Полет над трехмерной моделью местности размером не менее 400×400 км способствует развитию профессиональных навыков пилотирования летательных аппаратов и решению навигационных задач, ориентируясь исключительно на показания имитаторов приборов радиотехнических средств навигации.

Заключение

Алгоритм распределения ресурсов КГИ по сегментам первого уровня, основанный на методе Гомори, показал свою эффективность при создании 3D-модели местности.

Использование метода Гомори позволяет разработать 3D-модели местности, разделенные на сегменты первого уровня в виде одинаковых квадратов или равносторонних прямоугольных треугольников. Этот метод подходит для всех известных типов компьютерных генераторов изображений, обеспечивая оптимальное распределение ресурсов и улучшение производительности.

Список источников

1. Роганов В.Р. Моделирование внешней среды для авиационного тренажёра: монография. М.: Ай Пи Ар Медиа, 2022. 177 с.
2. Лапшин Э.В., Кемалов Б.К., Куатов Б.Ж. Проектирование авиационных тренажеров с распараллеливанием вычислительных процессов // Надежность и качество сложных систем. 2016. № 4 (16). С. 128–141.
3. Мамонтов Е.В. Человеческий фактор и безопасность полетов при управлении воздушным движением // Надежность и качество сложных систем 2022. № 1 (37). С. 41–45.
4. Роганов В.Р. Моделирование процесса синтеза 3D-модели района полетов большого размера с помощью имитатора визуальной обстановки авиационного тренажера // Радиоэлектронная техника / под ред. В.А. Сергеева. Ульяновск: УГТУ, 2022. С. 208–217.
5. Годунов А.И., Сущик Д.М. Обработка и анализ полетной информации о пилотировании летчиком летательного аппарата // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2016. Т. 2. С. 230–233.

6. Некоторые аспекты качества синтеза 3D-изображений для специализированных когнитивных обучающих сред / М.Ю. Михеев [и др.] // Надежность и качество сложных систем. 2018. № 4 (24). С. 100–107.
7. Кувшинова О.А., Роганов В.Р. Особенности моделирования района полетов для имитаторов визуальной обстановки тренажеров операторов беспилотных аппаратов // Цифровизация агропромышленного комплекса: сб. науч. статей III Междунар. науч.-практ. конф. 2022. С. 528–530.
8. Modernisation of Endoscopic Equipment Using 3D Indicators / V. Roganov [et al.] // Applied Computer Systems. 2018. Vol. 23. № 1. P. 75–80. DOI: 10.2478/acss-2018-0010.
9. 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.
10. Digital entrepreneurship and education: Support for innovative projects // E.N. Muraya [et al.] // International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering. 2019. № 101. Vol. 8. Iss. 6. P. 3304–3311.
11. Четвергова М.В., Роганов В.Р., Сёмочкин А.В. Использование оптико-аппаратно-программных комплексов для обучения управления подвижными объектами // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. С. 174.
12. Совершенствование эргатических программно-технических комплексов «Авиационный тренажер» за счет добавления учебных ситуаций, связанных с решением задач самолетовождения / В.Р. Роганов [и др.] // Надежность и качество сложных систем. 2020. № 2 (30). С. 96–105.
13. Лапшин Э.В., Кемалов Б.К., Куатов Б.Ж. Проектирование авиационных тренажеров с распараллеливанием вычислительных процессов // Надежность и качество сложных систем. 2016. № 4 (16). С. 128–141.
14. Vyatkin S.I., Dolgovosov B.S. Combined method of visualization of functionally defined surfaces and three-dimensional textures // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. 2019. Vol. 55. № 2. P. 172–180.
15. Кемалов Б.К., Куатов Б.Ж., Юрков Н.К. Формирование моделирующей среды авиационного тренажера // Надежность и качество сложных систем. 2015. № 1 (9). С. 9–16.
16. Роганов В.Р., Кувшинова О.А., Гвоздева И.Г. Программный комплекс для расчета сегментов модели района полета: св-во о рег. программы для ЭВМ RU 2023685349, 27.11.2023. Заявка от 22.11.2023.
17. Кувшинова О.А., Кувшинова Е.В. Применение целочисленного исследования для получения сегментов в 3D-модели районов полета // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. 2023. № 2 (17). С. 84–89.
18. Гурин Л.С., Дымарский Я.С., Меркулов А.Д. Задачи и методы оптимального распределения ресурсов. М.: Советское радио, 1968. 479 с.

References

1. Roganov V.R. Modelirovanie vneshnej sredy dlya aviacionnogo trenazhyora: monografiya. M.: Aj Pi Ar Media, 2022. 177 s.
2. Lapshin E.V., Kemalov B.K., Khatov B.Zh. Proektirovanie aviacionnyh trenazherov s raspallelivaniem vychislitel'nyh processov // Nadezhnost' i kachestvo slozhnyh sistem. 2016. № 4 (16). S. 128–141.
3. Mamontov E.V. Chelovecheskij faktor i bezopasnost' poletov pri upravlenii vozdushnym dvizheniem // Nadezhnost' i kachestvo slozhnyh sistem 2022. № 1 (37). S. 41–45.
4. Roganov V.R. Modelirovanie processa sinteza 3D-modeli rajona poletov bol'shogo razmera s pomoshch'yu imitatora vizual'noj obstanovki aviacionnogo trenazhera // Radioelektronnaya tekhnika / pod red. V.A. Sergeeva. Ulyanovsk: UGTU, 2022. S. 208–217.
5. Godunov A.I., Sushchik D.M. Obrabotka i analiz poletnoj informacii o pilotirovanii letchikom letatel'nogo apparata // Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma «Nadezhnost' i kachestvo». 2016. T. 2. S. 230–233.

6. Nekotorye aspekty kachestva sinteza 3D-izobrazhenij dlya specializirovannyh kognitivnyh obuchayushchih sred / M.Yu. Miheev [i dr.] // Nadezhnost' i kachestvo slozhnyh sistem. 2018. № 4 (24). S. 100–107.
7. Kuvshinova O.A., Roganov V.R. Osobennosti modelirovaniya rajona poletov dlya imitatorov vizual'noj obstanovki trenazherov operatorov bespilotnyh apparatov // Cifrovizaciya agropromyshlennogo kompleksa: sb. nauch. statej III Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. 2022. S. 528–530.
8. Modernisation of Endoscopic Equipment Using 3D Indicators / V. Roganov [et al.] // Applied Computer Systems. 2018. Vol. 23. № 1. P. 75–80. DOI: 10.2478/acss-2018-0010.
9. 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.
10. Digital entrepreneurship and education: Support for innovative projects // E.N. Muraya [et al.] // International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering. 2019. № 101. Vol. 8. Iss. 6. P. 3304–3311.
11. Chetvergova M.V., Roganov V.R., Syomochkin A.V. Ispol'zovanie optiko-apparatno-programmnyh kompleksov dlya obucheniya upravleniya podvizhnymi ob"ektami // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2014. № 6. S. 174.
12. Sovershenstvovanie ergaticheskikh programmno-tekhnicheskikh kompleksov «Aviacionnyj trenazher» za schet dobavleniya uchebnyh situacij, svyazannyh s resheniem zadach samoletovozhdeniya / V.R. Roganov [i dr.] // Nadezhnost' i kachestvo slozhnyh sistem. 2020. № 2 (30). S. 96–105.
13. Lapshin E.V., Kemalov B.K., Kumatov B.Zh. Proektirovanie aviacionnyh trenazherov s rasparallelivaniem vychislitel'nyh processov // Nadezhnost' i kachestvo slozhnyh sistem. 2016. № 4 (16). S. 128–141.
14. Vyatkin S.I., Dolgovesov B.S. Combined method of visualization of functionally defined surfaces and three-dimensional textures // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. 2019. Vol. 55. № 2. P. 172–180.
15. Kemalov B.K., Kumatov B.Zh., Yurkov N.K. Formirovanie modeliruyushchej sredy aviacionnogo trenazhera // Nadezhnost' i kachestvo slozhnyh sistem. 2015. № 1 (9). S. 9–16.
16. Roganov V.R., Kuvshinova O.A., Gvozdeva I.G. Programmnyj kompleks dlya rascheta segmentov modeli rajona poleta: sv-vo o reg. programmy dlya EVM RU 2023685349, 27.11.2023. Zayavka ot 22.11.2023.
17. Kuvshinova O.A., Kuvshinova E.V. Primenenie celochislennogo issledovaniya dlya polucheniya segmentov v 3D-modeli rajonov poleta // Vestnik PGUAS: stroitel'stvo, nauka i obrazovanie. 2023. № 2 (17). S. 84–89.
18. Gurin L.S., Dymarskij Ya.S., Merkulov A.D. Zadachi i metody optimal'nogo raspredeleniya resursov. M.: Sovetskoe radio, 1968. 479 s.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 03.05.2024; одобрена после рецензирования: 20.05.2024; принята к публикации: 22.05.2024

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 03.05.2024; approved after review: 20.05.2024; accepted for publication: 22.05.2024

Информация об авторах:

Кувшинова Ольга Александровна, соискатель кафедры информационных технологических систем Пензенского государственного технологического университета (440039, г. Пенза, проезд Байдукова, ул. Гагарина, д. 1а/11), e-mail: oly791702@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9983-7067>

Information about authors:

Kuvshinova Olga A., candidate of the department of information technology systems of Penza state technological university (440039, Penza, Baidukova proezd, Gagarin St., d. 1a/11), e-mail: oly791702@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9983-7067>