

ЗАДАЧИ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАЙОНА ПОЛЕТОВ ДЛЯ АВИАЦИОННЫХ ТРЕНАЖЕРОВ И ОПЕРАТОРОВ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

В. И. Марчук¹, Т. А. Глебова², О. А. Кувшинова³, Н. Есимова⁴

¹ Донской государственный технический университет, Шахты, Россия
^{2,3} Пензенский государственный архитектурно-строительный университет, Пенза, Россия
⁴ Пензенский государственный технологический университет, Пенза, Россия
¹ marchuk@sssu.ru, ² tan.1952@mail.ru, ³ oly791702@mail.ru, ⁴ nurzipa.esimova@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Цели и задачи моделирования района полетов для обучения пилотов с помощью авиационных тренажеров и операторов беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) отличаются. Это приводит к необходимости по-разному разрабатывать требования к характеристикам сегментов разного уровня, на которые делится модель района полетов, предварительно оценивать не только производительность используемых компьютерных генераторов изображения, но и технические характеристики всех технических узлов, участвующих в формировании визуально наблюдаемой модели выбранного участка местности. Такой подход представляет собой задачу, строгое аналитическое решение которой затруднено в силу ее сложности. *Материалы и методы.* Перспективным направлением в исследовании такого рода является проведение системного анализа с учетом возможностей используемых узлов системы генерации изображения отображать визуально наблюдаемую модель выбранного участка местности с учетом задач, решаемых рассматриваемыми тренажерами. *Результаты.* Предложенная методика сравнения подходов к созданию модели местности для авиационных тренажеров и для тренажеров операторов БПЛА позволила предложить критерии оценки структуры баз данных компьютерных генераторов изображения для рассматриваемых тренажеров, что на практике сокращает время на подготовку исходных данных и разработку моделей заданных районов полетов. *Выводы.* Ввиду различий требований к моделям районов полетов для авиационных тренажеров и для тренажеров операторов БПЛА структура баз данных используемых компьютерных генераторов изображения отличается.

Ключевые слова: система синтеза визуально наблюдаемых 3D-объектов, авиационный тренажер, тренажер оператора беспилотного летательного аппарата, подстилающая поверхность

Для цитирования: Марчук В. И., Глебова Т. А., Кувшинова О. А., Есимова Н. Задачи моделирования района полетов для авиационных тренажеров и операторов БПЛА // Надежность и качество сложных систем. 2021. № 3. С. 80–86. doi:10.21685/2307-4205-2021-3-10

TASKS OF MODELING THE FIELD OF FLIGHTS FOR AVIATION SIMULATORS AND UNMANNED AIRCRAFT OPERATOR

V.I. Marchuk¹, T.A. Glebova², O.A. Kuvshinova³, N. Esimova⁴

¹ Don State Technical University, Shakhty, Russia
^{2,3} Penza State University of Architecture and Civil Engineering, Penza, Russia
⁴ Penza State Technological University, Penza, Russia
¹ marchuk@sssu.ru, ² tan.1952@mail.ru, ³ oly791702@mail.ru, ⁴ nurzipa.esimova@mail.ru

Abstract. *Background.* The goals and objectives of modeling the flight area for training pilots using aviation simulators (AT) and operators of unmanned aerial vehicles (UAVs) are different. This leads to the need to develop differently requirements for the characteristics of segments of different levels into which the model of the flight area is divided, to preliminarily evaluate not only the performance of the used computer image generators (CGI), but also the technical characteristics of all technical units involved in the formation of the visually observed model of the selected area. terrain. This approach is a problem, the rigorous analytical solution of which is difficult due to its complexity. *Materials and methods.* A promising direction in this kind of research is system analysis, taking into account the capabilities of the used nodes of the image generation system, to display a visually observed model of the selected area of the terrain, taking into account the tasks solved by the simulators under consideration. *Results.* The proposed method-

ology for comparing approaches to creating a terrain model for AT and for simulators of UAV operators made it possible to propose criteria for evaluating the structure of the CGI databases for the simulators under consideration, which in practice reduces the time for preparing initial data and developing models of specified flight areas. *Conclusions.* In view of the differences in the requirements for the models of flight areas for aircraft and for simulators for UAV operators, the structure of the database used by the CGI is different.

Keywords: synthesis system for visually observed 3D objects, flight simulator, unmanned aerial vehicle operator simulator, underlying surface

For citation: Marchuk V. I., Glebova T. A., Kuvshinova O. A., Esimova N. Tasks of modeling the field of flights for aviation simulators and unmanned aircraft operator. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem = Reliability and quality of complex systems.* 2021;(3):80–86. (In Russ.). doi:10.21685/2307-4205-2021-3-10

Введение

Одной из задач, решаемых при разработке авиационных тренажеров (АТ) и тренажеров операторов беспилотных летательных аппаратов, является моделирование M_S визуально узнаваемого участка местности S с качеством, достаточным для обучения летчиков летательных аппаратов (ЛА) и операторов БПЛА решению навигационных задач [1]. Для АТ это район размером $S^{(AT)} = 1500 \times 1500$ км [2], для тренажера операторов БПЛА $S^{(БПЛА)} \leq 100 \times 400$ км [3]. Качество визуально наблюдаемого изображения модели узнаваемого района местности, обеспечивающего решение навигационных задач [4], зависит от насыщенности модели района моделями реперных объектов $N^{(PM)} \geq N^{(K)}$, где $N^{(PM)}$ – число моделей реперных объектов в S , $N^{(K)}$ – минимальное число реперных объектов, встретившихся по маршруту полета [5]. Будем считать, что для решения навигационных задач [6] (определение места положения модели ЛА в модели пространства) необходимо визуально распознать 3D-модели реперных объектов [7], предварительно определив их место нахождения на карте [8] и по показаниям имитаторов проборов кабинного оборудования [9]. Тогда основная задача разработки $S^{(AT)}$ и $S^{(БПЛА)}$ – создать максимально насыщенную моделями реперных объектов модель выбранного участка местности.

Материалы и методы

В АТ и тренажерах операторов БПЛА для синтеза визуально наблюдаемых моделей местности $S^{(AT)}$ и $S^{(БПЛА)}$ в режиме реального времени (РРВ) используются специализированные программно-технические системы, называемые компьютерными генераторами изображения (КГИ) [10], которые по правилам машинной графики синтезируют на экране формирования промежуточного изображения 2D-проекции 3D-объектов [11]. В итоге синтезируются информационные модели $I^{(AT)}(S^{(AT)})$ или $I^{(БПЛА)}(S^{(БПЛА)})$ реальных трехмерных участков местности [12]. В указанных тренажерах это разные информационные модели, но имеющие общие особенности. В АТ $I^{(AT)}(S^{(AT)})$ это обязательно трехмерная модель, обеспечивающая возможность профессиональной тренировки глазомера летчика [13]. В тренажерах БПЛА $I^{(БПЛА)}(S^{(БПЛА)})$ двухмерная проекция наблюдаемого участка местности [14]. Общие особенности – это структура базы данных КГИ и общая часть технологического процесса синтеза моделей реперных объектов, включая этап отображения на экране формирования промежуточного изображения 2D-проекции 3D-объектов.

В АТ (рис. 1) изображение с экрана формирования промежуточного изображения, синтезированное с учетом особенностей оптической системы преобразования информации, с помощью оптики [15] доставляется в глаза человека [16] и при этом активизирует заданные составляющие зрительного аппарата человека [17]. В итоге подготовленный человек, рассматривая через оптику специально синтезированный видеоряд из 2D-проекций 3D-объектов, считает, что он видит 3D-объекты и может профессионально тренировать свой глазомер [18]. В тренажере оператора БПЛА (рис. 2) оператор наблюдает без оптической системы синтезированный на экране формирования промежуточного изображения видеоряд из 2D-проекции 3D-объектов, распознает модели реперных объектов и, используя карту модели местности, определяет место нахождения модели ЛА в пространстве [19].



Рис. 1. Технологическая цепочка синтеза 3D-изображений 3D-объектов в АТ



Рис. 2. Технологическая цепочка синтеза 2D-проекций 3D-объектов в тренажерах подготовки операторов БПЛА

Использование разных подходов к синтезу визуально наблюдаемых изображений для обучения летчика на АТ и для обучения оператора БПЛА, как и для других тренажеров, находят свое отражение в методах синтеза заданного участка местности и технологических процессах обработки изображений [20]. Основным критерием качества синтеза узнаваемого участка местности является количество различных моделей реперных 3D-объектов и их частей. При этом требуется решить задачу маскирования некоторых реперных моделей 3D-объектов, создав условия для их поиска с целью решения навигационных задач [6], как и при реальных полетах [4]. Поставленная задача решается в несколько этапов.

На первом проводится анкетирование летчиков и операторов БПЛА с целью составления списка реперных объектов.

На втором решается задача распределений ресурсов КГИ с целью обеспечить максимально насыщенное моделями реперных объектов изображение видимого участка местности в каждый t_i момент полета.

В настоящее время в КГИ для синтеза на экране формирования промежуточного изображения 2D-проекций 3D-объектов используются управляющие и видимые примитивы [21]. Видимые 2D-проекции 3D-объектов на экране формирования промежуточного изображения синтезируются с помощью видимых примитивов [22], в то время как управляющие примитивы используются для управления процессом синтеза [12]. Одновременно при решении задачи разработки 3D-модели реперных объектов для занесения в базу данных КГИ разрабатывается структура базы данных, управляющая процессом синтеза изображения в реальном масштабе времени.

Управление процессом синтеза – это:

- решение задач взаимозакрываемости 3D-моделей при подвижном наблюдателе (используется примитив «разделяющая плоскость»), когда при ее пересечении «разделяющей плоскости» первоначальный порядок вызова 3D-моделей и их составляющих в одном сегменте базы данных КГИ меняется на противоположный;

– предварительное формирование структуры базы данных КГИ (используется один из двух возможных примитивов «охватывающая сфера по дальности» или «охватывающая сфера по направлению») с целью исключать в каждый t_i момент времени из дальнейшей обработке те сегменты базы данных КГИ со всеми содержащимися в них примитивами, которые в данный момент времени не должны обрабатываться («охватывающая сфера по дальности» исключает из дальнейшей обработки сегменты, центр которых расположен далее текущего места положения подвижного наблюдателя, а «охватывающая сфера по направлению» исключает из дальнейшей обработки все сегменты, площадь которых не пересекается со следом камеры наблюдения).

Модель района полетов описывается как сегмент или группа вложенных друг в друга сегментов. Это геометрическая фигура в виде квадрата (для АТ) или прямоугольника (для тренажера оператора БПЛА), над которой возможны полеты на модели ЛА с визуальным наблюдением 3D-моделей реперных объектов. Вся модель района полетов может быть одним сегментом нулевого уровня или сегментом, который может делиться на сегменты первого уровня. Каждый сегмент первого уровня может делиться на сегменты второго уровня, которые в свою очередь могут делиться на сегменты третьего уровня и т.д.

Один и тот же сегмент не нулевого уровня может быть описан как «охватывающая сфера по направлению» или «охватывающая сфера по дальности», или одновременно и как «охватывающая сфера по направлению» и как «охватывающая сфера по дальности».

Вложенность сегментов одного уровня в другой задает структуру базы данных КГИ.

Все визуальные примитивы должны принадлежать или сегменту нулевого уровня, или советующим сегментам.

Каждый j -й управляющий примитив имеет время обработки $t_j^{(U)} = \text{const} T_j^{(U)}$. Каждый i -й визуальный примитив также имеет свое время обработки $t_i^{(V)} = \text{const} T_i^{(V)}$. Такт режима реального времени (РВР), за которое синтезируются 2D-проекции 3D-объектов, определяемого сейчас как 80 мс. Время обработки модели района полетов T_c за один такт режима реального времени зависит от структуры базы данных КГИ, а эта структура определяется необходимостью делить весь район полетов на сегменты так, чтобы все примитивы в сегментах, которые в данный момент времени не активны, были исключены из обработки в РВР на как можно более раннем этапе:

$$T_c = \sum_{j=1}^{N_j^{(U_a)}} t_j^{(U)} + \sum_{i=1}^{N_i^{(V_{0a})}} t_i^{(V)}, \quad (1)$$

где $N_j^{(U_a)}$ – число активных управляющих примитивов в j -м сегменте; $N_i^{(V_{0a})}$ – число i -х визуальных примитивов в активных сегментах.

Так как районы полетов для АТ и для тренажера оператора БПЛА отличаются при одинаковых характеристиках КГИ и экранов формирования промежуточного изображения, то ключевым отличием баз данных для КГИ является их структура. Для тренажера оператора БПЛА вся модель района полетов разбивается только на сегменты первого уровня (так как цель синтеза визуального изображения – высветить на экране формирования промежуточного изображения достаточно грубые по точности 2D-проекции 3D-объектов, но этих объектов должно быть не менее заданного числа и к тому же они должны быть размещены на подстилающей поверхности, фиксирующей реальный рельеф выбранного района полетов). В АТ необходимо заставить пилота видеть 3D-объекты, что предполагает более высокую детализацию всех синтезированных 3D-объектов (но как правило за подстилающую поверхность берется абсолютно ровная поверхность нулевого сегмента, так как при полетах на АТ, как и на реальных ЛА, минимальная высота не более 400 м, а в тренажерах операторов БПЛА эта высота много меньше (за исключением моделирования горных районов, как например Кавказа)). Различие в подходах к моделированию районов полетов отражается в структурах БД КГИ.

При этом время синтеза $I^{(AT)}(S^{(AT)})$ и $I^{(БПЛА)}(S^{(БПЛА)})$, рассчитанное по формуле (1), для всех возможных положений моделей летательного аппарата не должно превышать заданного такта режима реального времени.

Учитывая, что качество модели района полетов зависит от числа обрабатываемых визуальных примитивов, при разработке структуры базы данных КГИ необходимо добиваться уменьшения числа управляющих примитивов, чтобы за счет освободившегося времени добавить визуальные примитивы, всегда улучшающие качество синтезированного изображения.

Результаты и обсуждение

Модели района полетов для АТ и для тренажера оператора БПЛА различны как по размерам, так и по особенностям рельефа, требования к характеристикам сегментов разного уровня, что предполагает разный подход к обучению летчиков и операторов БПЛА.

Заключение

1. Структура базы данных КГИ определяется управляющими примитивами как «охватывающая сфера по направлению» и «охватывающая сфера по дальности».

2. Модели реперных объектов для модели района полетов для АТ и для модели района полетов тренажера оператора БПЛА различны по степени их детализации, так как полеты советующих моделей ЛА проводятся на различных высотах.

3. Время обработки модели района полетов T_c за один такт режима реального времени зависит от числа управляющих примитивов, расположенных в активных сегментах и от числа обрабатываемых визуальных примитивов расположенных в этих активных сегментах.

Список литературы

1. Roganov V. R., Kuvshinova O. A., Grintsov D. M. To issue of semiotic component visible for pilot of space model beyond cabin of aircraft simulator // Book of Proceedings of the 6th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2020). P. 420–428.
2. Roganov V. R., Sagyndyk A. B., Akhtarieva R. F. [et al.]. Integrated organization of the system for forming the information support of aeronautical simulator // International Journal of Applied Engineering Research. 2017. Vol. 12, № 15. P. 5207–5213.
3. Роганов В. Р., Роганова Э. В., Игонин О. О. Построение подстилающих поверхностей для размещения моделей реальных объектов в моделях реальной местности при фиксированных точках расположения наблюдателя // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. 2008. № 1-2. С. 119–126.
4. Роганов В. Р. Анализ теоретических аспектов формирования когнитивной модели ориентации в визуально наблюдаемой среде и их применение для совершенствования авиационных тренажеров // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2015. Т. 1, № 4. С. 88–93.
5. Роганов В. Р. By solving the problem of providing the necessary quality of the model of the surrounding space // Современные информационные технологии. 2015. № 22. С. 7–13.
6. Мамаев В. Я., Сняжков А. Н., Петров К. К., Горбунов Д. А. Воздушная навигация и элементы самолетовождения : учеб. пособие. СПб. : СПбГУАП, 2002. 256 с.
7. Шукшунув В. Е. Автоматизированные обучающие системы профессиональной подготовки операторов летательных аппаратов / под ред. В. Е. Шукшунува. М. : Машиностроение, 1986. 240 с.
8. Красовский А. А., Лопатин В. И. [и др.]. Авиационные тренажеры. М. : Изд-во ВВИА им. Жуковского, 1992. 320 с.
9. Меерович Г. Ш., Годунов А. И., Ермолин О. К. Авиационные тренажеры и безопасность полетов / под ред. Г. Ш. Мееровича. М. : Воздушный транспорт, 1990. 343 с.
10. Роганов В. Р., Михеев М. Ю., Асмолова Е. А., Жашкова Т. В. Имитаторы визуальной обстановки для тренажеров подготовки водителей транспортных средств // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2016. Т. 2. С. 326–328.
11. Роганов В. Р., Семочкина И. Ю., Жашкова Т. В. Системы моделирования трехмерных визуально наблюдаемых моделей // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2015. Т. 1. С. 192–196.
12. Вяткин С. И., Долговесов Б. С. Метод визуализации мультиобъемных данных и функционально заданных поверхностей с применением графических процессоров // Автометрия. 2021. Т. 57, № 2. С. 32–40.
13. Роганов В. Р., Семочкин А. В., Филиппенко В. О. [и др.]. К вопросу о расчетах основных параметров оптического-аппаратного устройства индикации, позволяющего реализовать безочковый 3d индикатор // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2015. Т. 1, № 4. С. 182–199.
14. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2020617619. Виртуальный учебный комплекс «тренажер оператора БПЛА различных типов» / Жбанков Г. О., Криушичев А. Г. № 2020616521 ; заявл. 28.06.2020 ; опублик. 08.07.2020.
15. Роганов В. Р. Концепция создания эргатического оптического-, программно-технического комплекса «Имитатор визуальной обстановки», позволяющего человеку тренировать глазомер // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2015. Т. 1, № 4. С. 81–87.
16. Roganov V., Mikheev M., Esimova N. [et al.]. On the assessment of the image model of 3d models synthesized by optical-software-technical systems // Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies (MWENT 2020) : proceedings. Moscow, 2020. P. 9067481.

17. Бабич А. М., Роганов В. Р., Разуваева В. О. Возможность использования монокулярной системы технического зрения при определении расстояний между объектами // Цифровизация агропромышленного комплекса : сб. науч. ст. II Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 т. Тамбов, 2020. Т. 1. С. 46–49.
18. Роганов В. Р., Кувшинова О. А., Есимова Н. С. [и др.]. Совершенствование эргатических программно-технических комплексов «Авиационный тренажер» за счет добавления учебных ситуаций, связанных с решением задач самолетовождения // Надежность и качество сложных систем. 2020. № 2. С. 96–105.
19. Roganov V., Roganova E., Glebova T. Requirements for optical-hardware-software systems for modeling three-dimensional visually observable space for training simulators for locomotives // International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon 2018). Vladivostok, 2018. P. 8602860.
20. Патент на изобретение RU 2622877 С. Устройство поиска средней линии границ объектов на размытых изображениях / Марчук В. И., Семенищев Е. А., Воронин В. В. [и др.]. № 2016101728 ; заявл. 20.01.2016 ; опубл. 20.06.2017.
21. Вяткин С. И., Долговесов Б. С. Метод реконструкции функционально заданных поверхностей по стерео-изображениям реальных объектов // Автометрия. 2020. Т. 56, № 6. С. 19–26.
22. Fisunov A. V., Gnezdilova V. B., Marchuk V. I. A technique for obtaining 3d coordinates of human body parts from RGB-D stream // MATEC Web of Conferences (Rostov-on-Don, Russian Federation, September 12–14, 2018). Rostov-on-Don, 2018. P. 05003.

References

1. Roganov V.R., Kuvshinova O.A., Grintsov D.M. To issue of semiotic component visible for pilot of space model beyond cabin of aircraft simulator. *Book of Proceedings of the 6th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2020)*. 2020:420–428.
2. Roganov V.R., Sagyndyk A.B., Akhtarieva R.F. [et al.]. Integrated organization of the system for forming the information support of aeronautical simulator. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2017;12(15):5207–5213.
3. Roganov V.R., Roganova E.V., Igonin O.O. Construction of underlying surfaces for placing models of real objects in models of real terrain at fixed points of the observer's location. *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Universitet im. V.I. Vernadskogo = Issues of modern science and practice*. 2008;(1-2):119–126. (In Russ.)
4. Roganov V.R. Analysis of theoretical aspects of the formation of a cognitive model of orientation in a visually observable environment and their application for improving aviation simulators. *XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus = XXI century: results of the past and problems of the present plus*. 2015;1(4):88–93. (In Russ.)
5. Roganov V.R. By solving the problem of providing the necessary quality of the model of the surrounding space. *Sovremennye informatsionnye tekhnologii = Modern information technologies*. 2015;(22):7–13.
6. Mamaev V.Ya., Sinyakov A.N., Petrov K.K., Gorbunov D.A. *Vozdushnaya navigatsiya i elementy samoletovozhdeniya: ucheb. posobie = Aerial navigation and elements of airplane driving : a textbook*. Saint Petersburg: SPbGUAP, 2002:256. (In Russ.)
7. Shukshunov V.E. *Avtomatizirovannye obuchayushchie sistemy professional'noy podgotovki operatorov letatel'nykh apparatov = Automated training systems for professional training of aircraft operators*. Moscow: Mashinostroenie, 1986:240. (In Russ.)
8. Krasovskiy A.A., Lopatin V.I. [et al.]. *Aviatsionnye trenazhery = Aviation simulators*. Moscow: Izd-vo VVIA im. Zhukovskogo, 1992:320. (In Russ.)
9. Meerovich G.Sh., Godunov A.I., Ermolin O.K. *Aviatsionnye trenazhery i bezopasnost' poletov = Aviation simulators and flight safety*. Moscow: Vozdushnyy transport, 1990:343. (In Russ.)
10. Roganov V.R., Mikheev M.Yu., Asmolova E.A., Zhashkova T.V. Imitators of visual environment for training drivers of vehicles. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the International symposium Reliability and Quality*. 2016;2:326–328. (In Russ.)
11. Roganov V.R., Semochkina I.Yu., Zhashkova T.V. Modeling systems of three-dimensional visually observable models. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the International symposium Reliability and Quality*. 2015;1:192–196. (In Russ.)
12. Vyatkin S.I., Dolgovesov B.S. Method of visualization of multi-volume data and functionally defined surfaces using graphics processors. *Aviometriya = Autometry*. 2021;57(2):32–40. (In Russ.)
13. Roganov V.R., Semochkin A.V., Filippenko V.O. [et al.]. Basic to the question of calculating the parameters of an optical-hardware display device that allows you to implement a point-less 3D on the indicator. *XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus = XXI century: results of the past and problems of the present plus*. 2015;1(4):182–199. (In Russ.)
14. Certificate of registration of the computer program 2020617619. Virtual training complex "trainer of the operator of UAVs of different types". Zhbakov G.O., Kriushichev A.G. No. 2020616521; appl. 28.06.2020; publ. 08.07.2020. (In Russ.)
15. Roganov V.R. The concept of creating the ergonomics optical, software and hardware complex "Imitator of the visual environment" that allows people to train the eye. *XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus = XXI century: results of the past and the present problem is a plus*. 2015;1(4):81–87. (In Russ.)

16. Roganov V., Mikheev M., Esimova N. [et al.]. On the assessment of the image model of 3d models synthesized by optical-software-technical systems. *Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies (MWENT 2020): proceedings*. Moscow, 2020:9067481.
17. Babich A.M., Roganov V.R., Razuvaeva V.O. The possibility of using monocular vision systems when determining distances between objects. *Tsifrovizatsiya agropromyshlennogo kompleksa: sb. nauch. st. II Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.: v 2 t. = The digitalization of the agro-industrial complex : collection of scientific works. article II mezhdunar. nauch.-pract. conf. in 2 vol.* Tambov, 2020;1:46–49. (In Russ.)
18. Roganov V.R., Kuvshinova O.A., Esimova N.S. [et al.]. Improvement of ergatic software and hardware complexes "Aviation simulator" by adding training situations related to solving problems of aircraft navigation. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system = Reliability and quality of complex systems*. 2020;(2):96–105. (In Russ.)
19. Roganov V., Roganova E., Glebova T. Requirements for optical-hardware-software systems for modeling three-dimensional visually observable space for training simulators for locomotives. *International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon 2018)*. Vladivostok, 2018:8602860.
20. Patent RU 2622877 C. Russian Federation. Device for searching the middle line of the boundaries of objects on blurred images. Marchuk V.I., Semenishchev E.A., Voronin V.V. [et al.]. No. 2016101728; appl. 20.01.2016; publ. 20.06.2017. (In Russ.)
21. Vyatkin S.I., Dolgovosov B.S. Method of reconstruction of functionally defined surfaces based on stereo images of real objects. *Avtometriya = Autometry*. 2020;56(6):19–26. (In Russ.)
22. Fisunov A.V., Gnezdilova V.B., Marchuk V.I. A technique for obtaining 3d coordinates of human body parts from RGB-D stream. *MATEC Web of Conferences (Rostov-on-Don, Russian Federation, September 12–14, 2018)*. Rostov-on-Don, 2018:05003.

Информация об авторах / Information about the authors

Владимир Иванович Марчук

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры радиоэлектронных
и электротехнических систем и комплексов,
Донской государственной технической университет
(Россия, г. Шахты, ул. Шевченко, 147)
E-mail: marchuk@sssu.ru

Vladimir I. Marchuk

Doctor of technical sciences, professor,
professor of sub-department of radioelectronic
and electrotechnical systems and complexes,
Don State Technical University
(147 Shevchenko street, Shakhty, Russia)

Татьяна Александровна Глебова

доцент кафедры информационно-вычислительных систем,
Пензенский государственный архитектурно-
строительный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28)
E-mail: tan.1952@mail.ru

Tat'yana A. Glebova

Associate professor of sub-department
of information and computing systems,
Penza State University of Architecture
and Civil Engineering
(28 German Titov street, Penza, Russia)

Ольга Александровна Кувшинова

аспирант,
Пензенский государственный архитектурно-
строительный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28)
E-mail: oly791702@mail.ru

Ol'ga A. Kuvshinova

Postgraduate student,
Penza State University of Architecture
and Civil Engineering
(28 German Titov street, Penza, Russia)

Нурзипа Есимова

аспирант,
Пензенский государственный
технологический университет
(Россия, г. Пенза, пр. Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11)
E-mail: nurzipa.esimova@mail.ru

Nurzipa Esimova

Postgraduate student,
Penza State Technological University
(1a / 11 Baydukova passage/Gagarina street,
Penza, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию/Received 09.10.2020

Поступила после рецензирования/Revised 12.04.2021

Принята к публикации/Accepted 13.09.2021