

УДК 004.42; 519.85

doi: 10.17586/2226-1494-2019-19-3-467-474

РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОГО МОДУЛЯ СОЗДАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ОБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

В.М. Шардаков, В.В. Извозчикова, В.В. Запорожко, Д.И. Парфёнов

Оренбургский государственный университет, Оренбург, 460018, Российская Федерация

Адрес для переписки: shardakov_vm@mail.osu.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию 23.01.19, принята к печати 05.04.19

Язык статьи — русский

Ссылка для цитирования: Шардаков В.М., Извозчикова В.В., Запорожко В.В., Парфёнов Д.И. Разработка адаптивного модуля создания и исследования виртуальных моделей объектов окружающей среды // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2019. Т. 19. № 3. С. 467–474. doi: 10.17586/2226-1494-2019-19-3-467-474

Аннотация

Предмет исследования. Проанализированы основные методы генерации ландшафтных карт, положенные в основу разработки программного модуля создания и исследования моделей объектов окружающей среды. **Метод.** Для достижения синергетического эффекта предложен гибридный подход, представляющий собой симбиоз двух методов построения ландшафтной сетки и текстур: диаграммы Вороного и алгоритма diamond-square. **Основные результаты.** Определены этапы, сформулированы условия и требования к построению и визуализации ландшафтных карт, разработана математическая модель визуализации окружающего пространства. Представлена процедура распознавания объектов из реальных фотоснимков окрестностей Бузулукского бора, приведен результат визуализации соответствующей трехмерной сцены. Анализ ресурсозатратности процессора и оперативной памяти показал преимущества гибридного подхода по сравнению с применением диаграммы Вороного или алгоритма diamond-square порознь. Реализация гибридного подхода для адаптивной генерации ландшафта позволила снизить требования к производительной мощности и ресурсам компьютера. Сделан вывод, что разработанные математическая модель и алгоритм способны проводить высококачественное моделирование реалистичных трехмерных изображений различных объектов по двумерным снимкам. **Практическая значимость.** Программный модуль интегрирован в цифровую образовательную платформу и позволяет любому обучающемуся в контексте онлайн-курса изучить возможности того или иного реального и ключевого для промышленности участка ландшафта, эффективно готовясь к выполнению профессиональных задач в будущем.

Ключевые слова

ландшафтная карта, моделирование, цифровая образовательная платформа, массовые открытые онлайн-курсы, гибридный подход, алгоритм diamond-square, диаграмма Вороного

Благодарности

Представленная работа выполнена при поддержке Министерством образования Оренбургской области (проект № 22 от 31 июля 2018 года), Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-37-00400).

doi: 10.17586/2226-1494-2019-19-3-467-474

ADAPTIVE MODULE DEVELOPMENT FOR CREATION AND STUDY OF VIRTUAL MODELS OF ENVIRONMENTAL OBJECTS

V.M. Shardakov, V.V. Izvozchikova, V.V. Zaporozhko, D.I. Parfenov

Orenburg State University, Orenburg, 460018, Russian Federation

Corresponding author: fdot_it@mail.osu.ru

Article info

Received 23.01.19, accepted 05.04.19

Article in Russian

For citation: Shardakov V.M., Izvozchikova V.V., Zaporozhko V.V., Parfenov D.I. Adaptive module development for creation and study of virtual models of environmental objects. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2019, vol. 19, no. 3, pp. 467–474 (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2019-19-3-467-474

Abstract

Subject of Research. The paper presents the analysis of basic methods for generation of landscape maps taken as a basis for software module development intended for creation and study of models of environmental objects. **Method.** To achieve the synergistic effect, we proposed hybrid approach representing a mixture of two methods for construction of landscape mesh and

textures: Voronoi diagrams and the algorithm of diamond-square. **Main Results.** The stages are defined; the conditions and requirements for the construction and visualization of landscape maps are formulated; a mathematical model of the surrounding space visualization is developed. The procedure of objects recognition from real photographs of the Buzuluk pine forest surroundings is presented; the result of the corresponding three-dimensional scene visualization is given. The analysis of CPU and RAM resource consumption showed the advantages of the hybrid approach compared to the application of Voronoi diagram or diamond-square algorithm separately. The hybrid approach implementation for adaptive landscape generation has reduced the requirements for productive capacity and computer resources. It is concluded that the developed mathematical model and algorithm can carry out high-quality modeling of realistic three-dimensional images of various objects based on two-dimensional images. **Practical Relevance.** The software module is integrated into a digital educational platform and enables any student to explore the possibilities of a real and key for the industry area of the landscape in the context of an online course, effectively preparing for the implementation of professional tasks in the future.

Keywords

landscape map, simulation, cloud educational environment, massive open online courses, hybrid approach, diamond-square algorithm, Voronoi diagram

Acknowledgements

The research has been supported by the Ministry of Education of Orenburg region (project No. 22 dated July, 31, 2018), RFBR, according to the research project No. 18-37-00400.

Введение

Ландшафтные карты необходимы для решения многих задач как науки, так и производства, и все шире привлекаются к работам по комплексным территориальным планировкам, охране природной среды, добыче и разработке полезных ископаемых и др. В настоящее время ландшафтные карты широко используются при изучении компонентов природной среды дистанционными методами в рамках освоения соответствующих массовых открытых онлайн-курсов (MOOK).

Современная облачная образовательная среда должна предоставлять обучающемуся возможность полноценно осваивать необходимые профессиональные компетенции, для чего необходим опыт практической деятельности и поэтому построение модели визуализации окружающего пространства становится все более востребованным [1–5]. В рамках исследования рассмотрен ряд работ, направленных на виртуальную генерацию ландшафтной карты.

Российские ученые из Уфы представили архитектуру предполагаемой модели системы виртуального присутствия на базе SDN (программно-конфигурируемой сети). В данной работе предложена архитектура программно-аппаратного комплекса виртуального присутствия на основе технологий SDN, однако разработку алгоритма метода и его реализацию авторы в статье не отразили [2].

Исследователи En-Mi Lim и T. Honjo спроектировали посредством VRML (Virtual Reality Modeling Language) браузера визуализацию лесных ландшафтов с применением имитации трехмерных объектов посредством 2D-изображения. Недостатком предложенного решения является одновременная имитация большого объема деревьев и не предназначена для создания сцены с единичным расположением деревьев и прочей растительности [6].

Коллективом авторов под руководством Olivera Deussena реализована визуализация природных сцен с тысячами растений. Учеными создана сцена, состоящая из множества примитивов, с использованием соответствующего освещения в естественной среде. Работа реализована в графическом редакторе, вся сцена создана вручную. Это представляет множество трудностей, во-первых, сложности при воссоздании новой сцены, во-вторых, все элементы представляют собой двумерные объекты [7].

Исследователями из Бонна (Германия) представлена статья по рационализации трехмерной активности ландшафтов. В работе авторы определяют схожесть ландшафта, его характеристики и приводят теоретическое описание требуемых моделей. Существенным недостатком подхода, который используется авторами при визуализации ландшафта, является его схематичное представление, что не соответствует целям подробной детализации объектов ландшафта [8].

Постановка задачи

Исходя из проведенного анализа вышеперечисленных работ авторов, прослеживается сложность генерации и визуализации трехмерного пространства. Некоторыми учеными предложено создавать всего лишь двумерный ландшафт, из-за чего можно рассмотреть только фронтальную проекцию сгенерированного ландшафта, что не отвечает цели исследования. Направление трехмерной визуализации является перспективным во многих сферах науки и промышленности, позволяющее заранее смоделировать все этапы разработки без физического присутствия, адаптировать ее под различные требования.

Ландшафты, сгенерированные с использованием трехмерной графики, представляют наибольшую ценность, так как позволяют обучающемуся увидеть применение своих результатов на практике. Трехмерная графика является объемным изображением объектов на двумерном экране компьютера. Она позволяет визуализировать объекты, задать их параметры и смоделировать ситуацию без покупки дорогостоящего оборудования или же модернизации уже имеющегося.

В связи с этим предлагается использовать MOOK-платформу, в ядро которой интегрирован адаптивный программный модуль, позволяющий моделировать 3D-объекты некоторой предметной области при решении задач, связанных с визуализацией окружающего пространства. При этом данный модуль генерирует объекты инвариантно относительно предметной области и соответственно подстраивается под образовательные запросы и потребности обучающихся. На основе смоделированных объектов учебной деятельности обучающиеся могут определять типы почв, изучать природный климатический спектр, а также своими глазами наблюдать за процессами транспортировки нефти и газа на перерабатывающие заводы. Такая практика позволит специалистам получать новые знания и практические умения, освоить первый физический и наглядный опыт, необходимый для квалифицированной оценки окружающего ландшафта.

При построении и визуализации ландшафтных карт выделяют следующие требования:

- качественная виртуальная модель объектов и окружающей среды, позволяющая отображать сцены больших пространств и показывать высокую детализацию при приближении объектов сцены;
- обработка данных в режиме реального времени, требующая обновления визуализации сцены со скоростью не менее 30 кадров в секунду;
- минимизация задержки изменения изображений при реагировании на воздействие оператора на органы управления;
- имитация погодных условий.

Для обучающегося все вышеперечисленные требования позволят оптимизировать ресурсы по выбранному трехмерному курсу за счет использования эффективных алгоритмов, применяемых в работе со сгенерированной виртуальной ландшафтной картой.

В рамках исследования предлагается гибридный подход, позволяющий получить преимущество в скорости обработки ландшафта, получая качественную визуализацию объектов окружающего пространства. С помощью такой модификации метода генерации ландшафта возможно использовать все преимущества диаграммы Вороного и алгоритма diamond-square.

Гибридный подход для адаптивной генерации ландшафта

Весь процесс визуализации снимка можно представить, как последовательность следующих этапов (рис. 1).

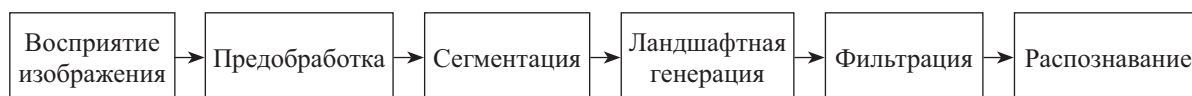


Рис. 1. Этапы процесса визуализации снимка

На этапе «Восприятие изображения» происходит процесс получения входных данных для обработки и возможности визуализации объектов.

На этапе «Предобработка» строится математическая модель, которая используется для маркировки опорных точек визуализации объемной сцены. Для этого необходимо выполнение следующих условий: использование минимального количества смежных точек, возможность использования начальных координат точки, количество вычисляемых параметров уравнения должно равняться трем.

Всеми вышеперечисленными критериями обладает линейная модель цифрового построения ландшафта, принцип построения которой заключается в следующем. Пусть дана некоторая область, в которой пользователю необходимо нанести точку на карту между смежными исходными точками математической модели, используемой для визуализации окружающего пространства с номерами a , b , c . Тогда уравнение искомых точек на плоскости в общем виде может быть представлено следующим образом:

$$H = AX + BY + Z, \quad (1)$$

где X и Y — координаты точки; H — высота; A , B и Z — коэффициенты уравнения плоскости, проходящей через исходные точки a , b , c .

Подставим в уравнение (1) известные координаты трех исходных точек a , b , c . Получим следующее решение:

$$\begin{cases} H_a = AX_a + BY_a + Z \\ H_b = AX_b + BY_b + Z \\ H_c = AX_c + BY_c + Z \end{cases} \quad (2)$$

Система уравнений (2) решается в матричной форме, в результате чего определяются неизвестные коэффициенты A , B и Z , что позволит определить высоту точки H и промаркировать точками всю предполагаемую область для последующего построения ландшафта [9, 10]. При этом к реальной фотографии могут применяться операции усреднения и выравнивания гистограмм, различного типа фильтры для исключения помех, а также подавления внешних шумов.

На этапе «Сегментация» происходит процесс поиска схожих областей на изображении. Для этого устанавливается пороговое значение, на основе которого функция изображения отображает элементы с уровнем яркости больше порогового в значение 1, меньше порогового — в 0. При наличии устойчивой связности внутри отдельных сегментов эффективны методы наращивания областей. Этот принцип состоит в том, что происходит группировка соседних элементов с одинаковыми или близкими уровнями яркости, а затем объединение их в однородные области. Один из типов — центроидное связывание, которое предполагает выбор стартовых точек либо с помощью оператора, либо автоматически.

На этапе «Ландшафтная генерация» генерация поверхности и вычисление серединной точки каждого сектора выполняется посредством диаграммы Вороного. С помощью алгоритма diamond-square происходит заполнение текстурами полученных секторов. Построение ландшафтной сетки по диаграмме Вороного начинается с расположения основных точек на поверхности карты. Далее по имеющимся точкам создается диаграмма, на которой выполняется несколько итераций, чтобы избавиться от очень мелких полигонов [8]. Вся суть построения ключевых зон по диаграмме Вороного сводится к созданию сетки состоящей из точек, как показано на рис. 2.

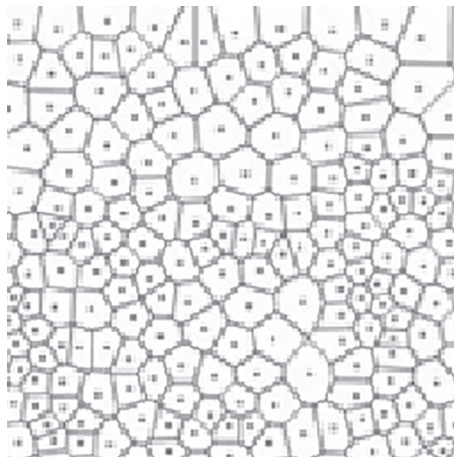


Рис. 2. Схематическое применение диаграммы Вороного

После получения ключевых зон и основных точек, находящихся по центру зоны, подключается алгоритм diamond-square. От точки посередине получается усреднение высот всех четырех угловых точек, а каждая центральная точка на стороне ключевой зоны — усреднение пары точек, лежащих на концах соответствующей стороны. Для лучшего эффекта можно задать коэффициент шума, т. е. сдвинуть случайным образом центральную точку вверх или вниз. Данную операцию можно повторять до тех пор, пока не будет получен оптимальный вид для полученных подквадратов посредством применения следующих критериев: среднеквадратического отклонения, критерия Крамера–Мизеса, дивергенции Кульбака–Лейблера [11]. На рис. 3 показан принцип деления основных зон на более мелкие части.



Рис. 3. Схематическое применение алгоритма diamond-square

В рамках исследования предлагается гибридный подход, позволяющий получить преимущество в скорости обработки ландшафта, получая качественную визуализацию объектов окружающего пространства. С помощью такой модификации метода генерации ландшафта возможно использовать все преимущества диаграммы Вороного и алгоритма diamond-square.

С целью повышения качества распознаваемого изображения на этапе «Фильтрация» происходит применение фильтров, функции сглаживания к фотоснимкам.

На последнем этапе «Распознавание» используется изображение, полученное в результате шумоподавления и процесса сегментации. Для решения задач распознавания применяется синтаксический метод. Этот метод основан на получении структурно-грамматических признаков, когда во всем изображении про-

исходит выделение схожих признаков. Также выполняется ввод правил соединения подобных элементов, одинаковых для эталона и входного изображения. Анализ полученных таким образом результатов помогает обеспечить верное принятие решения для визуализации сцены объектов [12, 13].

Программная реализация гибридного подхода

Для нахождения значения увеличения карты ландшафта $morph$ -фактора используется формула

$$factor = \frac{Height}{2 \cdot \lg(fov / 2)},$$

где $factor$ — данные высот, содержащие приблизительный размер узла в пикселях на экране; $Height$ — высота до максимальной точки объекта ландшафта; fov — набор данных, содержащих координаты расположения текстуры.

Далее определяем, какой будет уровень детализации при приближении карты пользователем:

$$morphT_x = \text{Min}(1, \frac{size_x}{MxTS \cdot TER} - 0,5) \cdot 2, \quad morphT_y = \text{Min}(1, \frac{size_y}{MxTS \cdot TER} - 0,5) \cdot 2,$$

где $morphT_x$, $morphT_y$ — определяют уровень детализации, заданный пользователем; $size_x$, $size_y$, $size_z$ — приблизительный размер сторон узла в пикселях на экране; $MxTS$ — максимальный размер треугольников в пикселях на экране; TER — расстояние расположение координат $[X, Y, Z]$, в которой X -компонента каждого элемента буфера является шириной в какой-то точке для узла, Y -компонента — высотой с меньшей детализацией, Z -компонента — протяженностью объекта.

Уровень сглаживания объектов ландшафта, расположенных по осям после его увеличения, определяется по следующим формулам:

$$morph_x = (\frac{size_z \cdot NodeMEX \cdot size_x}{TER \cdot MaxTr^2} - 0,5) \cdot 2, \quad morph_y = (\frac{size_z \cdot NodeMEY \cdot size_y}{TER \cdot MaxTr^2} - 0,5) \cdot 2,$$

$$morph = \text{Max}(\text{Max}(morphT_x, morph_x), \text{Max}(morphT_y, morph_y)),$$

где $NodeMEX$, $NodeMEY$ — максимальное количество ошибок по осям X и Y ; $MaxTr$ — определяет максимальную детализацию ландшафта; $morph_x$, $morph_y$ — «сглаживание» объекта ландшафта после его увеличения.

Разбиения продолжают до тех пор, пока $morph$ -фактор не станет меньше единицы. Каждый листовой квадрат дерева разбивается на треугольники и образует один дип. На границе квадратов разных размеров для упрощения их стыковки друг с другом без просветов вводится дополнительное правило. Любой квадрат может одной стороной граничить не более чем с двумя другими квадратами, и при возникновении таких ситуаций производится дополнительные разбиения квадратов на треугольники.

Для того чтобы изображение соответствовало разрешению, установленному пользователем, вычисляется размер сторон узла в пикселях на экране:

$$size_x = factor \cdot Scale_x \cdot \frac{|\mathbf{r} \cdot \mathbf{i}|}{R^2}, \quad size_y = factor \cdot Scale_y \cdot \frac{|\mathbf{r} \cdot \mathbf{j}|}{R^2}, \quad size_z = factor \cdot Scale_z \cdot \frac{|\mathbf{r} \cdot \mathbf{k}|}{R^2},$$

где \mathbf{i} , \mathbf{j} , \mathbf{k} — элементы массива данных; \mathbf{r} — размерность; R — радиус.

Формула расчета удаленности пользователя от предмета по соответствующим осям представлена ниже:

$$Scale_x = \frac{TerSizeX}{2^{lod}}, \quad Scale_y = \frac{TerSizeY}{2^{lod}}, \quad \mathbf{r} = \mathbf{SNodeP} - \mathbf{CP},$$

где $Scale_x$, $Scale_y$ — удаленность пользователя от предмета по осям x и y ; $TerSizeX$, $TerSizeY$ — размерность ландшафта по осям x и y ; \mathbf{SNodeP} — новый узел; \mathbf{CP} — позиция камеры; 2^{lod} — уровень детализации текстур.

Далее разработаны трехмерные модели, хранящиеся на облачном сервере, которые используются для получения качественной объемной сцены. Определение параметров визуализации, основанных на применении гибридного подхода, представлено схемой алгоритма на рис. 4. На схеме алгоритма V задает конечный объем объекта, V_n — начальное значение объема объекта.

Экспериментальная часть

Завершающим этапом в визуализации ландшафта местности является размещение разработанных ранее трехмерных объектов на сцене распознанной картины. На рис. 5 представлена реальная и визуализированная из фотоснимка сцена.

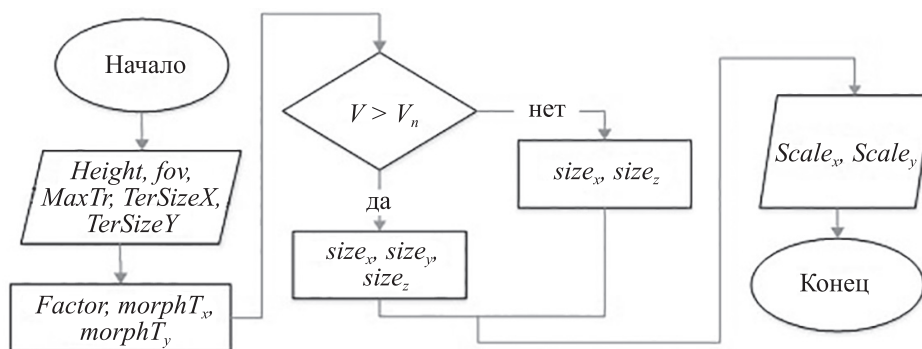


Рис. 4. Алгоритм определения параметров визуализации

Базовым принципом обработки больших данных является горизонтальная масштабируемость. Все данные распределены по вычислительным узлам сервера, на котором хранится порядка одного терабайта разработанных трехмерных моделей ландшафта. При выборе онлайн-курса, связанного с ландшафтным моделированием, пользователь получает полноценную трехмерную картину, по которой он может изучить окружающую природную среду.



Рис. 5. Реальная (а) и визуализированная (б) из фотоснимка сцена

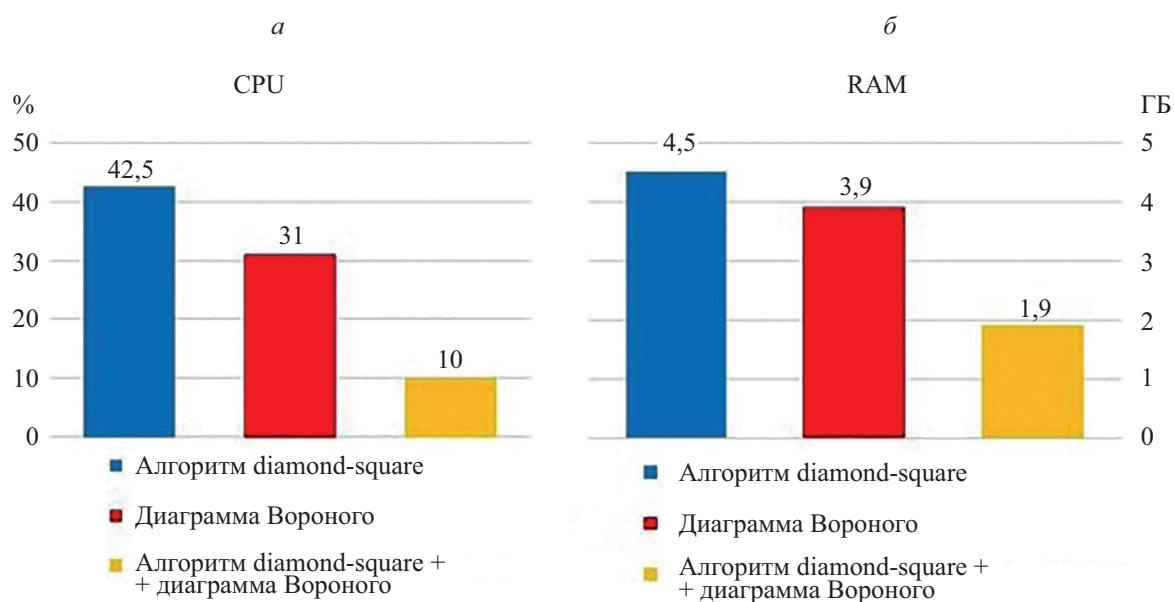


Рис. 6. Анализ ресурсозатратности: нагрузка на процессор компьютера (CPU) (а), загрузка оперативной памяти компьютера (RAM) (б)

Применение гибридного подхода для адаптивной генерации ландшафта позволило снизить требования к производительности компьютера и объему оперативной памяти [14, 15]. Результаты проведенного эксперимента представлены на рис. 6.

Заключение

Таким образом, авторами предложен новый гибридный подход, позволяющий получить преимущество в скорости обработки ландшафта, получая качественную визуализацию объектов окружающего пространства. Результаты эксперимента показали, что разработанные математическая модель и алгоритм способны проводить виртуальное моделирование трехмерных изображений различных реальных объектов по двумерным снимкам. Программный модуль адаптирован для массовых открытых онлайн-курсов и позволяет в условиях цифровой образовательной платформы изучить возможности того или иного реального и ключевого для промышленности участка ландшафта, эффективно готовясь к выполнению профессиональных задач в будущем.

Литература

1. Yu M., Huang Y., Xu Q., Guo P., Dai Z. Application of virtual earth in 3D terrain modeling to visual analysis of large-scale geological disasters in mountainous areas // *Environmental Earth Sciences*. 2016. V. 75. N 7. doi: 10.1007/s12665-015-5161-5
2. Вологжанин А.Ю., Билялов А.Р., Ковтуненко А.С. Система виртуального присутствия на базе SDN и ее применение в телемедицине // Труды Шестой Всероссийской научной конференции «Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений». Уфа-Ставрополь, Россия, 2018. С. 257–261.
3. Шикин А.В., Боресков А.В. Компьютерная графика. Полигональные модели. М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2001. 464 с.
4. Осин А.В. Мультимедиа в образовании: контекст информатизации. М.: Издательский сервис, 2004. 320 с.
5. Носкова Т.Н. Педагогическая сущность виртуальной образовательной среды // Известия РГПУ им. А.И. Герцена. 2014. № 167. С. 183–194.
6. Lim E.M., Honjo T. Three-dimensional visualization forest of landscapes by VRML // *Landscape and Urban Planning*. 2003. V. 63. N 3. P. 175–186. doi: 10.1016/S0169-2046(02)00189-5
7. Deussen O., Hanrahan P., Lintermann B., Mech R., Pharr M., Prusinkiewicz P. Realistic modeling and rendering of plant ecosystems // *Proc. 25th Annual Conf. on Computer Graphics and Interactive Techniques*. New York, 1998. P. 275–286. doi: 10.1145/280814.280898
8. Peltason L., Iyer P., Bajorath J. Rationalizing three-dimensional activity landscapes and the influence of molecular representations on landscape topology and the formation of activity cliffs // *Journal of Chemical Information and Modeling*. 2010. V. 50. N 6. P. 1021–1033. doi: 10.1021/ci100091e
9. Bolodurina I.P., Shardakov V.M., Zaporozhko V.V., Parfenov I.V., Parfenov D.I., Izvozchikova V.V. Development of prototype of visualization module for virtual reality using modern digital technologies // *Proc. Global Smart Industry Conference (GloSIC)*. Chelyabinsk, Russia, 2018. P. 1–6. doi: 10.1109/GloSIC.2018.8570145
10. Shardakov V.M., Parfenov D.I., Zaporozhko V.V., Izvozchikova V.V. Development of an adaptive module for visualization of the surrounding space for cloud educational environment // *Proc. 11th Int. Conf. «Management of large-scale system development» (MLSD)*. Moscow, Russia, 2018. P. 1–5. doi: 10.1109/MLSD.2018.8551926
11. Извозчикова В.В., Шардаков В.М. Комбинированный метод обработки виртуальной поверхности рельефа // Наука и бизнес: пути развития. 2018. № 2 (80). С. 25–27.
12. Болодурина И.П., Парфёнов Д.И. Управление потоками данных в высоконагруженных информационных системах, построенных на базе облачных вычислений // Системы управления и информационные технологии. 2015. Т. 5. № 1-1. С. 111–118.
13. Извозчикова В.В., Меженин А.В. 3D-моделирование методов съемки мобильными видеосистемами // Программные продукты и системы. 2016. № 3. С. 163–167. doi: 10.15827/0236-235X.115.163-167

References

1. Yu M., Huang Y., Xu Q., Guo P., Dai Z. Application of virtual earth in 3D terrain modeling to visual analysis of large-scale geological disasters in mountainous areas. *Environmental Earth Sciences*, 2016, vol. 75, no. 7. doi: 10.1007/s12665-015-5161-5
2. Vologzhanin A.Yu., Bilyalov A.R., Kovtunenkov A.S. SDN-based virtual presence system and its use in telemedicine. *The 6th All-Russian Scientific Conference on Information Technologies for Intelligent Decision Making Support*. Ufa, Stavropol', Russia, 2018, pp. 257–261. (in Russian)
3. Shikin A.V., Boreskov A.V. *Computer Graphics. Polygonal Models*. Moscow, DIALOG-MEPI Publ., 2001, 464 p. (in Russian)
4. Osin A.V. *Multimedia in Education: the Context of Informatization*. Moscow, Izdatel'skii Servis Publ., 2004, 320 p.
5. Noskova T.N. Pedagogical essence of virtual educational environment. *Herzen University Journal of Humanities and Sciences*, 2014, no. 167, pp. 183–194. (in Russian)
6. Lim E.M., Honjo T. Three-dimensional visualization forest of landscapes by VRML. *Landscape and Urban Planning*, 2003, vol. 63, no. 3, pp. 175–186. doi: 10.1016/S0169-2046(02)00189-5
7. Deussen O., Hanrahan P., Lintermann B., Mech R., Pharr M., Prusinkiewicz P. Realistic modeling and rendering of plant ecosystems. *Proc. 25th Annual Conf. on Computer Graphics and Interactive Techniques*. New York, 1998, pp. 275–286. doi: 10.1145/280814.280898
8. Peltason L., Iyer P., Bajorath J. Rationalizing three-dimensional activity landscapes and the influence of molecular representations on landscape topology and the formation of activity cliffs. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 2010, vol. 50, no. 6, pp. 1021–1033. doi: 10.1021/ci100091e
9. Bolodurina I.P., Shardakov V.M., Zaporozhko V.V., Parfenov I.V., Parfenov D.I., Izvozchikova V.V. Development of prototype of visualization module for virtual reality using modern digital technologies. *Proc. Global Smart Industry Conference (GloSIC)*. Chelyabinsk, Russia, 2018, pp. 1–6. doi: 10.1109/GloSIC.2018.8570145
10. Shardakov V.M., Parfenov D.I., Zaporozhko V.V., Izvozchikova V.V. Development of an adaptive module for visualization of the surrounding space for cloud educational environment. *Proc. 11th Int. Conf. Management of large-scale system development, MLSD*. Moscow, Russia, 2018, pp. 1–5. doi: 10.1109/MLSD.2018.8551926
11. Izvozchikova V.V., Shardakov V.M. A combined method of virtual surface topography processing. *Science and Business*, 2018, no. 2, pp. 25–27. (in Russian)
12. Bolodurina I.P., Parfenov D.I. Data flows control in highly loaded information systems based on cloud computing *Sistemy Upravleniya i Informatsionnye Tekhnologii*, 2015, vol. 15, no. 1-1, pp. 111–118. (in Russian)
13. Izvozchikova V.V., Mezhenin A.V. 3D modeling for mobile video systems. *Software and Systems*, 2016, no. 3, pp. 163–167. (in Russian) doi: 10.15827/0236-235X.115.163-167
14. Izvozchikova V.V., Shardakov V.M. Reducing the resource efficiency of a computer when handling data landscape map. *Perspektivy Nauki*, 2018, no. 2, pp. 20–23. (in Russian)

14. Извозчикова В.В., Шардаков В.М. Снижение ресурсозатратности компьютера при обработке данных ландшафтной карты // Перспективы науки. 2018. № 2(101). С. 20–23.
15. Болодурина И.П., Шардаков В.М. Программа по обработке комбинированных методов виртуальной поверхности рельефа. Свидетельство РФ о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2018610775; опубл. 17.01.2018.
15. Bolodurina I.P., Shardakov V.M. Program for processing the combined methods of the virtual surface relief. Certificate RF about state. computer program registration *no. 2018610775*, 2018.

Авторы

Шардаков Владимир Михайлович — аспирант, Оренбургский государственный университет, Оренбург, 460018, Российская Федерация, Scopus ID: 57202400849, ORCID ID: 0000-0001-6151-6236, shardakov_vm@mail.osu.ru

Извозчикова Вера Васильевна — кандидат технических наук, доцент, Оренбургский государственный университет, Оренбург, 460018, Российская Федерация, Scopus ID: 57205440670, ORCID ID: 0000-0002-8707-9510, viza-8.11@mail.ru

Запорожко Вероника Вячеславовна — кандидат педагогических наук, доцент, Оренбургский государственный университет, Оренбург, 460018, Российская Федерация, Scopus ID: 57194494645, ORCID ID: 0000-0002-2193-9389, zaporozhko_vv@mail.osu.ru

Парфёнов Денис Игоревич — кандидат технических наук, доцент, Оренбургский государственный университет, Оренбург, 460018, Российская Федерация, Scopus ID: 55809642700, ORCID ID: 0000-0002-1146-1270, fdot_it@mail.osu.ru

Authors

Vladimir M. Shardakov — postgraduate, Orenburg State University, Orenburg, 460018, Russian Federation, Scopus ID: 57202400849, ORCID ID: 0000-0001-6151-6236, shardakov_vm@mail.osu.ru

Vera V. Izvozchikova — PhD, Associate Professor, Orenburg State University, Orenburg, 460018, Russian Federation, Scopus ID: 57205440670, ORCID ID: 0000-0002-8707-9510, viza-8.11@mail.ru

Veronika V. Zaporozhko — PhD, Associate Professor, Orenburg State University, Orenburg, 460018, Russian Federation, Scopus ID: 57194494645, ORCID ID: 0000-0002-2193-9389, zaporozhko_vv@mail.osu.ru

Denis I. Parfenov — PhD, Associate Professor, Orenburg State University, Orenburg, 460018, Russian Federation, Scopus ID: 55809642700, ORCID ID: 0000-0002-1146-1270, fdot_it@mail.osu.ru