

Способ описания объектов сцены системы технического зрения робота средствами нечеткой триангуляции Делоне с использованием адаптивной сетки

В. В. Храмов

ЧОУ ВО «Южный университет (ИУБиП)», г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация
344068, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пр. М. Нагибина, д. 33А/47
vxramov@inbox.ru

Аннотация

В работе рассмотрен способ представления совокупности информационных объектов (сцены), находящихся в поле зрения интеллектуального робота, основанный на базе нечеткой триангуляции Делоне за счет локально-регулярного измельчения исходной (грубой) треугольной сетки при помощи многократного половинного деления сторон исходных треугольников и построения на его основе четырех конгруэнтных ему треугольников в четыре раза меньшей площади. Такой подход к измельчению позволяет строить регулярные, сетки и соответствующей триангуляции этих средних точек, состоящие как из равносторонних, так из произвольных треугольников, в зависимости от того, как распределены отдельные информационные объекты в пространстве исследуемой территории. Возникающая при этом проблема измельчения и перестроения приграничных треугольников упрощается за счет того, что процесс их разбиения осуществляется по аналогии со смежными исходными треугольниками. Описанный метод возможно модифицировать для того, чтобы измельчать уже готовую сетку как целиком, так и отдельные ее зоны. В этом случае пропускается этап построения грубой триангуляции и половинное деление проводится на материале уже готовой сетки. Тем самым отсутствует необходимость проверять на каждом шаге условие Делоне. При таком измельчении может происходить лишь локальное перестроение ячеек. Преимуществом такого подхода является отсутствие необходимости генерировать всю сетку заново. Заметим также, что рассмотренная процедура приведения триангуляции в соответствии с условием Делоне позволяет существенно уменьшить затрачиваемое на перестроение сетки машинное время, так как не производится проверка условия для всех элементов сетки. В процессе описания контекста исследуемого изображения определяются центры тяжести плоских информационных объектов, которые выступают в качестве исходных для грубого разбиения на треугольники по правилам Делоне. Предлагаемый подход позволяет существенно упростить вычислительные процедуры идентификации элементов нечетких изображений.

Ключевые слова: математика на решетках, триангуляция Делоне, идентификация, информационные объекты, HE-факторы.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Храмов, В. В. Способ описания объектов сцены системы технического зрения робота средствами нечеткой триангуляции Делоне с использованием адаптивной сетки / В. В. Храмов. – DOI 10.25559/SITITO.16.202004.833-840 // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2020. – Т. 16, № 4. – С. 833-840.

© Храмов, В. В., 2020



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.



A Method of Describing Objects in a Scene of a Robot Vision System by Means of Fuzzy Delaunay Triangulation Using an Adaptive Mesh

V. V. Khramov

Southern University (IMBL), Rostov-on-Don, Russian Federation
33a/47 Nagibin Ave., Rostov-on-Don 344068, Russian Federation
vxpamov@inbox.ru

Abstract

The paper considers a method for representing a set of information objects (scenes) in the field of view of an intelligent robot, based on the fuzzy Delaunay triangulation due to locally regular refinement of the original (coarse) triangular mesh using multiple half-divisions of the sides of the original triangles and building on its basis four congruent triangles with four times smaller area. This approach to refinement allows you to build regular grids and the corresponding triangulation of these midpoints, consisting of both equilateral and arbitrary triangles, depending on how the individual information objects are distributed in the space of the study area. The arising problem of refining and rearranging border triangles is simplified due to the fact that the process of splitting them is carried out by analogy with adjacent initial triangles. The described method can be modified in order to grind an already finished mesh as a whole or its individual zones. In this case, the stage of constructing a rough triangulation is skipped and a half division is carried out on the material of the already finished mesh. Thus, there is no need to check the Delaunay condition at each step. With such a refinement, only a local rearrangement of the cells can occur. The advantage of this approach is that there is no need to regenerate the entire mesh. Note also that the considered procedure for bringing the triangulation in accordance with the Delaunay condition can significantly reduce the computer time spent on rebuilding the mesh, since the condition is not checked for all mesh elements. In the process of describing the context of the image under study, the centers of gravity of flat information objects are determined, which act as the initial ones for a rough division into triangles according to the Delaunay rules. The proposed approach makes it possible to significantly simplify the computational procedures for identifying elements of fuzzy images.

Keywords: mathematics on lattices, Delaunay triangulation, identification, information objects, NOT-factors.

The author declares no conflicts of interest.

For citation: Khramov V.V. A Method of Describing Objects in a Scene of a Robot Vision System by Means of Fuzzy Delaunay Triangulation Using an Adaptive Mesh. *Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie* = Modern Information Technologies and IT-Education. 2020; 16(4):833-840. DOI: <https://doi.org/10.25559/SITITO.16.202004.833-840>



Введение

Во многих задачах математического моделирования реальных объектов и явлений исследователям приходится иметь дело с огромным числом НЕ-факторов [1], присущих измерениям, данным, методикам и алгоритмам их обработки и т.д.: недоопределенность общих и конкретных знаний о модели изображения вообще и данного объекта изображения в частности; неоднозначность и некорректность модели формирования изображения; неточность (конечная точность) реальных величин, связанная как с ошибками аппроксимации, так и с ошибками измерения; собственно нечеткость (размытость). Если при этом необходимо или хотя бы полезно визуализировать процесс моделирования или интерпретацию его результатов, важным этапом является построение расчетной сетки, учитывающей исходную нечеткость [1], [2]. Существуют различные подходы к построению сеток, в том числе метод продвигаемого фронта и триангуляция Делоне [3], имеются также методы, использующие комбинации различных геометрических подходов [4], [5].

Цель и порядок исследований

Обычно [6] триангуляция Делоне производится в два этапа. На первом этапе формируется исходная сетка на основе имеющихся исходных точек. Например, если речь идет о снимках, в том числе, получаемых посредством систем технического зрения, это могут быть какие-либо «опорные точки», ориентиры для системы навигации робота.

На втором этапе, обычно [3], [6], следует измельчение полученных грубых ячеек каким-либо способом. В работах [4], [6] предлагаются способы построения двумерных регулярных и нерегулярных треугольных сеток, ячейки которых соответствуют условию Делоне. Например, «на основе исходных точек, приближающих собою границу области, производится построение исходной (грубой) треугольной сетки. Исходная область стягивается до треугольника при помощи последовательного отрезания от нее грубых треугольных элементов. Оставшийся треугольник представляет собою последний элемент грубой сетки» [4]. Часто используют следующий подход к «измельчению грубой треугольной сетки. Ячейки разбиваются при помощи множества вбрасываемых точек. Кроме того, на каждом шаге измельчения производится перестроение области так, чтобы она удовлетворяла условию Делоне» [6].

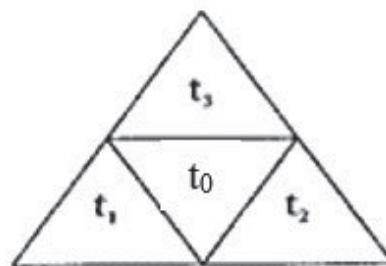
Методы и модели

Исходные предпосылки

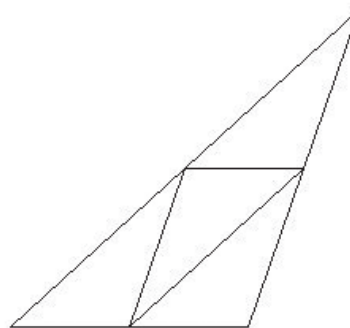
Использование треугольных (в том числе и триангуляционных) сеток обеспечивает известные «преимущества триангуляции. Во-первых, любая поверхность может быть аппроксимирована с необходимой точностью сеткой из треугольников, квадратов или шестиугольников. Во-вторых, вычислительная сложность алгоритмов разбиения на треугольники существенно меньше, чем при использовании других полигонов. В-третьих, в настоящее время имеется тенденция повсеместно задавать объекты триангуляцией» [6], либо на основе шестиугольников (гексагонализацией [7]).

Основные определения

Для геометрического моделирования треугольных решеток на условиях регулярности зафиксируем итерируемое множество клеток (треугольников) M . В элементарном случае, $M = \{ : \}$; клетка — пара (a, m) , где $a \in A$, называется состоянием клетки (обозначается $a(m)$), а $m \in M$, ее имя (смотри, например [11]). Тем самым создаем клеточный массив, основу поля клеточных автоматов, состоящих из треугольников [12]. Множество клеток, близлежащих к данной, образуют вместе с ней системный блок ячеек (СБЯ) первого уровня. В этом, простейшем случае, две клетки будут считаться соседними, если образующие их треугольники имеют общую сторону. Очевидно, что у каждой такой ячейки (если она не граничная) ровно три соседних. Шаблон соседства СБЯ: $T = \{t_0, t_1, t_2\}$ (рис.1). Такая триангуляция может нести на себе функции клеточного автомата [7], [8], правило перехода которого (к новой ячейке) — одинаковое для всех ячеек треугольников.



a)



б)

Р и с. 1. Шаблоны соседства триангуляции
F i g. 1. Triangulation Neighborhood Patterns

В общем случае, треугольники решеток в триангуляции Делоне не обязательно будут равносторонними (рис. 1б), тем не менее, требования к соседним ячейкам то же: общая сторона. В процессе реализации методов идентификации плоских изображений сцены системы технического зрения зачастую в качестве признаков используются формой контуров отдельных информационно объектов [7], [9], [10]. При этом под контуром будем понимать упорядоченное множество пикселей исследуемых объектов, имеющих хотя бы один соседний пиксель, данному объекту не принадлежащий [7]. Контур, в отличие от текстуры изображения и фона, обладает



определенной независимостью от погоды, освещения, других факторов. Поэтому совокупность точек контура является характеристическим (математическим) объектом. В то же время, для контура могут быть выбраны особенные точки, например, вершина горы, небольшое озеро и т.п., или вычислен центр тяжести плоской фигуры, ограниченной этим контуром, которые обладают относительной пространственной устойчивостью (по сравнению с отдельными точками самого контура).

Способ разбиения треугольников

Процедура построения исходной триангуляции подразумевает построение исходных («грубых» [6], [9]) треугольников непосредственно вокруг исследуемого пространственного объекта (ИПО). Она достаточно хорошо исследована [3-10], и, как правило, сложностей в реализации не вызывает.

Измельчение грубой сетки имеет целью повысить качество идентификации ИПО, оценки его текущего состояния, устойчивости границ и прогнозирование динамики процессов, происходящих на этом объекте. Измельчение исследовалось в целом ряде работ по моделированию физических процессов [3], [5], например, с использованием «вброшенных точек». Авторами исследовались варианты измельчения, позволяющие строить как регулярные, так и нерегулярные сетки, в зависимости от того, как распределены вбрасываемые точки. Допускались модификации такого подхода для того, чтобы измельчать уже готовую сетку, как целиком, так и отдельные ее зоны.

Рассмотрим основные этапы предлагаемого нами подхода к измельчению исходной триангуляции, обеспечивающий требуемую точность процедуры выделения. При этом их последовательность может варьироваться.

Первый этап. Подготовка к исходной нечеткой триангуляции Делоне. На этом этапе осуществляется стандартная предварительная обработка изображения: нормализация, центрирование относительно исследуемой области, бинаризация (объект/фон), фильтрация.

Второй этап. Первичная сегментация изображения, в том числе возможно предварительное определение границ опорных (для системы технического зрения) объектов, определение их характерных точек, например, центров тяжести плоских фигур, ограниченных выделенными контурами.

Третий этап. Собственно триангуляция Делоне с использованием характерных точек. При этом обеспечивается выполнение условий Делоне [6], при необходимости добавляются вспомогательные точки.

Четвертый этап. Выбирается наибольший по площади треугольник этой триангуляции, одной из вершин которого выступает центр тяжести исследуемого объекта. Осуществляется пропорциональное разбиение этого треугольника, например, с использованием системы итерируемых функций (ITF) [11], [13], (применяемых, например, при формировании смещенных треугольников Серпинского¹ [14], [15]).

Поместим исходный треугольник, на комплексную плоскость $[z]$ и сформируем линейные преобразования исходного треу-

гольника, с длиной стороны равной единице, в четыре подобных ему меньших (рис.1а) $\{t_0, t_1, t_2, t_3\}$.

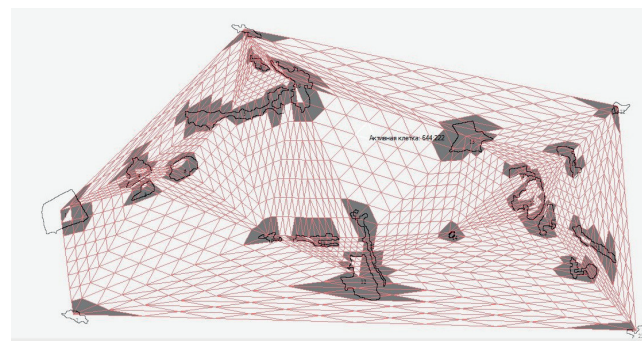
$$t_1: f_1(z) = \frac{1}{2}z \quad t_2: f_2(z) = \frac{1}{2}z + \frac{1}{2}$$

$$t_3: f_3(z) = \frac{1}{2}z + \frac{1}{4} + i\frac{\sqrt{3}}{4} \quad t_0: f_0(z) = \frac{3}{4} - \frac{1}{2}z - i\frac{\sqrt{3}}{4}$$

В итоге четыре линейные функции $f_1(z)$, $f_2(z)$, $f_3(z)$ и $f_0(z)$ осуществляют искомое преобразование исходного треугольника в четыре треугольника, имеющего в два раза меньшие линейные размеры и, соответственно, в четыре раза меньшие площади. Возникает вопрос, а что будет, если теперь каждый из этих четырех маленьких треугольников свою очередь подвергнуть этим преобразованиям. Тогда возникнет уже 16 треугольников с линейным размером в 4 раза меньше исходного. Непосредственной проверкой можно убедиться, что это приводит к картинке, изображенной на рис. 2 справа.



Р и с. 2. Преобразование t_2, t_3
F i g. 2. Transformation t_2, t_3



Р и с. 3. Исходная триангуляция Делоне территории производственной инфраструктуры

F i g. 3. Initial Delaunay triangulation of the industrial infrastructure territory

Таким образом, можно представить «генеалогический код» каждой отдельной ячейки треугольной решетки после окончания «процедуры измельчения» [5], [16], [17].

Подобное же разбиение может быть осуществлено в отдельном вычислительном алгоритме, за счет соединением середин исходного треугольника.

Разбиение продолжается до достижения требуемой условия задачи площади ячейки получаемого треугольника. Полученные треугольники сетки, как показано в [6] также удовлетворяют условиям Делоне.

Пятый этап. Осуществляется разбиение остальных треуголь-

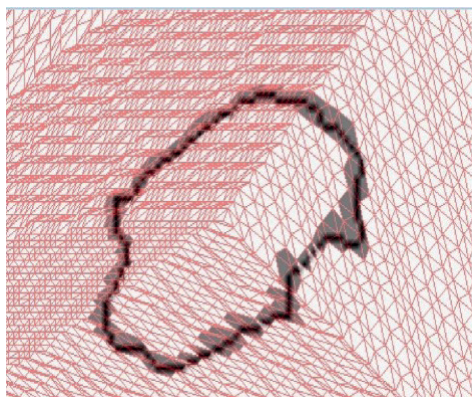
¹ Способ идентификации объектов на цифровых изображениях подстилающей поверхности методом нечеткой триангуляции Делоне: пат. 2729557 Российская Федерация / С. О. Крамаров, В. В. Храмов, В. И. Повх, А. Р. Грошев, А. С. Каратаев, В. В. Храмов. Заявитель и патентообладатель БУ ВО «Сургутский государственный университет». № 2018126535; заявл. 18.07.2018. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43915269> (дата обращения: 28.08.2020). – Рез. англ.



ников исходной триангуляции Делоне. При этом количество шагов разбиения должно совпадать с тем, сколько их было при разбиении первого треугольника. В этом случае сопряжение минимальных треугольников по границам исходных будет полным. Пример такого разбиения для снимков территории, с элементами производственной инфраструктуры показан на рис. 3.

Сегментация информационных объектов сцены

Для получения признаков идентификации осуществляется автоматическое выделение контуров исследуемого и соседних с ним объектов в рамках единого геоинформационного пространства [16-18]. Для этого реализуется выполнение эвристического алгоритма выделения контура двумерного объекта на треугольном растре. Особенности представления и обработки изображений проиллюстрируем рис. 4.



Р и с. 4. Сегментация объекта на треугольной решетке
F i g. 4. Object segmentation on a triangular lattice

Как показали исследования [12] – [14], если изображение представлено на бинарной решетке размерами $n \times n$ (для однозначного описания достаточно двух координат) и известны любые две соседние точки контура (и соответствующее им значение кода Фримена $\gamma(i)$) на гладком контрастном (то есть предварительно прошедшем анизотропную фильтрацию) изображении [19], «то для выделения очередного элементарного вектора (ЭВ), каковым является очередной элемент кода, задаваемого связностью 6, необходимо знать количество k пикселей, соседних с данной ячейкой S и принадлежащих изображению. В этом случае, теоретически, вектор имеет шесть возможных направлений. Однако, как мы отметили выше, допускаются только три из них переход допускается только через сторону» [20]. Тогда ЭВ (очередной элемент кода Фримена) вычисляется по следующей формуле:

$$\gamma(i+1) = \text{mod } 6 (\gamma(i) + k + \alpha),$$

где $\alpha = 2$ – шестеричная константа, а суммирование осуществляется по модулю шесть.

Подробнее, с необходимой детализацией, этот способ изложен² в [12] – [14], [21].

При этом, в качестве признаков идентификации использовались как сами элементы кода, так и коэффициенты разложения по ортогональным экспонентам.

Компьютерный эксперимент показал, что использование такого подхода позволяет в условиях плохой видимости и значительной размытости снимка, например, в условиях весенней и осенней непогоды повысить достоверность идентификации протяженных объектов на 12-15% [14], [22], [23].

Заключение

В данном исследовании, для получения технического результата в виде повышения достоверности и точности идентификации пространственной сцены в системе технического зрения робота и определения местоположения и расположения целевого объекта в местной системе координат исследовались возможности локально регулярных решеток триангуляции Делоне.

Результат достигнут благодаря тому [6], [24], что «в ходе предварительной обработки исходного изображения, как связанной совокупности объектов, при введении в вычислительное устройство, оно приводится к нормальному, стандартному для данного способа видоизменения масштабу, центрируется, вписывается в прямоугольник требуемого размера, поочередно сравнивается с хранящимися в памяти компьютера шаблонами, которые хранят в виде нечетких триангуляций Делоне, которые сравнивают с нечеткой триангуляцией Делоне поданного на вход изображения сцены посредством нейронной сети» [25].

Сравнение производилось путем анализа признаков формы триангуляции полученной сцены визуальных объектов земной поверхности, причем производят сравнение по каждому признаку, и принимают решение о совпадении триангуляции Делоне векторной модели сцены полученного изображения и эталонных нечетких триангуляций Делоне.

При измельчении будет происходить лишь локальное перестроение ячеек. Преимуществом такого подхода является отсутствие необходимости генерировать всю сетку заново. Заметим также, что рассмотренная процедура приведения триангуляции в соответствии с условием Делоне позволяет существенно уменьшить затрачиваемое на перестроение сетки машинное время, так как не производится проверка условия для всех элементов сетки.

Список использованных источников

- [1] Нариньяни, А. С. НЕ-факторы: краткое введение / А. С. Нариньяни // Новости искусственного интеллекта. – 2004. – № 2. – С. 52-63.
- [2] Храмов, В. В. Генерация моделей объектов интеллектуального пространства. Теория и использование для управления сложными системами / В. В. Храмов // Управление в социальных, экономических и технических системах. Труды межреспубликанской научной

² Модуль формирования геосистемы: Св-во о регистрации программы для ЭВМ 2020615607 / С. О. Крамаров, О. Ю. Митясова, В. В. Храмов, И. О. Темкин, А. Р. Грошев. Заявитель и правообладатель ЧПОУ «Егорлыкский Колледж». № 2020614521; заявл. 12.05.2020. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43885288> (дата обращения: 28.08.2020).



- конференции. – Кисловодск: КУАООПР, 2000. – С. 67-68. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32737843> (дата обращения: 24.08.2020).
- [3] Круглякова, Л. В. Неструктурированные адаптивные сетки для задач математической физики (обзор) / Л. В. Круглякова, А. В. Неледова, В. Ф. Тишкин, А. Ю. Филатов // Математическое моделирование. – 1998. – Т. 10, № 3. – С. 93-116. – Рез. англ.
- [4] Попов, И. В. Построение адаптивных нерегулярных треугольных сеток для двумерных многосвязных невыпуклых областей / И. В. Попов, С. В. Поляков // Математическое моделирование. – 2002. – Т. 14, № 6. – С. 25-35. – Рез. англ.
- [5] Попов, И. В. Метод построения неструктурированных сеток / И. В. Попов, Е. В. Вихров. – DOI 10.20948/prgr-2018-237 // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. – 2018. – № 237. – С. 1-15. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36470652> (дата обращения: 28.08.2020). – Рез. англ.
- [6] Скворцов, А. В. Триангуляция Делоне и её применение / А. В. Скворцов. – DOI 10.17273/BOOK.2002.1. – Томск: Изд-во Томского университета, 2002. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21355687> (дата обращения: 28.08.2020).
- [7] Храмов, В. В. Интеллектуальные информационные системы: интеллектуальный анализ данных / В. В. Храмов, Д. С. Гвоздев. – Ростов-на-Дону: РГУПС, 2012. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32762296> (дата обращения: 28.08.2020). – Рез. англ.
- [8] Бандман, О. Л. Клеточно-автоматные модели пространственной динамики / О. Л. Бандман // Системная информатика. – 2006. – № 10. – С. 59-111. – Рез. англ.
- [9] Akperov, G. I. Fuzzy Semantic Data Triangulation Method Used in the Formation of Economic Clusters in Southern Russia / G. I. Akperov, V. V. Khramov. – DOI 10.1007/978-3-030-35249-3_43 // 10th International Conference on Theory and Application of Soft Computing, Computing with Words and Perceptions - ICSCCW-2019. ICSCCW 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing; R. Aliev, J. Kacprzyk, W. Pedrycz, M. Jamshidi, M. Babanli, F. Sadikoglu (ed.). Springer, Cham. – 2020. – Vol. 1095. – Pp. 340-344. – URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-030-35249-3_43 (дата обращения: 28.08.2020). – Рез. англ.
- [10] Akperov, I. G. The concept of a unified geoinformational space of the region: ecological aspect / I. G. Akperov, V. V. Khramov. – DOI 10.1051/e3sconf/202021009006 // E3S Web of Conferences. VIII International Scientific and Practical Conference "Innovative technologies in science and education" (ITSE 2020). – 2020. – Vol. 210. – Article 09006. – URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2020/70/e3sconf_itse2020_09006.pdf (дата обращения: 28.08.2020).
- [11] Майоров, В. Д. Эвристические способы контурного кодирования моделей информационных объектов в системе технического зрения робота / В. Д. Майоров, В. В. Храмов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2014. – № 1(53). – С. 62-69. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21391925> (дата обращения: 28.08.2020). – Рез. англ.
- [12] Wolfram, S. A New Kind of Science / S. Wolfram. – Champaign, Ill, USA: Wolfram Media Inc., 2002.
- [13] Евсеев, А. А. Клеточно-автоматное моделирование диффузных процессов на триангуляционных сетках / А. А. Евсеев, О. И. Нечаева // Прикладная дискретная математика. – 2009. – №4(6). – С. 72-83. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13091804> (дата обращения: 28.08.2020). – Рез. англ.
- [14] Zhao, R. A Face Changing Animation Framework Based on Landmark Mapping / R. Zhao, Y. Chen, W.S. Lee. – DOI 10.1007/978-981-16-0503-1_29 // Advances in Graphic Communication, Printing and Packaging Technology and Materials. Lecture Notes in Electrical Engineering; P. Zhao, Z. Ye, M. Xu, L. Yang, L. Zhang, R. Zhu (ed.). Springer, Singapore. – 2021. – Vol. 754. – Pp. 193-198. – URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-16-0503-1_29 (дата обращения: 28.08.2020).
- [15] Кроновер, Р. М. Фракталы и хаос в динамических системах. Основы теории / Р. М. Кроновер. – М.: Постмаркет, 2000.
- [16] Крамаров, С. О. Анализ данных спутникового мониторинга поверхности земли на основе принципов системы систем (System of Systems) / С. О. Крамаров, И. О. Темкин, В. В. Храмов, Е. В. Гребенюк, О. Ю. Митясова. – DOI 10.21046/18DZZconf-2020a // Материалы 18-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». – М.: ИКИ РАН, 2020. – С. 86. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44793926> (дата обращения: 28.08.2020).
- [17] Храмов, В. В. Концепция функциональной связности измерений геоинформационного пространства региона / В. В. Храмов, С. О. Крамаров, С. А. Рощупкин. – DOI 10.25559/SITITO.16.202002.407-415 // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2020. – Т. 16, № 2. – С. 407-415. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44743636> (дата обращения: 28.08.2020).
- [18] Kramarov, S. The principles of formation of united geoinformational space based on fuzzy triangulation / S. Kramarov, I. Temkin, V. Khramov. – DOI 10.1016/j.procs.2017.11.315 // Procedia Computer Science. – 2017. – Vol. 120. – Pp. 835-843. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050917325279> (дата обращения: 28.08.2020).
- [19] Акперов, И. Г. Мягкие модели оценки состояния информационной экологии единого геоинформационного пространства региона / И. Г. Акперов, В. В. Храмов. – DOI 10.23947/itno.2020.29-33 // Инновационные технологии в науке и образовании («ИТНО 2020»). Сборник научных трудов VIII Международной научно-практической конференции, с применением дистанционных технологий. – Ростов-на-Дону: ООО «ДГТУ-ПРИНТ», 2020. – С. 29-33. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44467943> (дата обращения: 28.08.2020). – Рез. англ.
- [20] Акперов, И. Г. Контурная идентификация в концепции TIN-моделей информационного маркетингового про-



- странства вуза / И. Г. Акперов, В. В. Храмов // «Транспорт: наука, образование, производство». Труды Международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону: РГУПС, 2020. – С. 16-20. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44058350> (дата обращения: 28.08.2020). – Рез. англ.
- [21] Miklós, L. Construction and Mapping of Geocomplexes / L. Miklós [et al.]. – DOI 10.1007/978-3-319-94024-3_3 // Landscape as a Geosystem. – Springer, Cham, 2019. – Pp. 43-84. – URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-94024-3_3 (дата обращения: 28.08.2020).
- [22] Акперов, Г. И. О. Интеллектуальные информационные системы в эпоху цифровой экономики / Г. И. О. Акперов, И. Д. О. Алекперов, В. В. Храмов. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮУ (ИУБиП), 2020. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43829920> (дата обращения: 28.08.2020).
- [23] Kramarov, S. Methodology of Formation of Unite Geo-Informational Space in the Region / S. Kramarov, V. Khramov. – DOI 10.1007/978-3-030-46895-8_24 // Modern Information Technology and IT Education. SITITO 2018. Communications in Computer and Information Science; V. Sukhomlin, E. Zubareva (ed.). Springer, Cham. – 2020. – Vol. 1201. – Pp. 309-316. – URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-030-46895-8_24 (дата обращения: 28.08.2020).
- [24] Kramarov, S. Fuzzy Models of Educational Process Management: Digital Transformation / S. Kramarov, V. Khramov, V. Bezuevskaya. – DOI 10.1007/978-3-030-46895-8_6 // Modern Information Technology and IT Education. SITITO 2018. Communications in Computer and Information Science; V. Sukhomlin, E. Zubareva (ed.) Springer, Cham. – 2020. – Vol. 1201. – Pp. 78-85. – URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-030-46895-8_6 (дата обращения: 28.08.2020).
- [25] Линденбаум, Т. М. Введение в информационную экологию: технологические предпосылки / Т. М. Линденбаум и др. // «Актуальные проблемы и перспективы развития транспорта, промышленности и экономики России». Труды Международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону: РГУПС, 2020. – С. 136-140.

Поступила 28.08.2020; одобрена после рецензирования
15.10.2020; принята к публикации 05.12.2020.

Об авторе:

Храмов Владимир Викторович, ведущий научный сотрудник, ЧОУ ВО «Южный университет (ИУБиП)» (344068, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пр. М. Нагибина, д. 33А/47), кандидат технических наук, доцент, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1848-8174>, vxramov@inbox.ru

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

References

- [1] Narinyani A.S. *NE-factory: kratkoe vvedenie* [Non-factors: a brief introduction]. *Novosti iskusstvennogo intellekta* = News of artificial intelligence. 2004; (2):52-63. (In Russ.)
- [2] Khramov V.V. *Generacija modelej ob'ektov intellektual'nogo prostranstva. Teorija i ispol'zovanie dlja upravlenija slozhnymi sistemami* [Generation of models of objects of intelligent space. Theory and use for managing complex systems]. In: *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference on Management in Social, Economic and Technical Systems*. KUADI, Kislovodsk; 2000. p. 67-68. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32737843> (accessed 28.08.2020). (In Russ.)
- [3] Krugljakova L.V., Neledova A.V., Tishkin V.F., Filatov A.Yu. Unstructured adaptive grids for mathematical physics problems (Review). *Matematicheskoe modelirovanie* = Mathematical Models and Computer Simulations. 1998; 10(3):93-116. (In Russ., abstract in Eng.)
- [4] Popov I.V., Polyakov S.V. Construction of adaptive irregular triangular grids for 2D multiply connected nonconvex domains. *Matematicheskoe modelirovanie* = Mathematical Models and Computer Simulations. 2002; 14(6):25-35. (In Russ., abstract in Eng.)
- [5] Popov I.V., Vikhrov E.V. Unstructured mesh generation method. *Keldysh Institute Preprints*. 2018; (237):1-15. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.20948/prepr-2018-237>
- [6] Skvortsov A.V. Delaunay triangulation and its application. Tomsk University Publ., Tomsk; 2002. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17273/BOOK.2002.1>
- [7] Khramov V.V., Gvozdev D.S. Intelligent Information Systems: Data Mining. RSTU, Rostov-on-Don; 2012. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32762296> (accessed 28.08.2020). (In Russ., abstract in Eng.)
- [8] Bandman O.L. Cellular-Automata Models of Spatial Dynamics. *System Informatics*. 2006; (10):59-111. (In Russ., abstract in Eng.)
- [9] Akperov G.I., Khramov V.V. A Fuzzy Semantic Data Triangulation Method Used in the Formation of Economic Clusters in Southern Russia. In: Aliev R., Kacprzyk J., Pedrycz W., Jamshidi M., Babanli M., Sadikoglu F. (ed.) 10th International Conference on Theory and Application of Soft Computing, Computing with Words and Perceptions - ICSCCW-2019. ICSCCW 2019. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020; 1095:340-344. Springer, Cham. (In Eng.) DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-35249-3_43
- [10] Akperov I.G., Khramov V.V. The Concept of a Unified Geo-informational Space of the Region: Ecological Aspect. In: *E3S Web of Conferences. VIII International Scientific and Practical Conference "Innovative technologies in science and education" (ITSE 2020)*. 2020; 210:09006. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021009006>
- [11] Mayorov V.D., Khramov V.V. Heuristic ways of contour coding of models of information objects in robot vision. *Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putej Soobshcheniya*. 2014; (1):62-69. Available at: <https://>



- elibrary.ru/item.asp?id=21391925 (accessed 28.08.2020). (In Russ., abstract in Eng.)
- [12] Wolfram S. A New Kind of Science. Champaign, Ill., USA: Wolfram Media Inc.; 2002. (In Eng.)
- [13] Evseev A.A., Nechaeva O.I. Cellular automata simulation on surface triangulation for diffusion processes. *Applied Discrete Mathematics*. 2009; (4):72-83. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13091804> (accessed 28.08.2020). (In Russ., abstract in Eng.)
- [14] Zhao R., Chen Y., Lee W.S. A Face Changing Animation Framework Based on Landmark Mapping. In: Zhao P., Ye Z., Xu M., Yang L., Zhang L., Zhu R. (ed.) Advances in Graphic Communication, Printing and Packaging Technology and Materials. *Lecture Notes in Electrical Engineering*. 2021; 754:193-198. Springer, Singapore. (In Eng.) DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-16-0503-1_29
- [15] Crownover R.M. Introduction to Fractals and Chaos. First ed. Jones & Bartlett, Boston; 1995. (In Eng.)
- [16] Kramarov S.O., I.O. Temkin, V.V. Khramov, Grebenyuk E.V., Mityasova O.Yu. Analysis of data from satellite monitoring of the earth's surface based on the principles of System of Systems. In: *Conference Proceedings on Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*. IKI, Moscow; 2020. p. 86. (In Russ.)
- [17] Khramov V.V., Kramarov S.O., Roshchupkin S.A. The Concept of Functional Connectivity of Measurements of Geo-Informational Space of the Region. *Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie* = Modern Information Technologies and IT-Education. 2020; 16(2):407-415. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.25559/SITITO.16.202002.407-415>
- [18] Kramarov S., Temkin I., Khramov V. The principles of formation of united geo-informational space based on fuzzy triangulation. *Procedia Computer Science*. 2017; 120:835-843. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.11.315>
- [19] Akperov I.G., Khramov V.V. Soft models for assessing the state of information ecology of the unified geoinformation space of a region. In: *Conference Proceedings on Innovative technologies in science and education ("ITNO 2020")*. DSTU Print, Rostov-on-Don; 2020. p. 29-33. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.23947/itno.2020.29-33>
- [20] Akperov I.G., Khramov V.V. Contour identification in the concept of TIN-models of the university information marketing space. In: *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference on "Transport: Science, Education, Production"*. RSTU, Rostov-on-Don; 2020. p. 16-20. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44058350> (accessed 28.08.2020). (In Russ., abstract in Eng.)
- [21] Miklós L. et al. Construction and Mapping of Geocomplexes. In: *Landscape as a Geosystem*. Springer, Cham; 2019. p. 43-84. (In Eng.) DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-94024-3_3
- [22] Akperov G.I.O., Alekperov I.D.O. Intelligent Information Systems in the Digital Economy Era. IMBL, Rostov-on-Don; 2020. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43829920> (accessed 28.08.2020). (In Russ.)
- [23] Kramarov S., Khramov V. Methodology of Formation of Unite Geo-Informational Space in the Region. In: Sukhomlin V., Zubareva E. (ed.) Modern Information Technology and IT Education. SITITO 2018. *Communications in Computer and Information Science*. 2020; 1201:309-316. Springer, Cham. (In Eng.) DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-46895-8_24
- [24] Kramarov S., Khramov V., Bezuevskaya V. Fuzzy Models of Educational Process Management: Digital Transformation. In: Sukhomlin V., Zubareva E. (ed.) Modern Information Technology and IT Education. SITITO 2018. *Communications in Computer and Information Science*. 2020; 1201:78-85. Springer, Cham. (In Eng.) DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-46895-8_6
- [25] Lindenbaum, T.M. *Vvedenie v informacionnuju jekologiju: tehnologicheskie predposylki* [Introduction to Information Ecology: technological prerequisites]. In: *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference on "Actual Problems and Prospects for the Development of Transport, Industry and Economy in Russia"*. RSTU, Rostov-on-Don; 2020. p. 136-140. (In Russ.)

Submitted 28.08.2020; approved after reviewing 15.10.2020;
accepted for publication 05.12.2020.

About the author:

Vladimir V. Khramov, Leading Research Scientist, Southern University (IMBL) (33a/47 Nagibin Ave., Rostov-on-Don 344068, Russian Federation), Ph.D. (Engineering), Associate Professor, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1848-8174>, vxpamov@inbox.ru

The author has read and approved the final manuscript.

