

Алгоритм построения трехмерных Баркодов для представления nD пространственных объектов в ГИС

Д.Е. Андрианов¹, С.В. Еремеев¹, Ю.А. Ковалев¹

¹Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, Горького 87, Владимир, Россия, 600000

Аннотация. В статье рассмотрен алгоритм создания трехмерных Баркодов для представления nD пространственных объектов. Алгоритм основан на методах компьютерной топологии с использованием алгоритма 3D sweep hull для вычисления выпуклых оболочек и триангуляции Делоне. Результатом работы алгоритма являются 3D Баркоды пространственных объектов. Также были построены графики 3D Баркодов, которые отражают их различия во времени. Алгоритм построения 3D Баркодов позволит анализировать пространственные nD объекты в разные временные интервалы.

1. Введение

В настоящее время геоинформационные системы в большинстве работают с векторными 2D картами. Но сейчас, информации на 2D картах становится недостаточно для более подробного анализа местности, поэтому все чаще ГИС начинают включать возможность обработки 3D карт.

Актуальность работы заключается в том, что существующие алгоритмы обработки и хранения данных 3D карт работают исключительно с координатами, что значительно увеличивает время обработки таких объектов. В работе предлагается применить методы компьютерной топологии с использованием алгоритма 3D sweep hull для разработки алгоритма построения 3D Баркодов, которые позволят хранить и быстро обрабатывать данные о пространственных объектах в ГИС [1,2,3].

Для обработки nD пространственных объектов существуют различные алгоритмы. В работе [4] представлен алгоритм, позволяющий обрабатывать nD объекты. Смысл алгоритма заключается в моделировании n -мерных характеристик (времени и масштаба) как дополнительных геометрических размеров, перпендикулярных к пространственным объектам, создавая модель более высокого порядка в использовании интервалов, на основе которых 2D модели возводятся в следующие измерения. Данные интервалы получаются из клеточного комплекса (топологическое пространство) и они разбиваются на более мелкие. Экструзия является широко используемым методом в ГИС для создания простых 3D-моделей. Начиная с планарного разбиения многоугольников и интервала высоты, связанного с каждым из них, она генерирует набор пространственно-разбивающихся прямоугольных многогранников, считая, что каждый многоугольник существует по всему его отрезку. Например, набор строительных следов и связанных высот выдавливается в набор простых призматических зданий.

Авторами работы [5] заложена основа для интеграции пяти измерений в одно формальное представление данных. Формальное определение географических данных в концептуальном

континууме 5D позволит наиболее эффективно управлять и запрашивать географические данные с помощью одного интегрированного подхода. Кроме того, он обеспечит согласованность по масштабам и времени.

Этот подход привел к новой теории и методу для геоданных, а также технологий, реализующих многомерное разбиение. Интеграция многомерных концепций геоданных позволяет использовать общую геометрию и встроенные топологические, временные и масштабные структуры посредством полного разбиения 3D + время + масштаб.

Но данные алгоритмы основываются на использовании координат объектов, что значительно замедляет их обработку.

В работе трехмерные Баркоды будут строиться на основе данных от пространственных объектов с 3D карты. Полученные Баркоды будут сравниваться с 2D Баркодами для векторных карт. Преимуществами разработанного алгоритма можно считать скорость работы, возможность работы с трехмерными картами, а также хранить изменения объекта во времени.

2. Алгоритм построения 3D Баркодов для nD пространственных объектов в ГИС

В основе алгоритма построения 3D Баркодов лежит алгоритм 3D sweep hull [6]. Данный алгоритм также называют оболочкой яблока Ньютона, и он функционирует следующим образом:

1. Сортируем набор точек $\{x, y, z\}$ в последовательности $z \rightarrow x \rightarrow y$.
2. Начиная с первой из отсортированных точек происходят соединения точек, пока не образуется треугольник области для формирования массива. Процесс соединения происходит путем построения шара вокруг каждой точки.
3. Последовательно добавляются новые точки в массив. Грани массива представляют собой треугольники, которые представлены как список с информацией о смежности. Процесс добавления новой точки в массив включает в себя определение того, какие треугольные грани видны новой точке и заменяют их новыми треугольниками, сделанными с использованием новой точки и закрытия краев с точки зрения новой точки.
4. Далее создается непересекающаяся триангуляция множества треугольников.
5. Смежные пары треугольников этой триангуляции должны быть «перевернуты», чтобы создать триангуляцию Делоне от первоначальной неперекрывающейся триангуляции.

Алгоритм генерирует триангуляцию Делоне вместе с трехмерной выпуклой оболочкой для множества точек.

Само построение Баркода V происходит по аналогии с 2D Баркодами как описано в работе [7]. Баркод объекта $V = \{(x_i, l_i)\}$, где $i = 1, 2, \dots, n$ – номер дыры, n – количество дыр, x_i – это координата начала дыры Баркода объекта, а l_i – это длина дыры Баркода объекта.

Отличительной чертой является добавление третьей составляющей в Баркод – времени t . С учетом добавленного времени, Баркоды за разные промежутки времени объединяются на каждом радиусе в единую составляющую.

Соответственно, 3D Баркоды, построенные на основе данных об nD объектах, будут выглядеть следующим образом: $V = \{(x_i, l_i, t_i)\}$, где t_i – это определённый промежуток времени, в который объект был изменен [8,9].

Также 3D Баркод может иметь и другую третью составляющую черту, например, масштаб s .

Тогда Баркод будет выглядеть как: $V = \{(x_i, l_i, s_i)\}$, где s_i – это масштаб, на котором отображен пространственный объект.

3D Баркод может быть построен не только для одного объекта, но и для их группы. В этом случае координаты всей группы объектов будут восприниматься как единый объект.

Рассмотрим построение 3D Баркода на примере. На рисунке 1 отражен 3D пространственный объект.



Рисунок 1. Пример 3D объекта

На рисунке 2 показан 3D Баркод для объекта, отраженного на рисунке 1.

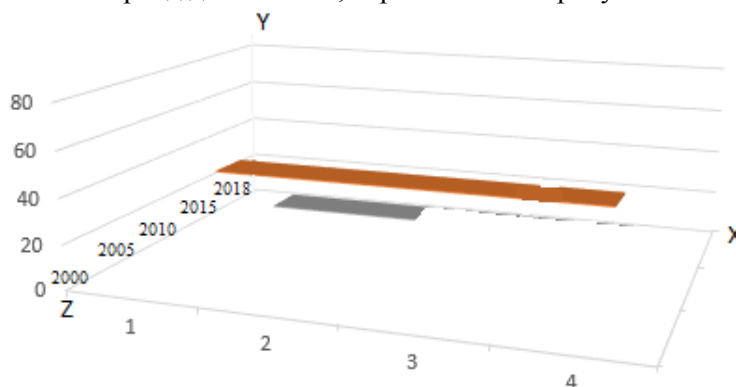


Рисунок 2. 3D Баркод.

На графике рисунка 2 на оси x отражена длина Баркода, на оси y указан радиус Баркода, а на оси z отражен год изменения.

3. Результаты работы алгоритма

Для проведения эксперимента построения 3D Баркодов был взят планшет 1990-х годов, отраженный на рисунке 3(а) с изображением карты местности города. Часть объектов была возведена в 3D, и для них был построен Баркод. Затем участок с данной местностью был взят с Яндекс карт за 2018 год. Данный участок отражен на рисунке 3(б). Для данных объектов также был построен 3D Баркод показанный на рисунке 3(в).

Для сравнения были построены 2D Баркоды для объектов с рисунка 3(а, б). Данные Баркоды отражены на рисунке 4(а, б).

При сравнении графиков 2D и 3D Баркодов можно сделать вывод, что 3D Баркоды являются более информативными, хранят больше информации, и в отличие от 2D Баркодов позволяют быстрее обратиться к нужному nD объекту на карте. Одним из преимуществ быстрогодействия алгоритма является использование триангуляции Делоне для построения дыр объектов, что значительно сокращает время обработки объектов.

4. Заключение

В статье разработан алгоритм построения 3D Баркода для nD пространственных объектов. Он может быть применим ко всем векторным картам, в том числе и к 3D картам.

В отличие от 2D Баркода данный алгоритм учитывает дополнительную характеристику – время. Это позволяет отслеживать изменения nD пространственных объектов с течением лет.

В дальнейшем алгоритм сможет использовать также и масштаб как дополнительную характеристику, что значительно сократит трудозатраты при работе с векторными картами.

Разработанный алгоритм полезен также и в сфере недвижимости. Он позволит искать наилучшую местность для построения зданий, оценивать время построения объектов, а также анализировать районы на отсутствующие постройки.

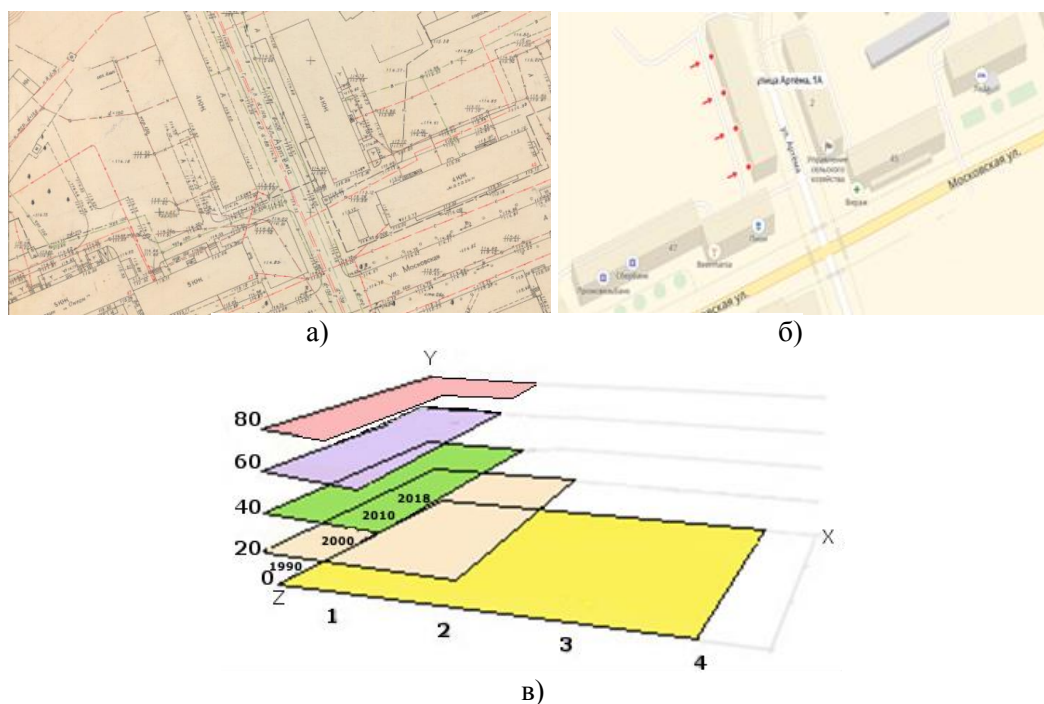


Рисунок 3. Группа объектов и их 3D Баркоды: а-б) – Объекты, которые изменены во времени; в) -3D Баркоды объектов в разные временные промежутки.

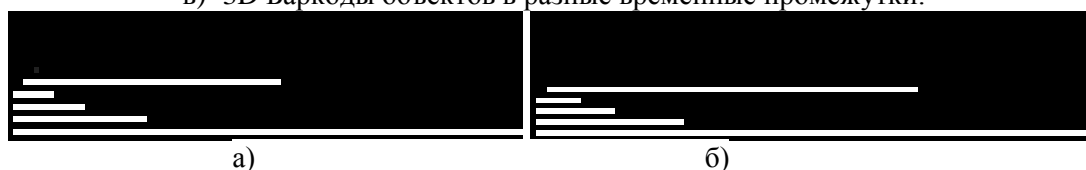


Рисунок 4. График 2D Баркодов: а) - Баркод для объектов с рисунка 3(а); б) - Баркод для объектов с рисунка 3(б).

5. Литература

- [1] Еремеев, С.В. Алгоритмы формирования графовой модели городской территории в ГИС / С.В. Еремеев, Д.Е. Андрианов, В.А. Комков // Геоинформатика. – 2013. – Т. 4. – С. 19-24.
- [2] Li, Zh. Integration of linear and areal hierarchies for continuous multi-scale representation of road networks / Zh. Li, Q. Zhou // Intern. J. of Geographical Information Science. – 2012. – Vol. 26. – P. 855-880.
- [3] Herbei, I. Topology of spatial data // 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. – 2015. – Vol. 2. – P. 87-94.
- [4] Arroyo Ohori, K. A dimension independent extrusion algorithm using generalised maps / K. Arroyo Ohori, H. Ledoux, J. Stoter // International Journal of Geographical Information Science. – 2015. – Vol. 29(7). – P. 1166-1186.
- [5] van Oosterom, P. 5D Data Modelling: Full Integration of 2D/3D Space / P. van Oosterom, J. Stoter // Time and Scale Dimensions. Technical University of Delft. – 2014. – P. 2-16.
- [6] Sinclair, D.A. 3D Sweep Hull Algorithm for computing Convex Hulls and Delaunay Triangulation, 2016. – P. 26
- [7] Ковалев, Ю.А. Алгоритм поиска различий у пространственных объектов, изменяемых во времени, на основе Баркода / Ю.А. Ковалев, С.В. Еремеев, Д.Е. Андрианов // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. – 2018. – Т. 1. – С. 481-483.
- [8] Boissonnat, J.-D. Building Efficient and Compact Data Structures for Simplicial Complexes / J.-D. Boissonnat, K.C. Srikanta, S. Tavenas // An extended abstract appeared in the proceedings of SoCG, 2015.

- [9] Edelsbrunner, H. Three-dimensional alpha shapes / H. Edelsbrunner, E.P. Mucke // ACM Trans. Comput. Graphics. – 1994. – Vol. 13. – P. 43-72.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и администрации Владимирской области в рамках научного проекта № 17-47-330387.

Algorithm for constructing three-dimensional Barcodes to represent nD spatial objects in GIS

D.E. Andrianov¹, S.V. Eremeev¹, Y.A. Kovalev¹

¹Vladimir State University named after Alexander Grigorievich and Nikolai Grigorievich Stoletovs, Gorky 87, Vladimir, Russia, 600000

Abstract. The article describes the algorithm for creating three-dimensional Barcodes to represent nD features. The algorithm is based on computer topology methods using the 3D sweep hull algorithm for computing convex hulls and Delaunay triangulation. The result of the algorithm are 3D Barcodes of features. Were also constructed 3D Barcode graphics, which reflect their differences in time. The algorithm for constructing 3D Barcodes will allow analyzing spatial nD objects at different time intervals.