

Алгоритм кодирования nD пространственных объектов в ГИС

Д.Е. Андрианов¹, С.В. Еремеев¹, Ю.А. Ковалев¹, К.В. Купцов¹

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

Аннотация. В статье предлагается применить методы компьютерной топологии для создания эффективных структур данных, которые позволят хранить и обрабатывать пространственные сцены в n -мерном пространстве. Основой для представления nD -геообъектов являются n -мерные симплексы. Например, представление пространственных данных высокой размерности позволит описать топологические отношения между 3D-объектами во времени. Разработаны математические основы и программное обеспечение для представления и обработки пространственных данных высокой размерности. Алгоритм кодирования пространственных объектов nD в ГИС предоставит возможность решать широкий круг задач для обработки сложной графической информации.

1. Введение

Развитие ГИС технологий в современности продвигается к использованию 3D карт, многомасштабности, а также к анализу по временной составляющей. Для высоких размерностей неприменимы те алгоритмы, которые хорошо работают для 2D и 3D карт. Интеграция в ГИС дополнительных характеристик, таких как третий пространственный размер, время, и масштабы до сих пор достигались главным образом путем специальных адаптаций к структурам 2D-данных, а не путем создания новых, расширяющих возможности программного обеспечения ГИС.

Актуальность работы заключается в том, что существующие алгоритмы обработки и анализа пространственных сцен в n -мерном пространстве требуют значительных временных затрат, либо ожидаема потеря качества обработки. Интеграция размерностей выдвигает новые требования для создания новых методов и алгоритмов обработки пространственных данных. Использование топологического анализа данных является перспективным направлением в ГИС. В работе предлагается применить методы компьютерной топологии для создания эффективных структур данных, которые позволят хранить и обрабатывать пространственные сцены в едином n -мерном пространстве [1, 2, 3, 4].

Для хранения объектов в ГИС существуют различные наборы структур данных [5, 6]. В работе [7] рассмотрены подходы к хранению пространственных отношений в ГИС, такие как: пространственные запросы на основе языка SQL и матрицы топологических отношений. Основное внимание в статье уделено представлению естественных иерархических структур пространственных объектов. Разработан метод хранения информации о пространственных

взаимосвязях непосредственно в идентификаторе объекта, приведена структура такого идентификатора.

Авторами работы [8] описывается комплексный подход к построению иерархической структуры дорожной сети для непрерывного многомасштабного представления, особенно непрерывного избирательного пропуска дорог в сети. В данной структуре модель дорожной сети построена с использованием линейной и ареальной иерархии. Непрерывное многомасштабное представление дорожной сети может быть достигнуто путем поиска в этих иерархиях.

Но данные алгоритмы не предназначены для nD объектов, в том числе для хранения информации о масштабах карт и времени изменения объектов на карте.

В основу представления nD геообъектов можно положить n -мерные симплексы. Например, представление пространственных данных высокой размерности позволит описать топологические отношения между 3D объектами во времени. Возникает необходимость разработки математических основ и программного обеспечения для представления и обработки пространственных данных высокой размерности. Алгоритм кодирования nD пространственных объектов в ГИС даст возможность решать широкий спектр задач обработки сложной графической информации.

2. Алгоритм кодирования nD объектов

Векторные представления nD объектов исключают следующие проблемы: они, как правило, более компактны, могут описывать границы более точно, чем растровые, и представлять атрибуты объектов напрямую. Это делает их особенно интересными для более развитых ГИС, даже если они были бы исследованы, как структуры данных. Обычно объекты, используемые в 2D-векторной ГИС, не рассматриваются в других измерениях. Однако существуют различные многомерные геометрические и топологические структуры, которые были разработаны в других областях и могут применяться для этих целей. Даже с учетом того, что они являются сложными для реализации и использования, а также часто нуждаются в дополнительных вычислениях для поддержки некоторых аспектов реальных данных. Поэтому они почти никогда не использовались на практике. Именно для данных объектов была разработана структура хранения данных на основе сжатого симплекс дерева.

Пусть $K = \{\sigma_0 \dots \sigma_i\}$ - это симплицальный комплекс, который отображен на рисунке 1.

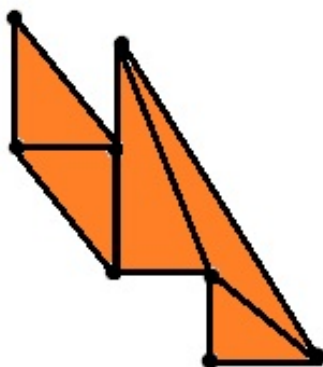


Рисунок 1. Симплициальный комплекс.

На рисунке 1 отображен набор n -мерных симплексов σ_i , где $i \in \{1 \dots n\}$. Формально пусть $\sigma_i \in \{x_i, y_i, z_i, m_j, t_j\}$, где x_i, y_i, z_i - это набор координат объекта в множестве $i \in \{1 \dots n\}$, m_j - это масштаб, на котором отображен объект, а t_j - это временной промежуток в множестве $j \in \{1 \dots n\}$, в который был изменен объект на карте.

Чтобы представить сжатое дерево симплексов K , сохраним соответствующие числа в дереве, удовлетворяющие следующим свойствам:

1. Узлы дерева находятся в биекции с симплексами всех измерений комплекса. Первый уровень связан с пустой гранью.
2. Каждый узел дерева, кроме первого, сохраняет метку вершины. В частности, узел N , связанный с симплексом σ , сохраняет метку крайней вершины (σ).
3. Вершины, метки которых встречаются вдоль пути от первого уровня дерева до узла N , связанны с симплексом σ , являются вершинами σ . Метки сортируются по возрастающему порядку вдоль данного пути, и каждая метка появляется только один раз. Эта структура данных называется симплициальным деревом K [9].

Рассмотрим симплекс дерево на рисунке 2, содержащее следующие подуровни:

1. карта;
2. масштаб;
3. объект;
4. координаты объекта;
5. время;
- 6-7. иные подуровни

Следует обратить внимание, что на данном рисунке выделена область, начиная с подуровня 2. Данные объекты сжаты, идентичны и находятся на разных масштабах.

Цель сжатия - идентифицировать общие части объекта и сохранить их только один раз. Более конкретно, если одно и то же поддерево располагается на двух разных узлах симплекс дерева, тогда поддерево хранится только один раз, и два корневых узла теперь указывают к уникальной копии поддерева. Как следствие, узлы больше не в биекции с узлами комплекса, но мы все еще имеем свойство, что пути от корня находятся в биекции с симплексами.

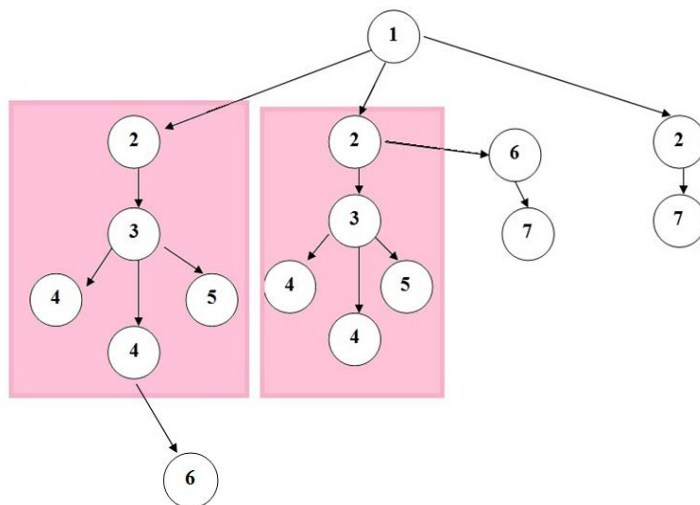


Рисунок 2. Симплекс дерево.

Доступ ко всем наследникам сжатого симплекс дерева может быть реализован аналогично обычному симплекс дереву. Разрешить восходящий обход в дереве также возможно (с дополнительными указателями от потомков к предкам), и это улучшает эффективность некоторых операций, таких как поиск поверхности. Однако в сжатом симплекс дереве предки не уникальны. Чтобы учесть это, мы отмечаем предков, которые были доступны, и использовать это, чтобы вернуться в направлении вверх.

3. Результаты работы алгоритма

На рисунке 3 отображены изображения объекта на разных масштабах, который изменялся в течении времени.

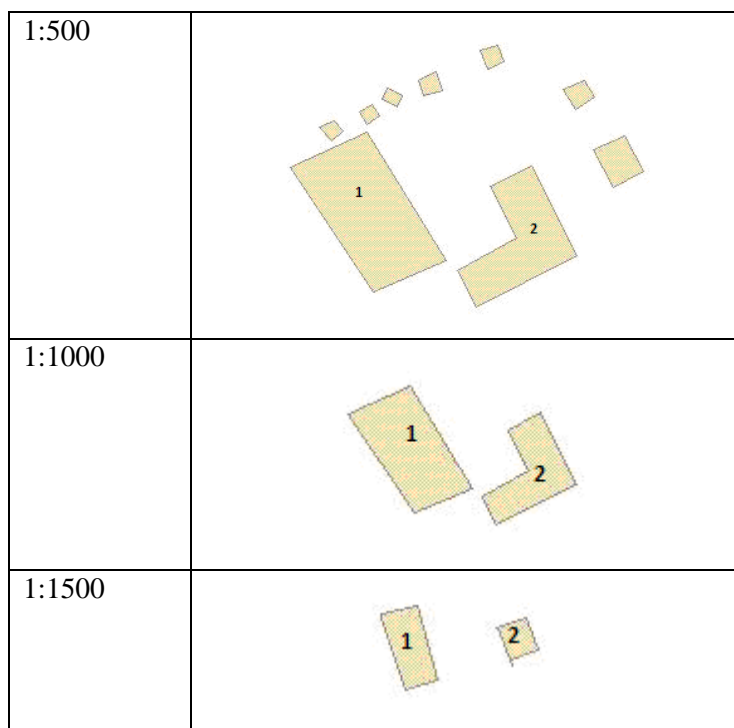


Рисунок 3. Отображение объекта на разных масштабах.

Результат работы алгоритма кодирования nD представлен на рисунке 4 в виде графика с отображением объектов находящихся на масштабах 1:1000 и 1:1500.

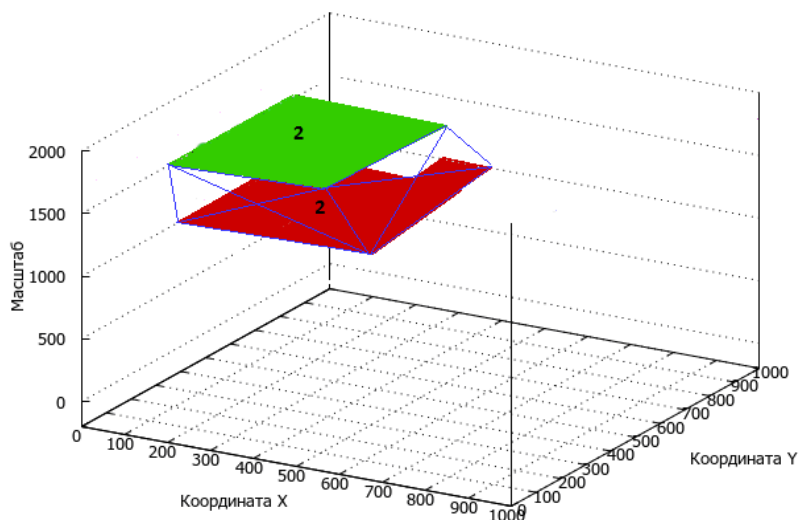


Рисунок 4. График найденных объектов на разных масштабах. Где ось X и Y - это координаты объекта, а ось Z - это масштабы карты (1:500, 1:1000 и 1:500).

Зеленым цветом на графике выделен объект «2» на масштабе 1:1500, красным выделен объект «2» на масштабе 1:1000, линии, объединяющие их, образуют симплексы.

4. Заключение

В статье разработан алгоритм кодирования nD пространственных объектов в ГИС. Также разработана структура данных на основе симплексного дерева и рассмотрены аналоги структур данных для многомасштабных ГИС.

Данный алгоритм может найти применение в строительстве, например при проверке изменений почвы за последние годы. Также алгоритм может быть применен для обхода препятствий, например квадрокоптером, который на основе карты будет анализировать наличие препятствия у себя на пути.

5. Благодарности

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

Исследование выполнено при финансовой поддержке администрации Владимирской области согласно договору №326 от 29.09.2017.

6. Литература

- [1] Еремеев, С.В. Алгоритмы формирования графовой модели городской территории в ГИС / С.В. Еремеев, Д.Е. Андрианов, В.А. Комков // Геоинформатика. – 2013. – № 4. – С. 19-24.
- [2] Булаев, А.В. Формальная модель установления топологических отношений с объектами, содержащими криволинейные сегменты / А.В. Булаев // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. – 2008. – № 13. – С. 16-24.
- [3] Шарапов, Р.В. Основные метрики, оценивающие качество работы систем поиска изображений / Р.В. Шарапов, А.Д. Варламов // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. – 2013. – № 2. – С. 3-11.
- [4] Канунова, Е.Е. Информационная система регионального музея: структура, опыт разработки и использования / Е.Е. Канунова // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6. – С. 121.
- [5] Садыков, С.С. Разработка концепций построения информационной системы диагностики новообразований на маммограммах / С.С. Садыков, Ю.А. Буланова, Е.Е. Канунова, Е.А. Захарова // Информационные технологии. – 2014. – № 10. – С. 51-56.
- [6] Терёхин, А.В. Концепция распознавания произвольно расположенных трехмерных объектов по двум изображениям проекций / А.В. Терёхин // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. – 2014. – № 2. – С. 29-40.
- [7] Еремеев, С.В. Алгоритм кодирования пространственных идентификаторов в иерархических топологических системах / С.В. Еремеев, М.М. Филимонов // Журнал «АмиСОД». – 2014. – Т. 4, № 29. – С. 50-58.
- [8] Zhilin, L. Integration of linear and areal hierarchies for continuous multi-scale representation of road networks / L. Zhilin, Z. Qi // Intern. J. of Geographical Information Science. – 2012. – Vol. 26. – P. 855-880.
- [9] 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.
- [10] Ковалев, Ю.А. Алгоритм поиска пространственных объектов по заданным критериям на основе буферных зон в многомасштабных ГИС / Ю.А. Ковалев, С.В. Еремеев // Труды 26-й Международной научной конференции «ГРАФИКОН'2016». – 2016. – С. 414-416.

Algorithm for encoding nD spatial objects into GIS

Д.Е. Андрианов¹, С.В. Еремеев¹, Ю.А. Ковалев¹, К.В. Купцов¹

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

Abstract. The development of GIS technologies in the modern world is moving towards the use of 3D maps, multiscale, as well as time components. However, today the data of some regularities are kept separately. For high dimensions, those algorithms that work well for 2D and 3D maps are not applicable. The integration of dimensions raises new requirements for creating new methods and algorithms for processing spatial data. The use of topological data analysis is a promising direction in GIS. In this paper, it is proposed to apply computer topology methods to create efficient data structures that will allow storing and processing spatial scenes in a single n -dimensional space. The basis for the representation of nD geobjects is n -dimensional simplexes. For example, the representation of spatial data of high dimension will allow us to describe the topological relationships between 3D objects in time. There is a need to develop mathematical bases and software for the presentation and processing of spatial data of high dimensionality. The algorithm for encoding nD spatial objects into GIS will provide an opportunity to solve a wide range of tasks for processing complex graphic information.

Keywords: classification of spatial objects, topology, geoinformation, nD spatial objects, n -dimensional simplexes.