

6. Zamyatin A., Sarinova A., Cabral P. Lossless compression of hyperspectral images with pre-byte processing and intra-bands correlation// DYNA, Sede Medellin. – 2015. – Vol. 82, № 190. – P. 166–172.

7. Zamyatin A., Sarinova A., Cabral P. The Compression Algorithm of Hyperspectral Space Images Using Pre-byte Processing and Intra-bands Correlation // GEOProcessing 2014: The Sixth International Conference on Advanced Geographic Information Systems, Applications, and Services (IARIA). – P. 70–75.

8. Сэломон Д. Сжатие данных, изображений и звука / пер. с англ. В. В. Чепыжова. – М. : Техносфера, 2006. – 365 с.

9. Дружинин Д. В. Алгоритмы сжатия экранного видео, использующие корреляцию соседних кадров. // Известия Алтайского государственного университета: Научный журнал. – Барнаул: Изд-во Алтайского государственного университета. – 2014. – № 1/2(81). – С. 91–95.

10. Дружинин Д. В. Тестовые данные для алгоритмов отсека неинвариантных областей [Электронный ресурс]. – URL: https://drive.google.com/file/d/0B_2xi7pVvd23SE1maU5CR0d0MIU/view?usp=sharing

DOI: 10.17223/9785751124335/20

АЛГОРИТМЫ И СТРУКТУРЫ ДАННЫХ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ ПОВЕРХНОСТИ ПО ДАННЫМ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

Н. С. Мирза, А. В. Скворцов

Национальный исследовательский Томский государственный университет

В данной работе рассматриваются алгоритмы, позволяющие эффективно строить поверхности по облакам точек, полученных с помощью лазерного сканирования Земли. В основе разработанных алгоритмов построения и визуализации больших поверхностей лежит особая структура – «мультитриангуляции», которая позволяет получить поверхность с различной степенью детализации. Автор предлагает модифицировать структуру мультитриангуляции таким образом, чтобы можно было работать со сверхбольшими моделями поверхностей, т.е. моделями данных, которые заведомо не умещаются в оперативной памяти компьютера.

Введение

Традиционно для задач САПР получение исходных данных для построения цифровых моделей поверхностей осуществлялось с помощью тахеометров. На сегодняшний день всё чаще применяются более современные и эффективные методы: аэрофотосъёмка и лазерное сканирование.

Однако полученные в результате огромные массивы данных тяжелы для обработки, анализа и визуализации. В связи с этим требуется разработать новые эффективные алгоритмы и структуры данных для обработки сверхбольших моделей поверхностей.

Определения

Определение. Поверхность $F(X, Y) = Z$ определим как функцию высот от координат точек.

Определение. Если исходные данные (файлы с плановыми координатами) для построения поверхности не помещаются в оперативной памяти компьютера, то такую поверхность будем называть сверхбольшой.

Для моделирования поверхности в САПР- и ГИС-системах используется триангуляция (TIN, Height field) – планарный граф, все конечные грани которого являются треугольниками. В этом случае функция поверхности является однозначной и для каждой координаты (XY) ставит в соответствие ровно одну Z-координату.

Определение. Облаком точек будем называть массив данных (XYZ) для построения поверхности, полученный в результате лазерного сканирования.

В связи с тем, что точность лазерного сканирования очень высока, облака точек содержат гигабайты исходных данных, по которым нужно построить поверхность.

Если речь не идёт о суперкомпьютерах, то обычные алгоритмы построения поверхностей оказываются неприменимыми, так как для их корректной работы требуется уместить все данные в оперативной памяти.

На сегодняшний день данная проблема решается частичным прореживанием данных. К сожалению, это ведёт к существенной потере точности. А в некоторых случаях (как, например, для проектирования объектов транспортного строительства) варианты упрощения недопустимы из-за несоответствия запрашиваемой заказчиками точности.

В среде разработчиков трёхмерных игр существует подобная проблема при визуализации сверхбольших игровых рельефов. Эта проблема решается использованием пирамидальной структуры равномерных триангуляций. Вся поверхность рельефа делится на квадраты (прямоугольники), которые детализируются в зависимости от расстояния до камеры. Чем ближе участок поверхности, тем он отображается детальнее. Это позволяет существенно ускорить процесс визуализации, не теряя при этом в качестве картинки.

Та же самая идея используется в DirectX Progressive Mesh – специальной структуре данных, которая позволяет менять уровни детализации 3D-объектов (LOD) в зависимости от заданного критерия [3].

Однако данные для построения поверхности в ГИС и САПР являются особенными – неравномерными и с однозначно определённой для каждой координаты высотой (см. определение поверхности).

Чтобы использовать идею уровней детализации для такой поверхности, необходима новая модель данных.

Если бы поверхность умещалась в оперативной памяти, то для неравномерных триангуляций уже существует специальная структура данных – мультитриангуляция (МТ), которая обеспечивает детализацию участков TIN по заданному критерию.

Определение. Мультитриангуляция – ориентированный граф фрагментов триангуляций, хранящий информацию о последовательных упрощениях исходной триангуляции.

Использование данной структуры позволяет заменять кусок поверхности на более упрощённый фрагмент, не боясь при этом повредить целостность данных TIN.

При этом в качестве корня графа выступает полная триангуляция, а стоком (последним элементом последовательности графа) является самая упрощённая. Или наоборот, в зависимости от ориентации графа (рис. 1).

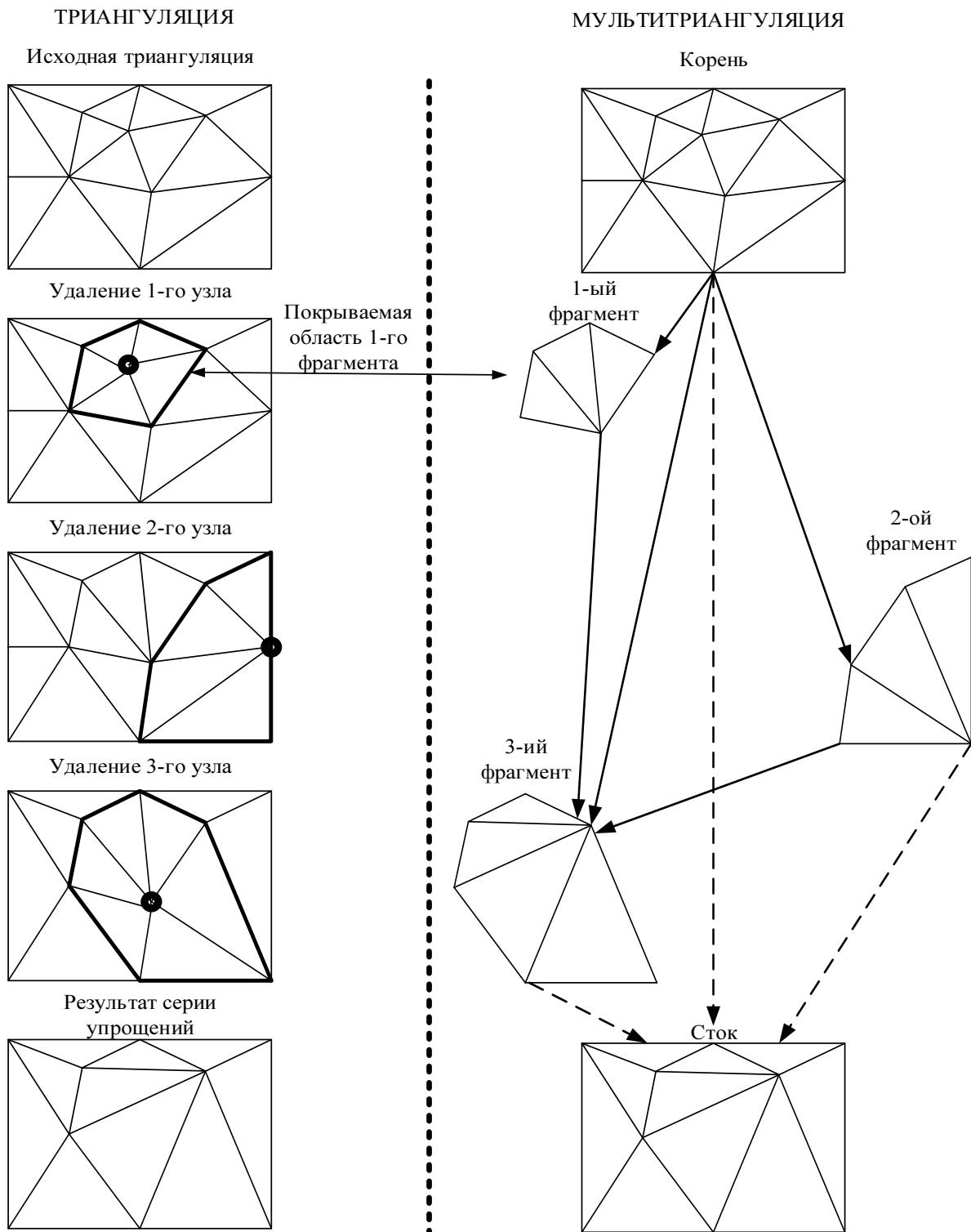


Рис. 1. Структура мультитриангуляции

Неразрешимой проблемой, в связи с которой использование данной структуры невозможно для построения поверхности по лазерному сканированию, является то, что исходными данными для её построения служит исходная TIN, которая слишком велика для того, чтобы загрузить её целиком в память.

Кроме того, даже если представить себе, что мы модифицировали алгоритм построения и создали МТ по данным лазерного сканирования, то всё равно с ней невозможно работать, так как для изменения уровней детализации участков поверхностей нам нужно загрузить в память весь граф целиком.

В связи с этим предлагается модифицировать структуру мультитриангуляции и алгоритм её построения так, чтобы обойти эти ограничения.

Модификация мультитриангуляции

Для начала рассмотрим модификацию самой структуры мультитриангуляции.

Классический граф МТ легко можно представить в виде следующих структур данных:

1. Массив вершин (*XYZ*-координаты).
2. Список треугольников МТ.
3. Список фрагментов триангуляций (от сложного к упрощённому).

Идея модификации данной структуры заключается в упорядочивании списка фрагментов таким образом, чтобы разделить этот граф на независимые части. Это позволит привести её к виду растерной пирамиды и использовать идею загрузки в память только части огромной структуры.

Для реализации данной идеи предлагается следующий алгоритм.

Модифицированный алгоритм построения МТ

Шаг 1. На исходное облако точек накладывается растерная сеть из прямоугольников.

Шаг 2. Для каждого прямоугольника строится свой подграф МТ классическим алгоритмом [5].

Шаг 3. Оставшиеся части после построения упрощаются и сохраняются в стек.

Конец алгоритма.

В результате разбиения облака точек на прямоугольники получаются непересекающиеся подграфы МТ – *деревья*. Внутри деревьев хранятся обычные списки фрагментов, как и для классической мультитриангуляции.

Полученную на третьем шаге часть МТ будем называть *основной частью*, так как именно эта часть должна быть загружена в оперативную память, в то время как независимые деревья можно загружать и выгружать по требованию.

Таким образом, на выходе алгоритма получится структура МТ, схематично изображённая на рис. 2.

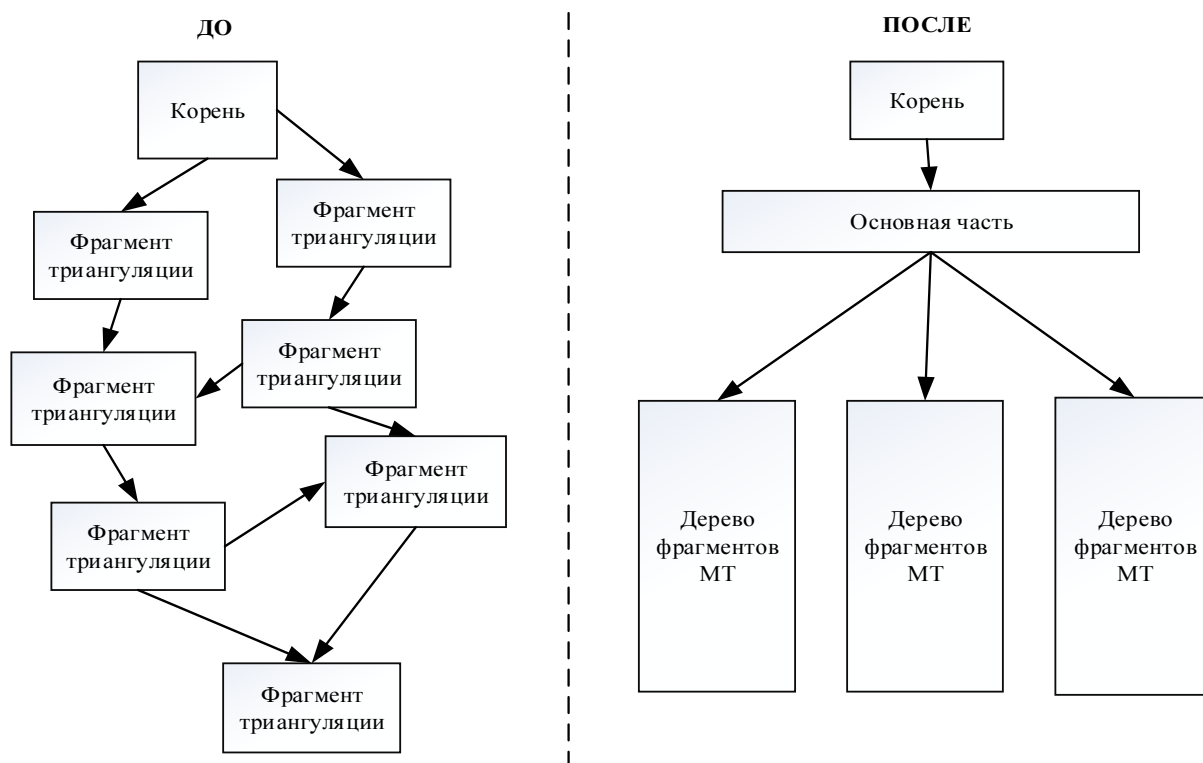


Рис. 2. Структура модифицированной мультитриангуляции

Размер ячейки разбиения влияет на скорость работы структуры данных. Так, если ячейка слишком велика, то полученные в результате деревья покрывают большие фрагменты поверхности, что снижает гибкость выгрузки данных из памяти.

Если же размер ячейки слишком мал, то остаточная основная часть получается слишком большой, что утяжеляет структуру МТ и увеличивает требования к наличию свободной памяти.

Разумным компромиссом в данном случае будет такое разбиение, при котором число точек в основной части и в каждом из деревьев примерно одинаково. Такую структуру МТ будем называть *сбалансированной*.

Авторами был проведен ряд исследований и выявлена формула для вычисления числа деревьев сбалансированной МТ.

$$TreeCount = \left\lceil \sqrt{\frac{N}{383} - 1,866 + 13,732} \right\rceil, \text{ где } N - \text{число исходных точек.}$$

Формула вычислена эмпирически для равномерного распределения точек. Впрочем, в случае лазерного сканирования точки распределяются равномерно по ходу движения лазера.

Построение поверхностей по данным лазерного сканирования для задач САПР

Для построения модели поверхностей САПР гражданского, промышленного и транспортного строительства используется линейный проезд по проектируемому участку. Исходные данные получают упорядоченными вдоль некоторой траектории движения.

В связи с этим очень удобным представляется применение предложенной модификации МТ.

Алгоритм построения модели поверхности по данным лазерного сканирования

Шаг 1. Из файла с исходным облаком точек считываются координаты некоторого числа точек, достаточного для построения по ним МТ (зависит от объёма доступной оперативной памяти).

Шаг 2. По полученному участку строится сбалансированная МТ.

Шаг 3. Построенная МТ сохраняется в файл и выгружается из памяти.

Шаг 4. Считывается следующий фрагмент данных и т.д.

Конец алгоритма.

В связи с тем, что исходное множество точек разбивается на части, необходимо также предусмотреть корректную стыковку смежных участков. Соответствующий алгоритм был предложен в [4].

После того как набор МТ построен и сохранён на жёсткий диск, он может быть использован для эффективного извлечения требуемой области в виде триангуляционной модели поверхности.

Литература

1. Скворцов А. В., Мирза Н. С. Алгоритмы построения и анализа триангуляции. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2006. – 168 с.
2. Puppo E. Variable resolution triangulations // Computational Geometry. – 1998. – Vol. 11. – P. 219–238.
3. Hoppe H. Progressive Meshes // Computer Graphics. – 1996. – Vol. 99 – P. 108.
4. Мирза Н. С., Скворцов А. В., Чаднов Р. В. Применение мультитриангуляции для визуализации сверхбольших поверхностей // Труды 15-й Международной конференции по компьютерной графике и её приложениям «Графикон'2005». – Новосибирск: Институт вычислительной математики и геофизики СО РАН, 2005. – С. 250–254.
5. De Floriani L., Magillo P., Puppo E. Building and traversing a surface at variable resolution // Proc. Conf. On Visualization '97. – 1997. – P. 18–24.
6. Мирза Н. С. Построение смежных триангуляций Делоне // Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции «Информационные технологии и математическое моделирование». Численные методы и комплексы программ. – Анжеро-Судженск, 2005. – С. 57–60.

DOI: 10.17223/9785751124335/21

МОДИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТНОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ODIS С ЦЕЛЬЮ УЧЕТА ОБЪЕМА ЗАЯВОК

А. Н. Моисеев, Е. П. Полин

Национальный исследовательский Томский государственный университет

Введение

Задача исследования систем массового обслуживания (СМО) со случайным объемом требований (заявок) [1] возникает при проектировании информационных сетей, объектом преобразования в которых является