

Создание цифровых моделей рельефа в трёхмерном пространстве методами фрактальной геометрии

Брылкин Ю.В.

maderator@yandex.ru

МФ ФГБОУ ВПО МГТУ им. Н.Э. Баумана, Мытищи, Россия

Статья посвящена созданию объёмной модели рельефа с помощью фрактальной геометрии для постановки первоначальных граничных условий при проведении землеустроительных работ и мониторинге местности. Для достижения поставленной цели в статье описывается и визуализируется работа алгоритма на основе синтеза шумов. Показаны положительные и отрицательные стороны данного алгоритма и возможности его практического применения.

Ключевые слова: цифровая модель, рельеф, фрактальная геометрия.

Digital elevation models creation in three-dimensional space fractal geometry methods

Brylkin Yu.V.

maderator@yandex.ru

Mytishinskiy branch FGBOU VPO «Bauman Moscow State Technical University», Mytishi, Russia

The article is devoted to creation of three-dimensional terrain model using fractal geometry for setting the initial boundary conditions when carrying out land management and area monitoring. To achieve this goal, the article describes and visualizes the algorithm is based on the noise synthesis. The positive and negative aspects of this algorithm and its practical application.

Keywords: digital model, terrain, fractal geometry.

1. Введение

Цифровые модели рельефа значительно уменьшают временные и трудовые затраты по отношению к традиционной технологии разметки топографических планов. Проектирование на основе моделей в трёхмерном пространстве предусматривает анализ объёмов работ, трудозатрат и факторов безопасности, для чего необходима полная информация о местности в широком диапазоне.

Наиболее используемыми методиками получения высотных отметок являются топографическая съёмка местности, радарная съёмка и использование лидарных систем.

2. Геометрическая модель рельефа

Процесс моделирования рельефа ограниченной территории по данным спутниковой съёмки хорошо применим для постановки граничных условий и сбора первоначальных данных о перепадах высот в пределах рассматриваемой области.

Получение имитационной модели местности подобным образом – наиболее простой и надёжный способ визуального моделирования, находящий применение при проведении землеустроительных, сельскохозяйственных и иных работ (рис. 1).

Основным недостатком данного способа является сложность моделирования пересечённой местности. Этот недостаток компенсируется простотой редактирования трёхмерной модели при проведении первичных геодезических работ и уточнением, например, аэросъёмкой, границ и координат положения объектов, попадающих в район предполагаемых работ.

В то же время, для решения проблемы первичной детализации на всех уровнях существует концепция фрактальной геометрии [7].

Модели, создаваемые с использованием фрактальной геометрии, на протяжении последних десятилетий являются основой многих процедурных алгоритмов для построения инженерных поверхностей [3].



Рис. 1. Построенная на основе спутниковых данных модель территории МФ ФГБОУ ВПО МГТУ им. Н.Э. Баумана, Мытищи, Россия.

Одним из методов фрактальной геометрии, получившим наибольшее распространение при работе с компьютерной графикой является дробное броуновское движение – шаговое интегрирование чисто случайного процесса по времени, аналогичное подбрасыванию монетки. Однако природный рельеф не может быть определен приближением, созданным с помощью дробного броуновского движения. Поэтому лучшие результаты дают поверхности, имеющие лишь некоторые качества истинной броуновской поверхности.

Кроме того, приближения могут быть вычислены поразному, и наиболее интересным методом создания поверхности является синтез шумов. Его принцип заключается в следующем:

– изображение, полученное с помощью спутниковой съёмки, двумерно преобразовывается с помощью случайного гауссовского белого шума с распределением Пуассона (рис. 2);

– полученный результат преобразуется в пространственную область с помощью обратного преобразования (рис. 2).

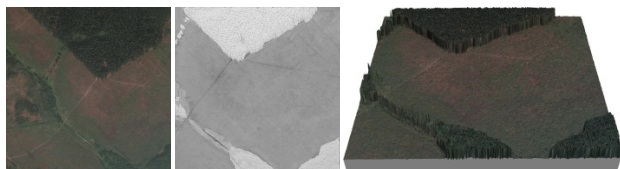


Рис. 2. Создание трёхмерной модели.

Спутниковая съёмка местности размером 1×1 км, изображение после применения фильтра гаусса с распределением Пуассона и объёмная визуализация.

Далее разрабатывается параметризованный алгоритм, который может использоваться многократно для создания более детальной визуализации того или иного участка поверхности. По сравнению с цифровыми моделями, построенными по данным, полученным вручную и использующимися только один раз, многократное использование синтеза шумов возможно [1] в виде:

$$H_{L_{min}}^{L_{max}}(x, y) = \sum_{l=L_{min}}^{L_{max}} R_{max} N(\lambda^l x, \lambda^l y) dS(x, y)$$

В этой формуле H – показатель Херста [6]; l – представляет собой уровень детализации; λ – шаг между каждым из последующих уровней шума. Тогда $\lambda^{L_{min}}$ и $\lambda^{L_{max}}$ являются соответственно мельчайшей и крупнейшей деталями, относительно наименьшего масштаба. Это означает, что $L_{max} = L_{min} + 1$ определяет количество суммируемых функций шума. Увеличение количества расчетных масштабных уровней добавляет дополнительные требования к вычислительным мощностям. Как результат, среднее число шумов удваивается примерно в два раза на каждом уровне. Из-за этого удвоения числа шумов, масштабные уровни называются октавами, что заимствовано из акустики. За R_{max} принята наибольшая высота профиля, согласно ГОСТ 2789-73, и в данном случае контролирует искусственную шероховатость. Соответственно в данном случае она может быть представлена в виде функции λ и экспоненты $\beta = 1 + 2H$, выведенной в работе [2]. Соотносятся между собой эти три параметра как $R_{max} = \lambda^{\beta/2}$.

После этого проводится расчёт фрактальной размерности D по формуле:

$$D = -\lim_{l \rightarrow 0} \frac{\ln S(\lambda^{L_{min}})}{\ln \lambda^{L_{min}}}$$

Здесь S – представляет собой количество объектов размера $\lambda^{L_{min}}$, требуемое для "покрытия" площади объекта. На основании этого определяется параметр самоподобия H (Херста). При этом фрактальная размерность находится в прямой зависимости от показателя Херста $D = 3 - H$. В случае, когда H находится в интервале $0 \div 1$, фрактальная размерность лежит между $2D$ объектом (плоской поверхностью) и $3D$ объектом (объёмной фигурой), при условии, что будет рассчитываться бесконечное число уровней. Это даёт возможность превратить выходной параметр H в следующий шаг обработки:

$$H'(x, y) = P(H(x, y))$$

Это лишь один пример использования процедурного алгоритма в качестве входных параметров. Следует отметить, что двухмерное изображение само по себе может быть процедурно созданным фракталом.

На основании данных спутниковой съёмки, эти простые преобразования делают прозрачными и понятными для пользователя механизмы создания имитационной математической модели рельефа, что даёт следующие преимущества:

- скорость создания и эффективность;
- не требуется видимость между соседними высотными отметками;

- возможность получения данных о рельефе в любой точке Земли;
- минимизация человеческих ресурсов на стадии сбора данных о рельефе;
- цифровая форма записи;
- меньший объём, требующийся для хранения и обработки данных о поверхности;

– применение стандартных форматов записи для последующего конвертирования в более удобную для ландшафтного дизайнера среду с привычным интерфейсом.

Надо отметить, что данный метод использовался при моделировании открытой местности в среде Autodesk 3Ds Max.

Использование имитационных цифровых моделей местности, созданных на основе спутниковых снимков, может найти применение при:

- определении границ участков;
- определении объёмов пространства, занимаемого лесами;
- выделении контуров вырубок, гарей, буреломов, участков, пораженных болезнями и вредителями, просек, дорог и т.д.;
- мониторинге вырубок и лесопатологий;
- моделировании процессов лесовосстановления;
- создании карт земель лесного фонда.

Повторные, регулярные или нерегулярные съёмки позволяют получать комплекс разнообразных характеристик и обеспечивать различные сервисы. Хорошим примером является оперативный сбор информации о последствиях природных катаклизмов. На их основе, с помощью фрактальных подходов делается перерасчёт объёмов пространства, занимаемого лесами.

3. Практическое применение

При наблюдении за территорией с координатами долготы и широты, соответствующими $61^{\circ}10'09''N$ и $55^{\circ}10'28''E$, на протяжении последних восьми лет, наглядно видно изменение лесного массива вследствие пожаров с 2010 года (рис. 3).



Рис. 3. Визуализация спутниковых снимков в 2009, 2010 и 2017 годах, пострадавшей от пожаров территории.

На основе данных моделей появляется возможность оценки площади лесного массива с помощью метода, описанного в [8]. Данный метод состоит в том, чтобы разделить площадь на небольшие квадраты с ребром δ . Площадь, занимаемая лесами, вычисляется по формуле:

$$A = N(\delta) \cdot \delta^2$$

Здесь $N(\delta)$ – число квадратов, необходимых для покрытия площади лесов, а δ^2 – площадь каждого из квадратов.

В результате было выяснено, что доля площади, занимаемая лесами на данном участке, сократилась на 31,88%.

В то же время, стоит отметить, что моделирование лесных пожаров и наблюдение разных стадий их развития должно производиться иными способами, например, с помощью авиационной гиперспектрометрии [5].

4. Заключение

С помощью моделей, воссоздающих рельеф местности в трёхмерном пространстве, становится возможным проведение инвентаризации лесных угодий; отслеживание

изменений, представляющих интерес; мониторинг общего состояния лесного покрова для государственных нужд или для частных компаний; контроль незаконных рубок. Кроме того, возможен оперативный сбор информации о последствиях природных или антропогенных (бури, лесные пожары) катаклизмов [4]. На их основе ставятся конкретные задачи по ликвидации последствий. Однако, в ряде случаев, для уточнения обстановки, могут потребоваться данные наземного наблюдения.

5. Литература

- [1] Giliam J.P. De Carpentier. Interactively synthesizing and editing virtual outdoor terrain. MA thesis. Delft University of Technology. – 2007.
- [2] Miller G.S. The definition and rendering of terrain maps // SIGGRAPH '86. – NY: ACM Press. – 1986, – p. 39-48.
- [3] Sakai S. et al. Fractal geometry of the ground surface and urban heat island // The seventh International Conference on Urban Climate. Yokohama, Japan, – 2009.
- [4] Евтушенко Н.В., Никитский А.Н., Митькиных Н.С., Черемисова А.М. Ежегодный спутниковый мониторинг весеннего половодья на реках России // Т-Comm № 2, – 2013, – с.46-48.
- [5] Козодеров В.В., Кондранин Т.В., Казанцев О.Ю., Бобылев В.И., Щербаков М.В., Борзяк В.В., Дмитриев Е.В., Егоров В.Д., Каменцев В.П., Беляков А.Ю., Логинов С.Б. Обработка и интерпретация данных гиперспектральных аэрокосмических измерений для дистанционной диагностики природно-техногенных объектов // Исслед. Земли из космоса. 2009. № 2. С. 36–54.
- [6] Мандельброт Б. «Фрактальная геометрия природы». М.-Ижевск: Ижевский институт компьютерных исследований, НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика». – 2010 г., 656 стр.
- [7] Маркс А. Мониторинг лесов с помощью группировки спутников RapidEye // Геоматика, – 2011, – №3 (12), – с.58-66.
- [8] Федер Е. Фракталы. Пер. с англ. - М.: Мир, 1991. - 254с., ил., стр. 20-21.

Об авторах

Брылкин Юрий Владимирович, аспирант кафедры инженерной графики МФ ФГБОУ ВПО МГТУ им. Н.Э. Баумана. Его e-mail maderator@yandex.ru.