

УДК 528.2/3

РАСЧЕТ ОБЪЕМОВ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА

А. И. ДАВИДОВСКАЯ, Н. С. ИВАНОВ

(Представлено: канд. техн. наук, доц. В. В. ЯЛТЫХОВ)

Рассматривается одна из перспективных технологий в геодезии – создание цифровых моделей рельефа (ЦМР) и расчет объемов земляных работ. Приведена информация о ЦМР, рассмотрены технологии их создания и применения, а также программное обеспечение для построения и работы с ними.

Определение объемов земляных масс выполняется как на стадии проектирования, так и в процессе строительства. Подсчет объемов земляных масс, подлежащих разработке, сводится к определению объемов различных геометрических фигур, определяющих форму того или иного земляного сооружения.

Сейчас разработано множество средств, позволяющих автоматизировать вычисление объемов земляных работ. Наиболее полными получаются результаты, основанные на 3D моделировании. Тогда в общем случае задача сводится к вычислению объема, заключенного между двумя поверхностями.

Алгоритмы создания цифровых моделей рельефа должны обеспечивать передачу свойств моделируемого объекта: форму, объемность, расположение, и т.д. Для создания ЦМР можно выделить два наиболее часто употребляемых метода моделирования: на основе пространственной триангуляции и по регулярной сетке высот.

Алгоритмы создания цифровых моделей рельефа должны обеспечивать передачу свойств моделируемого объекта: объемность, расположение, текстуры поверхности и т.д. Генерация таких объемных изображений представляет собой очень сложную вычислительную задачу. В связи с этим на практике выполняют ее декомпозицию: объекты разбиваются на составные части, и сложные изображения формируются из получаемых фрагментов. На практике, наиболее часто применяется разбиение изображений на треугольники. Это связано с тем, что треугольник – простейший полигон, вершины которого однозначно задают грань. Алгоритмы разбиения на треугольники существенно проще, чем при использовании других полигонов. Разбиение на треугольники существенно упрощает реализацию процедур рендеринга. Ну и наконец, на треугольники можно гарантированно разбить любую область, чего не скажешь о других полигонах. Процесс разбиения полигональной области со сложной конфигурацией в набор треугольников называется триангуляцией.

Триангуляция это одна из форм представления поверхности по нерегулярно заданной системе отсчетов. Образованная совокупностью точек с x , y , z координатами и набором ребер, соединяющих эти ребра в треугольники (Рисунок 1), такая модель часто использует меньшее число точек, чем другие модели. Это объясняется тем, что исходные точки обычно указываются в оптимальных местах (пиках, впадинах), что позволяет «куски» неменяющейся поверхности представлять одним-двумя треугольниками, а не разбивать ее на совокупность единообразных маленьких частей.

При этом делается допущение, что объем земли ограничен плоскостями и отдельные неровности действительной поверхности грунта не влияют значительно на объем.

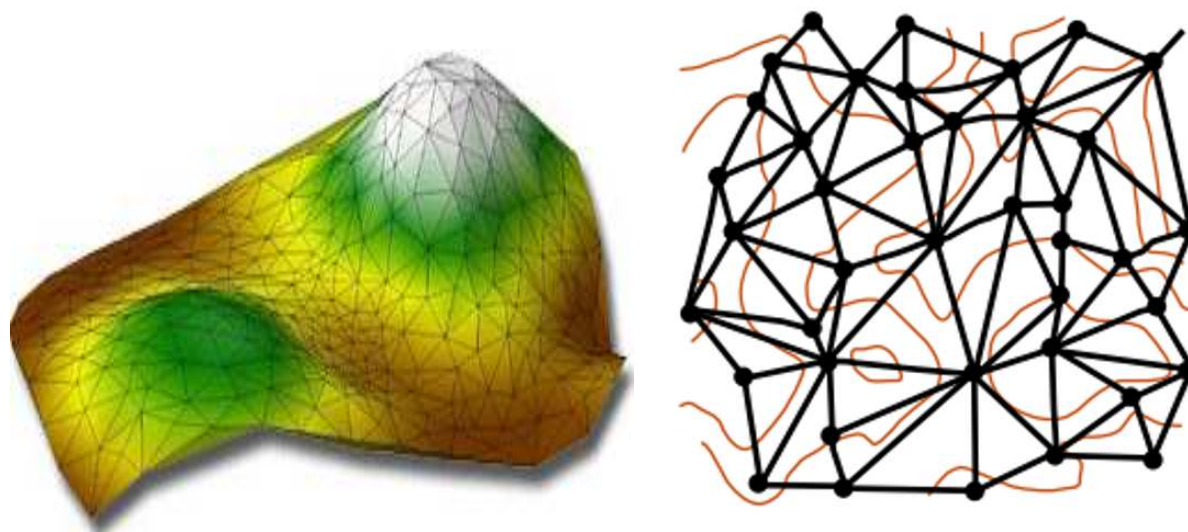
На плоскости среди всевозможных видов триангуляции часто пользуются триангуляцией Делоне [1].

При построении TIN-модели дискретно расположенные точки соединяются линиями, образующими треугольники. Каждый треугольник задается высотами трех его вершин, обычно представляется как плоскость и помимо информации о высоте имеет атрибуты угла наклона и экспозиции.

Такая модель решает один из главных недостатков ЦМР – «избыточность» информации. В сети TIN на равнинах можно убрать точки, похожие по высоте и, таким образом, плоские участки будут моделироваться небольшим числом огромных треугольников, а на участках крутых уступов, там, где необходимо детально показать все грани рельефа остается больше точек и поверхность отображается многочисленными маленькими треугольниками ближе к действительности. [2]

При вычислении объемов земляных работ по ЦМР, необходимо первоначально задать границы котлована или насыпи в качестве области создания триангуляции.

Объем засыпки\срезки элементарной фигуры определяется как объем соответствующей треугольной призмы с двумя основаниями, одно из которых является текущим треугольником, а второе – проекцией этого треугольника на дно котлована, которое представлено в виде поверхности или плоскости.



**Рисунок 1. – Моделирование поверхности
на основе пространственной триангуляции**

Если треугольник пересекается с плоскостью дна котлована или насыпи, то делается сечение треугольника на две части, для которых отдельно вычисляются объемы соответствующих призм. Объем насыпи или котлована получают путем суммирования объемов элементарных фигур.

В случае, когда необходимо определить композитный или ограниченный объем пространства, заключенный между поверхностями, метод вычисления предусматривает триангуляцию новой поверхности на основе точек обеих поверхностей.

Помимо точек обеих поверхностей в этом методе используются точки пересечения ребер триангуляции между двумя поверхностями. Значения отметок для новой композиционной поверхности вычисляются на основе разности значений отметок для двух поверхностей.

Методика расчета объемов для двух поверхностей сводится к следующему:

- каждая точка поверхности 1 проецируется на поверхность 2, а каждая точка поверхности 2 проецируется на поверхность 1.

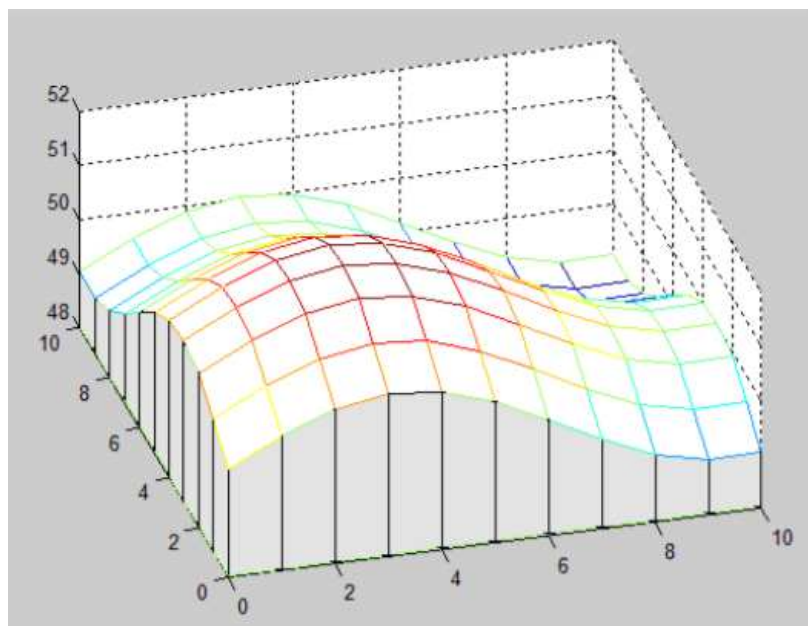
- Для каждой пары таких точек определяется разность высот из моделей обеих поверхностей. Кроме того, такие пары формируются в каждой точке пересечения в плане ребер треугольников поверхностей 1 и 2. Таким образом, образуется набор точек, количество которых равно сумме количества точек поверхности 1 и 2, количества точек пересечения ребер треугольников. Каждая точка этого набора имеет значение разности отметок поверхностей 1 и 2.

- По всем этим точкам строят триангуляцию, образуя набор призм. Для каждой призмы рассчитывается объем, сумма всех объемов призм дает искомый объем. Собственно, описанная процедура значительно сложнее, так как учитываются структурные линии, границы области расчета объемов, рассчитываются линии нулевых работ, объемы выемки, насыпи и т. д.

Таким образом, в ЦМР объемы с точки зрения математики по отношению к модели считаются абсолютно точно. Их точность по отношению к фактическому объему физических поверхностей зависит только от того, в какой мере сама съемка поверхности соответствует фактической.

Для вычисления объемов по цифровым моделям рельефа, созданным в виде регулярной сети высот предполагаем, что в каждом узле сетки известны значения высот для обеих поверхностей, при этом нет необходимости использовать методы интерполяции для пересчета высот каждой из поверхностей в промежуточных точках. Тогда объем любой фигуры можно представить, как сумму объемов прямоугольных параллелепипедов.

В расчетных программах часто применяют методы, основанные на численном интегрировании. Различие заключается в аппроксимации подынтегральной функции (линейная, квадратическая, кубическая и т.д.). Разность значений, полученных различными методами, может служить качественной оценкой точности вычисления объемов.



**Рисунок 2. – Моделирование поверхности
в виде регулярной сетки**

На абсолютную погрешность оценки объема оказывают влияние главным образом такие факторы, как: сложность конфигурации поверхности, число измерений и интервал между съемочными точками, точность и возможности измерительного инструмента, условия производства геодезической съемки, неплоскость поверхностей и местные неровности, геометрическая форма и способ математической обработки результатов измерений. Относительная погрешность зависит также и от объема грунта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Скворцов А. В. Триангуляция Делоне и ее применение. — Томск: Изд-во Томского университета, 2002. — 128 с.
2. Хромых В.В. Цифровые модели рельефа / В.В. Хромых, О.В. Хромых. – Т.ТМЛ – Пресс, 2007. – 178 с.