

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК 004.94

Верич  
Сергей Геннадьевич

ПОСТРОЕНИЕ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ  
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ИНЖЕНЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание академической степени  
магистра технических наук

по специальности 1-40 80 04 – Математическое моделирование, численные  
методы и комплексы программ

Научный руководитель

Волорова Н.А.

к.т.н., доцент

Минск 2015

## ВВЕДЕНИЕ

Применение компьютерной техники в современной жизни стало незаменимым. Огромное количество отраслей используют вычислительные машины для ускорения решения задач. До недавнего времени вся компьютерная техника была лишь вспомогательным устройством для человека. Компьютер проводил различные вычисления, а основная работа лежала всё равно на человеке. Перед человечеством же стояли задачи масштабных строителств, проектов на будущее, испытаний, которых компьютер решить не мог. С появлением мощных графических станций, а так же компьютеров, способных решать не только математические задачи, но и визуализировать сложнейшие технологические процессы на экране, начинается новая эра в компьютерной промышленности.

Современные ГИС представляют собой новый тип интегрированных информационных систем, которые, с одной стороны, включают методы обработки данных многих ранее существовавших автоматизированных систем (АС), с другой – обладают спецификой в организации и обработке данных. Практически это определяет ГИС как многоцелевые, многоаспектные системы. Тенденция все более широкого внедрения ГИС в науки о Земле (география, геология, экология, почвоведение и т.д.), также как и в тесно связанные с ними социально-экономические науки (экономика, история и т.д.), приводит к повышению эффективности и дальнейшему развитию геоинформационных методов исследований, которые базируются на новой науке – геоинформатике. ГИС, являясь программно-информационной базой, позволяет не только придать наглядность исходным геолого-геофизическим данным и результатам на географическом пространстве, но и обеспечить новый уровень решения большинства геофизических задач в трехмерном пространстве.

Одними из важных модулей ГИС являются модуль построения геологических объектов. Основным источником информации о геологических недрах являются скважины. Поэтому задача поиска поверхности границы геологических слоев является важной частью подобных комплексов.

Целью диссертации является выработка методики восстановления геологических объектов и исследование подходов реализации основных этапов данной задачи.

## **АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ**

Задача построения и трехмерного восстановления инженерных и геологических объектов носит актуальный характер. В различных моделирующих комплексах возникает необходимость как задания входных данных на трехмерных объектах, так и отображение результатов моделирования в трехмерном виде. Подобный способ отображения данных позволяет пользователю удобно ориентироваться в большом объеме входных данных, которых ему необходимо ввести для расчета, а так же в большом объеме данных которые выдает моделирующий комплекс.

Первым и неотъемлемым этапом работы с географической информационной системой является ввод географической информации и создание трехмерной поверхности. Именно поэтому данная задача является важной для большинства ГИС.

### **ЗАДАЧА ГЕОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПО СКВАЖИНАМ И РАЗРЕЗАМ**

В задаче построения трехмерной модели геологических объектов в качестве входных данных могут служить следующие значения:

1. Граница верхнего слоя (изолинии).
2. Геологические скважины.
3. Геологические разрезы.

Граница верхнего слоя является наиболее изученной из границ геологических слоев, так как визуально видна, а значит, имеется доступ для полного ее изучения. Все другие границы между слоями визуально увидеть нельзя не нарушая при этом саму геологию. Для изучения этих границ бурятся скважины. Для уточнения того как интерпретировать данные по скважинам, используются геологические разрезы. Геологический разрез соединяет две скважины и отображает то, как предполагается расположение геологических слоев. Подобная информация может быть как результатом работы алгоритма (быть автоматизирована), так и редактироваться пользователем.

Таким образом, если проанализировать все вариации входных данных, то видно, что они являются различной формой одной схожей структуры. А именно трехмерной координаты смены одного геологического слоя другим. Возможность свести разрозненные форматы данных в единую структуру в дальнейшем поможет упростить методику построения модели.

Результатом моделирования является трехмерный объект. Отметим некоторые особенности, которыми должны будут обладать результирующие объекты, объясним причины таких ограничений, а так же пометим этапы, на которых на эти особенности будет уделено внимание.

Все объекты являются замкнутыми. Геологический слой является твердотельным объектом, и его граница не может иметь «дырок». На данную особенность будет обращено внимание на этапе построения замыканий.

Граница такого объекта не должна иметь самопересечений. Это обусловлено самой моделируемой структурой – геологическим слоем. Данное ограничение окажет влияние на этап построения поверхности границы.

Полученные трехмерные объекты не должны иметь пересечений между собой, помимо пересечений по поверхности их границ. Это условие продиктовано тем, что в каждой точке пространства располагается тот или иной слой, либо граница между слоями. Ограничение будет учтено на этапе построения замкнутых объектов из поверхностей границ между ними. Объекты должны быть построены таким образом, чтобы между ними не было «пустого» пространства. Так как моделируется геологическая структура, которая является полностью заполненной веществом, то и результирующая модель должна отвечать этому требованию. Оценка соответствия данному пункту проведена на этапе перестроения триангуляции объекта.

## **МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

Разработанная методика построения трехмерных геологических объектов состоит из следующих этапов:

1. Определение общей последовательности слоев (общая геологическая скважина).
2. Построение предполагаемых разрезов, на основании информации о расположении материалов в скважине и общей последовательности слоев.
3. Если полученная последовательность слоев устраивает пользователя, то переход к четвертому пункту. Иначе пользователь вносит дополнительные критерии, и повторяются пункты с первого по третий.
4. Интерполяция и экстраполяция данных полученных на основании границы верхнего слоя, мощностей слоев в скважинах и границ слоев.
5. Построение трехмерных поверхностей границ слоев на основе результатов интерполяции.
6. Пересечение поверхностей границ слоев (формирование списка линий пересечения треугольников).
7. Перестроение триангуляции в местах пересечения.
8. Фильтрация полученных новых треугольников, на предмет принадлежности к искомой поверхности границы трехмерного объекта.
9. Формирование цельного, замкнутого трехмерного объекта. Замыкание поверхностей по бокам интересующей области.
10. Если пользователя устраивает построенная модель то построение завершено. Иначе пользователь может вернуться на этап 4 и сменить тип интерполятора

Этап поиска общей последовательности слоев является подготовительным этапом для интерполяции. Интерполяция производится отдельно для каждой границы слоя. Задача поиска последовательности слоев

состоит в том, что бы отсортировать входные данные введенные пользователем в структуру данных пригодных для интерполяции и экстраполяции. Задача алгоритма заключается в том, что бы предугадать наиболее приемлемый вариант последовательности слоев.

Для этого алгоритм стремится достичь следующих результатов, во-первых, минимизировать количество слоев. Для этого одинаковые материалы по возможности относятся к одному и тому же слою. Во-вторых, стремится к сохранению пар последовательностей. Так если в двух скважинах встречается последовательность материалов АБ, то вероятней всего эти материалы в обоих случаях относятся к одной паре слоев. В-третьих, учитываются абсолютные координаты расположения слоев. Чем больше различается  $z$  координата границы материала в одной скважине от  $z$  координаты границы такого же материала другой скважины, тем меньше вероятность того что эти материалы относятся к одному слою. В-четвертых, при равнозначном выборе предпочтение будет отдано тому критерию, который был сформирован для пары скважин, которые располагаются ближе. Т.е. описанные ранее критерии, на которые опирается алгоритм, дополнительно учитывают расположение скважин по координатам XY.

Построение общей последовательности слоев помимо основного назначения, подготовки данных для интерполяции, так же применяется для создания первоначального состояния геологических разрезов.

Предлагается автоматическое построение разрезов на основе триангуляции поверхности геологического объекта по скважинам. Суть заключается в том, что после триангуляции разрезы формируются на базе получившихся ребер треугольников. Триангуляция обеспечивает ряд полезных преимуществ. Во-первых, происходит создание разрезов между близлежащими скважинами. Во-вторых, полученная сеть разрезов не содержит произвольных пересечений, за исключением контролируемых пересечений в скважинах.

Следующим этапом является интерполяция данных. Помимо точек с известной высотой, интерполятор (а в нашем случае и экстраполятор) получает на вход точки XY, для которых необходимо установить координату Z. Выбор этого набора результирующих точек должен быть не случайным. С целью дальнейшей оптимизации используется набор точек пригодный для формирования TRN (треугольной регулярной сетки).

Помимо типа интерполяции можно задать области действия интерполятора. Данный механизм был введен для возможности поддержки построения антропогенных ландшафтов. Зачастую наряду с естественными геологическими объектами приходится создавать и участки местности, измененные человеком. Для таких целей использование интерполяции/экстраполяции всего набора точек не件годно. Суть предлагаемой методики в том, что на основе сети разрезов, вся поверхность делится на сегменты, каждый из которых отправляется на интерполяцию отдельно. Таким образом, удается получить, например, участки с гладкой горизонтальной поверхностью для моделирования строительной площадки.

После получения результатов интерполяции точки соединяются однотипным образом в B-Rep поверхность. Выбор в пользу регулярной сетки был сделан по следующим причинам: Во-первых, регулярная равномерная сетка создаст преимущество при поиске пересечения границ слоев, за счет сокращения пар проверяемых треугольников. Нерегулярная сетка в общем случае, могла бы дать более плавную поверхность границы каждого слоя. Но это достигалось бы в том случае, если бы каждый слой имел свою сетку, а их проекции на плоскость XY не совпадали. Во-вторых, регулярная сетка проще в реализации, нежели нерегулярная. А это значит она более «легковесна» с точки зрения производительности. В-третьих, регулярная сетка не зависит от набора входных данных, и имеет возможность простого управления качеством результата за счет двух параметров: количества точек по осям OX и OY. За счет уменьшения количества узлов сетки можно не только регулировать степень детализации геометрии, но и управлять скоростью выполнения интерполяции. Это в свою очередь позволит строить черновые варианты геометрий с достаточно высокой скоростью, что является неоспоримым преимуществом в ситуации, когда необходимо многократное перестроение модели. В-четвертых, регулярная сетка обеспечивает быстрый поиск и обход граничных ребер поверхности. Это, в совокупности с симметричным расположением индексов точек в триангуляции поверхностей, поможет при построении замыкания на завершающем этапе.

Так как границы слоев являются результатом интерполяции, то на достаточно сложных примерах, может возникнуть случай когда нижняя граница слоя оказывается выше верхней границы того же слоя. Для решения данного конфликта производится этап пересечения границ, который разбивается на следующие стадии. Первая стадия поиска линии (или точки) пересечения двух треугольников в трехмерном пространстве. Вторая стадия построения новой триангуляции вместо исходного треугольника. Третья стадия определения того, какой из треугольников новой триангуляции отнести к объекту, а какой нет.

Завершающим этапом формирования трехмерного слоя является построение замыканий на границе TRN. Оно осуществляется на краях регулярной сетки.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В диссертации рассмотрены имеющиеся наработки в области построения геологических структур. Выделены подзадачи. Изучены научные исследования по теме подзадач.

Разработан метод построение геологической модели. Подробно изучены и описаны этапы формирования трехмерной модели. Предложенный метод обеспечивает, с одной стороны, автоматизацию процесса построения. Пользователь может получить готовую модель после выполнения всех этапов, большая часть которых проходит без его непосредственного участия. Это обеспечивает возможность быстрого получения результата.

Помимо этого метод позволяет пользователю вмешиваться в процесс построения при необходимости. Это позволит опытному пользователю с опытом в геологии более тонко управлять процессом создания модели. При этом процесс построения включает в себя два цикла, которые обеспечивают возможность независимого повторения любого из них. Т.е. при необходимости повторения второго цикла, результаты первого затрагиваться не будут.

Полученные объекты соответствуют требованию замкнутости, отсутствию самопересечений границ, и при этом не пересекают друг друга (но касаются). При этом полученные объекты не содержат зазоров.

### **Список публикаций соискателя**

Верич С.Г. Методика построения трехмерной геологической модели на основе информации о скважинах и разрезах. // Компьютерные системы и сети: материалы 49-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов. Минск, 6-10 мая 2013г. / БГУИР, главн.ред.: В.А.Прытков. - Минск 2013. С.102