

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМА СТРУКТУРНОГО СОГЛАСОВАНИЯ

О. Л. Коновалов

Белорусский государственный университет

Минск, Беларусь

e-mail: olegminsk@tut.by

Представлены теоретические оценки и экспериментальное исследование эффективности «simplicial volume based» алгоритма структурного согласования.

Ключевые слова: триангуляция Делоне с ограничениями; изоповерхности; структурное согласование.

EFFICIENCY INVESTIGATION OF ALGORITHM OF STRUCTURAL MODELING

O. L. Konovalov

Belarusian State University

Minsk, Belarus

This article are present the theoretical estimations and the efficiency investigation of «simplicial volume based» algorithm of structural modeling.

Keywords: constrained Delaunay tetranedralization; volume based; structural modeling.

ПРОБЛЕМА ПОСТРОЕНИЯ ТРЕХМЕРНОЙ СТРУКТУРНОЙ МОДЕЛИ

В общем случае построение трехмерной структурной модели – это сложный многошаговый и многокритериальный процесс, который должен учитывать различные аспекты геологического моделирования. Статья посвящена наиболее сложному этапу этого процесса – согласованию поверхностей геологических горизонтов с комплексом разломов. В последнее время набирает популярность так называемый «simplicial volume based» (SVB) алгоритм [1], в котором согласованная поверхность горизонта строится как изоповерхности некоторого «разрывного» трехмерного поля, заданного над тетраэдральной (симплициальной) сеткой, включающей дублированные грани комплекса разломов. Пример построения изоповерхностей разрывного поля приведен на рис. 1.

SVB-алгоритм обладает двумя важными преимуществами по сравнению с традиционными подходами. Во первых, процесс согласования является полностью автоматическим. Во вторых, алгоритм способен обработать сопряжения разломов любой сложности. Однако активному внедрению алгоритма препятствует его высокая вычислительная ресурсоемкость. В нашей статье мы попытаемся прояснить эту проблему.

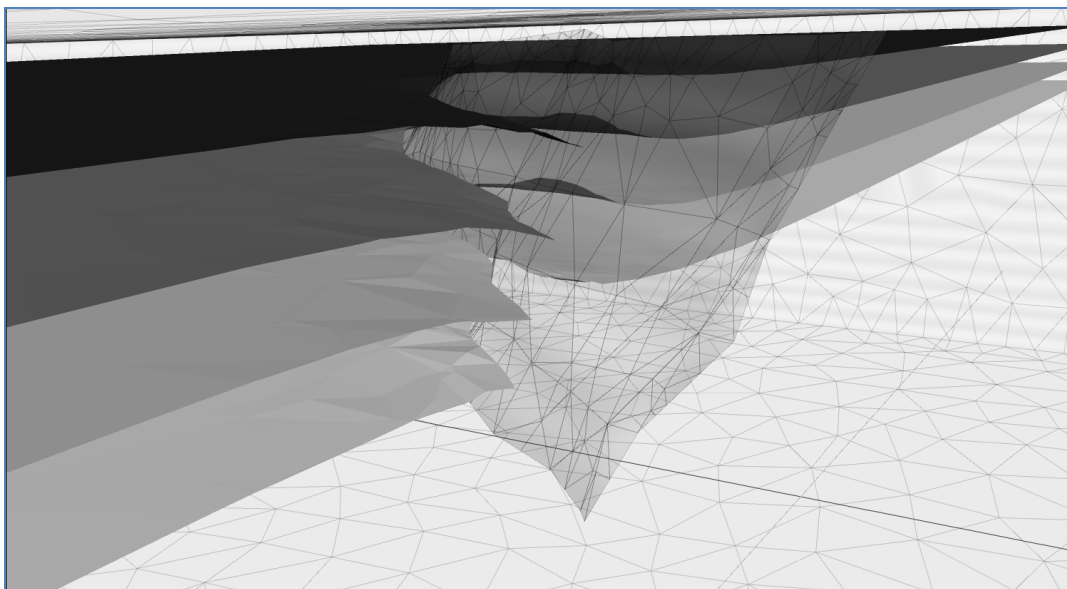


Рис. 1. Изоповерхности разрывного поля

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СЛОЖНОСТИ АЛГОРИТМА

Полную последовательность шагов SVB-алгоритма можно представить в виде следующей диаграммы:

$$\mathbf{CDT} \Rightarrow \mathbf{SCF} \Rightarrow \mathbf{BSM} \Rightarrow \mathbf{SME} \Rightarrow \mathbf{MT} \Rightarrow \mathbf{SG},$$

где:

CDT (*constrained delaunay tetrahedralization*) – тетрагедрация Делоне с ограничениями;

SCF (*split constrained faces*) – дублирование ребер, принадлежащих комплексу разломов;

BSM (*build stiffness matrix*) – построение матрицы жесткости;

SME (*solve_matrix_equations*) – решение системы линейных уравнений;

MT (*marching tetrahedra*) – разбиение тетраэдров по заданному значению;

SG (*surface glue*) – склейка треугольников изоповерхности.

Представленная последовательность описывает структуру алгоритма в случае, когда для получения гладкого поля над разрывной сеткой используется, например метод конечных элементов. В случае, когда для получения поля используется какой-либо иной способ (например, сплайн интерполяция), состав шагов может существенно отличаться. В таблице представлены теоретические оценки сложности каждого шага алгоритма. В первом столбце таблицы указан шаг алгоритма. Второй столбец содержит описание входных данных и их размерность. В третьем приведена верхняя оценка количества требуемых операций. Четвертый столбец содержит описание и размерность выходных данных.

Теоретические оценки сложности шагов SVB-алгоритма

Шаг	Входные данные и их размерности	Верхняя оценка сложности	Выходные данные и их размерности
CDT	Двухмерный симплициальный комплекс P , $ P^0 = n$ – кол-во его вершин, $ P^2 =k$ – кол-во его треугольников	$O(n^2 \cdot \log(n) + n \cdot \log^2(k))$	Трехмерный симплициальный комплекс T , $ T^3 = t$ – кол-во полученных тетраэдров, а $ T^0 = n+s$, где s – кол-во точек Штейнера
SCF	Т.е. список его граней принадлежащих P	$O((n+s) \cdot C_1)$ где C_1 – максимальная степень вершины в T	Набор тетраэдров T_* , где $ T_*^3 = T^3 $ а $ T_*^0 = n+s+m$, где m – кол-во дублированных вершин
BSM	T_*	$O((n+s+m) \cdot \ln(n+s+m))$	Матрица жесткости размерности $n+s+m$
SME	Матрица жесткости и T_*	$O((n+s+m)^3)$	Скалярное поле K , заданное на вершинах T_*
MT	T_* и K	$O(t)$	Набор треугольников R
SG	T_* и R	$O(t \cdot C_2)$ где C_2 – максимальная степень ребра в T	Искомая триангуляционная поверхность горизонта

Анализ приведенной таблицы позволяет выделить три критических (ресурсоемких) шага: CDT, BSM и SME. Очевидно, однако, что теоретическая сложность SME шага максимально завышена и практические реализации (в том числе параллельные) демонстрируют значительно более высокую производительность. Кроме того, теоретически сложно оценить количество точек Штейнера, возникающих после работы CDT, и количество дублированных вершин, возникающих после разрыва тетраэдральной сетки на шаге SCF.

Поэтому реальную производительность SVB-алгоритма, а также соотношение времени выполнения его шагов можно оценить только экспериментально.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ SVB-АЛГОРИТМА

Для экспериментального исследования была выбрана геологическая модель участка шельфового месторождения углеводородов, обладающая достаточно сложным тектоническим строением. Модель содержит 37 разломов, включая различные виды сопряжения (лямбда и игрек сопряжения).

Для исследования реальной эффективности SVB-алгоритма была выполнена серия согласования тестовой модели. Первый набор данных включал только один разлом. Количество разломов в каждом следующем наборе увеличивалось. При каждом согласовании измерялось время выполнения критических шагов, а также количество точек Штейнера и количество дублированных вершин. Графики зависимостей измеряемых величин от количества точек в тестовом наборе данных приведены на рис. 2–4.

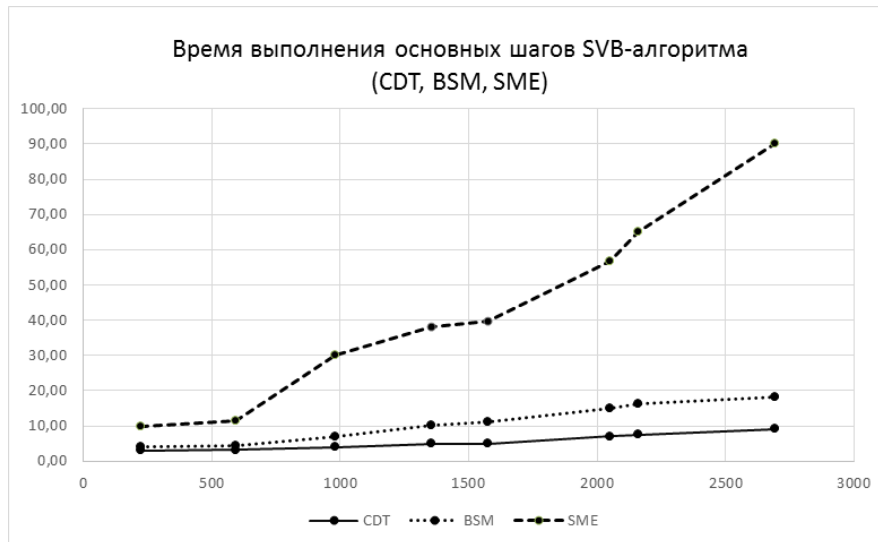


Рис. 2. Зависимости времени выполнения основных шагов от количества точек входного комплекса разломов

Следует отметить зависимость количества точек Штейнера от качества результирующего симплициального комплекса (СК). В качестве параметра качества СК использовалось максимальное отношение радиуса описанной вокруг тетраэдра сферы к минимальному ребру (параметр q).

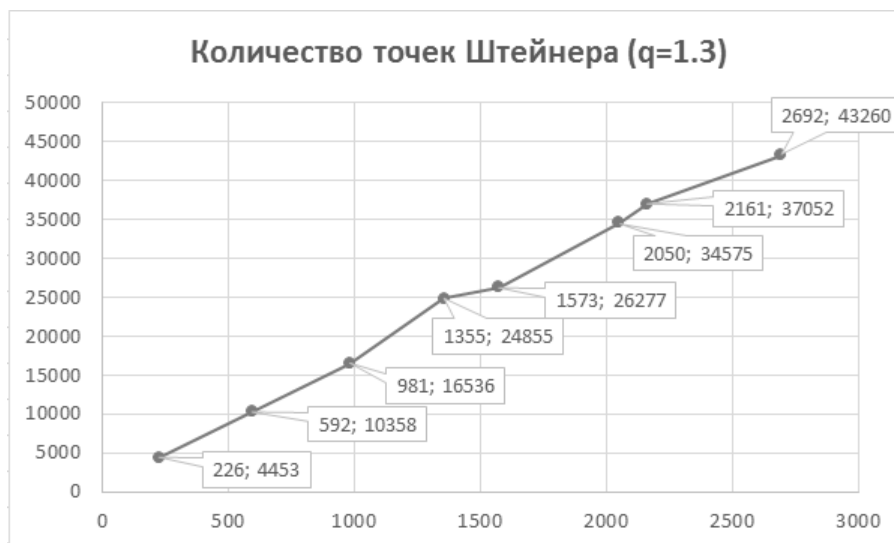


Рис. 3. Зависимость количества точек Штейнера от количества точек входного комплекса разломов

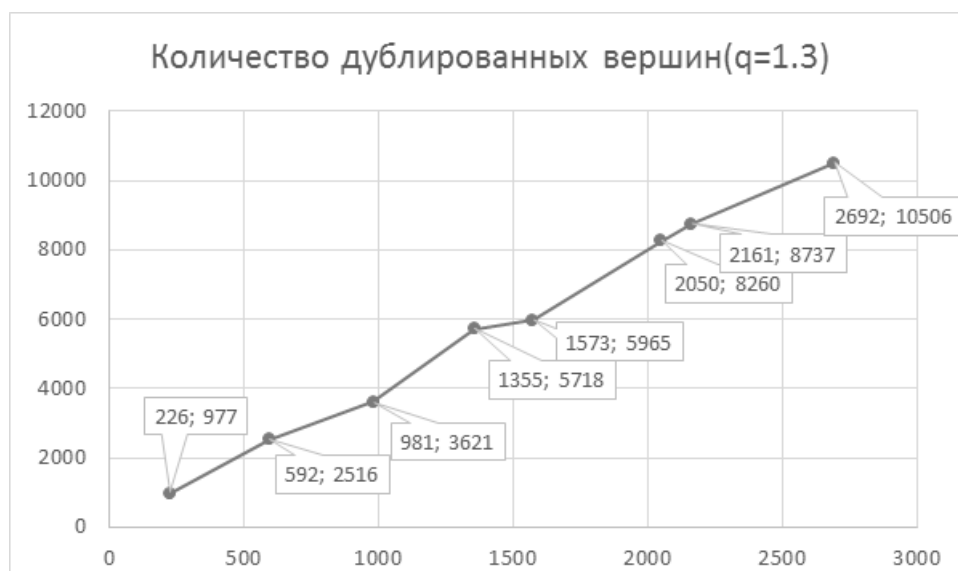


Рис. 4. Зависимость количества дублированных вершин от количества точек входного комплекса разломов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ проведенных экспериментов показывает, что практически все приведенные зависимости ниже теоретических оценок и близки к линейным для исследуемых размерностей входных данных. Очевидно, что наиболее критичным для исследуемой реализации SVB-алгоритма является выбор устойчивого и эффективного средства для решения системы линейных уравнений. Демонстрируемый в последнее десятилетие прогресс в развитии параллельных решателей СЛАУ (в том числе ориентированных на GPGPU) позволяет констатировать практическую применимость SVB-алгоритма.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Frank T., Tertois A. L., Mallet J. L. 3D-reconstruction of complex geological interfaces from irregularly distributed and noisy point data // Computers and Geosciences. 2007. Vol. 33, № 7. P. 932–943.