



equinor

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Зятькова Николая Юрьевича
«Разработка и оптимизация программного комплекса
для дифракционного моделирования сейсмических волн
с адаптацией под графические ускорители», представленной на
соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
05.13.18 – математическое моделирование, численные методы
и комплексы программ

Берген, 07.10.2020

Я с большим интересом прочитал диссертацию и автореферат Николая Зятькова. Мне выпала честь работать с профессором Камиллом Клем-Мусатовым и его группой с конца 90-х годов в качестве «промышленного партнера». Это дало мне возможность следить за развитием теории МНКВ и нескольких концепций его численных реализаций. Мы действительно пытались реализовать самую «раннюю» версию МНКВ на Masspar – параллельном компьютере, построенном как система систолического массива процессоров и MPI. Все, что мы получили, тестировалось на модели класса C2 с 5 границами с размером сетки 96 x 96. Интерпретация результатов сразу же показала нам большой потенциал этого подхода к моделированию.

Автор начинает автореферат с обзора современного состояния существующих методов акустического моделирования волнового поля для сред со сложной геометрией. Затем автор описывает методологию и методы, лежащие в основе новой теории операторов прохождения-распространения-дифрагирования (ТОПРД), которая представляет собой аналитическую формулировку для распространения сейсмических волновых полей в трехмерной блочной модели. ТОПРД использует два оператора: 1) оператор прохождения (отражение/преломление) на изогнутой границе, 2) оператор распространения внутри блока/слоя. В конечном приложении они представляют собой «концевые волновые пакеты». Автор четко определяет цель диссертации. Был протестирован метод МНКВ, который является аппроксимацией ТОПРД для средних частот на GPU-кластере. Рассмотрена вычислительная эффективность при использовании

графических процессоров и центральных процессоров для моделей со сложной геометрией. Новый аспект теоретического решения перечислен в четырех пунктах, где обсуждаются критерии сходимости и устойчивости. Разработан матричный подход к вычислению восходящего и нисходящего волнового поля и представления сложной геометрии. Практический аспект диссертации выделяет возможность вычисления амплитуд волн, отраженных от сложной геометрии, использования метода в качестве ядра моделирования в методах инверсии в широком диапазоне частот, которым удовлетворяет этот метод. Качество результатов моделирования проверялось путем сравнения с результатами физического моделирования, а также с результатами конечно-разностного и аналитического моделирования. Оба сравнения показали очень малую остаточную амплитуду – менее 1%. За общим обзором следует более подробное описание каждой главы. Автор указывает на важнейшие теоретические формулы, которые станут предметом следующего шага – параллельного программирования для GPU-кластера.

В главе 1 описаны основные методы моделирования акустических волновых полей, разделенные на три группы.

В главе 2 дается описание метода МНКВ, (последовательное действие композитных операторов – умножение матриц прохождения и распространения в соответствие с волновым кодом на функции волновых амплитуд граничных векторов). Автор объясняет очень важную для понимания слоевую или блочную матричную концепцию концевых волновых пакетов, являющейся аппроксимацией композитных операторов. «Доказательство концепции» для такой аппроксимации проверяется в следующем подразделе и демонстрируется точность амплитуды ниже 1%.

В главе 3 представлена высокооптимизированная реализация МНКВ для случая акустики, адаптированная для GPU-кластера. Автор обсуждает основные проблемы реализации МНКВ и то, как ускорение каждого умножения матрицы на вектор реализуется для GPU-кластера с помощью представленной схемы. Также показана кривая масштабируемости программного комплекса МНКВ. Одной из проблем реализации МНКВ является определение зоны тени, части рефлектора без энергетического освещения. Я нашел аналог концепции «теневого матрицы» с «нулевым пространством» для задач трехмерной томографии на основе луча, где используются триангуляция Делоне и полигоны Воронова. Применение этого метода «адаптивной сетки» приводит к гораздо меньшему размеру томографической матрицы и улучшенным результатам инверсии. Автор

представляет «коэффициент сжатия» для различных тестовых моделей. Было бы интересно узнать, влияет ли введение теневой матрицы на качество конечных результатов моделирования?

В главе 4 представлено применение МНКВ для 8 3D-моделей. В моделях 1-7 представлен сценарий из двух блоков: усечение песчаника на соляном теле. Модель 8 представляет сценарий из трех блоков: галитовый блок с включением ангидрита, окруженный песчаником. Соляное тело в моделях 1-7 имеет выпуклую, вогнутую или выклинивающую формы. Все генерируемые волны, отраженные, преломленные, одиночные и множественные краевые дифракционные и дифракции на выпуклом теле, идентифицируются и подробно обсуждаются. Автор оценивает время расчета для каждой модели с помощью размерности вектора и дискретизации матрицы. В автореферате обсуждаются две модели – одиночного и двойного выклинивания. Качественное сравнение с окончательными отличиями представлено для модели одиночного выклинивания в виде остатков сечения. Количественное сравнение представлено наложением трасс одного и того же приемника для двух удалений.

Вопрос: Подводя итог главы 4, в таблице 4.1, где представлено время вычислений для всех протестированных моделей, общее время вычислений для модели 5 указано в секундах, а не в минутах?

В приложениях А-F представлены теоретические выводы МНКВ, сравнение с физическим моделированием, выполненное во Франции, и заявка на патент.

В заключение автор представляет четыре важных достижения диссертации. Начиная с концевых вейвлет-пакетов, заканчивая программной системой с высоким уровнем оптимизации, адаптированной для GPU, с более чем 100-кратной вычислительной эффективностью. Затем алгоритм теневой матрицы, адаптированный для GPU, позволяющий значительно сэкономить память и емкость диска, и, наконец, проверку точности и эффективности МНКВ в виде концевых волновых пакетов для трехмерных моделей с границами со сложной геометрией.

В конце автореферата автор прилагает внушительный список из 16 публикаций, посвященных тематике, непосредственно связанной с диссертацией.

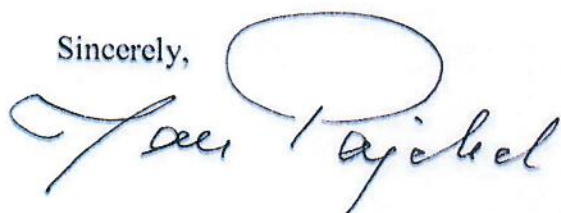
Со своей стороны я хотел бы выделить ценность этого инструмента моделирования сейсмической инверсии, как «деликатный», упомянутый также

автором. Сегодня мы замечаем, что все больше и больше статей вычисляют потенциал отражения на основе полной инверсии волнового поля /FWI/, называемой инверсией отраженной формы волны /RWI/. С МНКВ мы можем перейти к «целевому» RWI.

Большое значение представленного метода заключается в возможности отличить трехмерную краевую дифракцию от дифракции на выпуклых телах. На языке структурной геологии это означает разлом или эрозионную тектонику. И никто не хочет бурить эрозионные структуры.

Я считаю, что диссертация Н.Ю. Зятькова «Разработка и оптимизация программного комплекса для дифракционного моделирования сейсмических волн с адаптацией под графические ускорители» удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» и соискатель достоин этого звания.

Sincerely,



Д-р Ян Пейчел, PhD в геофизике
Почетный Исследователь фирмы Статойл,
Исследовательский Центр в Бергене (Норвегия),
+47 480 486 91

jpajc@equinor.com