

Обработка данных

Погружение волнового поля на основе прямолинейных лучей в трехмерной среде: быстрое и гибкое. Straight ray datuming in 3D media: fast and flexible

Tariq Ali Alkhalifah,¹ Henk Innemee,² Chris Benson,² и Sarah Spoors² представляют обоснование проекта, поддержанного GGS-Spectrum, который исследует некоторые инновации в обработке, основанной на погружении волнового поля на основе прямолинейных лучей в трехмерной среде и более эффективной, чем существующие версии.

Общеизвестные методики погружения поля, подобные проверке Кирхгоффа, или методу конечных разностей, требуют обоснованного выбора источников и приемников. Это становится серьезным ограничением для погружения данных, полученных с использованием 3D установки обычного наземного сбора данных, из-за обычно разреженного интервала между источниками и приемниками. Чтобы избежать этого, мы расширяем методику (Alkhalifah и Bagiani's, 2006) погружения поля на основе прямолинейных лучей (SRD), чтобы осуществить 3D геометрию расстановки при сборе данных. Также как и в двумерном случае, 3D SRD базируется на предположении прямолинейных лучей над и под поверхностью приведения с соблюдением между ними закона Снеллиуса. Это предусматривает применение SRD к общему пункту взрыва в одной операции (нет необходимости сортировать данные по общим приемникам). Аналогично, это может быть применено к общей группе приемников без необходимости сортировать данные, удаленные от общего пункта взрыва. Эта особенность предусматривает большую гибкость в сборе данных, так как она требует, также как и в стандартном случае, чтобы либо источники, либо приемники осуществляли полное густое покрытие области. К тому же, SRD не требует детального описания близповерхностной скоростной модели, информации о статической коррекции, рассчитанной по данным профилирования методом преломленных волн, или любого другого, обычно используемого метода, чтобы получить вблизи поверхности удовлетворительный временной сдвиг.

Так же, как и для проведения перепогружения, SRD может быть использован для картирования пространственно нерегулярно дискретизированных данных на поверхности дискретизации данных в регулярно дискретизированные данные на поверхности приведения. Фактически, хотя операция является частичной миграцией, она ослабляет дифракцию, генерированную неоднородностями над поверхностью приведения. Стоимость вычислений при применении 3D SRD больше, чем стоимость статической коррекции, но из-за ограниченного пространственного распространения и аналитического представления является гораздо меньшей, чем миграция по методу Кирхгоффа. Статические поправки вычисляются и применяются к поверхностным сейсмическим данным для компенсации эффекта топографии и латеральных скоростных вариаций в близповерхностной зоне (Сох, 1999). Их вычисление основано на предположении вертикального падения луча, а применение заключается в простом временном сдвиге, примененном ко всей трассе. В результате пренебрежения кривизной луча и другими волновыми явлениями, статические коррекции в их стандартном виде имеют серьезные ограничения (Shtivelman and Canning, 1988).

Обоснование проекта

GGG-Spectrum является в настоящее время активнoдействующим спонсором в области развития методики для коммерческого пользования, которая может быть использована либо как альтернативная, либо как дополнительная при применении стандартной статической. Стандартная статическая коррекция обеспечивает неизменяемый временной сдвиг, предполагая поверхностную стабильность в слое выветривания и вертикальный сейсмический луч. Погружение поля на основе прямолинейных лучей, так называется методика, не предполагает вертикальное падение луча. Можно внести поправку за временные искажения в слое выветривания, возникающие из-за быстрых латеральных вариаций упругих параметров выветривания, и исключить гиперболичность в приращении времени пробега отраженной волны. Tariq Ali Alkhalifah, профессор Королевского Общества Abdulaziz по Науке и Технологии Университета в Саудовской Аравии возглавил совместный с GGS-Spectrum проект по этому методу, который разрабатывался в течение последних девяти месяцев.

Погружение поля с использованием волнового уравнения возникла как альтернатива статической коррекции и применяется в ситуациях, в которых предположения стандартной статической коррекции не действительны.

Bettyhill (1979) получил в вычислительном отношении эффективный вид интеграла Кирхгоффа для перепогружения суммированных данных, который затем был распространен тем же автором на досуммированные данные (Bettyhill, 1984). Shtivelman и Canning (1988) обратили внимание, что схема Bettyhill является в вычислительном отношении эффективной только для небольших интервалов экстраполяции, для которых статические коррекции часто являются обоснованной аппроксимацией, и предложили схему, основанную на асимптотике решения интеграла Кирхгоффа двумерного скалярного волнового уравнения. Однако, погружение поля страдает высокой стоимостью прикладных задач и требованиями доступа к хорошо определенной скоростной модели близповерхностной зоны. Также 3D стандартное погружение поля требует обоснованного отбора источников и приемников, что становится серьезным ограничением для погружения поля при использовании традиционной 3D установки наземного сбора данных, из-за обычно редкой дискретизации либо источников, либо приемников.

¹ King Abdulaziz City for Science and Technology, Riyadh, Saudi Arabia.

² GGS-Spectrum, Woking, UK.

E-mail: info@ggs-spectrum.com.

Обработка данных

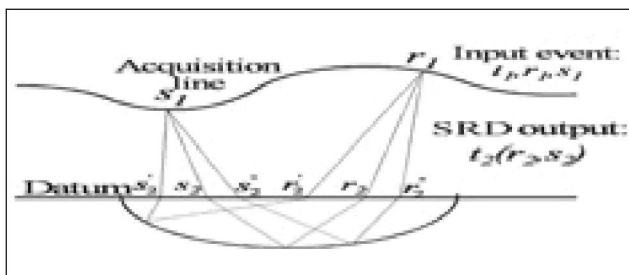


Рис. 1 Схематическая диаграмма геометрического изображения SRD, которое, в основном, базируется на прямых лучах. Для реализации метода Кирхгоффа мы получаем время t_1 (для входных данных), которое дает вклад в t_2 (для выходных данных).

Метод 3D SRD, представленный здесь, заполняет пробелы между простой, но часто не удовлетворяющей техническим условиям, связанными с поверхностью, статической коррекцией, и более строгой, но в вычислительном отношении более дорогостоящей, миграции Кирхгоффа до суммирования. В дополнение к пользе использования метода 3D SRD в наземных сейсмических съемках в присутствии высокоскоростных близповерхностных слоев, предполагается, что метод SRD будет эффективен в обработке данных 3D, так как он, как правило, возможен при хорошо отобранных либо источниках, либо приемниках.

Принцип SRD

Реализация метода Кирхгоффа требует получения суммарной траектории (или импульсной передаточной функции) в пространстве входных данных. Характеристики SRD делают ее получение перспективной задачей. Некоторые из этих характеристик следующие: и область ввода данных SRD и область выхода являются досуммированными, нерегулярная топография входных данных и возможно различные скорости со стороны источника и приемника. Мы получаем кинематику SRD, используя приближения геометрической оптики (на рис. 1 схематически представлены лучи, включенные в образование импульсной передаточной функции SRD). Лучи SRD выбираются так, чтобы удовлетворить закон Снеллиуса на границе поверхности приведения, и, следовательно,

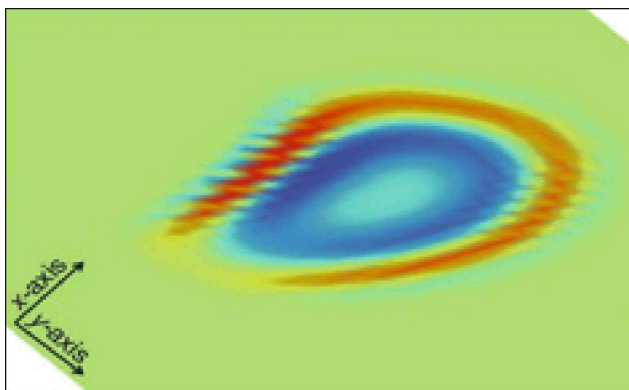


Рис. 3 Горизонтальный срез импульсной характеристики на времени 0.71 с при обработке методом SRD, примененной к общему пункту взрыва с сигналом, смещенным на 500 м в направлении оси X и на 250 м в направлении оси Y , как показано на рис. 2. Пик импульсной характеристики проявляется на времени 0.8 с и смещен на 538 м в направлении оси X и на 271 м в направлении оси Y .

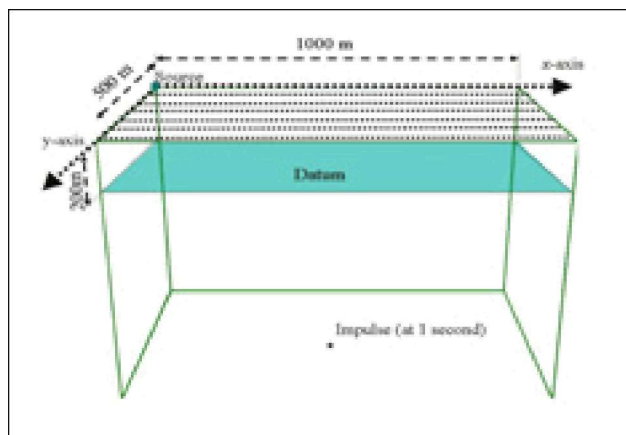


Рис. 2 Схематическая диаграмма, показывающая положение источника и приемников общего пункта взрыва и содержащая сигнал, расположенный на времени 1 с и смещенный в SRD на 500 м в направлении оси X и на 250 м в направлении оси Y , который генерирует сигнал отклика, показанный на рис. 3. Поверхность приведения залегает на глубине 200 м под рельефом.

импульсная передаточная функция зависит от скорости под поверхностью приведения (средние скорости), которая может быть первоначально установлена равной предполагаемой средней скорости. Применение закона Снеллиуса на поверхности приведения позволяет свести поверхностный интеграл, необходимого в миграции Кирхгоффа (обычно применяется как две 3D операции для каждого элементарного источника и приемника), к поверхностному интегралу, прежде примененному (стационарная фазовая аппроксимация). Траектория суммарного оператора при использовании миграции методом Кирхгоффа, зависит от смещения, высоты источника и приемника и от скорости в слое выветривания под каждым источником и приемником.

Импульсная характеристика

Для испытания метода 3D SRD, мы сначала исследуем импульсную характеристику на элементарной сейсмограмме общего пункта взрыва. Рис. 2 показывает конфигурацию источников и приемников элементарной сейсмограммы

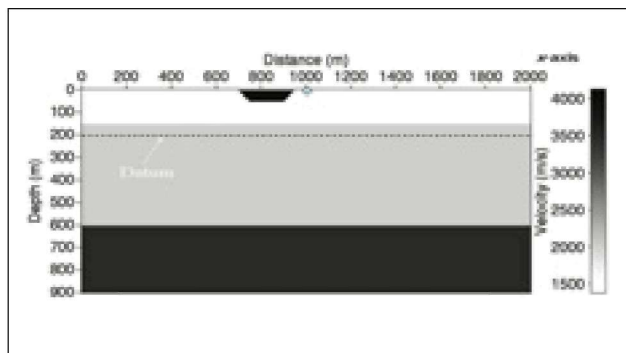


Рис. 4 Скоростная модель с двумя горизонтальными границами, слоем выветривания и основным слоем со скоростью 2000 м/с. Слой выветривания включает высокоскоростную (4000 м/с) интрузию. Источник расположен на глубине 1000 м с приемниками, разнесенными на расстояние от 200 м до 1800 м (для примеров на рис. 5 и 6)

Обработка данных

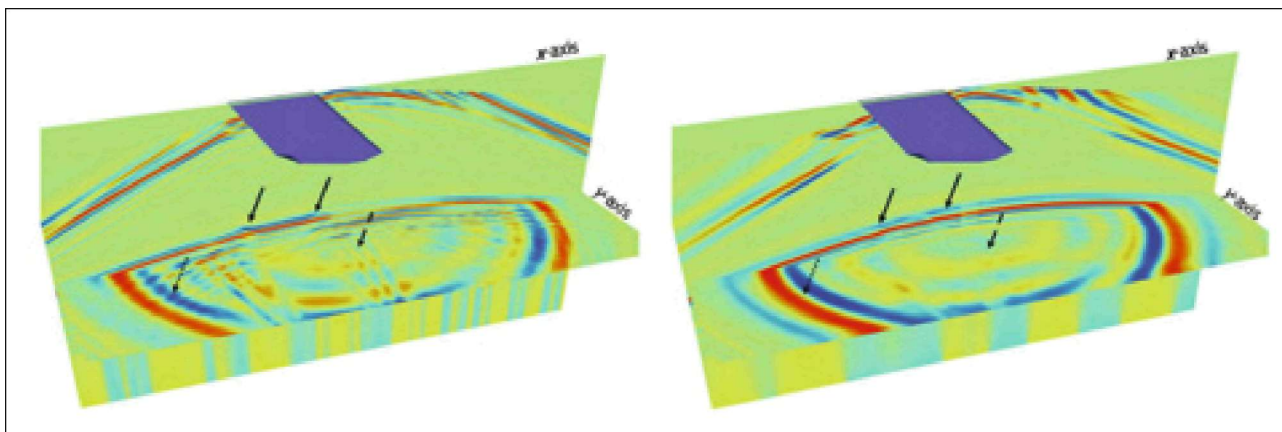


Рис. 5 Вертикальный и горизонтальный срезы 3D общего пункта взрыва после статической коррекции (слева) и SRD (справа). Стрелки показывают на различие в качестве и в приращении времени. Объект голубого цвета относится к высокоскоростной интрузии..

общего пункта взрыва, которая содержит сигнал. Рис. 3 показывает импульс отклика для смещенного в положительную сторону общего пункта взрыва. Очевидно, отклик имеет ожидаемую асимметрию по всем направлениям, несмотря на то, что скорости постоянны в пространстве (скорости вблизи источника и приемника одинаковые). Асимметрия порождается характером реализации элементарного общего пункта взрыва. Также, компонента оператора в направлении оси X превосходит компоненту вдоль оси Y, полагая, что сигнал расположен в точке, смещенной по оси X на 500м, а по оси Y на 250 м. Положение пика импульса отклика, как показано на рис. 3, немного смещено от положения сигнала. Это не удивительно, так как специфическая природа погружения поля заключается в смещении сигнала ближе к источнику, поскольку мы опускаем поверхность приведения (или смещение приемника относительно источника становится меньше).

Тестирование 3D SRD

Далее мы представляем простой тест, который относится к

подчеркиванию различий между SRD и статической коррекцией, особенно в связи с тем, что применение статической коррекции является преобладающим в 3D наземных данных. Рис. 4 показывает вертикальный срез 3D скоростной модели, состоящий из двух слоев (в добавлении к слою выветривания). Первый и второй слой скоростей, соответственно, 2000м/с и 3500 м/с. В этом погружении топография плоская и слой выветривания (непосредственно под топографией) со скоростью 1500 м/с имеет плоскую подошву. Слой выветривания включает высокоскоростную интрузию (4000 м/с) вблизи поверхности. Мы используем реальную скоростную модель, чтобы получить статические поправки и скорости SRD. Скорость в направлении по нормали к срезу на рис. 4 не меняется (2.5 D).

Предполагается, что высокоскоростная интрузия на рис. 4 резко меняет отражения для некоторых (отрицательных) смещений источника, расположенного на 1000 м. Рис. 5 показывает вертикальный и горизонтальный срезы 3D элементарного общего пункта взрыва после введения статической поправки (слева) и поправки по методу SRD (справа). Очевидно, что результат метода SRD лучше, чем результат статической коррекции.

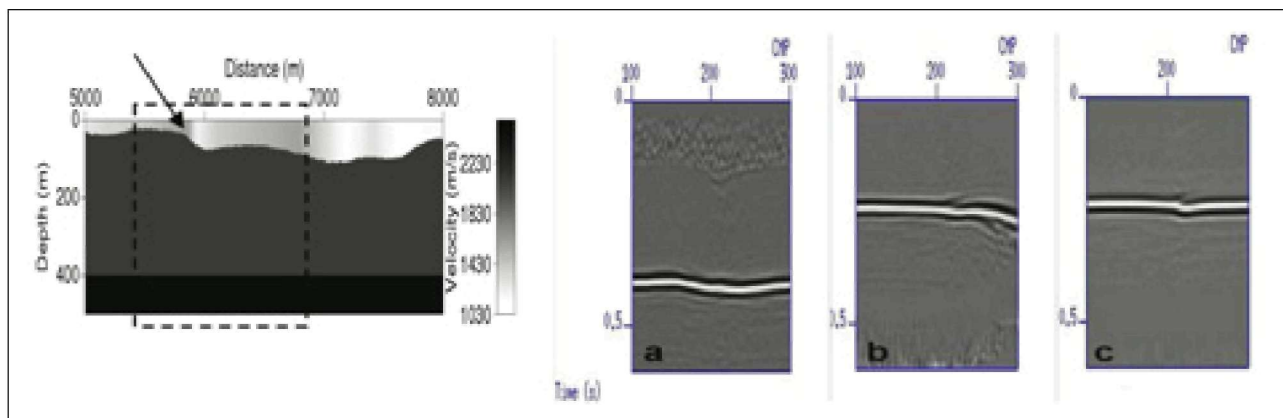


Рис. 6 Вертикальный срез 3D скоростной модели, содержащей сложный слой выветривания и горизонтальный рефлектор на глубине 400 м. Стрелка указывает колонку интенсивно низких скоростей. Справа: вертикальный срез 3D суммированного разреза, связанного со срезом скоростной модели для области, представленной заштрихованным блоком, после традиционной обработки (a) исходных данных, (b) после статического перемещения и (c) после SRD (два последних смещены вниз на 150 м).

Обработка данных

Приращение времени в методе SRD более точное, хотя SRD использует не вертикальный луч, и приращение чище, так как SRD в реализации Кирхгофа подавляет дифракцию. К тому же, разница в качестве очевидно обусловлена тем, что большая часть дифракции, связанной с малоглубинными неоднородностями, подавлена в результате применения SRD.

Синтетический тест

Используя 3D скоростную модель, напоминающую слой выветривания на Аравийском п-ве (рис. 6, левый демонстрирует вертикальный срез его), мы создаем 3D синтетические данные, вертикальный срез суммированных данных которых после традиционной обработки показан на рис. 6а. Очевидно, что горизонтальная граница на глубине 400 м в модели не длиннее горизонтальной границы, обусловленной сложностью строения слоя выветривания, особенно под низкоскоростной колонкой, показанной стрелкой на рис. 6. Рис. 6 также показывает тот же самый суммированный срез после статической коррекции (b) и 3D SRD (c) на поверхности приведения в 150 м под рельефом. Хотя оба результата не совершенны, разрез SRD дает лучшее воспроизведение границы, чем статический.

Выводы

Метод 3D SRD, являющийся расширенной 2D версией, с общим пунктом взрыва, или с введением общего приемника, придает гибкость обработке 3D наземных данных. Он гораздо эффективнее, чем традиционное погружение, поскольку требует однократного применения 2D оператора. Также 3D SRD, подобно его 2D аналогу,

обеспечивает лучшие результаты, чем статическая коррекция, с меньшей дифракцией вблизи поверхности и при умеренном увеличении стоимости. В отличие от традиционного погружения поля он требует только единственной скорости над поверхностью приведения для каждого положения. Такая скорость может быть легко вычислена по традиционной статической оценке, подобной статической коррекции преломленной волны.

Благодарности

Мы благодарим GGS-Spectrum за финансовую и техническую поддержку проекта. Мы также хотели бы выразить благодарность за поддержку Королевскому Обществу Abdulaziz по Науке и Технологии.

Ссылки

- Alkhalifah T. and Bagaini C. [2006] Straight-rays redatuming: A fast and robust alternative to wave-equation-based datuming. *Geophysics*, 71, U37-U46.
- Berryhill, J. R. [1979] Wave equation datuming. *Geophysics*, 44, 1329-1344.
- Berryhill, J. R. [1984] Wave equation datuming before stack. *Geophysics*, 49, 2064-2066.
- Cox, M. [1999] Static corrections for seismic reflection surveys. *Soc. of Expl. Geophys.*
- Shtivelman, V. and Canning, A. [1988] Datum correction by wave-equation extrapolation. *Geophysics*, 53, 1311-1322.