

P214

## Finite-difference Migration in High Definition Seismic Technology

D.G. Tuikov\* (GEOVERS Ltd.), V.L. Eliseev (GEOVERS Ltd.), A.A. Tabakov (GEOVERS Ltd.), D.A. Mukhin (UNIS Ltd.), A.A. Mukhin (UNIS Ltd.), A.S. Kolosov (UNIS Ltd.) & A.V. Baev (MSU)

### SUMMARY

---

Migration of seismic data may be presented as two different steps - continuation of wavefield inside the medium and imaging in each point of medium. Wavefield continuation by finite-difference scheme is applicable for any complexity velocity models and is used in HDS (High Definition Seismic) technology. The paper presents the results of a simple approach to migration of 1C data. In this case continuation of a wavefield of the reflected waves is made in reverse-time with correlation, for example, with the Ricker impulse on the DP-wave arrival time, calculated by the ray method, in all finite-difference knots. The results of such migration for 2D and 3D velocity models show the possibility of constructing realistic images for variable dip boundaries

## Введение

Процесс миграции сейсмических данных состоит из двух различных шагов – продолжение поля во внутренние точки среды и получение изображения в каждой точке среды.

Продолжение поля по конечно-разностной схеме применимо для моделей строения среды произвольной сложности и используется в СВЧ (Сейсморазведка Высокой Четкости) технологии. В самом общем бескомпромиссном подходе продолжаются полные 3С волновые поля и в каждой внутренней точке среды выполняется векторная селекция волн по скоростям и решение обратной динамической задачи.

В работе излагаются результаты упрощенного подхода, используемого, например, для 1С данных. В этом случае продолжение поля отраженных волн производится в обратном времени из точек приема или возбуждения (из тех, каких больше: для экономии времени счета) с дальнейшей корреляцией, например, с импульсом Риккера на времени и в точке пространства прихода падающей волны, рассчитанных лучевым методом.

Результаты такой миграции для модельных данных в 2D и 3D моделях показывают возможность построения правдоподобных изображений разнонаклонных границ.

## Метод

Наиболее общий подход включает в себя продолжение полного 3С волнового поля во внутренние точки среды согласно системе волновых уравнений Ламэ, аппроксимированных конечно-разностной схемой, с дальнейшей селекцией волн по скоростям и решением обратной динамической задачи. Однако в случае использования 1С данных вполне оправдано использование более простой миграции, основанной на продолжении 1С поля восходящих волн на базе акустического уравнения распространения волн в среде (1):

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \rho V p^2 \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{1}{\rho} \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{1}{\rho} \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{1}{\rho} \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right] \quad (1)$$

где  $u$  - деформация,  $Vp$  - скорость продольных волн,  $\rho$  - плотность, с дальнейшей корреляцией продолженного поля с синтетической падающей волной.

В качестве способа миграции и дальнейшего получения изображения среды предложена следующая схема:

- построение сетки параметров для конечно-разностной схемы
- расчет времен первовступлений прямой падающей волны DP в каждом узле сетки, учитывая, что распространение происходит из текущей точки взрыва или точки приема (выбор зависит от количества точек взрыва и точек приема и влияет на время расчета)
- продолжение полей отраженных волн UP из пунктов взрыва, либо пунктов приема со скоростью продольных волн по акустической схеме
- корреляция поля отраженных волн с синтетической падающей волной, представляющей собой импульс Риккера на времени первовступления волны DP в каждом узле сетки, рассчитанном лучевым методом
- построение изображения, составленного из коэффициентов корреляции полей падающей и отраженных волн
- Повторение процедуры для всех точек приема (взрыва) и суммирование результатов

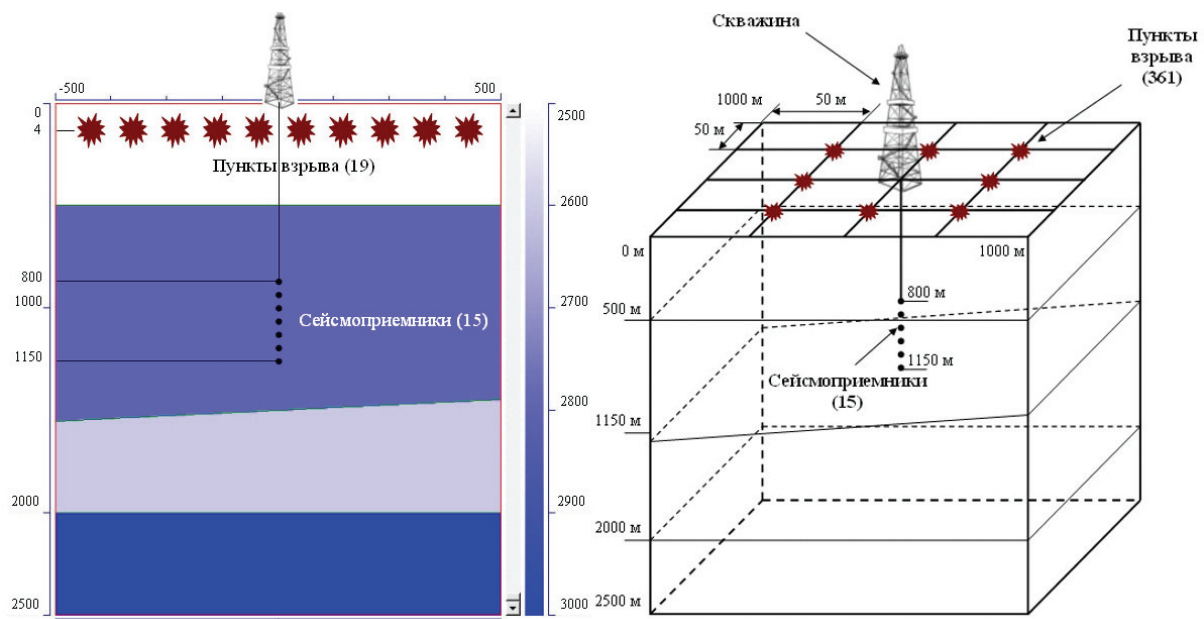
К преимуществам этого метода можно отнести значительное сокращение затрачиваемых системных ресурсов и времени счета. Однако акустическая схема не может учитывать реального распространения волн в толще земной поверхности.

## Примеры

Численный эксперимент проводился для ВСП системы наблюдения, где число пунктов возбуждения значительно превосходило число пунктов приема. При таком соотношении целесообразно вести обратное конечно-разностное распространение восходящих волн из пунктов взрыва.

Для точности результата миграции подготовлено синтетическое векторное поле ВСП на заданной вертикальной скважине, имеющей координаты  $X=0$  м,  $Y=0$  м. Сейсмоприемники расположены на глубине от 800 до 1150 метров с шагом 20 метров, всего 15 приемников. Источники находятся на глубине  $Z=4$  м. Расположены вдоль поверхности с шагом 50 метров. В случае двумерной миграции - 19 пунктов взрыва по линии через 50 метров, в трехмерном случае - 361 пункт взрыва на сетке с шагом 50 метров в обоих направлениях (рис. 1). Поскольку для миграции используется акустическая конечно-разностная схема, исходное векторное 3С поле было преобразовано в 1С со следящей компонентой.

Модель среды четырехслойная, с тремя границами. Верхняя и нижняя границы горизонтальные, средняя имеет наклон 5 градусов. Скорость продольных и поперечных волн распределяется по слоям сверху вниз следующим образом: I – 2500 м/с и 1250 м/с, II – 2800 м/с и 1400 м/с, III – 2600 м/с и 1300 м/с, IV – 3000 м/с и 1500 м/с. Плотность во всех слоях одинаковая –  $1,0 \text{ г/см}^3$ .

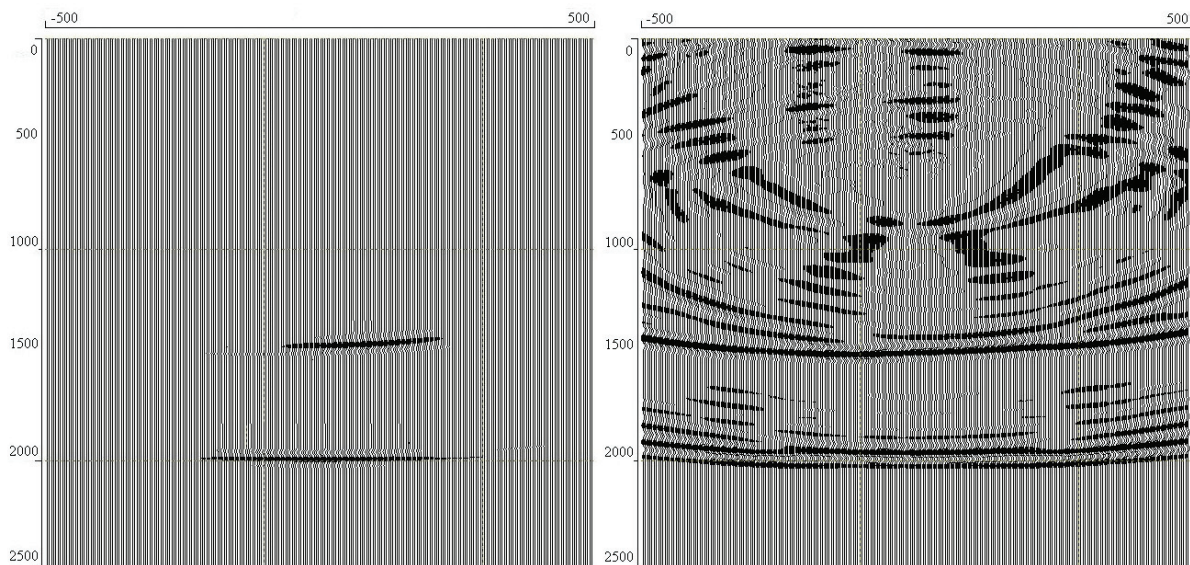


**Рисунок 1** Схема модельного эксперимента 2D и 3D конечно-разностной миграции в обратном времени.

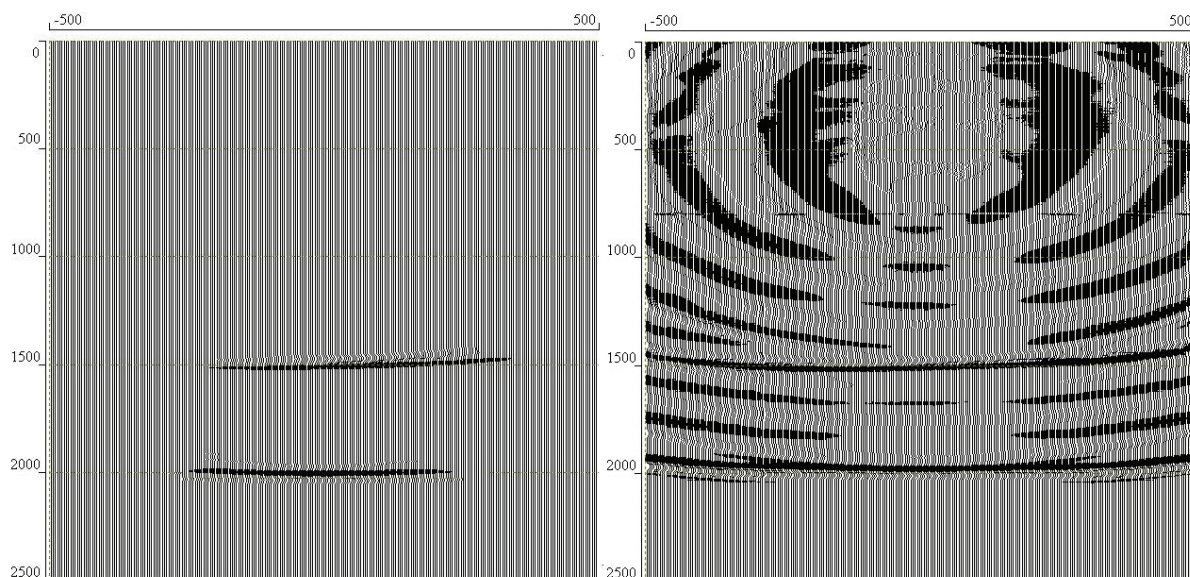
Первый этап миграции – обратное распространение волновых полей восходящих волн, зарегистрированных на скважине, внутрь среды с поверхностных пунктов взрыва. При этом каждый приемник по очереди становится источником. На каждый реальный пункт взрыва в обратном времени подается модельное поле восходящих волн для текущего сейсмоприемника. Одновременно с этим, происходит расчет времен прихода падающей волны в каждом узле сетки, учитывая, что пунктом взрыва является текущий пункт приема.

Вторым этапом является построение изображения. Для этого во временном окне происходит корреляция и суммирование продолженного поля восходящих волн с синтетической падающей волной. Из нормированных коэффициентов корреляции составляется изображение среды. Аналогичная процедура выполняется для всех пунктов приема, а результат суммируется и нормируется по количеству сейсмоприемников.

Полученные изображения среды для 2D и 3D миграции после продолжения полей отраженных волн по акустической схеме и корреляцией с импульсом Риккера с частотой 30 Гц представлены на рисунках 2 и 3.



**Рисунок 2** Изображение среды (2D миграция), полученное с помощью продолженного по акустической схеме поля ВСП (UP). Слева режим визуализации global. Справа - АРУ с окном 300 мс.



**Рисунок 3** Изображение среды (3D миграция, сечение ZOX по центру модели), полученное с помощью продолженного по акустической схеме поля ВСП. Слева режим визуализации global. Справа - АРУ с окном 300 мс.

## Выводы

1. Реализованный алгоритм конечно-разностной миграции в обратном времени позволяет получить правдоподобные изображения двумерных и трехмерных сред.
2. Использование акустической схемы в связке с MPI и Thread распараллеливанием позволяют выполнять конечно-разностную миграцию однокомпонентных данных при приемлемых затратах вычислительных ресурсов.

## Ссылки

Ivo Oprsal and Jiri Zahradnik, Elastic finite-difference method for irregular grids: *Geophysics*, vol. 64, 1999, p. 240-250.

John T. Etgen and Michael J. O'Brien, Computational methods for large-scale 3D acoustic finite-difference modeling: A tutorial: *Geophysics*, vol. 72, 2007, p. 223-230.

А.В. Баев, А.А. Табаков, И.Е. Солтан. Об инверсии и миграции данных ВСП. М.: Изд-во «РАО ЕЭС России». В сб.: «Гальперинские чтения-2001». 2001. С. 26.

А.В. Баев, А.А. Табаков, И.Е. Солтан, И.В. Яковлев, Оценка динамической представительности векторной конечно-разностной миграции данных ВСП: В сб.: «Гальперинские чтения-2002». А.В. Баев, И.В. Яковлев, А.А. Табаков, И.Е. Солтан. Векторная миграция данных ВСП. Технологии сейсморазведки. 2004. 1. С. 4-9.

Д.Г. Туйков, А.А. Табаков, А.В. Баев, А.С. Колосов, А.А. Мухин, Д.А. Мухин, Векторная и акустическая миграции сейсмических волновых полей методом конечных разностей с использованием методов инверсии, разработанных для ВСП: В сб.: «Гальперинские чтения-2008».

Weng-Fong Chang and George A. McMechan, Elastic reverse-time migration: *Geophysics*, 1987, vol. 52, p. 1365-1375