

М. И. Протасов^{1✉}

Объектно-ориентированный алгоритм выделения рассеянных волн в сейсмических данных

¹Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: protasovmi@ipgg.sbras.ru

Аннотация. Рассеянные волны используются для построения дифракционных сейсмических изображений и дальнейшей интерпретации. Существуют различные алгоритмы их извлечения, которые можно разделить на три класса по этапам обработки данных: процедуры в области данных, методы на основе миграции и обработка изображений. В работе представлен объектно-ориентированный алгоритм выделения рассеянных волн в области данных. Численные эксперименты выполнены с использованием реальных данных и синтетических данных, полученных для реалистичной модели с трещинами для месторождения в Восточной Сибири.

Ключевые слова: сейсмические данные, дифракционные изображения, объектно-ориентированный, рассеянные волны

М. I. Protasov^{1✉}

Object-oriented algorithm for the extraction of diffracted/scattered waves in the data

¹Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS,
Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: protasovmi@ipgg.sbras.ru

Abstract. Diffracted/scattered waves are used to construct diffraction images and further seismic interpretation. Various algorithms exist for their extraction, which can be categorized into three classes based on the data processing steps: data domain procedures, migration-based methods, and image processing techniques. This paper presents an object-oriented data domain diffraction separation algorithm. Numerical experiments are conducted using synthetic data generated from a realistic model with fractures based on a field in Eastern Siberia, as well as real seismic data.

Keywords: seismic data, diffraction imaging, object-oriented, scattered waves

Введение

Рассеянные волны используются для построения дифракционных сейсмических изображений. Существуют различные алгоритмы их выделения, которые можно разделить на три класса по отношению к процессу обработки: в области данных [1], в процессе миграции [2] и при обработке изображений [3].

Алгоритмы, которые выделяют рассеянные волны в процессе миграции, основаны на подавлении энергии отражённых волн, но при этом они подавляют часть энергии рассеянных волн. Таким же недостатком обладают алгоритмы обработки изображений. Не идеально, но наиболее полно рассеянные волны возможно сохранить при работе непосредственно в области сейсмических данных.

При этом возникает возможность более широкого использования как процедур миграции, так и процедур обработки изображений.

В рамках данной работы предложен и реализован объектно-ориентированный алгоритм выделения рассеянных волн в области сейсмических данных. Алгоритм основан на усилении энергии рассеянных волн, связанных с предполагаемыми объектами дифракции в целевой области. Численные эксперименты выполнены с использованием синтетических данных, полученных для реалистичной модели с трещинами для одного из месторождений в Восточной Сибири, а также представлены результаты применения на реальных сейсмических данных.

Алгоритм выделения рассеянных волн

Предполагается, что сейсмические данные содержат отраженные волны и дифрагированные/рассеянные волны. Данные рассматриваются в области средняя точка - вынос:

$$d(t, x_m, h) = ref(t, x_m, h) + dif(t, x_m, h), \quad (1)$$

где d – сейсмические данные, ref – отражённые волны, dif – дифрагированные/рассеянные волны, (t, x_m, h) – время, средняя точка, и вынос соответственно. Алгоритм выделения дифрагированных/рассеянных волн dif из сейсмических данных d основан на принципиально различном кинематическом поведении отраженных и дифрагированных/рассеянных волн на сейсмограммах общих удалений. Годограф отраженной волны в этой области $t_{ref}(x_m)$ «повторяет» соответствующие отражающие границы раздела, и обычно они представляют собой локально-плоские участки:

$$t_{ref}(x_m) \approx t_0 + a \cdot x_m. \quad (2)$$

Но годограф дифрагированной/рассеянной волны $t_{ref}(x_m)$ устроен так, что производные второго порядка имеют значительное влияние:

$$t_{dif}(x_m) \approx t_0 + a \cdot x_m + b \cdot x_m^2. \quad (3)$$

Такое поведение можно наблюдать на простом модельном примере с двумя горизонтальными слоями и четырьмя точечными рассеивателями (Рисунок 1). Отражённая волна представляет собой плоское событие, в то время как дифракция имеет значительную кривизну. Такие различия дают возможность создать широкий спектр алгоритмов [1].

Предлагаемый здесь алгоритм улучшает дифрагированные/рассеянные волны и подавляет избыточные отраженные события. Процедура основана на оценке кинематики дифрагированных/рассеянных волн (3) и их оператор-ориентированное суммирование при достаточно больших апертурах [4]. Кинематика рассеянных волн при этом оценивается путём расчёта возможных годографов рассеянных волн в построенной ранее скоростной модели только для целевой области, где предполагается строить дифракционные изображения. При этом выделяются только те волны, которые порождаются рассеивающими объектами, расположенными в этой области.

Численные эксперименты

Использованные для тестирования алгоритма реальные сейсмические данные получены после обработки, в ходе которой оценивается сохранность рассеянной компоненты. В результате подтверждается, что в этих данных рассеянная компонента действительно сохраняется. Далее, разработанный объектно-ориентированный алгоритм применяется для извлечения рассеянных волн из сейсмических данных (Рис. 1) для выбранной целевой зоны изображения.

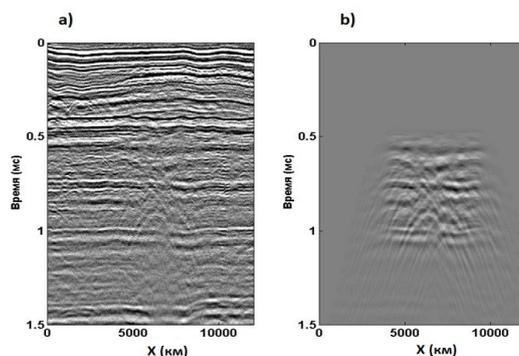


Рис. 1. а) Реальные сейсмические данные в области центральных точек, содержащие рассеянные волны. б) Сейсмические данные после применения объектно-ориентированного алгоритма выделения рассеянных волн на основе операторно-ориентированного суммирования.

Исследование показывает, что алгоритм эффективно усиливает рассеянные волны, одновременно ослабляя отраженные волны. Наконец, применение разработанного алгоритма для построения дифракционных изображений дает результаты (Рис. 2б), которые практически не содержат остаточных отражений, лучше сфокусированы и демонстрируют более высокое отношение сигнал/шум по сравнению с дифракционными изображениями, полученными с использованием асимметричного суммирования исходных данных (Рис. 2а).

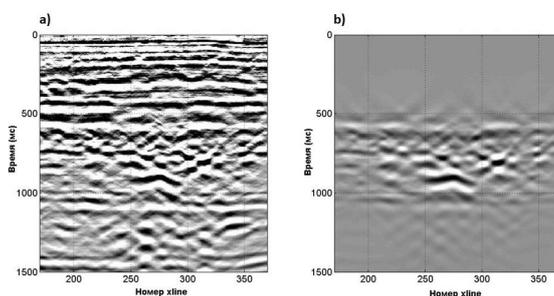


Рис. 2. а) Дифракционные изображения во временной области, построенные асимметричным суммированием исходных реальных сейсмических данных. б) Дифракционные изображения во временной области, построенные асимметричным суммированием сейсмических данных после применения объектно-ориентированного алгоритма выделения рассеянных волн на основе операторно-ориентированного суммирования.

Обсуждение и заключение

Разработан и протестирован новый объектно-ориентированный алгоритм выделения рассеянных волн в области данных. Алгоритм использует различие в кинематике отраженных и рассеянных волн в области общего выноса. Основным этапом процедуры является усиление рассеянных волн, порождённых объектами дифракции в выбранной целевой области. На простых и реалистичных наборах данных исследование показывает, что предложенный алгоритм выделения рассеянных волн в области данных обеспечивает приемлемую аппроксимацию рассеянных волн.

Результаты применения разработанного объектно-ориентированного алгоритма к реальным данным показывают, что с его помощью можно получать более качественные дифракционные изображения с меньшим количеством остаточных отражений и улучшенным отношением сигнал/шум по сравнению с дифракционными изображениями, полученными с использованием алгоритма асимметричного суммирования исходных данных.

Благодарности

Данное исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда грант №21-71-20002-П. Результаты работы были получены с использованием вычислительных ресурсов суперкомпьютерного центра Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (scc.spbstu.ru).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Bansal R., Imhof M. Diffraction enhancement in prestack seismic data: *Geophysics*. – 2005. – v. 70. – p. 73-79.
2. Fomel S., Landa E., Taner T. Poststack velocity analysis by separation and imaging of seismic diffractions: *Geophysics*. – 2007. – v. 72. – p. 89-94.
3. Moser T.J., Howard C.B. Diffraction imaging in depth: *Geophysical Prospecting*. – 2008. – v. 56. – p. 627-642.
4. Bakulin A., Silvestrov I., Dmitriev M., Neklyudov D., Protasov M., Gadylshin K., Dolgov V. Nonlinear beamforming for enhancement of 3D prestack land seismic data: *Geophysics*. – 2020. – v. 85. – p. V283-V296.

© М. И. Протасов, 2025