

Обратная задача ультразвуковой томографии

Научный руководитель – Абашкин Владимир Викторович

Стерлев Андрей Николаевич

Студент (магистр)

Московский физико-технический институт, Москва, Россия

E-mail: sterlev@phystech.edu

При проведении современных петрофизических исследований удобным является использование метода «цифрового ядра» [1]. Суть метода заключается в построении трехмерной модели исследуемого ядра и вмещающих его флюидов. Построение такой модели осуществляется по результатам рентгеновской микротомографии, которая позволяет получить представление о строении порового пространства исследуемого образца. Методом рентгеновской микротомографии исследуются не только образцы правильных форм, такие как цилиндры, но и образцы случайных форм, например, обломки бурового шлама.

В данной статье рассматривается применение модели цифрового ядра для определения упругих свойств породы. Одной из основных задач, требующих решения, для осуществления восстановления упругих свойств методом ультразвуковой томографии является разработка алгоритма поиска траектории движения фронта волны сжатия в лучевом приближении по заданной структуре на регулярной сетке.

Описанный алгоритм разработан на основе известного алгоритма [2]. Алгоритм строит между источником и приемником преломленный луч минимизируя время, за которое луч проходит искомую траекторию. В качестве начальной траектории для дальнейшего преобразования используется прямая, соединяющая приемник и источник акустической волны. Затем отрезки, образующие траекторию фронта волны, делятся пополам, и тем самым увеличивается количество точек траектории. Минимум времени прохождения луча ищется путем изменения координат всех точек, составляющих траекторию фронта волны, за исключением координат источника и приемника. Данный цикл повторяется до тех пор, пока изменение времени прохождения луча в результате увеличения количества точек, образующих траекторию луча, не будет меньше определенной заранее ошибки. Данный алгоритм разработан в среде MATLAB.

Разработанный алгоритм тестировался на двух основных моделях, одна из которых представляет собой две однородные среды с прямой границей раздела (рис.1), а другая - однородную среду с треугольным включением другой среды (рис.2). Моделями были изображения в серых тонах. Каждому тону серого цвета в соответствие ставится значение скорости распространения продольной волны сжатия в среде, которую характеризует данный оттенок серого цвета на результатах рентгеновской микротомографии. Например, черный цвет соответствовал эпоксидной смоле (2200 м/с), а белый цвет соответствовал горной породе (4400 м/с). Результаты работы алгоритма согласуются с аналитическим решением преломления луча на границе раздела двух сред согласно закону Снеллиуса.

Помимо этого алгоритм также тестировался на обработанных снимках рентгеновской микротомографии вдоль и поперек напластования (рис.3). Результаты работы алгоритма на основе обработанных снимков рентгеновской микротомографии сравнивались с экспериментальными данными ультразвукового сканирования. Зависимости средней скорости акустической волны, прошедшей сквозь образец, от угла поворота образца относительно изначального положения, являются схожими (рис.4).

В итоге, алгоритм поиска оптимальной траектории распространения акустической волны разработан, результаты его работы на тестовых моделях согласуются с аналитическим решением. Результаты работы алгоритма на реальных снимках рентгеновской микротомографии исследуемого образца имеют схожую динамику с экспериментальными данными ультразвуковой прозвонки. В дальнейшем планируется восстановление внутренней структуры образца по данным ультразвукового сканирования, используя разработанный алгоритм.

Источники и литература

- 1) D Koroteev, O Dinariev, N Evseev, D Klemin, A Nadeev, S Safonov, O Gurpinar, S Berg, C van Kruijsdijk, R Armstrong, MT Myers, L Hathon, H de Jong Direct Hydrodynamic Simulation of Multiphase Flow in Porous Rock // *Petrophysics*, vol. 55, issue 04, 2014, pp. 294-303.
- 2) Junho Um and Clifford Thurber A fast algorithm for two-point seismic ray tracing// *Bulletin of the Seismological Society of America*. June, 1987, pp.972-986.

Иллюстрации

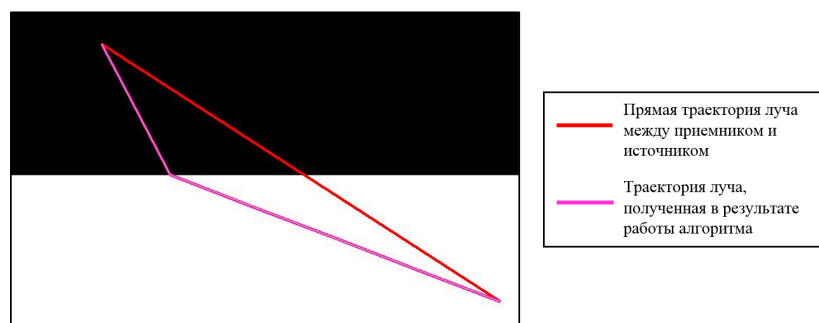


Рис. 1. «Преломление луча на горизонтальной границе раздела двух однородных сред»

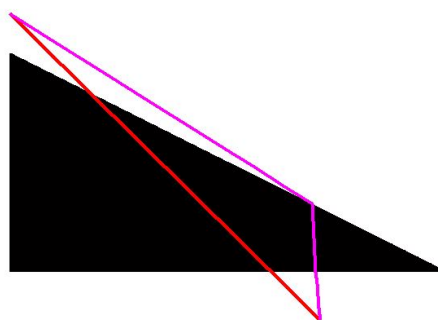


Рис. 2. «Преломление луча на границе раздела однородной среды и треугольного включения»

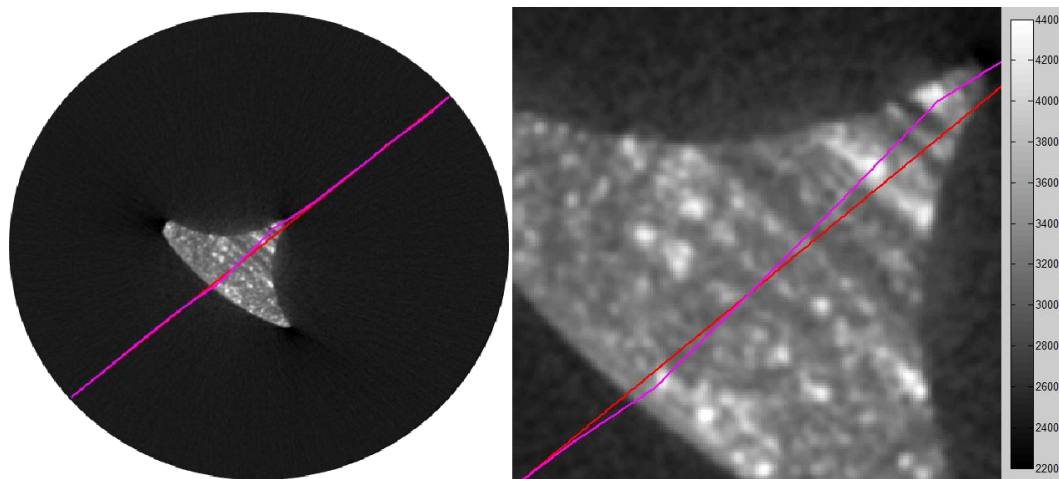


Рис. 3. «Результат поиска траектории луча в композитной модели»

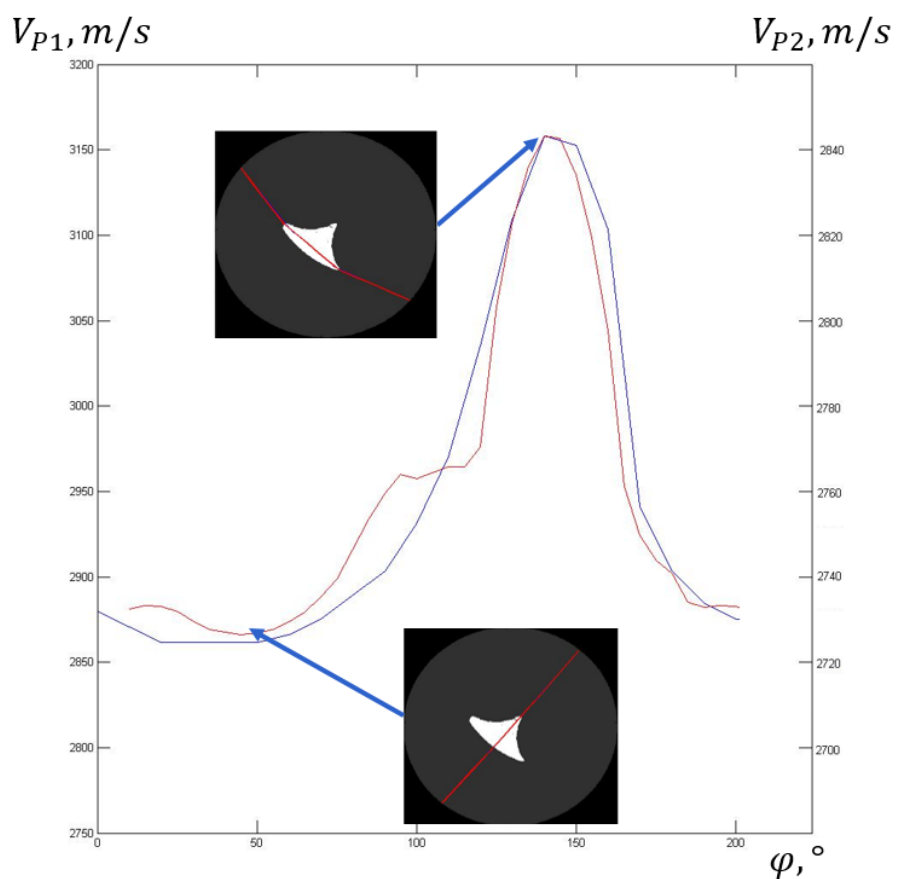


Рис. 4. «Сравнение результатов работы алгоритма на основе обработанных снимков рентгеновской микротомографии с экспериментальными данными ультразвукового сканирования»