

Решение обратной задачи ультразвуковой томографии

А.Н.Стерлев^{1,2}, Н.И.Рыжиков¹

¹Московский Научно-Исследовательский центр Шлюмберже

²Московский физико-технический институт (государственный университет)

В настоящее время значительный интерес для решения прикладных задач нефтегазовой промышленности представляет метод т.н. «цифрового керна» [1], в рамках которого по результатам петрофизических исследований создается трехмерная модель горной породы и вмещающих флюидов. Основные сведения о структуре порового пространства горных пород для построения подобных моделей получают из результатов рентгеновской микротомографии. В качестве образцов для исследований методом рентгеновской томографии могут быть использованы как керны правильной формы (например, цилиндры диаметром 8 мм), так и обломки бурового шлама случайной формы с линейными размерами менее 5 мм.

Одним из способов снабжения цифровой модели керна данными об упругих свойствах горной породы является использование результатов экспериментов ультразвуковой прозвонки образца либо полноценной ультразвуковой томографии. Для восстановления упругих свойств среды с помощью ультразвуковой томографии требуется решить ряд подзадач, одной из которых является создание алгоритма поиска траектории движения фронта волны сжатия в лучевом приближении по заданной структуре на регулярной сетке. В данной работе представлена реализация данной подзадачи.

Для реализации необходимого алгоритма за основу был взят известный алгоритм [2] поиска оптимальной траектории луча между двумя точками в трехмерной неоднородной среде. Суть алгоритма заключается в построении преломленного луча между источником и приемником на заданном дискретном поле скоростей за счет минимизации времени прохождения луча. Изначальной траекторией принимается прямая, соединяющая приемник и источник. Далее с помощью деления пополам отрезков, образующих траекторию луча, увеличивается количество точек траектории, координаты которых затем варьируются, пока не найден минимум времени прохождения луча. Процедура разбиения отрезков траектории повторяется до момента, когда после добавления новых точек изменение времени прохождения луча не станет менее наперед заданного значения. Процедура реализована в среде MATLAB.

Процесс поиска траектории луча рассматривался на примере нескольких тестовых моделей: две однородные среды с горизонтальной границей раздела (рис.1), однородная среда с треугольным включением другой однородной среды (рис.2). Моделями служили изображения в серых тонах, с откалиброванной шкалой насыщенности тонов таким образом, что каждому тону соответствовало свое значение скорости распространения акустической волны. А именно для однородной среды черного цвета значение скорости было принято за 2200 м/с (эпоксидная смола), для однородной среды белого цвета – 4400 м/с (горная порода). В результате было показано, что полученные результаты полностью согласуются с аналитическим решением задачи о преломлении луча на границе раздела двух однородных сред в соответствии с законом Снеллиуса.

Разработанный алгоритм тестировался на данных, полученных с помощью рентгеновской томографии. Для этого на слое рентгеновской томограммы, в каждом пикселе значение интенсивности поглощения рентгеновского излучения ставилось в соответствие скорости распространения волны сжатия. Рассмотрено распространение волны сжатия вдоль и поперек плоскости напластования (рис.3).

Таким образом, на данный момент решена задача поиска траектории распространения луча при заданном поле скоростей на регулярной сетке.

Следующим шагом будет сопоставление полученных данных с результатами ультразвуковых измерений. После согласования данных ультразвуковых измерений и результатов работы алгоритма планируется перейти к решению обратной задачи ультразвуковой томографии, т.е. восстановлению структуры образца по данным ультразвукового сканирования.

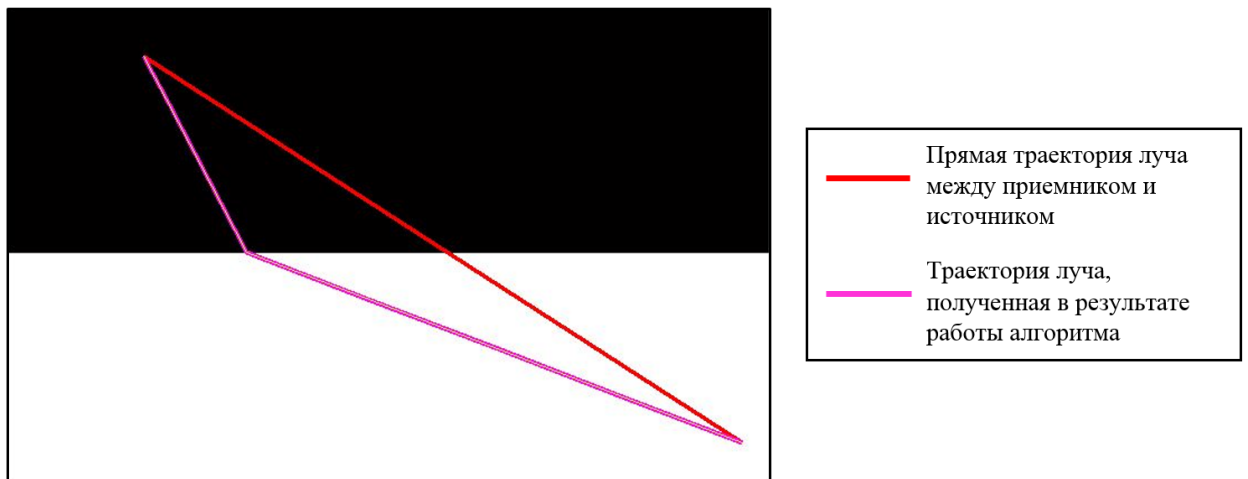


Рис.1 «Преломление луча на горизонтальной границе раздела двух однородных сред»

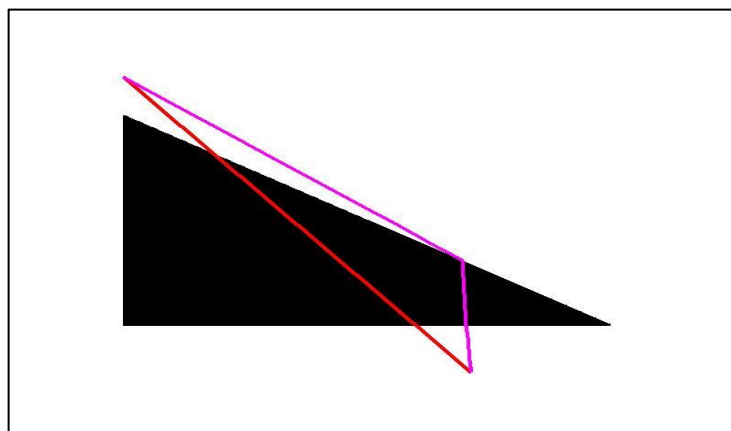


Рис.2 «Преломление луча на границе раздела однородной среды и треугольного включения»

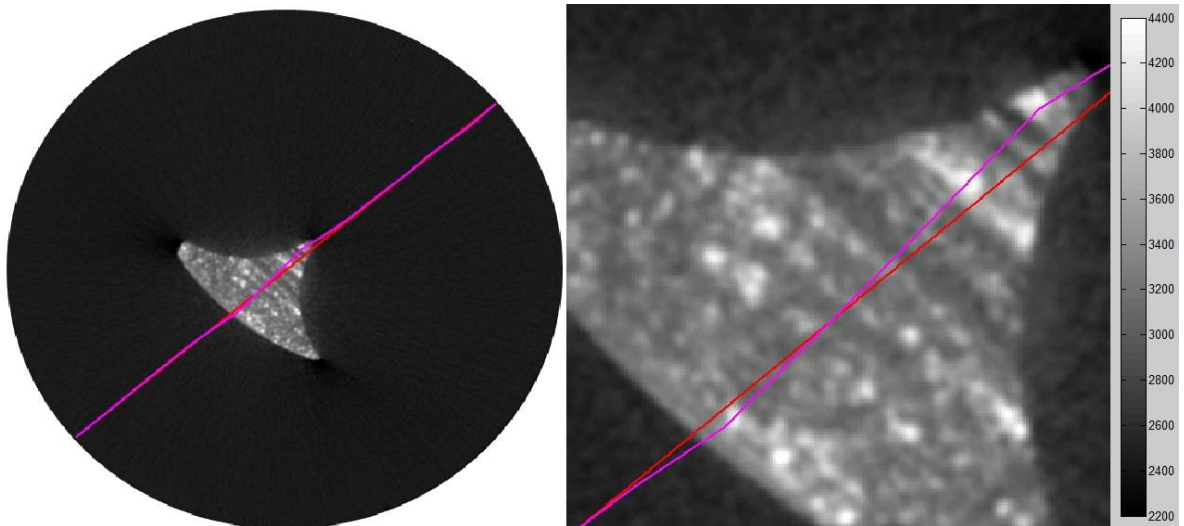


Рис.3 «Результат поиска траектории луча в композитной модели»

Литература

1. *D Koroteev, O Dinariev, N Evseev, D Klemm, 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.