

Пластовый подход к гибридной параметризации в рамках обобщённой пластовой модели. Томография в конформно-слоистой модели.

Р.Г. Анисимов* (Яндекс Терра (ООО «Сеймотек»))

Введение

Построение глубинно-скоростной модели среды сегодня является стандартом обработки. Специалистам, занимающимся построением глубинно-скоростных моделей, хорошо известно, что только в рамках толстослоистых моделей можно получать устойчивые решения, поддающиеся критическому анализу и проверке. Однако в последние десятилетия в практике сейсморазведки всё большую популярность приобретают методы построения глубинно-скоростной модели среды в существенно расширенных классах моделей, при этом чаще всего для параметризации среды используются хорошо всем известные регулярные и квазирегулярные сетки. Связано это, в первую очередь, с тем, что толстослоистым моделям порою не хватает гибкости для описания всех сложностей реальной среды. Поэтому геофизики всегда находятся в поиске компромисса между гибкостью модели и количеством неизвестных, которые необходимо определить, балансируя между единственностью решения и его полной неоднозначностью. Привычные сеточные решения имеют, как достоинства, так и существенные недостатки. Рассмотрим рисунок 1. Очевидно, что в случае среды с контрастными круто наклонёнными границами любая прямоугольная сетка с осмысленным количеством элементов плохо её описывает. По этой причине сегодня набирают популярность гибридные решения, и существует мнение, что пластовая модель - это прошлый век. Конечно же это не так, ведь дело не в самой пластовой модели, а в средствах её построения и способе её использования для описания сред. Мы считаем, что только в рамках пластовых моделей можно строить каркасные решения, которые могут быть усложнены при необходимости, для чего конечно необходимы веские основания, в качестве которых могут выступать только априорные данные. Вопрос остаётся за тем, как можно модифицировать пластовую модель для придания ей необходимой гибкости. В наших тезисах мы изложим наш обновлённый взгляд на локально-однородную пластовую модель и расскажем об обобщённой пластовой модели и одном из средств её построения – томографии.

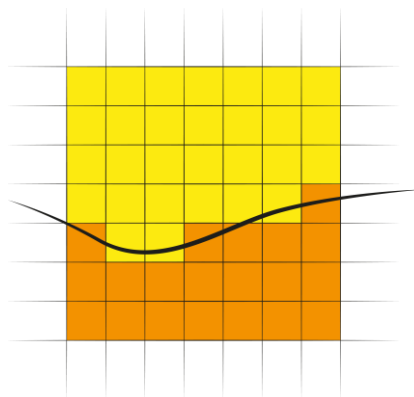


Рисунок 1 Пример описания контрастной границы прямоугольной сеткой.

Обобщённая пластовая модель

Под обобщённой пластовой моделью (рисунок 2) мы понимаем такое расширение изотропной пластовой модели, при котором параметризация слоёв может быть расширена за счёт:

- разбиения слоя на два локально-однородных слоя [2,3];
- введения в слой анизотропии скоростей [4];
- введения в слой линейного вертикального градиента скорости [5];
- введения в слой конформной слоистости.

Обо всех перечисленных расширенных параметризациях, кроме последней, мы уже много раз рассказывали, поэтому сейчас остановимся на последней из них и расскажем о способе отыскания её параметров – нелинейной томографии.



Рисунок 2 Типы расширенной параметризации модели пласта.

Томография в конформно-слоистой модели

Наиболее распространённым, «передовым», методом решения обратной кинематической задачи считается способ сеточной томографии. Томография в кинематических задачах применяется давно – с 80-х годов прошлого века. Внедрение её в практику обработки происходило не быстро из-за понятных вычислительных сложностей. Однако, в настоящее время эти методы становятся стандартом ввиду своей кажущейся универсальности. Здесь следует высказать ряд замечаний. Универсальность сеточного описания среды иллюзорна. Если его делать очень подробным, то, мало того, что задача становится невыполнимой вычислительной сложности, её решение может быть совершенно далеким от реальности и само по себе быть настолько затейливым, что дальнейшее его использование теряет смысл (мы можем изобразить рассеивающую среду через которую не проникает энергия сейсмических волн, и, вообще, породить чудовищ из теории функций действительного переменного). Конечно, авторы вычислительных схем обязательно используют различные способы регуляризации, стараясь получать решения из определенных классов, но тогда лучше это делать непосредственно, нежели накладывать искусственные ограничения типа гладкости получаемых функций в некоторых интегральных нормах. «Загрубление» сеток, требуемое нуждами производительности – решение нежелательное (рисунок 1), естественнее использовать сетки с перестраиваемой конфигурацией ячеек. Но и эти способы нехороши тем, что класс решений плохо контролируется. Всё же геологические пласты мало напоминают крылья самолетов и даже кристаллические структуры. Опыт показывает, что не стоит доверять универсальному математическому аппарату получать решения. Если в классе возможных решений есть одиозные, то они обязательно когда-нибудь и где-нибудь проявятся (особенно при наших объёмах данных и сложной входной информации). Хотелось бы дать геофизику инструмент, позволяющий сразу получать решения из заданных классов и, если один класс не подходит, менять его на другой. По этой причине нами развиваются подходы к построению обобщённой пластовой модели.

Одной из возможностей расширения пластовой модели является введение в пласт конформной слоистости, которая представляет собой набор вспомогательных поверхностей между кровлей и подошвой рассматриваемого слоя. Стоит понимать, что в сущности это является сеточной параметризацией слоя, причём конформной, вертикальный размер ячеек в которой контролируется количеством вспомогательных поверхностей. Этот факт, однако, не всегда с лёгкостью воспринимается геофизиками, так как они привыкли видеть сеточные модели в виде «сетки». Описываемый подход позволяет оставаться в классе пластовых моделей, а при учёте того, что дополнительные границы вводятся только в требуемые слои, можно утверждать, что он по своей сути представляет собой гибридную параметризацию среды, выгодно отличающуюся от привычного комбинирования пластов и сеток тем, что сохраняются все сильные стороны толстослойной модели, включая средства отыскания параметров очередных слоёв. Другими словами, у геофизика появляется возможность выбора между конформной параметризацией пласта и толстым слоем, причём возможность выбора для каждого пласта на каждом этапе построения модели среды. Например, эффективная модель сложной верхней

части может быть построена с применением конформной параметризации, а дальнейшие построения вестись на основе толстых слоёв. Нельзя не отметить, что на практике при использовании конформно-слоистой модели пласта глубинное положение её кровли и подошвы чаще всего фиксируют, что в совокупности со слоистой природой модели является мощнейшим средством регуляризации решения.

Инструментом для определения параметров конформно-слоистой модели является нелинейная томография. Самым главным её отличием и достоинством от сеточных аналогов, по нашему мнению, является класс модели, в которой она работает. Помимо того, что данное обстоятельство само по себе является сильным ограничением, при решении также используется слоистая природа выбранного класса, которая позволяет строить геологически согласованные модели. Тонкая настройка ограничений и возможность задавать конформно-слоистую параметризацию только в необходимых слоях позволяет сильно сокращать количество неизвестных и, следовательно, значительно понижать размерность решаемой системы уравнений, что положительно сказывается как на устойчивости получаемого решения, так и времени вычислений, что в условиях больших проектов и сложной геологии является критически важным. Нелинейная томография работает в терминах пертурбаций медленности, поэтому очень важным является факт того, как строится начальная модель. И здесь вновь выбранный класс модели является ключевым, так как для него решение в толстом слое может быть найдено единственным образом. Другое дело, что решение не всегда нас устраивает по каким-либо соображениям, но соображениям всегда подкрепленным априорными данными. В таких случаях и возникает необходимость введения в слой дополнительной слоистости, начальным приближением для которой является полученное решение в рамках толстого слоя. В остальном описываемая нелинейная томография схожа с сеточными аналогами. В первую очередь в начальной модели лучами рассчитывается прямая задача и составляется томографическая матрица (рисунок 3). Отметим, что в этом процессе могут участвовать данные от любых выбранных горизонтов, а обновляться может любая часть модели. Таким образом преодолевается главное ограничение послойного подхода к построению пластовой модели, заключающееся в невозможности изменения верхней части модели при построениях ниже.

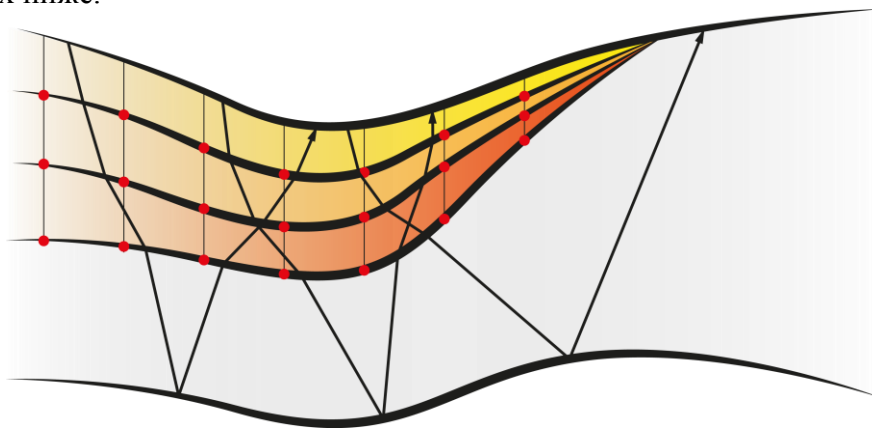


Рисунок 3 Иллюстрация процесса создания томографической матрицы для стратиграфического (конформного) разбиения пласта.

Составленная система уравнений:

$$\left(G^T W^T W G + \lambda^{(k)} E + \alpha \cdot \text{diag}(G^T W^T W G) \right) \Delta m^{(k)} = \gamma^{(k)} G^T W^T W \Delta t^{(k)} + \lambda^{(k)} m_0,$$

- решается для определения неизвестных пертурбаций медленности $\Delta m^{(k)}$. После этого модель обновляется и процесс повторяется до тех пор, пока не будет достигнут критерий остановки. Таким образом последовательность линейных итераций составляет нелинейный процесс. Важным элементом является ограничение зоны поиска минимума функционала на каждой очередной итерации. Связано это как с численной устойчивостью, так и нелинейностью целевого функционала. Для этих целей в выражении присутствует параболический член с множителем α , который отвечает за зону поиска минимума и подлежит оптимизации на каждой итерации томографии.

Выводы

Совокупность применяемой нами конформно-слоистой параметризации пласта и нелинейной лучевой томографии является гибким средством построения глубинно-скоростной модели среды и логическим расширением всей существующей подсистемы построения ГСМ в обобщённой пластовой модели. Выбранная параметризация находится в заданном и контролируемом классе пластовых моделей и поэтому лучше подходит для описания реальных геологических сред, чем сетки. Она может сочетаться со всеми инструментами построения пластовой модели. С её помощью может решаться несколько практических задач:

- уточнение построенной ТГСМ без предположений о её локальной однородности;
- посадка на скважины посредством разбиения слоя на стратиграфически согласованные интервалы и отыскания распределения скоростей в каждом из них;
- учёт вертикального градиента скоростей посредством разбиения слоя на стратиграфически согласованные интервалы и поиска ответа в виде линейных функций;
- учёт промежуточных отражений;
- посредством применения стратиграфической разбивки пластовую модель можно наделить чертами гибридной параметризации и контролируемым образом обойти её внутренние противоречия.

Библиография

1. Глогговский В.М., Лангман С.Л. Свойства решения обратной кинематической задачи сейсморазведки // Технологии сейсморазведки. — 2009. — Т. 6, № 1. — С. 10–17.
2. Давлетханов Р.Т., Силаенков О.А. Учёт влияния ВЧР на основе поверхностно-согласованной параметризации годографа отражённой волны // Технологии сейсморазведки. — 2016. — Т. 13, № 3. С. 102–113.
3. Анисимов Р.Г., Лангман С.Л., Фиников Д.Б. Возможности расширения класса пластовых моделей сред при решении обратной кинематической задачи. Часть 1. Реконструкция пласта. Вставка горизонта // Технологии сейсморазведки. — 2015. — Т. 12, № 2. — С. 69–76.
4. Анисимов Р.Г., Лангман С.Л., Фиников Д.Б. Возможности расширения класса пластовых моделей сред при решении обратной кинематической задачи. Часть 2. Реконструкция пласта в модели анизотропии // Технологии сейсморазведки. — 2015. — Т. 12, № 3. — С. 37–47.
5. Анисимов Р.Г., Лангман С.Л., Фиников Д.Б. Возможности расширения класса пластовых моделей сред при решении обратной кинематической задачи. Часть 3. Пласт с вертикальным градиентом скорости // Технологии сейсморазведки. — 2015. — Т. 12, № 4. — С. 33–43.
6. Jones I. An Introduction to Velocity Model Building. — EAGE Publications bv, 2010. — 296 pp.