

Атрибутная миграция. Новые возможности миграционных преобразований.

Шалашников Андрей Владимирович, Фиников Д.Б.

Яндекс Терра (ООО «Сейсмотек») / Москва

Корректное получение информации о динамических параметрах волнового поля - важная и актуальная задача для реализации многих процедур интерпретационного этапа работы с сейсмическими данными. Оказывается, в ходе миграционных преобразований можно получать информацию, характеризующую кинематические параметры отраженных волн, связанных непосредственно с областью их формирования в глубинной области. Эту информацию можно использовать для получения важных атрибутов волнового поля.

Известно великое множество алгоритмов миграции, хотя до сих пор мы не знаем хорошего определения этой процедуры и дискуссии о содержании задачи ведутся на уровне ее постановки.

Так называемая «Кирхгофская» миграция занимает среди миграционных преобразований особое место.

Во-первых, исторически – это самый первый алгоритм миграции. Во-вторых, анализируя этот алгоритм можно понимать и сущность других миграционных преобразований, поскольку задачи решаются похожие. Немаловажным фактором, определяющим то, что такая миграция остается наиболее востребованной-является ее вычислительная эффективность, относительная простота ее реализации на распределенных вычислительных комплексах. Наконец, эта миграция позволяет получать изображения в развертках по набору параметров, которые востребованы интерпретацией. Получение этих разверток в других техниках представляет собой зачастую очень непростую задачу, а в «Кирхгофском» алгоритме она решается наиболее естественным образом. Однако, эта простота, во многом, кажущаяся, что мы и попробуем пояснить.

В ходе кирхгофской миграции для каждой глубинной точки $o=(x,y,z)$ производится накопление всех возможных отраженных волн, зарегистрированных на поверхности для всех имеющихся комбинаций положений взрыва и приема (x_s, y_s, x_r, y_r) в заданной глубинно-скоростной модели среды. После интегрирования по всем (x_s, y_s, x_r, y_r) получают ответ миграции $M(o)$. При выполнении определенных условий $M(o)$ имеет смысл коэффициента отражения, точнее, некоторой локально-интегральной характеристики этого параметра. В интерпретационных задачах обычно требуется оценка коэффициента отражения в зависимости от кинематических параметров отраженной волны. В интегральной формуле миграции естественным образом получается оценка в сортировке по удалению взрыв-прием, т.е. $M(o, L_x, L_y)$. В формулах по которым изучают эффекты AVA AVAZ требуются $M(o, a, b)$ – где a -угол падения/отражения, а b -азимут этого угла(угол под которым повернута плоскость в которой лежат лучи вдоль которых распространялась волна при подходе к точке o). Могут интересовать и другие параметры, обусловленные траекторией распространения волн в глубинной области. Тривиальным решением задачи является простая замена переменных в интеграле Кирхгофа. Однако здесь возникают трудно преодолимые сложности, связанные с расчетом якобиана преобразования, зависящего от модели и, что еще существеннее, с дискретностью наблюдений (какие-то углы лучше обеспечены данными, а какие-то хуже, и простыми нормировками эту проблему не обойти).

Рассмотрим задачу получения AVAZ-разверток с точки зрения идентификации кинематических параметров в глубинной области — угла относительно нормали и азимута между лучами падения/отражения — на развертках по удалениям. Т.е. нам необходимо некоторым образом маркировать значение искомого кинематического параметра в заранее неизвестной окрестности касания годографа оператора переноса волнового поля и поля мигрируемых данных. Это возможно сделать, опираясь на принцип стационарной фазы, если добавить в оператор переноса мультипликативный коэффициент, который в точке касания равен нужному значению и является гладкой и плавноменяющейся функцией в окрестности касания. Например, для идентификации угловых параметров, по которым впоследствии будет производиться перепараметризация амплитуд (из удалений \rightarrow в углы) в глубинных точках, умножим дополнительно вес 'отдельного луча' на $1+\text{tg}(a/2)$ — для последующей многомерной корреляционной идентификации накопленного a на развертках по удалениям и на $2+\cos(b)$ — для последующей идентификации накопленного b . В процессе миграции эти мультипликативные коэффициенты определяются на основе используемой глубинно-скоростной модели. Таким образом производится две дополнительные миграции, которые несут информацию о кинематических параметрах a , b , на которых по принципу стационарной фазы реализовались амплитуды отраженных волн отдельно на каждом мигрируемом удалении. (Вопрос о рассеянных волнах пока остается открытым и в данном случае они являются помехой).

Получив два результата миграции — обычный и с весами, маркирующими стационарную точку интересующим нас множителем, можно теперь узнать значение параметра, относящегося к заданному удалению в известной глубинной точке o . Здесь мы предлагаем использовать устойчивые статистические способы их оценок. Например, можно попробовать использовать 5-мерную корреляцию $\{z, \text{cpd}_x, \text{cpd}_y, \text{offset}_x, \text{offset}_y\}$ двух изображений не некоторой локальной базе, на которой искомый параметр допустимо считать линейной функцией.

Таким образом, мы получаем не только развертки амплитуд в глубинных точках, но также соответствующие им развертки с некоторым кинематическим параметром (например, для перепараметризации Offset-Cig в AVAZ-Cig — угол относительно нормали и азимут лучей падения/отражения). Развертки данного параметра в принципе являются самостоятельным атрибутом. Например, по раствору угла отражения, реализованному на данном удалении в некоторой целевой глубинной точке можно настроить мьютинг глубинных сейсмограмм или оценить 'качество касания' годографа оператора переноса волнового поля и поля мигрируемых данных, поскольку полученный кинематический параметр основывается на плавной опорной глубинно-скоростной модели, и его поведение относительно предсказуемо (меняется плавно и локально монотонно).

Для решения задачи перепараметризации глубинных разверток Offset-Cig в AVAZ-Cig по полученным Offset-разверткам угла и азимута предположим некоторую форму зависимости амплитуды от угла. Можно воспользоваться известными формами зависимости из задач инверсии, но здесь для рассмотрения случая общего положения, предположим, что зависимость амплитуды от раствора угла отражения и азимута является некоторой тригонометрической формой порядка N . И решим задачу восстановления коэффициентов при соответствующей тригонометрических функциях. По оцененным коэффициентам можно рассчитать амплитуды от угла/азимута на некоторой регулярной по углу/азимуту расстановке.

Рассмотрим синтетический пример.

Рассмотрим глубинно-скоростную модель, состоящую из трех отражающих горизонтов с существенно разными наклонами (Рис. 1) и навяжем некоторую единую AVA-характеристику отражения.

Таким образом, идеальным ответом AVAZ-глубинных разверток будет являться заданный эталон. Произведем лучевое 3d-моделирование. Произведем миграцию Кирхгофа и еще 2 миграции с весовыми функциями, ответственными за угол раствора лучей падения/отражения и азимута. Далее произведем 5-мерную корреляцию угла/азимута на полученных развертках для получения самих разверток угла/азимута. Далее произведем перепараметризацию ответа миграции Offset-Cig в AVAZ-Cig.

Сравнение полученного результата с эталоном на азимуте 90 градусов для диапазона раствора угла между падением/отражением 0...+90 представлено на рис. 2.

Сравнение глубинной 3d сейсмограммы с эталоном в сортировке угол раствора/азимут представлено на рис. 3.

Пример получения углов раствора и перепараметризации глубинной развертки на реальных узкоазимутальных данных представлен на рис. 4.



Рис 1. 2.5-D глубинная модель для расчета синтетики

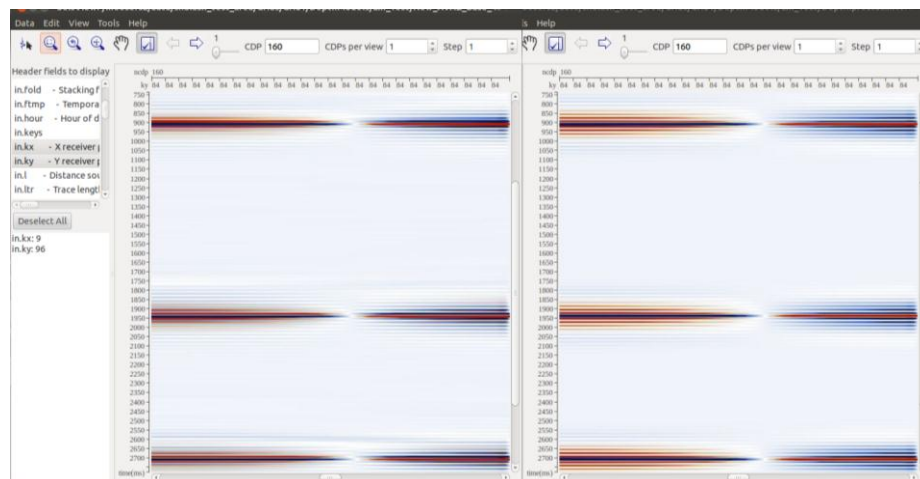


Рис 2. Сравнение эталонного коэффициента отражения с ответом восстановленной AVAZ развертки на азимуте 90 градусов. Рассматриваемый диапазон углов раствора — 90

градусов. Слева — восстановленное изображение по ответу миграции Кирхгофа в сортировке равных удалений по синтетическим данным лучевого моделирования, справа — эталонный сигнал в глубинной области.

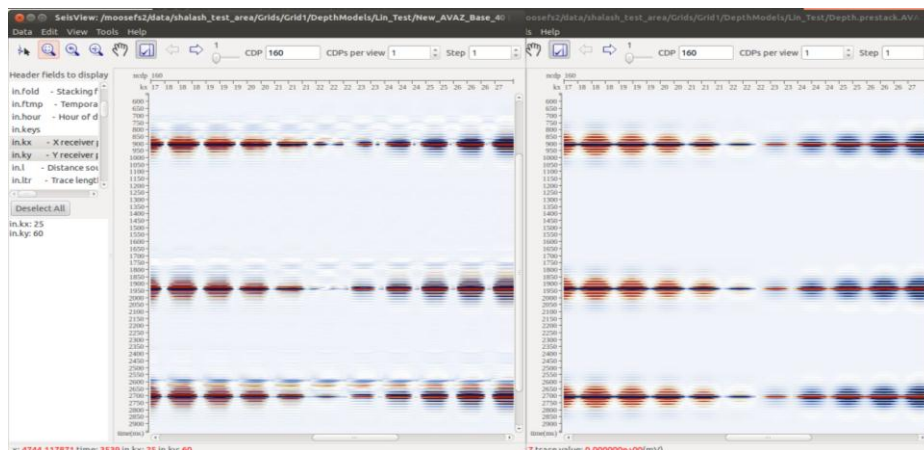


Рис 3. Сравнение восстановленной глубинной 3d сейсмограммы по ответу миграции Кирхгофа в сортировке равных удалений по синтетическим данным лучевого моделирования(Слева) с эталоном(Справа) в сортировке угол раствора/азимут. Диапазон азимутов — 0...360 градусов.

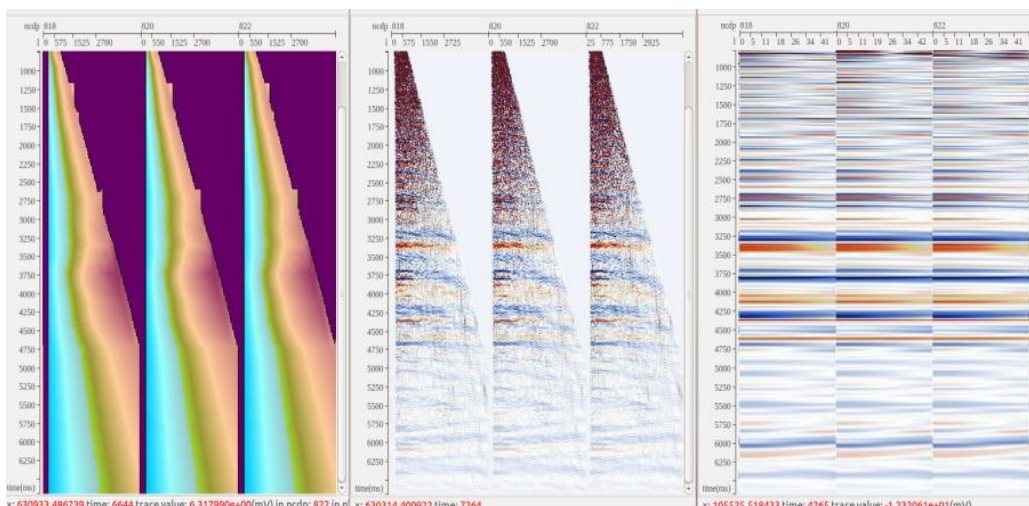


Рис 4. Обработка реальных морских узко-азимутальных данных. В центре — 3 глубинные сейсмограммы(амплитуд) в развертке по удалениям. Максимальное удаление 3000м. Слева — восстановленная глубинная развертка углов по удалениям (Максимальный детектированный угол — обозначен красным цветом — 55 градусов). Справа — восстановленная развертка по углам раствора (Максимальный угол — 45 градусов).

Мы показали лишь одно приложение способа атрибутной миграции, про которое известно, что оно уже сейчас весьма востребовано в задачах интерпретации. Можно маркировать данные и другими параметрами, чтобы узнать, например, с каких времен «принесен» сигнал в данную глубинную точку или с каких удалений. Это может помочь разделению полей на зеркальную и рассеянную компоненты. Еще интереснее проследить миграцию динамических параметров, которые можно померить в пространственно-временной области до миграции и которые трудно оценить на уже мигрированных данных (например, параметры частотно-зависимого поглощения). Думается, что набор таких маркеров можно будет расширить по мере развития методики.