

Submission ID: 44480

Environment-dependent Parametrization of Wave Field. Matched Non-linear Operator Usage in Case of Seismogram Processing

A.A. Arkhipov* (Geoshelf-Service), V.S. Tyrichev (Geoshelf-Service)

SUMMARY

Wide band seismic observations and well-driven data processing became more popular in our days. But wide band observations are not cheap and well-driven algorithms based on linear approximation of geological environment with their limits. We offer new version of environment-dependent non-linear matched operator calculation technology that allows to significantly increase correlation with well data and provides unsurpassed seismic spectrum band extension.

Введение

Круг проблем, решаемый современной сейсморазведкой, давно вышел за рамки структурных построений. В свою очередь допустимо утверждение, что прогноз свойств коллекторов по сейсмическим данным в межскважинном пространстве - задача, решённая лишь на качественном уровне, но отнюдь не количественном.

С каждым годом растёт популярность исследований по методам широкополосной сейсморазведки и скважинно-ориентированных подходов обработки и интерпретации данных, позволяющим получить количественно более достоверные результаты инверсий.

В итоге все нововведения ориентированы на повышение степени согласованности скважинных наблюдений с материалами сейсморазведки, но получение материалов широкополосной сейсморазведки предполагает проведение повторных полевых работ без гарантии существенного прироста информативности, а современные методы скважинно-ориентированной обработки данных ограничены линейными представлениями о геологической среде, что накладывает ряд существенных ограничений на решения.

В отличие от акустики или оптики в сейсморазведке нелинейные явления игнорируются, хотя в ряде работ «было экспериментально показано, что начиная с определённого рубежа пренебрежение нелинейными эффектами приводит к существенным отклонениям решения от истинного явления» (Николаев А.В. и др., 1987).

В предыдущих докладах авторы приводили примеры применения обратных нелинейных операторов к материалам сейсморазведки с целью повышения степени согласованности суммарных разрезов со скважинными данными и расширения спектра полезной записи в области низких (НЧ) и высоких (ВЧ) частот.

В настоящей работе представлены результирующие материалы, полученные на очередном витке развития технологии. На этот раз в применении к сейсмограммам.

Теория

В случае частично упругого взаимодействия возникают деформационные колебания, затухающие со временем (переход энергии в тепло), после чего тело принимает прежнюю форму. При этом мода частоты осцилляций тела, которому передаётся энергия, соответствует частоте воздействия.

В нелинейной акустике считается, что нелинейность обусловлена разницей в скоростях перемещения точек профиля фронта волны. Иными словами, скорость пробега упругих волн увеличивается в областях сжатия и уменьшается в областях разряжения.

Ряд исследований, с использованием двух удалённых друг от друга вибрационных источников, не противоречит предыдущему утверждению (Николаев А.В. и др., 1987, Логинов К.И., Жуков А.П., Шнеерсон М.Б, Логинов И.В., 2012), т.к. время подхода фронта воздействия на отражающую границу от каждого источника – различно.

Возникает закономерный вопрос: каким образом объяснить значимую нелинейность (Архипов А.А., Тыричев В.С., 2017), регистрируемую при одиночном источнике/синхронизированной группе?

Достаточно лаконичный ответ на этот вопрос можно получить при рассмотрении дисперсии скоростей пробега упругих волн сейсмического диапазона частот. На рисунке 1 изображены

зависимости групповых и фазовых скоростей пробега продольной и поперечной волн от частоты (для пористого образца).

Строго говоря, в случае вибрационного монохроматического возбуждения (генерации управляющего монохроматического сигнала), среда зондируется почти монохроматическими волнами, для которых справедлива групповая (но достаточно узкополосная) оценка скорости пробега упругих волн, приближенная к фазовой.

При импульсном возбуждении, в следствии дисперсии скоростей пробега упругих волн, со временем цуг зондирующего широкополосного воздействия «удлиняется» во времени (низкочастотные компоненты запаздывают, относительно высокочастотных). Следовательно, в первую очередь на пласт происходит высокочастотное воздействие (первичное), а уже после – низкочастотное (параметризирующее).

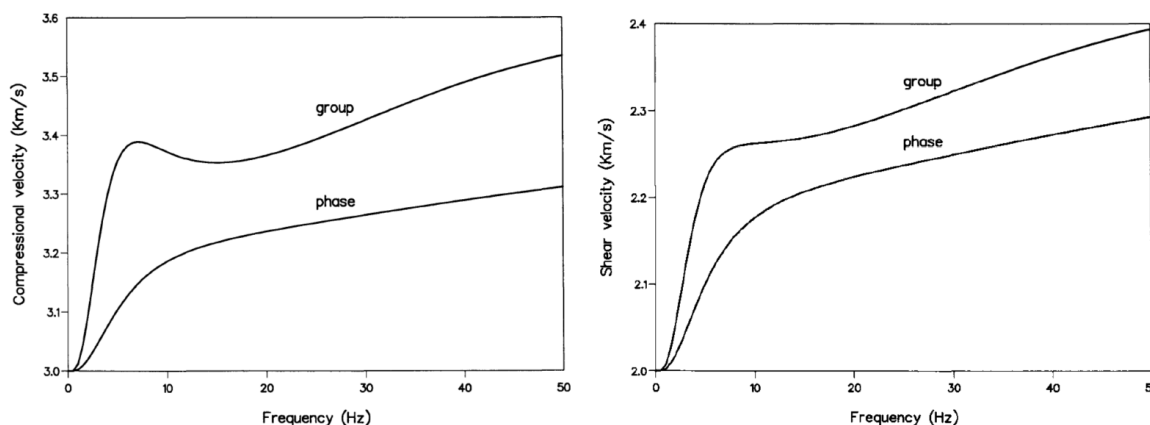


Рисунок 1 Дисперсия скоростей пробега упругих волн в сейсмическом диапазоне частот для пористого образца горной породы (Jose M. Carcione, 1988).

Таким образом, принципы, положенные в основу анализа нелинейных эффектов при монохроматических (вибрационных) воздействиях на среду справедливы для случая импульсного источника.

Из практики вибрационной сейсморазведки известно, что при воздействии на пласт двумя (и более) монохроматическими сигналами, в силу нелинейности, в спектре отклика регистрируются комбинационные частоты (аддитивные, кратные, комбинационные и т.д.). Следовательно, при широкополосном воздействии на поверхности регистрируется спектр нелинейного отклика (в частности отражённых волн) с перераспределённой энергией.

Логично предположить, что при дальнейшем комплексировании материалов сейсморазведки со скважинными данными на этапе инверсионных преобразований или скважинно-ориентированной обработки полевых данных, необходимо работать с линейным откликом среды (либо учитывать нелинейность на протяжении обработки и интерпретации, включая стадию моделирования).

Для уменьшения ошибки инверсии авторы предлагают использовать согласованный нелинейный оператор (обратный/линеаризующий), рассчитанный по скважинному эталону.

Очевидно, что применение подобного оператора приведёт к изменению частотного состава записи и его область значений не ограничена частотным диапазоном исходного сейсмического материала, что при корректной пространственной параметризации может быть использовано для расширения спектра полезного сигнала в области низких и высоких частот.

Примеры

На рисунке 2 приведено сопоставление исходной сейсмограммы 2D профиля (слева), результат применения согласованного линейного оператора (в центре), согласованного нелинейного оператора (справа) и соответствующие им F-x разрезы (спектры) в верхней части.

Не вызывает сомнений наличие пространственных вариаций нелинейности (параметризации). На рисунке 3 изображена параметризирующая функция преобразования.

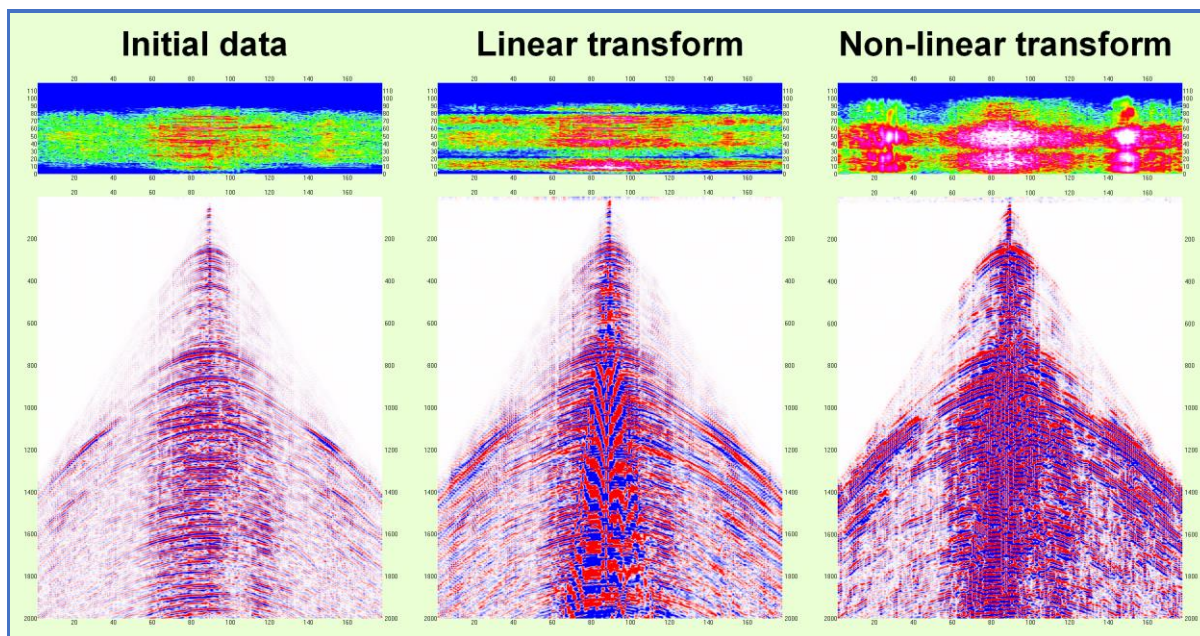


Рисунок 2. Сопоставление исходной сейсмограммы 2D профиля (слева), результат применения согласованного линейного оператора (в центре), согласованного нелинейного оператора (справа) и соответствующие им F-x разрезы (спектры).

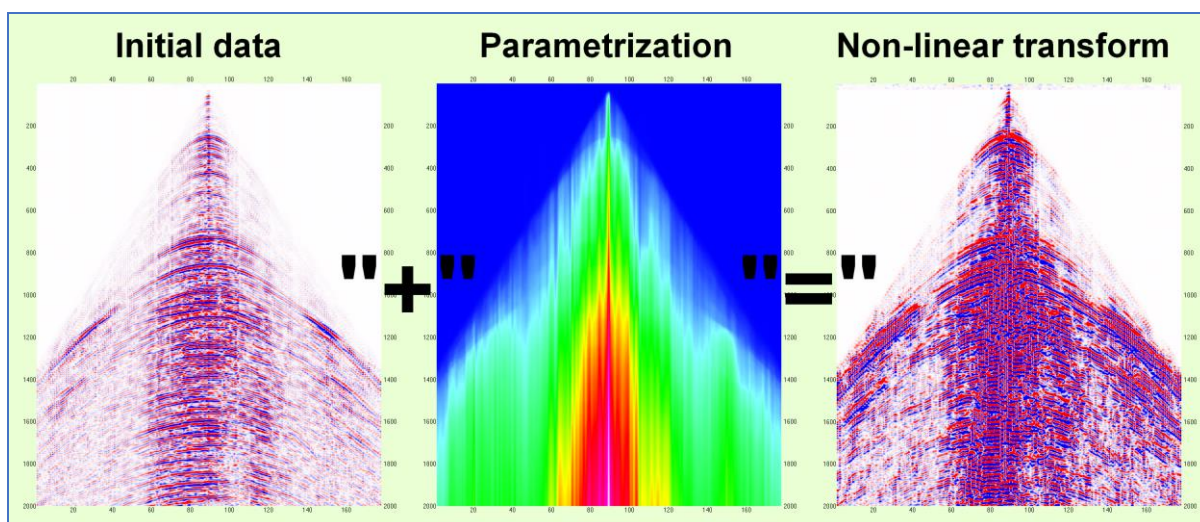


Рисунок 3. Сопоставление исходной сейсмограммы 2D профиля (слева), функции параметризации (в центре), согласованного нелинейного оператора (справа).

Необходимо отметить, что после применения согласованного линейного оператора спектр полезной записи сейсмограммы находится в полосе 6-78Гц, а нелинейного 0-98Гц.

Выводы

В результате применения пространственно-зависимого нелинейного согласованного оператора удалось существенно расширить диапазон частот полезной записи без повышения уровня когерентной низкочастотной помехи.

При условии наличия полезной записи на столь низких частотах, как в случае результата применения согласованного нелинейного оператора, нет необходимости в построении весьма субъективных и латерально слабо-разрешённых трендовых моделей по скважинным данным/сейсмическим скоростям (для реализации инверсионных вычислений).

Учитывая, что преобразование проводится на стадии обработки сейсмограмм, технологию целесообразно применять при всех существующих видах инверсий, уточнении/построении глубинно-скоростных моделей (Архипов А.А., 2017) и др.

Возможно включение представленной технологии в граф обработки сейсмических данных любой сложности.

Разработка находится на стадии внедрения. Ведутся работы по адаптации математического аппарата для случая морской многоволновой сейсморазведки на обменных волнах (МВС/ЗС/4С).

Список литературы

Jose M. Carcione [1988] Wave propagation simulation in a linear viscoelastic medium. *Geophysical Journal* 95, с. 597-611

Николаев А.В. [1987] Проблемы нелинейной сеймики. Наука

Логинов К.И., Жуков А.П., Шнеерсон М.Б, Логинов И.В. [2012] Нелинейные волновые поля в акустическом каротаже и вибрационной сейсморазведке. ГЕРС

Архипов А.А., Тыричев В.С. [2017] О существовании значимой нелинейности в сейсмическом диапазоне частот. Часть 1. Тезисы «Геосочи-2017», с. 150-157

Архипов А.А. [2016] Восстановление сейсмической записи в области низких частот как способ уточнения глубинно-скоростной модели. Тезисы «Геокрым-2016», с. 155-160

References

Jose M. Carcione [1988] Wave propagation simulation in a linear viscoelastic medium. *Geophysical Journal* 95, p. 597-611

Nikolaev A.V. [1987] Problems of non-linear seismic. Nauka

Loginov K.I., Zhukov A.P., Shneerson M.B, Loginov I.V. [2012] Non-linear wavefields in sonic well data and vibration seismic. Gers

Arkhipov A.A., Tyrichev V.S. [2017] About existence of significant non-linearity in seismic frequency band. Part 1. Thesis «Geosochi-2017», p. 150-157

Arkhipov A.A. [2016] Restoration of low-frequency seismic data as a tool to adjust velocity model. Thesis «Goekrim-2016», p. 155-160