

Влияние фазового спектра сигнала на результаты робастной деконволюции

Кунченко Д.С., Фиников Д.Б., Шалашников А.В.

ООО «Сейсмотек», г. Москва

Чтобы правильно осуществить обратную фильтрацию надо знать форму сигнала, на которую строится обратный фильтр. Знать его, как правило, можно только весьма приближённо. Однако, даже когда форма сигнала известна, задача деконволюции остаётся весьма нетривиальной, если её рассматривать не просто как косметическую процедуру, а требовать от неё решения осмысленных задач (заметим попутно, что её косметические способности тоже зачастую вызывают определенный скепсис). С какими проблемами сталкивается деконволюция? Форма сигнала оценивается на основе весьма обременительных предположений. Кроме того, она обычно переменна по времени и пространству, и в силу различных факторов существует в ограниченных и в нижних и в верхних пределах диапазонов частот. При этом, данные осложнены разного рода помехами разнообразного частотного состава. Поэтому в современной обработке, направленной на сохранение динамики полезных волн, все средства адаптивной деконволюции стараются ограничить, т.к. искажения динамических параметров в ходе выполнения таких процедур трудно контролировать. Стараются обойтись т.н. «факторными» деконволюциями, т.е. коррекцией формы сигнала за влияние тех или иных физически осмысленных искажений (например, поверхностно-согласованные процедуры, компенсация частотно-зависимого поглощения, «сигнатурная» деконволюция, подавление спутников на море и т.п.). На самом деле, эти процедуры зачастую тоже адаптивны и тоже опираются на определенные предположения, не вполне корреспондирующие с реальностью. Однако, обсуждение этого комплекса проблем останется за рамками доклада. В конечном счете, обойтись без обратной фильтрации не удастся, но геофизики перекладывают её на завершающие этапы, относящиеся к интерпретации. Это и понятно, на этих этапах привлекают скважинную информацию, используют априорные сведения о динамике и занимаются разнообразными инверсиями. Между тем, инверсионные преобразования обычно включают в себя деконволюционные процедуры, причем нелинейные, призванные расширить имеющийся в данных диапазон частот. Не отрицая роли такого рода процедур, рискнем заметить, что они осмысленны и на завершающих этапах обработки. Они несут в себе определенный риск и должны, несомненно, контролироваться на этапе интерпретации, но они и показывают какой потенциал содержится в уже обработанных данных. Проблематика контроля динамики обсуждалась нами ранее [1]. В ряде случаев они являются мощным инструментом повышения разрешённости сейсмических записей с сохранением динамических особенностей данных.

Есть два равноправных аспекта робастной деконволюции. Один из них, исторически первый, связан с робастным оцениванием статистик, на которых строятся оценки формы сигнала. Второй акцентирован на использовании этих оценок для решения задачи обратной фильтрации. Здесь мы рассматриваем второе направление. Задача обратной фильтрации в полной постановке, т.е. формулируемая, как задача восстановления импульсной реакции среды, некорректна. Её некорректность вызвана, прежде всего, неполнотой спектральной характеристики импульса. Как обычно, такого рода задачи решают, вводя определённые представления о свойствах решения. Обычно это свойства т.н. «спарсности» или «импульсности» решения, к этому добавляются свойства пространственной прослеживаемости (когерентности) записей и ряд других свойств, не обязательно формализуемых в виде явного критерия. Такого рода алгоритмы входят в инструментарий инверсионных задач. Мы здесь не будем подробно описывать ту реализацию алгоритма,

которой располагаем, поскольку доклад посвящен одному частному аспекту задачи общей для всего класса подобных процедур.

Если обычная деконволюция (пусть даже робастная в первом смысле) сводится к свёртке с обратным оператором, то робастная деконволюция, которую обсуждаем здесь – суть решение системы уравнений с определенными ограничениями на класс решений. Это значит, что процедура принципиально несвёрточная, нелинейная и нестационарная. Если после свёрточной процедуры есть ещё шанс «дообработать» форму сигнала на этапе интерпретации, например, то после несвёрточной процедуры это может быть весьма проблематичным. Главная неопределенность в задаче деконволюции, как показывает опыт применения её с 60-х годов прошлого века, заключается в неопределённости фазового спектра сигнала. Поэтому важным представляется изучение именно этого вопроса: насколько влияют погрешности в фазовом спектре на результат робастной деконволюции и что можно сделать, чтобы ослабить это влияние.

Как и следовало ожидать, влияние неопределенности в фазовом спектре очень существенно. На рисунке 1 показан модельный пример.

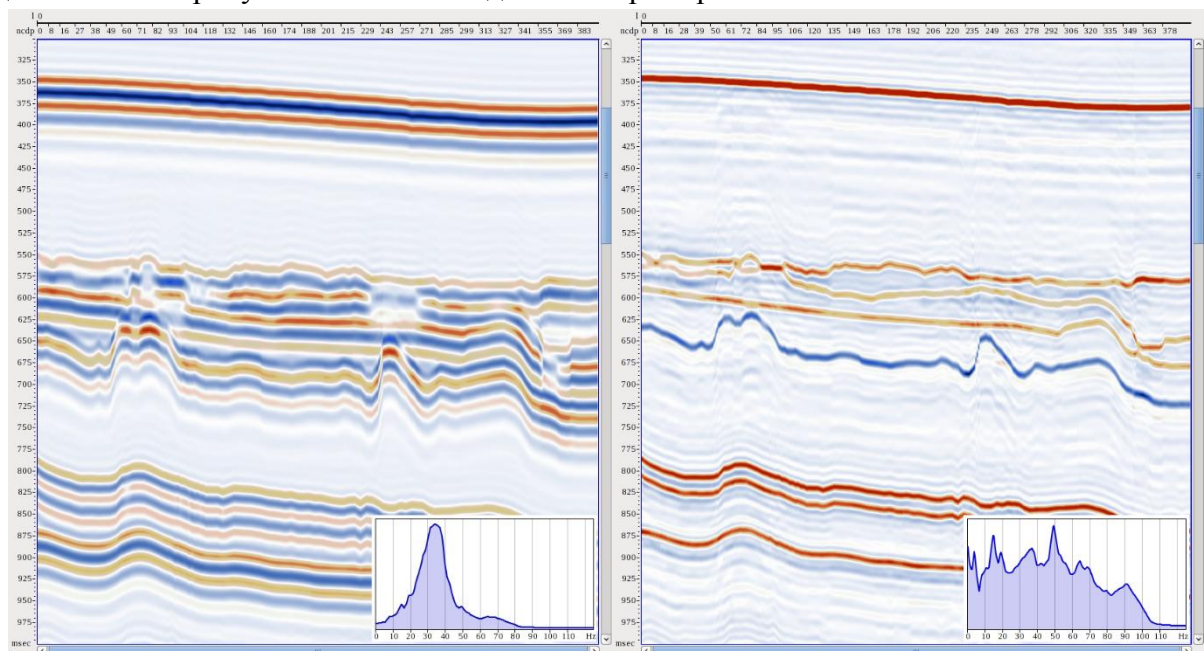


Рисунок 1 Слева – исходная модель с минимально-фазовым в диапазоне частот сигналом. Справа – результат минимально-фазовой робастной деконволюции

Слева на рисунке 1 показан фрагмент синтетического разреза с минимально-фазовым сигналом. Справа на том же рисунке показан пример робастной деконволюции, когда форма минимально-фазового сигнала оценивалась в широком окне статистическими методами.

Сигнал имел довольно узкий спектр, который формально существует в диапазоне от 5 до 80 Гц (оговорим, что речь идет о минимально фазовом сигнале в диапазоне частот, т.е. на самом деле минимально фазовом после «полосового преобразования» [2]). Эффективная ширина амплитудного спектра значительно меньше 75 Гц. Справа показан результат робастной деконволюции с расширением спектра до 125 Гц. Результат деконволюции близок к идеальному (здесь идеальный ответ не приводится). Некоторые флуктуации записи на свободных от сигналов участках вызваны ограниченностью частотного диапазона (не приводим «полночастотный») результат, который носит практически идеальный «импульсный» вид).

На рисунке 2 показан аналогичный пример, но оценка сигнала использовалась в предположении его нуль-фазовости.

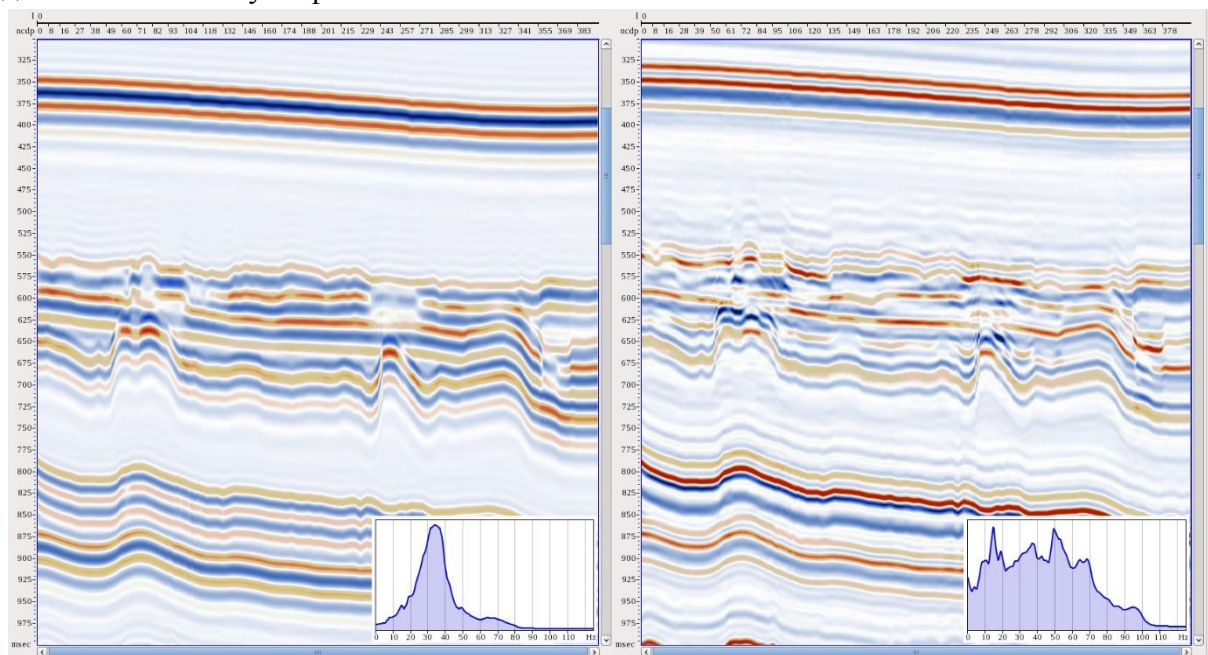


Рисунок 2 Слева – исходная модель с минимально-фазовым в диапазоне частот сигналом. Справа – результат нуль-фазовой робастной деконволюции

Что важно и в чем суть эксперимента? Негативный результат вполне предсказуем и важность коррекции фазового спектра перед инверсионными процедурами общеизвестна. Важным представляется результат, который можно получить только экспериментально. Робастная деконволюция осуществляется при том условии, что результат её свертки с заложенной в неё формой сигнала с высокой степенью точности отображается в исходные данные. Это позволяет предположить, что в заданном диапазоне частот, в котором сигнал предполагался измеренным вполне надежно, можно после произведенной робастной деконволюции оценить фазовый спектр. Корректирующий фазовый спектр демонстрируется на рисунке 3.

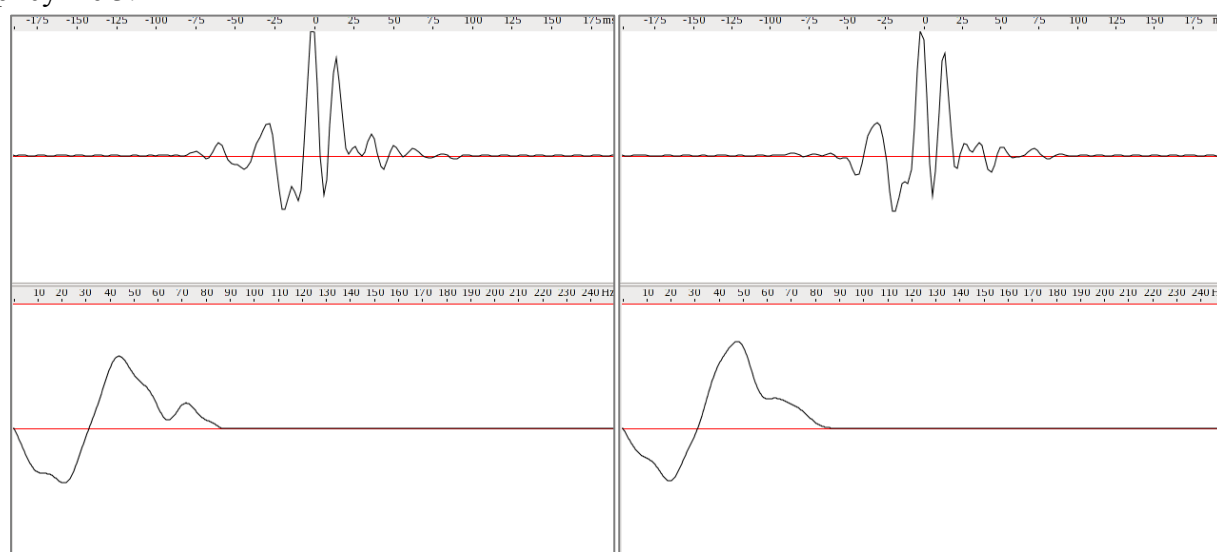


Рисунок 3 Слева – корректирующий фазовый спектр минимально-фазового сигнала исходной модели. Справа – оценка корректирующего фазового спектра сигнала по результату нуль-фазовой робастной деконволюции

Иными словами, фазовый спектр «проносится» через нелинейную и нестационарную процедуру робастной деконволюции. Тогда его можно скорректировать после неё и повторить процедуру расширения спектрального состава. Таким образом можно добиться результатов близких к идеальному. Этот факт иллюстрирует рисунок 4.

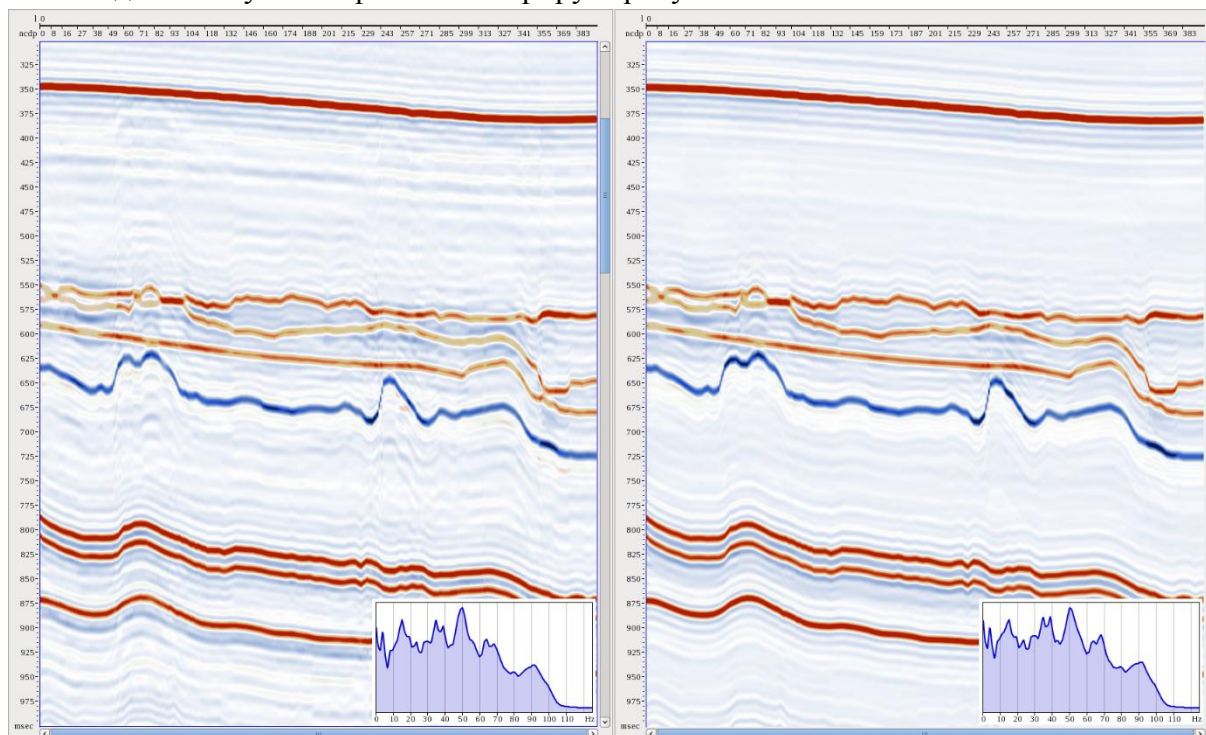


Рисунок 4 Слева – результат минимально-фазовой робастной деконволюции. Справа – результат нуль-фазовой робастной деконволюции в случае коррекции фазы и последующего расширения спектрального состава

Возможные технологии применения процедуры, примеры обработки модельных и реальных данных приводятся в докладе.

Список литературы

1. Кунченко Д. С., Фиников Д. Б. О задачах деконволюции сейсмических записей и возможностях контроля формы сигнала //ГеоЕвразия 2018. Современные методы изучения и освоения недр Евразии. – 2018. – С. 579-582.
2. Полубояринов М. А., Фиников Д. Б. Предсказывающая деконволюция в задаче коррекции нестационарных сейсмических записей //Технологии сейсморазведки. – 2006. – №. 01. – С. 24-32.