

Многоканальные фильтры обработки морских 3D наблюдений.

Рябинский Максим Андреевич, Фиников Дмитрий Борисович.

Яндекс.Терра (ООО "Сейсмотек"), Москва.

На прошлогодней конференции "Сейсмические технологии 2014" был представлен доклад П.Гофмана, Д.Финикова "Подавление волн-спутников методом адаптивной рекурсивной фильтрации", в котором был рассмотрен новый нелинейный алгоритм подавления спутника, состоящий из трех этапов:

1. Построение процедуры подавления спутника при сохранении полезного сигнала.
2. Построение процедуры подавления полезного сигнала при сохранении спутника, и преобразование спутника в полезный сигнал.
3. Комбинирование решений с целью подавления помех преобразований.

Этот алгоритм предусматривает реализацию в τ -р области с целью правильно учесть зависимость спутника от угла подхода восходящих волн. Подготовка данных для τ -р преобразования особенно в 3D случае при нерегулярных наблюдениях – отдельный этап обработки, которого хотелось бы избежать.

Одной из задач настоящего доклада является обобщение рассмотренного метода на разные системы морских наблюдений, данные, полученные с наклонными косами, и так далее.

Другой, не менее важной, задачей исследования мы считаем анализ и разработку эффективных систем наблюдений, которые становятся возможными только при наличии инструментов оптимальной обработки данных, полученных при определенной геометрии источников и приемников. В качестве одного из таких инструментов может быть выбран способ многоканальной фильтрации, основанный на технике расчета кинематических фильтров, которые были предложены в 80-е годы прошлого века В.М. Глоговским и Д.Б. Финиковым для решения задач миграционных преобразований, интерполяции данных и подавления помех.

Критерий кинематической фильтрации для подавления спутника и пересчета волнового поля на дневную поверхность в случае 2D наблюдений можно представить следующим образом:

$$J(f) = \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} d\alpha \int dt \left(\sum_x (s(t - \alpha x) - \sigma_\alpha(t - \gamma_\alpha x - \beta_\alpha)) * f(x, t) - s\left(t - \frac{\beta_\alpha}{2}\right) \right)^2 \rightarrow \min$$

Рябинский Максим Андреевич, Фиников Дмитрий Борисович.

Яндекс.Терра (ООО "Сейсмотек"), Москва, 2015.

Здесь $s(t - \alpha x)$ – отраженный сигнал, $s(t - \gamma_\alpha x - \beta_\alpha)$ – спутник отраженного сигнала, $s\left(t - \frac{\beta_\alpha}{2}\right)$ – полезный сигнал на дневной поверхности, σ – коэффициент учета спутника, $f(x, t)$ – искомый многоканальный фильтр. Данный критерий очевидным образом можно обобщить на случай 3D наблюдений, заменив лучевые параметры α , γ_α , а также координату x соответствующими двумерными векторами.

Сразу отметим, что приведенный критерий основан на квадратичной норме. Разработка фильтров, оптимальных в других нормах, ждет своего исследователя. В связи с этим все выводы по оптимизации системы наблюдений на основе кинематических фильтров также основаны на принятом при их расчете критерии оптимальности.

Принцип получения разных решений с их последующей комбинацией, предложенный П.Гофманом, Д.Финиковым, легко реализуется и в технике многоканальной фильтрации. В случае 2D наблюдений с горизонтально погруженными косами новый способ вряд ли обладает особыми преимуществами и, даже, может уступать своему прототипу. Дело в том, что нелинейная комбинация результатов в области τ -р разложения может быть эффективнее по конечному результату, чем аналогичное преобразование результатов оптимальной линейной фильтрации. Однако следует отметить, что для обработки 3D данных предлагаемая нами процедура представляется более технологичным решением, а, например, для обработки наблюдений на наклонной косе мы альтернативы не видим.

Кинематические фильтры могут решать многие задачи подавления помех и трансформации волновых полей. В морской сейсморазведке они перспективны при обработке многокомпонентных донных наблюдений. Операторы фильтров могут быть оптимизированы на любую геометрию наблюдений. Тем не менее, когда фильтр становится переменным по пространственным координатам, существенно возрастают затраты на расчет операторов. Оптимизация вычислений, создание библиотек фильтров для заданной расстановки, распараллеливание вычислений и их распределенная реализация, использование эффективных программ и алгоритмов для проведения расчетов – все это немалый круг задач, решаемых при индустриализации обсуждаемой в докладе технологии.

Применение нелинейной (адаптивной) процедуры суммирования двух результатов подавления спутника допускает и получение двух вариантов ответов: с предохранением полезного сигнала (ценой неполного подавления помехи) и, наоборот, более глубокого подавления шумов при некотором искажении сигнальной компоненты. Такого рода возможности демонстрируются в докладе.

Для иллюстрации идеи метода приведем изображения операторов фильтра.

Рябинский Максим Андреевич, Фиников Дмитрий Борисович.

Яндекс.Терра (ООО "Сейсмотек"), Москва, 2015.

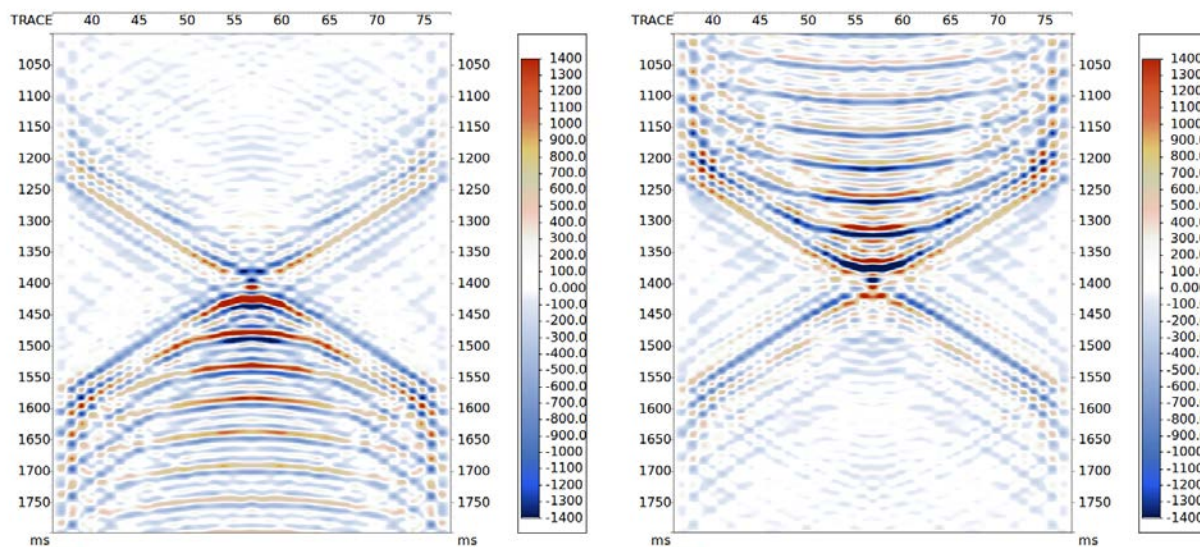


Рис. 1. Изображения операторов фильтра.

Слева на рис.1 показан оператор подавления спутника, осуществляющий, одновременно, поднятие поля на дневную поверхность. Справа оператор, трансформирующий спутник в сигнал и подавляющий сигнал как спутник (результат также поднимается на дневную поверхность). Операторы посчитаны для горизонтальной косы, заглубленной на 40 м. Для наклонной косы – операторы являются переменными вдоль координат приема на сейсмограмме ОПВ.

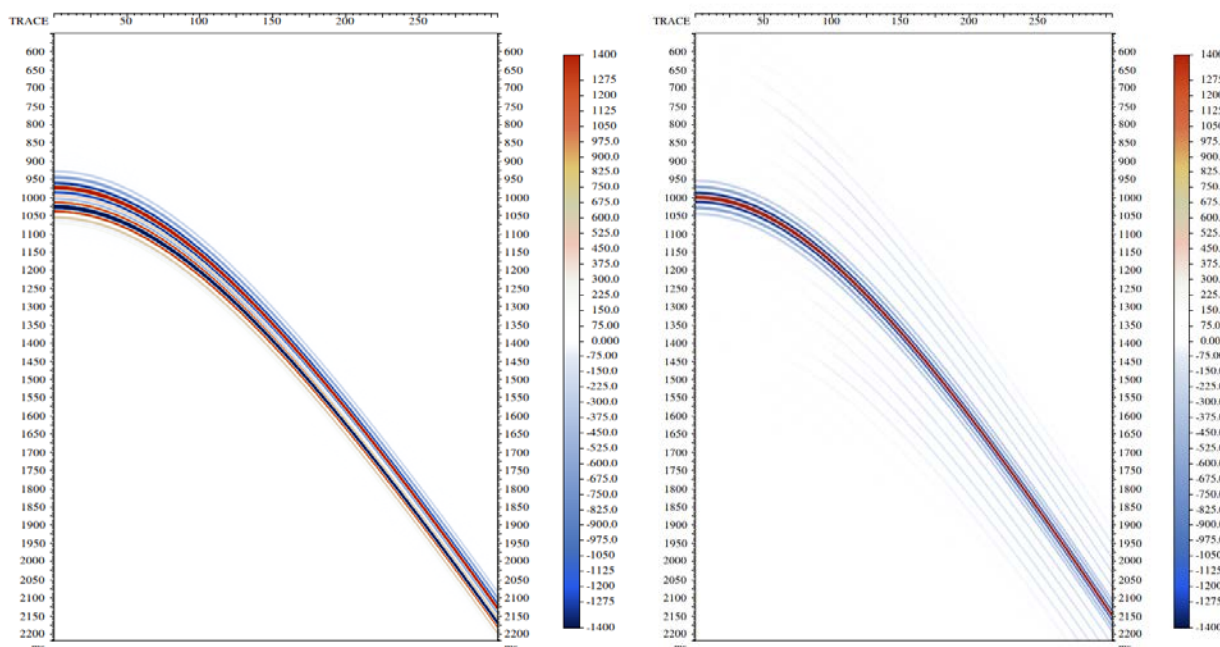


Рис. 2. Модельная сейсмограмма со спутником и результат фильтрации.

Рябинский Максим Андреевич, Фиников Дмитрий Борисович.
Яндекс.Терра (ООО "Сейсмотек"), Москва, 2015.

На рис.2 показаны модельная сейсмограмма и «комбинированный» результат подавления спутника. В докладе будут показаны примеры работы программы при наличии разного рода помех, не описывающихся моделью спутника (собственно, ради устойчивости к такого рода помехам и разработана технология комбинирования разных ответов).

В докладе анализируются результаты подавления спутника для горизонтальной косы, для наклонной косы и для системы заглубленных горизонтальных кос. Показано, что если разделение волн производится оптимальным фильтром, то наблюдения на наклонной косе имеют некоторые преимущества при обработке сейсмограмм по сравнению с наблюдениями на горизонтальной косе. Эти преимущества проявляются на волнах с высокими кажущимися скоростями (спутник на наклонной косе приобретает меньшую кажущуюся скорость).

Система наблюдений с наклонной косой создает дополнительные сложности при обработке получаемых данных, но на малых удалениях обеспечивает лучшее подавление помех. Перспективна система наблюдений, состоящая из нескольких заглубленных горизонтальных кос. Нам трудно судить, осуществима ли такая система наблюдений на практике (это вопрос инженерный), но с точки зрения подавления помех вертикальное группирование выглядит очень привлекательным.

*Рябинский Максим Андреевич, Фиников Дмитрий Борисович.
Яндекс.Терра (ООО "Сейсмотек"), Москва, 2015.*