Ослабление дисперсионных помех для данных обменных волн

ROBERT SOUBARAS

Аннотация

Общепринятым способом ослабления когерентных помех является применение скоростных фильтров, которые подавляют данный диапазон скоростей. Избирательность этих фильтров не может быть весьма высокой из-за присущих им ограничений, или потому что скорости точно не известны и изменяются от выборки к выборке. Обработка обменных *P*-*S*-волн представляет собой случай, где фильтры, используемые для ослабления когерентных помех, должны быть избирательными. В данной статье рассматривается алгоритм, который имеет возможность применения фильтра с весьма высокой степенью избирательности для подавления когерентных помех путем самоадаптации к дисперсионным кривым помех. Важным свойством фильтра является то, что он адаптируется к данным и не требует дисперсионных кривых в качестве априорной информации. Приведены результаты применения алгоритма до и после суммирования на наборе данных обменных *P*-*S*-волн.

Введение

Когерентные помехи являются общей проблемой сейсмических данных. Их физической причиной является распространение волн между слоями в горизонтальном направлении. Такое распространение следует дисперсионному соотношению, которое состоит из нескольких мод. Это означает, что в области *f*-*k*, помехи сосредоточены на данном количестве дисперсионных кривых: одна кривая для каждой моды.

Простейшим способом ослабления дисперсионных помех является обнуление в области *t*-*x* (внутренней или внешней). Однако вся полезная информация, которая перекрывает помехи в области *t*-*x*, теряется, поэтому данный метод имеет ограниченное применение. Вторым распространенным способом ослабления этих помех является применение скоростного фильтра. Существуют различные типы скоростных фильтров; большинство их реализовано в области *f*-*k*, данная зона которой может быть обнулена. Недостаток *f*-*k*-фильтров заключается в наличии краевых эффектов, которые оказывают отрицательное воздействие при применении на ограниченной выборке, поэтому они должны быть сглажены в области *f*-*k*, что обеспечивает малую длину в *x*. Эта проблема может быть решена путем линейного преобразования в область τ-*p*.

Оставшийся недостаток состоит в том, что эти фильтры являются детерминистическими, т.е. зона области *f*-*k* или τ-*p,* которая должна быть обнулена, определяется пользователем. Обычно эта зона задается как диапазон скоростей,

один для всех выборок. Поскольку эти скорости точно не известны, и изменяются от выборки к выборке, должен быть определен достаточно большой интервал. Это вызывает проблемы сохранения сигнала в двух случаях: когда скорости меньше скоростей сигнала, но конечная пространственная частота Найквиста обуславливает перекрывание скоростей сигнала веером (fan). Второй случай: скорости помех попадают в диапазон скоростей сигнала. Тем не менее, несмотря на эти ограничения, скоростные фильтры во многих ситуациях могут ослаблять когерентные помехи.

Наборы данных обменных *P-S*-волн имеют ряд свойств, которые затрудняют ослабление когерентных помех. Во-первых, часть *P*, для данного выноса, распространяется с большим углом, нежели в данных *P-P*-волн; это означает, что каналовые волны обладают большей энергией. Далее, в данных *P-P*-волн, на больших временах, ближние выносы обычно свободны от когерентных помех, и могут вносить полезный вклад в сумму, но для обменных *P-P*-волн, ближние выносы содержат также сигнал с низкой энергией. Таким образом, вероятно перекрывание сигнала и помехи в области *t-x*. Наконец, скорости суммирования малы, поэтому они, скорее всего, попадают в зону когерентных помех.

Ослабление дисперсионных помех

Наша задача состоит в том, чтобы обойти ограничения скоростных фильтров, точно используя дисперсионный характер помехи. Если *p* – это количество мод, для каждой частоты *f* помеха существует в *p* точках области *k*. Это означает предсказуемость помех в *x*. Поскольку дисперсионные кривые непрерывны, фильтры ошибки предсказания сглажены в *f*. Следовательно, мы можем заключить, что помеха предсказывается двумерным фильтром ошибки предсказания *a(t,x)* малой длины в *t* и длиной p выборок в *x*. Этот фильтр содержит информацию о дисперсионном соотношении: дисперсионные кривые – это кривые, вдоль которых двумерное преобразование Фурье фильтра ошибки предсказания всегда равняется нулю ($A(f,k) \approx 0$). После выделения области *t-x* с преобладанием когерентных помех, двумерный фильтр ошибки предсказания *a(t,x)* оценивается согласно схеме проекционной фильтрации (projection filtering scheme), которая рассмотрена у Soubaras (2000). Сложность использования предсказуемости когерентных помех заключается в том, что сейсмический сигнал является квазипредсказуемым. Проекционная фильтрация применяет к данным фильтр предсказания ошибок после автодеконволюции (Soubaras, 1994). Ключевым параметром является предварительное отбеливание, которое зависит от уровня предсказуемости. Сейсмические отражения являются квазипредсказуемыми, и предварительное отбеливание, используемое для выделения квазипредсказуемого сейсмического сигнала, $\varepsilon = 0.3$. Дисперсионные помехи могут быть намного более предсказуемыми, и возможно применение предварительного отбеливания $\varepsilon = 0.01$, что соответствует фильтру с весьма высокой избирательностью. Таким образом, гарантируется сохранение сигнала путем расчета фильтра ошибки предсказания по зоне с преобладанием помех, и использования весьма узкополосного фильтра для выделения дисперсионной помехи. Следовательно, даже если спектр помех перекрывается со спектром сигнала, поддерживается минимальная ширина участка перекрывания. Фильтр ошибки предсказания после автодеконволюции применяется к данным путем примене-

ния изменяющейся в пространстве рекурсивной *f-x*- фильтрации (Soubaras, 1995b), т.е. краевые эффекты отсутствуют. Это особенно важно, поскольку фильтр обладает весьма высокой избирательностью в области f-k; следовательно, он очень длинный в области *t-x*.

Пример реальных данных

Данные, полученные с помощью горизонтального сейсмоприемника, примененного в двумерной съемке ОВС, были обработаны с целью ослабления значительных когерентных помех. Предложенный алгоритм был применен на каждой выборке ОТП. На рис.1-a показана необработанная выборка (прямые трассы). Она осложненная тремя типами помех: низкоскоростной низкочастотной поверхностной волной (волной Stoneley) в диапазоне 300-500 м/с, волной Лява, сформированной водным слоем в диапазоне скоростей 1500-2000 м/с и в широкой полосе частот, и помехой, сформированной отраженной волной на времени 3 секунды, со скоростью около 3000 м/с. Низкоскоростная поверхностная волна не представляет особой проблемы, поскольку является низкочастотной, и была ослаблена скоростным фильтром. Это детерминистический проекционный *f-x*-фильтр, созданный путем применения в области *x* полосового фильтра в *k* для каждой частоты *f* (Soubaras, 1995a). Проблема волны Лява была решена с помощью предложенного проекционного фильтра ослабления статистической дисперсионной помехи, где двумерный фильтр ошибки предсказания был рассчитан по вееру 1500 2000 м/с в области *t-x*. На рис.2-a показан *f-k*-спектр импульсного отклика помехи примененного проекционного фильтра. Можно видеть две дисперсионные кривые, косвенным образом рассчитанные алгоритмом. Они похожи на теоретические дисперсионные кривые волн Лява. Можно проверить высокую избирательность фильтра. После расчета фильтра в зоне помех, он применяется ко всей выборке для оценки помех, которые затем вычитаются из данных. Когерентные помехи со скоростью около 3000 м/с были ослаблены аналогичным образом. Для них, фильтр ошибки предсказания был рассчитан по односекундному окну в окрестности 3 секунды, где преобладают эти помехи. На рис.2-b показан импульсный отклик помехи, который имеет одну кривую с весьма высокой избирательностью. Этот фильтр был применен после времени 3 секунды с целью выделения когерентной помехи.

На рис.1-b показана обработанная выборка, которая намного чище, нежели выборка до обработки. Сейчас высокие скорости на больших временах стали явными. На рис.3 показана глубинная часть необработанной суммы. Содержание помех весьма высоко. На рис.4 представлена сумма после рассмотренного выше ослабления дисперсионных помех на выборках ОТП, ослабления случайных помех на выборках ОПВ с помощью проекционного *f-x*-фильтра, и ослабления циклических помех после суммирования.

Заключение

Представлен алгоритм для ослабления дисперсионных помех. Поскольку он косвенным образом рассчитывает дисперсионное соотношение, его избирательность может быть весьма высокой, что обеспечивает ослабление помехи

без повреждения сигнала. Алгоритм особенно полезен для наборов данных обменных *P-S*-волн, где применение скоростных фильтров всех типов опасно, поскольку скорости помех близки к скоростям суммирования.

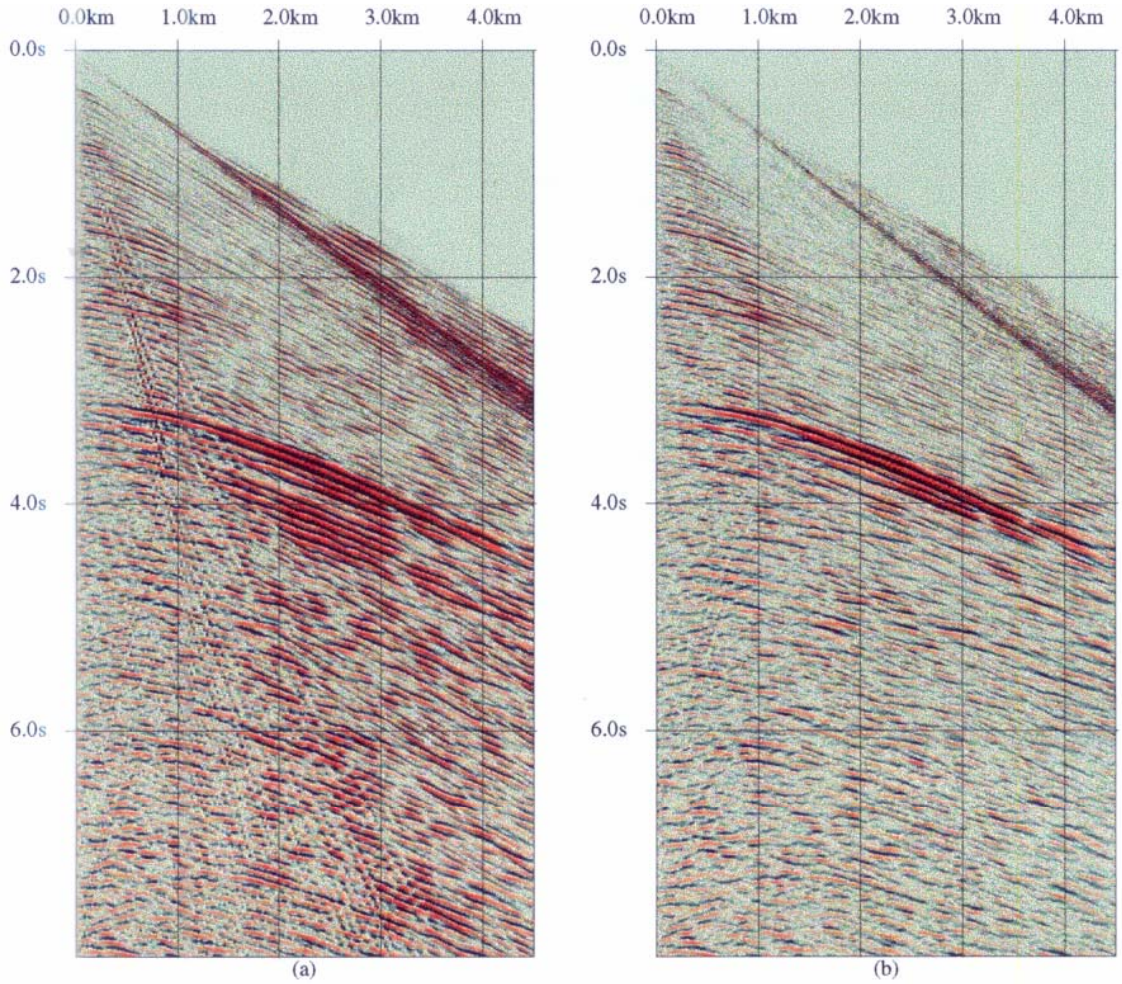


Рис.1 Необработанная (a) и обработанная (b) выборка ОТП.

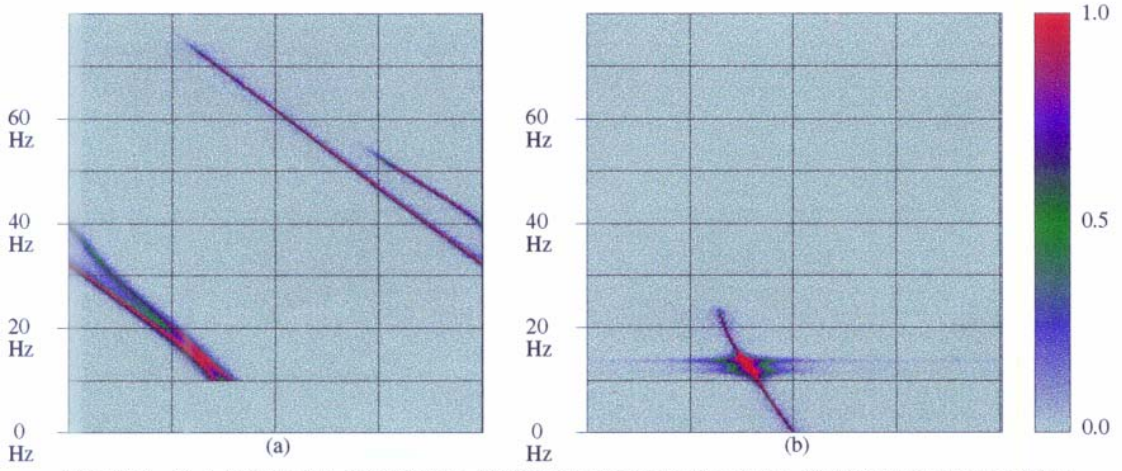


Рис.2 F−k спектры импульсных откликов помехи: волна Лява (a) и высокоскоростная помеха (b)

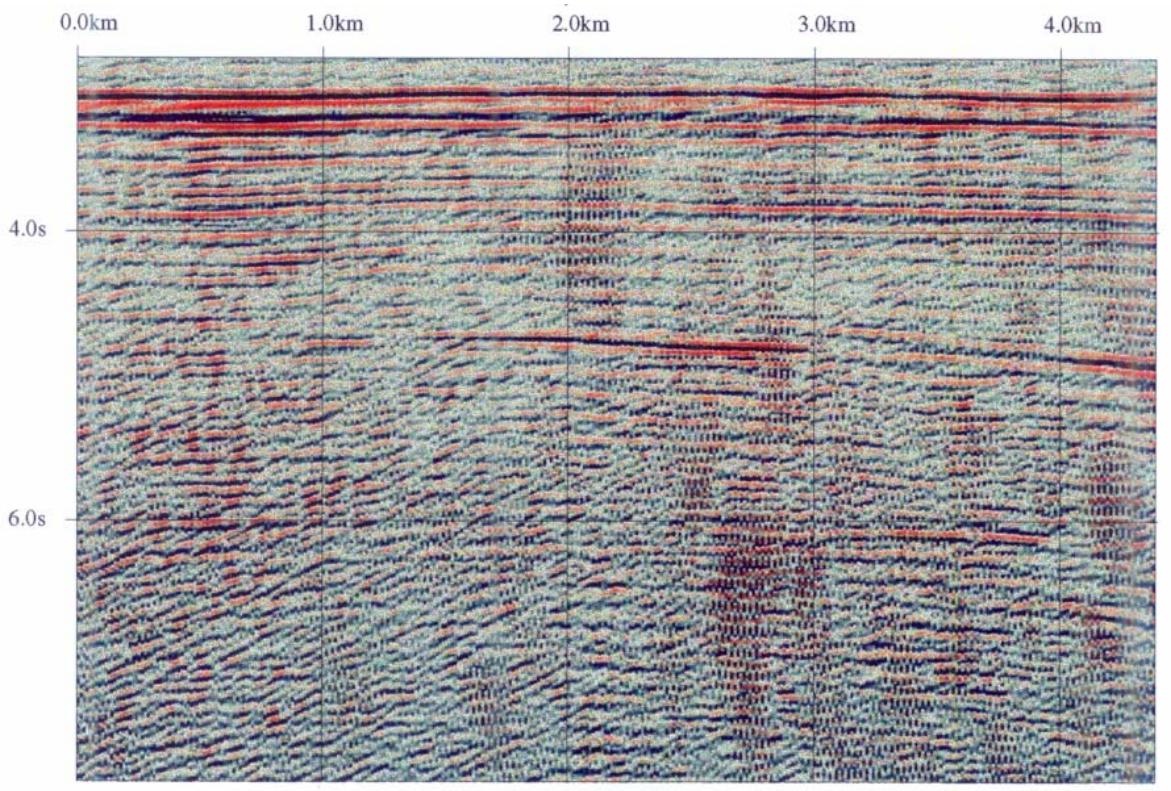


Рис.3 Необработанная сумма.

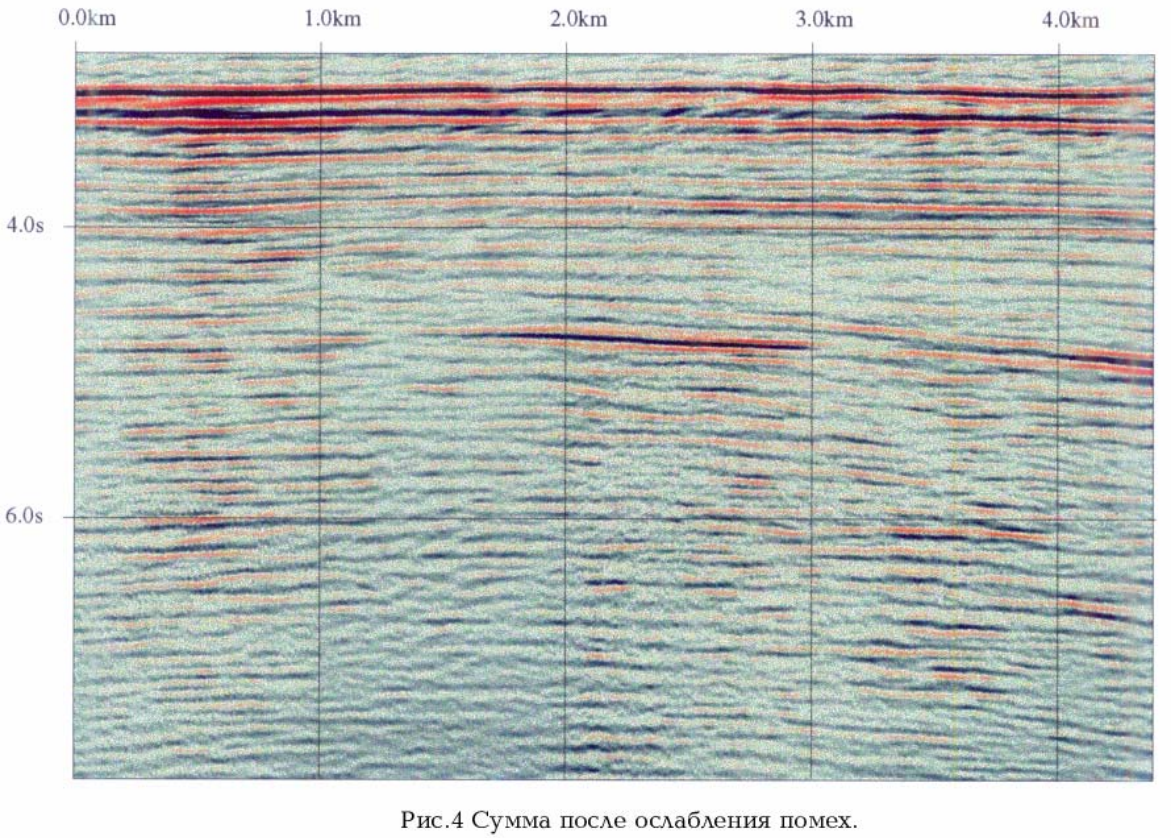


Рис.4 Сумма после ослабления помех.