

РЕДАКТИРОВАНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛНОВЫХ ПОЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ РАСПОЗНАВАНИЯ И КОРРЕКЦИЯ ЗАПИСЕЙ ВСП ПУТЕМ МИНИМИЗАЦИИ ЭНТРОПИИ ДВУМЕРНЫХ СПЕКТРОВ

А.А. Табаков, К.В. Баранов, А.К. Душутин, А.Ю. Барков

Аннотация

Рассматривается метод редактирования нерегулярных искажений и нестационарных гармонических помех в сейсмических трассах. Метод основан на анализе признаков, характеризующих помеху, и принятии решения на основе предшествующего опыта. После принятия решения о наличии помехи производится коррекция участка трассы, содержащего помеху.

Для оценки статических сдвигов в волновых полях ВСП предложен метод, базирующийся на минимизации энтропии двумерных спектров.

Введение

Часто в исходных сейсмических записях присутствуют шумы, связанные с ошибками кодирования сигнала и перегрузками АЦП. Эти шумы имеют вид одиночных амплитудных выбросов и срезов высоких амплитуд (рис. 1А, 1Б). Предлагаемый метод устранения подобной помехи основан на разделении области сигнала и помехи. После высокочастотной фильтрации полезный сигнал подавляется почти полностью, а отфильтрованная сейсмограмма представляет собой свертку шумовых импульсов с собственным процессом фильтра. Для оценки времен и амплитуд шумов применяется итеративное вычитание с уточнением [4].

При отсутствии соседствующих импульсов точность определения шумов очень высокая. Однако для близко расположенных импульсов результаты значительно хуже, вплоть до искажения исходных данных. Проблема может быть решена путем предварительного обнаружения шумовых отсчетов, что резко повышает однозначность

результатов. Распознавание шумовых отсчетов выполняется с использованием искусственных нейронных сетей.

Значительно ухудшают качество исходных данных трассы с участками несейсмической записи, то есть с наличием временных интервалов с резко отличными по частоте и интенсивности записями, обусловленными техногенными причинами. Эти шумы имеют вид локализованных во времени затухающих гармонических помех (рис. 1В). В большинстве существующих производственных пакетов для борьбы с этим видом помехи не предусмотрено никаких программ кроме ручного редактирования или обнуления. Применение же различных фильтров существенно искажает полезный сигнал и не решает задачу в целом. При решении этой проблемы предлагается также применять методы распознавания образов. Исследуемая сейсмическая трасса разбивается на равные временные интервалы, а затем происходит их классификация по спектральному составу на содержащие помеху и не содержащие. После локализации помехи ее нетрудно подавить.

Наличие статических сдвигов в сейсмических записях ВСП существенно снижает качество результатов обработки. Как правило, проблема внесения статических поправок в исходные записи ВСП решается, если при проведении работ был задействован наземный контрольный прибор. Однако часто он либо не используется, либо его записи ненадлежащего качества. В настоящей работе для оценки статических сдвигов предлагается применить метод одновременной минимизации энтропии двумерных спектров падающих и восходящих волн.

Перечисленные подходы, основанные на комплексировании методов распознавания и коррекции, позволяют автоматизировать процесс редактирования исходных данных и значительно повысить качество исходных записей.

Редактирование сейсмических волновых полей с применением искусственных нейронных сетей (ИНС)

Выявление помехи осуществляется на основе классификации отсчетов трассы по их атрибутам (рис. 2А, 2Б) на шумовые и нешумовые.

В данной работе для предварительного обнаружения шумовых отсчетов применяется искусственная многослойная нейронная сеть. Для обучения ИНС применяется алгоритм обучения «с учителем», а именно алгоритм обратного распространения.

Основу каждой ИНС составляют относительно простые элементы, имитирующие работу нейронов головного мозга. Каждый нейрон характеризуется своим текущим состоянием – либо возбужден, либо заторможен. Он обладает группой синапсов – однонаправленных входных связей, а также имеет аксон – выходную связь данного нейрона, с которой сигнал поступает на синапсы следующих нейронов. Каждый нейрон характеризуется величиной своей синаптической связи, или весом w_i . Текущее состояние

нейрона определяется как взвешенная сумма его входов: $s = \sum_{i=1}^n x_i w_i$. Выход нейрона есть

функция его состояния: $y = f(s)$, f – функция активации.

Задача обучения ИНС состоит в том, чтобы для некоторого множества входов давать желаемое (или, по крайней мере, сообразное с ним) множество выходов. Каждое входное (или выходное) множество рассматривается как вектор. Обучение осуществляется путем последовательного предъявления входных векторов с одновременной подстройкой весов в соответствии с определенной процедурой. В процессе обучения веса сети постепенно становятся такими, чтобы каждый входной вектор вырабатывал желаемый выходной вектор. Подробнее алгоритм работы и обучения ИНС описан в работе [7], а в журнале «Геофизика» подробное описание приведено в статье [6].

Выбор атрибутов для классификации осуществляется таким образом, что они характеризуют как каждый отсчет в отдельности, так и их связи между собой. В наборе атрибутов целесообразно предусмотреть и избыточность информации, что для искусственной нейронной сети является оправданным.

Процесс обучения нейронной сети может быть представлен как поиск глобального минимума функции ошибки. В процессе поиска возможны следующие нежелательные ситуации: низкая скорость сходимости и попадание в локальные минимумы. Эти две проблемы побуждают к модифицированию стандартного алгоритма обучения.

Для предотвращения попадания в локальные минимумы целесообразно добавить в систему обучения процедуру добавления новых нейронов с произвольными весами и ренормализацию весов.

Добавление нейрона с произвольным весом позволяет алгоритму «выскочить» из локального минимума, а ренормализация весов позволяет начать процесс минимизации ошибки заново, но с другим начальным приближением и другим числом нейронов.

Самоорганизация сети (изменение числа нейронов) в процессе обучения решает еще одну задачу – это задание адекватного для поставленной задачи числа нейронов.

После того, как положения шумовых отсчетов найдены, с помощью интерполяции предварительно оценивается их амплитуда. Найденные таким образом параметры помехи подаются на процедуру итеративного уточнения и вычитания [4].

После предварительного обучения на заданных образах алгоритм работает, не требуя никаких дополнительных параметров.

Для борьбы с гармоническими помехами, локализованными по времени (рис. 1В), также применяются методы распознавания образов. Исследуемая сейсмическая трасса разбивается на равные временные интервалы, и анализируются их спектры. В этом случае в качестве входного вектора сети подаются отсчеты амплитудного спектра анализируемого интервала. В процессе обучения (с учителем) формируется принцип

классификации. После выявления и локализации помехи, по соседним участкам трассы формируется спектральный образ интервала, содержащего помеху, и строится фильтр, подавляющий в нем шумовые частоты. Методика действует локально, не искажая полезного сигнала всей трассы, и после предварительного обучения может работать над поиском и устранением помехи без подстройки входных параметров.

Предлагаемый подход, заключающийся в предварительной локализации помехи, позволяет значительно повысить эффективность редактирования, уменьшив при этом искажения полезного сигнала (рис. 1Г, Д, Е).

Выбор искусственной нейронной сети для решения задач классификации в данной работе обусловлен возможностью обучения на примерах, что выгодно отличает ее от других методов кластеризации (таких как байесовская классификация, факторный анализ и др.).

Коррекция записей ВСП с применением минимизации энтропии двумерных спектров

Идея предлагаемого метода определения статических поправок основывается на том, что наличие случайных сдвигов в исходном поле ВСП приводит к возрастанию энтропии его двумерного спектра (рис. 3).

На рис. 4 приведен пример влияния сдвига одной трассы в модельном поле относительно нулевого положения на изменение уровня энтропии двумерного спектра. Как видно из приведенного графика, положение минимума однозначно указывает на истинное положение трассы в сейсмическом поле. Данный эффект сохраняется и в том случае, когда сдвигу подвержена не одна трасса, а несколько.

Таким образом, подбирая сдвиги и контролируя уровень энтропии в спектре, мы можем выстроить все трассы в положение с минимальной энтропией двумерного спектра. Но в силу того, что энергия падающих волн значительно превышает энергию восходящих,

минимизация энтропии всего спектра приведет к спрямлению годографа падающей волны. Для избежания сглаживания реальных неоднородностей годографа целесообразно контролировать изменение уровня энтропии отдельно для падающих и восходящих волн. Это нетрудно сделать, так как в спектральной области волновое поле ВСП разделяется по противоположным направлениям таким образом, что падающие и отраженные волны оказываются в различных его частях.

Расчет энтропии двумерного спектра производится по формуле

$$E = -\sum_i p_i \log p_i$$

Суммирование производится по всей исследуемой области спектра, соответствующей падающим или отраженным волнам. В качестве аргумента положена нормированная по экстремумам величина двумерного амплитудного спектра.

Опытным путем было установлено, что рассчитанная таким образом энтропия значительным образом откликается на сдвиг одной трассы на величину порядка 0.1 отсчета.

Таким образом, алгоритм коррекции статических сдвигов состоит в оценке минимума графиков зависимости энтропии в области падающих и восходящих волн от сдвигов. Перебор сдвигов осуществляется в некотором заданном диапазоне.

Получив для одной трассы зависимость уровня энтропии от величины сдвига, мы можем точно говорить об ее истинном положении только в случае совпадения минимумов в левой и правой части спектра.

Процесс выполняется последовательно для всех или выбранных из диапазона трасс профиля ВСП. Ограничение данного алгоритма возможно в области прихода головной волны. В этом случае первая регистрируемая волна сейсмического поля в спектральной области попадает в зону восходящих волн, и оценки энтропии искажаются.

На рис. 5 приведен пример оценки статических поправок для реальных данных.

Получено реалистичное сглаживание годографов падающих и восходящих волн.

Преимуществом метода является его полная автономность в процессе работы – не требуется вмешательство геофизика и наличие контрольного прибора.

Выводы

Предлагаемые методы редактирования и коррекции данных позволяют:

- эффективно удалить нерегулярные искажения и наведенные нестационарные помехи из исходных сейсмических записей с минимальным изменением формы полезного сигнала;
- рассчитать и ввести статические поправки в волновом поле ВСП при отсутствии записей контрольного прибора;
- автоматизировать процесс предобработки исходных данных;
- минимизировать участие обработчика в процессе предобработки данных.

Литература

1. D. M. McCormack, D. E. Zaucha, D. W. Dushek. First-break refraction event picking and seismic data trace editing using neural networks. *Geophysics*. 1993. Vol. 58. No. 1. P. 67-78.
2. D. E. Rumelhart, G. E. Hinton, R. J. Williams. Learning internal representations by error propagation in parallel distributed processing. Cambridge, MA: MIT Press. 1986. Vol. 1. P. 318-362.

3. В.Н. Ференци, И.В. Яковлев, А.Ю. Барков. Редактирование гармонических и всплесковых шумов в записях ВСП. Тезисы докладов научно-практической конференции «Состояние и перспективы развития метода ВСП». 2001. С. 69.
4. А.Ю. Барков, И.В. Яковлев. Автоматическое редактирование сейсмограмм. Тезисы международной конференции «Новые идеи в науках о земле». 2001.
5. О.К. Кондратьев. Автоматизированные системы оценки качества сейсмограмм и волновых сейсмических разрезов ОГТ. Геофизика. 2002. Специальный выпуск. «Технологии сейсморазведки -1».
6. Ю.А. Пустарнакова, Э.Р. Ахметова. Искусственная нейронная сеть как инструмент прогнозирования геологических параметров по сейсмическим атрибутам и данным бурения. Геофизика. 2002. Специальный выпуск. «Технологии сейсморазведки -1».
7. Ф. Уоссермен «Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика» Перевод на русский язык, Ю. А. Зуев, В. А. Точенов, 1992.