го типа // Письма в ЖТФ. – 1990. – Т.16. - № 22. – С.78-80.

3. Григорьев В.П. Электромагнитное излучение в коаксиальном триоде с виртуальным катодом // Журнал технической физики.– 1994. – Т.64. – №7. – С. 122-129.

4. Jiang W., Woolverton K., Dickens J., Kristiansen M. High Power Microwave Generation by a Coaxial Virtual Cathode Oscillator // IEEE transaction on plasma science. – 1999. – v.27. – N 5. – P.1538-1542.

5. Tuan N.M., Koval T.V., Melnikov G.V., Zherlitsyn A.G. The Research of the Coaxial Vircator with a Symmetric Converging Electron Beam // Proc. of 16th International Symposium of Hidh Current Electronics. Tomsk. Russia, September 19-24, 2010. – P. 497-500

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПРОСЛЕЖИВАНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ПО ФАЗОЧАСТОТНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ (ФЧХ)

Нгуен Суан Хунг
Научные руководители: Кочегуров А.И., Иванченков В.П.
Томский политехнический университет
634050, Россия, г. Томск, пр–т Ленина, 30
E-mail: nxh1216@gmail.com

Введение

Одной их основных задач прослеживания сейсмических волн является обнаружение фиксированных волн. Для решения этой задачи в сейсморазведке предложен ряд методов, использующих в качестве информативных признаков, преимущественно энергетические характеристики сигналов. В тоже время, в сложных сейсмогеологических условиях информативность фазочастотных характеристик (ФЧХ) может оказаться значительно выше по сравнению с энергетическими. В фазу сигнала, точнее в сложный закон изменения фазового спектра, может быть заложена информация, позволяющая наиболее эффективно выделять сигналы из помех и производить оценку их параметров.

В этой связи перейдем к разработке методов обнаружения сигналов по информации, извлекаемой из ФЧХ регистрируемых волн.

Фазочастотное обнаружение сейсмических сигналов

Предположим, что при конкретном значении l имеется участок сейсмической трассы x(k), который может содержать только помеху *ξ(t)* или аддитивную смесь сигнала S(t) и помехи *ξ(t)*.

На основании моделей сейсмограмм и отдельных сейсмоимпульсов примем: $S(t) = S_d(T)$, где $S_d(T)$ - множество сигналов ограниченной длительности; *ξ(t)* - стационарная гауссова помеха, имеющая корреляционную функцию $\sigma_\xi^2 R_\xi(\tau)$.

Задача состоит в том, чтобы построить процедуру обнаружения сигналов, когда оптимальной обработке подвергается только ФЧХ анализируемого участка сейсмотрассы.

Оптимальное фазочастотное обнаружение сейсмических сигналов

Будем считать, что условия Дирихле выполняются. Тогда представим функции *ξ(t)*, S(t) и x(t) = S(t)+ *ξ(t)* на интервале времени T в частотной области Ω с помощью преобразования Фурье:

$$F\{\xi(t)\} = \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} \xi(t)\cdot e^{-j\omega t}dt;$$

$$F\{s(t)\} = \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} s(t)\cdot e^{-j\omega t}dt; \qquad (1)$$

$$F\{x(t)\} = \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} \xi(t)\cdot e^{-j\omega t}dt, \quad \omega\in\Omega$$

где F – символ преобразования Фурье; Ω – область частот, где сосредоточена основная энергия сигнала.

Введем следующие обозначения:
$\varphi_s(\omega) = \mathrm{arctg}\dfrac{\mathrm{Im}[F\{S(t)\}]}{\mathrm{Re}[F\{S(t)\}]} + 2\pi n$ – Фазочастотная характеристика (ФЧХ) сигнала;

$\varphi_\xi(\omega) = \mathrm{arctg}\dfrac{\mathrm{Im}[F\{\xi(t)\}]}{\mathrm{Re}[F\{\xi(t)\}]} + 2\pi n$ – ФЧХ помехи;

$\varphi_x(\omega) = \mathrm{arctg}\dfrac{\mathrm{Im}[F\{x(t)\}]}{\mathrm{Re}[F\{x(t)\}]} + 2\pi n$ – ФЧХ смеси сигнала с помехой;

Теперь, с учетом имеющейся априорной информации, для построения оптимального фазочастотного критерия обнаружения сигнала, используем метод максимального правдоподобия, для реализации которого необходимо сформировать следующее отношение:

$$L(\Delta\varphi) = \frac{W_m\left(\Delta\varphi(\omega_1), \Delta\varphi(\omega_2), \ldots, \Delta\varphi(\omega_m) \middle| H_1\right)}{W_m\left(\varphi_\xi(\omega_1), \varphi_\xi(\omega_2), \ldots, \varphi_\xi(\omega_m) \middle| H_0\right)} \quad (2)$$

где $W_m(\Delta\varphi(\omega_1), \Delta\varphi(\omega_2), \ldots, \Delta\varphi(\omega_m)|H_1)$ – m-мерная плотность вероятности отклонения ФЧХ смеси от ФЧХ сигнала в предположении, что верна гипотеза H_1 (сигнал есть); $W_m\left(\varphi_\xi(\omega_1), \varphi_\xi(\omega_2), \ldots, \varphi_\xi(\omega_m)|H_0\right)$ – m-мерная плотность вероятности отклонения ФЧХ помехи в предположении, что верна гипотеза H_0 (сигнала нет); $m = \frac{\Omega}{\Delta\omega}$ – число учитываемых спектральных компонент; $\Delta\omega$ – шаг дискретизации по частоте.

Если $|\varphi_x(\omega)| \le \pi$ и $|\varphi_s(\omega)| \le \pi$, то одномерная плотность вероятности значений ФЧХ помехи равна $W(\varphi_\xi(\omega_k)) = \frac{1}{2\pi}$, а $\varphi_x(\omega)$ совпадает с угловой координатой вектора $(\rho\cos\varphi_x(\omega_k),\ \rho\sin\varphi_x(\omega_k))$. В этом случае одномерная плотность вероятности для $\Delta\varphi(\omega_k)$ выражается аналогично:

$$W\big(\Delta\varphi(\omega_k)\big) = \frac{1}{2\pi}\cdot\exp\left(-\frac{\delta^2(\omega_k)}{2}\right) + \frac{\delta(\omega_k)}{\sqrt{2\pi}}\cdot\cos(\Delta\varphi(\omega_k))\cdot\Phi[\delta(\omega_k)\cdot\cos(\Delta\varphi(\omega_k))]\cdot \exp\left(-\frac{\delta^2(\omega_k)}{2}\cdot\sin^2(\Delta\varphi(\omega_k)\right) \quad (3)$$

где Ф – преобразование Лапласа.

В выражении (3) $\delta^2(\omega_k)$ имеет смысл отношения сигнал помеха на частоте ω_k и определяется как:

$$\delta^2(\omega_k) = \frac{A_s^2(\omega_k)}{\sigma^2(\omega_k)}$$

где $A_s(\omega_k)$ – значение АЧХ сигнала на частоте ω_k; $\sigma^2(\omega_k)$ – значение дисперсии, пропорциональной спектральной плотности помехи на частоте ω_k,

$$A_s(\omega) = \sqrt{\mathrm{Re}^2[F\{S(t)\}] + \mathrm{Im}^2[F\{S(t)\}]}$$

$$\sigma^2(\omega) = D[F\{\xi(t)\}] = E(\mathrm{Re}^2[F\{\xi(t)\}] + \mathrm{Im}^2[F\{\xi(t)\}])$$

Для получения многомерных плотностей вероятности ФЧХ смеси и помехи воспользуемся тем, что при соответствующем выборе значения ФЧХ в выборке $\Delta\omega$ можно считать статистически независимым. Тогда:

$$W_m\big(\varphi_\xi(\omega_1),\varphi_\xi(\omega_2),...,\varphi_\xi(\omega_m)\big|H_0\big) = \prod_{k=1}^{m} W\big(\varphi_\xi(\omega_k)\big) = \left(\frac{1}{2\pi}\right)^m;$$

$$W_m\big(\Delta\varphi(\omega_1,\Delta\varphi(\omega_v,...,\Delta\varphi(\omega_m)\big|H_1\big) = \prod_{k=1}^{m}\left\{\begin{array}{l} \frac{1}{2\pi}\cdot\exp\left(-\frac{\delta^2(\omega_k)}{2}\right) + \\ +\frac{\delta(\omega_k)}{\sqrt{2\pi}}\cdot\cos(\Delta\varphi(\omega_k))\cdot\Phi[\delta(\omega_k)\cdot\cos(\Delta\varphi(\omega_k))]\cdot \\ .\exp\left(-\frac{\delta^2(\omega_k)}{2}\cdot\sin^2(\Delta\varphi(\omega_k)\right) \end{array}\right\} \quad (4)$$

Подставляя (4) в выражение (2), получим (5) имеет следующий вид:

$$L(\Delta\varphi) = \prod_{k=1}^{m}\left\{\begin{array}{l} \exp\left(-\frac{\delta^2(\omega_k)}{2}\right) + \\ +\sqrt{2\pi}\cdot\delta(\omega_k)\cdot\cos(\Delta\varphi(\omega_k))\cdot \\ \cdot\Phi[\delta(\omega_k)\cdot\cos(\Delta\varphi(\omega_k))]\cdot \\ \cdot\exp\left(-\frac{\delta^2(\omega_k)}{2}\cdot\sin(\Delta\varphi(\omega_k)\right) \end{array}\right\} \quad (5)$$

В соответствии с критерием максимального правдоподобия принимается решение о том, что «сигнал есть», если $L(\Delta\varphi) > C$, и принимается решение о том, что «сигнала нет», если $L(\Delta\varphi) < C$.

Прологарифмируем выражение (5) получаем:

$$\ln L(\Delta\varphi) = \sum_{k=1}^{m}\ln\left\{\begin{array}{l} \exp\left(-\frac{\delta^2(\omega_k)}{2}\right) + \\ +\sqrt{2\pi}\cdot\delta(\omega_k)\cdot\cos(\Delta\varphi(\omega_k))\cdot \\ \cdot\Phi[\delta(\omega_k)\cdot\cos(\Delta\varphi(\omega_k))]\cdot \\ .\exp\left(-\frac{\delta^2(\omega_k)}{2}\cdot\sin^2(\Delta\varphi(\omega_k)\right) \end{array}\right\} \quad (6)$$

и учитывая, монотонный характер логарифмической функции, запишем: принимается решение о том, что «сигнал есть», если $\ln L(\Delta\varphi) > \ln C$, и принимается решение о том, что «сигнала нет», если $\ln L(\Delta\varphi) < \ln C$.

Заключение

В рамках выполнения работы был разработан метод фазочастотного прослеживания сейсмических сигналов, включающий оптимальные процедуры обнаружения.

Получены аналитические выражения для вероятностей ошибок обнаружения. Получен вывод о том, что «сигнал есть», если $\ln L(\Delta\varphi) > \ln C$, и принимается решение о том, что «сигнала нет», если $\ln L(\Delta\varphi) < \ln C$.

Литература

1. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. – М.: Сов. радио, 1974. – кн. I. – 552 с.
2. Отнес Р., Эноксон Л. Прикладной анализ временных рядов. – М.: Мир, 1982. – 428 с.
3. Пестряков В.Б. Фазовые радиотехнические системы (основы статистической теории) «Советское радио», 1968. – 468 с.
4. Куликов Е.И. Вопросы оценок параметров сигналов при наличии помех. М., «Советское радио», 1969 г., 244 с.