

УДК 550.837.2:62396.6

ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ РАДАРОГРАММ

Д. С. СИВАЦКИЙ

(Представлено: канд. техн. наук, доц. В. Ф. ЯНУШКЕВИЧ)

Выполнен анализ методов обработки отражённых сигналов. Проводится сравнение результатов обработки сигналов на основе дискретного преобразования Фурье и метода максимального правдоподобия. Результаты исследования могут быть применены для получения высокой разрешающей способности по глубине при решении задачи обнаружения и идентификации заглубленных объектов.

Ключевые слова: радарограмма, сверхразрешение, преобразование Фурье.

Для получения высокого разрешения по глубине, при решении задачи обнаружения и идентификации заглубленных объектов, актуальной становится задача применения современных высокоэффективных методов обработки отраженных (рассеянных) сигналов [1-5].

Для практической реализации адаптивных алгоритмов "сверхразрешения" спектральный анализ необходимо производить на ограниченном одним линейным периодом модуляции участке реализации частоты биений. Это требует синхронизации работы передающего модуля (ПдМ), приемного модуля (ПрМ) и блока оцифровки с целью получения реализации сигнала с выхода ПрМ, соответствующей линейному участку изменения частоты зондирующего сигнала (ЗС).

Длительность модулирующего импульса фактически ограничивается требуемым сдвигом частот биений в частотной области:

$$T_m = \frac{L_{\pi} \Delta f}{f_{\text{ЗС}} c}, \quad (1)$$

где L_{π} – путь прямого прохождения сигнала, который включает длину соединительного кабеля от ПдМ к антенне А1, расстояние между А1 и А2 и длину кабеля от антенны А2 к ПрМ; $f_{\text{ЗС}}$ – требуемая минимальная частота биений, соответствующая прямому прохождению сигнала между антеннами.

Выполняя контролируемое масштабирование частотной оси спектра принимаемого сигнала посредством выбора T_m , нетрудно переместить $f_{\text{ЗС}}$ в область, где реализуется эффективная линейная фильтрация помеховых составляющих.

Для обеспечения $f_{\text{ЗС}} = 100 \text{ кГц}$ и ГУН с $\Delta f = 0,5..1 \text{ ГГц}$ при $L_{\pi} = 0,3 \text{ м}$, необходимо реализовать длительность модулирующего импульса $T_m = 5..10 \text{ мкс}$. При этом для объекта, расположенного на глубине 5 м., значение частоты биений составит порядка 3 МГц.

Частота дискретизации, достаточная для оцифровки компоненты биений максимально возможной частоты, соответствующей объекту с максимальным заглублением:

$$f_{\text{д}} = \frac{N}{T_m}, \quad (2)$$

где N – количество точек дискретизации, обеспечивающее получение глубинного портрета достаточного качества; T_m – длительность зондирующего импульса.

При $N = 256$ и принятой длительности зондирующего импульса $T_m = 10,24 \text{ мкс}$, частота дискретизации для оцифровки сигнала должна составить не менее 25 МГц.

Расчетное значение разностной частоты определяется выражением:

$$f_{r,m} = \frac{4\Delta f_0}{T_0 c} \left[r_{\text{г}}^2 + r_{\text{г}} \sqrt{\varepsilon} \right], \quad (3)$$

где Δf_0 – ширина спектра зондирующего сигнала; T_0 – длительность радиоимпульса; $r_{\text{г}}^2$ – высота подъема антенного модуля над поверхностью земли; $r_{\text{г}}$ – глубина залегания наблюдаемого объекта c – скорость распространения электромагнитной волны в вакууме; ε – диэлектрическая проницаемость исследуемой среды.

Решение задачи вычисления радиолокационного глубинного портрета (РГП) обеспечивается спецвычислителем, получающим отсчеты разностной частоты с блока оцифровки.

Радиолокационный портрет P формируется коррелограммным методом в соответствии с классическим преобразованием Фурье и реализующим алгоритм дискретного преобразования Фурье (ДПФ):

$$P_n = \left| S_0^{*n} \overline{RS_0^n} \right|, n = \overline{0, N_a - 1}, \quad (4)$$

где S_0 – матрица опорных; частот R – прямая ковариационная матрица, полученная для разностных частот при классическом Фурье-преобразовании; N_a – число элементов сформированного глубинного портрета.

Глубинные портреты последовательно выводятся на индикатор, где формируется изображение "среза" среды поиска.

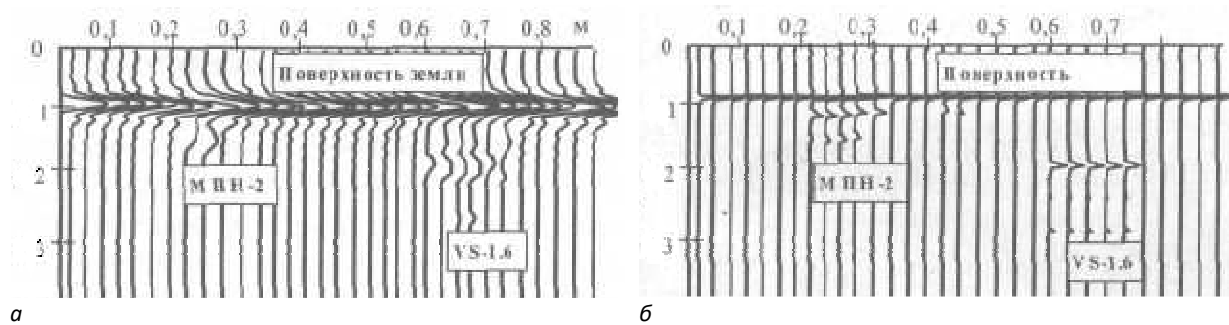
На основании данной информации производится оценка однородности среды, и в случае присутствия достаточно крупных объектов интересующая область подвергается анализу алгоритмом получения сверхразрешения по методу максимального правдоподобия (ММП) [6]. Затем при необходимости дополнительно вычисляется обратная корреляционная матрица R^{-1} и используется адаптивный алгоритм на основе метода максимального правдоподобия [7,8].

Вычисление производится по формуле

$$P = |S_0^{<n>T} Q S_0^{<n>}|, n = \overline{0, N_f - 1}, \tag{5}$$

где $Q = R^{-1}$ – обратная корреляционная матрица анализируемого сигнала, полученная для разностных частот при адаптивном ММП.

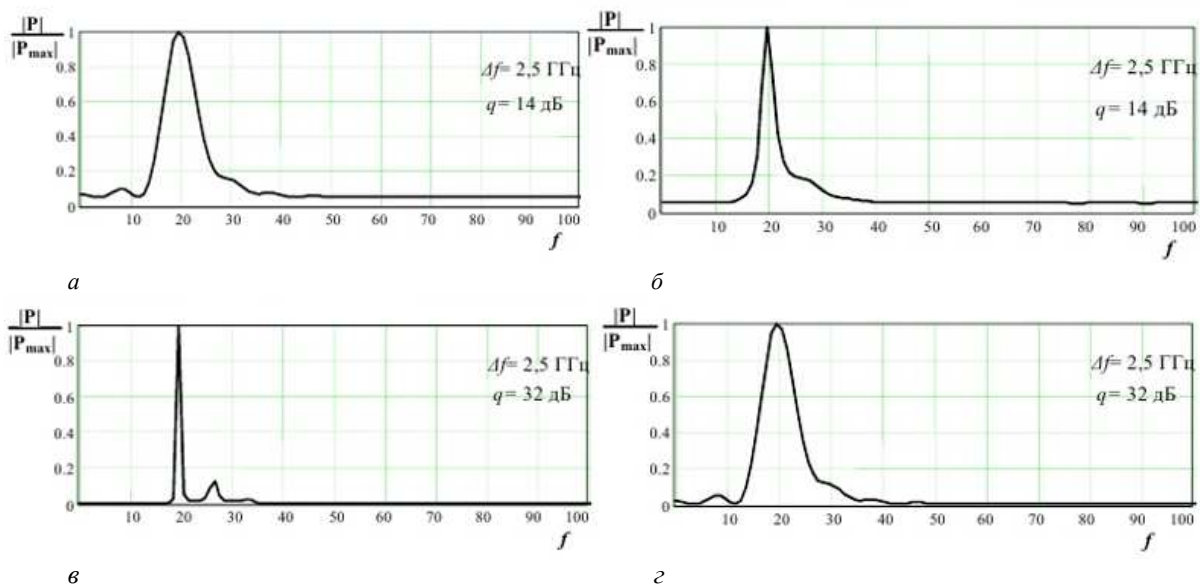
На рисунке 3 представлен подповерхностный профиль с выделением двух объектов при классическом (Фурье) и адаптивном (ММП) методах.



а – при классическом методе (Фурье); б – при адаптивном методе (ММП)

Рисунок 3. – Подповерхностный профиль с выделением двух объектов

На рисунке 4 представлен глубинный портрет диэлектрического диска радиусом 0.12 м



а – неадаптивная обработка при q = 14 дБ; б – адаптивная обработка при q = 14 дБ;
в – неадаптивная обработка при q=32 дБ; г – адаптивная обработка при q = 34 дБ

Рисунок 4. – Глубинный портрет диэлектрического диска радиусом 0.12 м

Адаптивная обработка наиболее эффективна при высоком соотношении сигнал--шум: $q > 20$ дБ.
Таким образом, в результате проведенного анализа установлено, что метод максимального правдоподобия позволяет повысить разрешающую способность по глубине, что может быть применено при решении задачи обнаружения и идентификации заглубленных объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гринкевич А.В., Савенко С.А. Повышение эффективности подповерхностного радиолокатора на основе нетрадиционных методов спектрального анализа. Наука и воен. безопасность. 2006. № 4. с. 38–41.
2. Гололобов Д.В., Янушкевич В.Ф. Радиотехнические системы поиска и идентификации углеводородных залежей в режиме двухчастотного взаимодействия. Весці Нацыянальнай Акад. Навук Беларусі. 2002. № 1. с.49-54.
3. Лопатченко А.С., Малевич И.Ю., Савенко С.А. ЛЧМ-радиолокатор подповерхностного зондирования с повышенной разрешающей способностью. Докл. БГУИР. 2015. № 3 (89). с. 43-48.
4. Владов М.Л., Старовойтов А.В. Введение в георадиолокацию. Учебное пособие – М.: Издательство МГУ, 2004. – 153 с.
5. Савенко С.А., Малевич И.Ю., Чугай А.В. и др. Наука и военная безопасность. 2013. № 3. с. 20–27.
6. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах. – М.: Наука. 1973. 344 с.
7. Владов М.Л., Старовойтов А.В. Георадиолокационные исследования верхней части разреза. –М.: МГУ. 1999. 92 с.
8. Поттер Д. Вычислительные методы в физике. – М.: Мир, 1975. - 392 с.