

УДК 621.396.96

АНАЛИЗ МЕТОДОВ СПЕКТРАЛЬНОГО ОЦЕНИВАНИЯ С ОЦЕНКОЙ ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

ТОМАШЕВСКАЯ П. С., ГРИНКЕВИЧ А. В.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(г. Минск, Беларусь)*

Аннотация. Метод максимального правдоподобия и метод непосредственного оценивания весового вектора позволяют разрешать глубину и толщину заглубленного объекта с лучшим качеством, чем классический метод. Также достоинством адаптивных методов является то, что уровень боковых лепестков по сравнению с классическим методом значительно ниже.

Abstract. The maximum likelihood method and the method of direct estimation of the weight vector allow to resolve the depth and thickness of a buried object with better quality than the classical method. Also, the advantage of adaptive methods is that the level of side lobes is much lower compared to the classical method.

Введение

Актуальной задачей, как во всем мире, так и в Республике Беларусь является необходимость обнаружения немаetalлических объектов, как в грунте, так и в стенах зданий или сооружений.

Преимущество радиолокатора подповерхностного зондирования перед классическими средствами обнаружения заключается в возможности обнаружения объектов в немаetalлических корпусах, а также безоболочечных устройств.

В подповерхностных радиолокаторах с непрерывным излучением используются широкополосные сигналы с частотной модуляцией. Изменение частоты выполняется обычно по закону, удобному для формирования и обработки – по пилообразному или ступенчатому. Оценка дальности до заглубленного объекта проводится по измеренной частоте биений прямого (опорного) и отраженного сигналов.

Формирование радиолокационного изображения методом максимального правдоподобия

Спектральная оценка минимальной дисперсии (МД – оценка) была впервые введена Дж. Кейпоном при пространственно-временном анализе многомерных сигналов решеток сейсмических датчиков. Лакосс переформулировал метод пространственно-временного анализа Кейпона применительно к задачам спектрального анализа одномерных временных рядов и назвал его методом максимального правдоподобия (ММП).

Устройство, реализующее ММП, представляет набор узкополосных фильтров. Эти фильтры адаптивно подстраиваются под процесс, для которого определяется спектральная плотность мощности. Эти фильтры относятся к типу фильтров с конечной импульсной характеристикой и имеют n весовых коэффициентов (отводов у линии задержки трансверсального фильтра).

$$\mathbf{A} = [a_0, a_1 \cdots a_{n-1}]^T \quad (1)$$

Коэффициенты фильтра выбираются таким образом, чтобы на рассматриваемой частоте f_0 его отклик был равен единице (т.е. входной гармонический сигнал с этой частотой остается неизменным на выходе фильтра), а дисперсия выходного процесса была минимальна. Данный фильтр должен подстраиваться для режекции составляющих спектра, удаленных от частоты f_0 . Поэтому выходная мощность будет обусловлена частотными составляющими, близкими к частоте f_0 . Реализация такого фильтра возможна путем минимизации дисперсии выходного

процесса при единичном отклике фильтра на частоте f_0 (т.е. при наложенном ограничении, что синусоида с частотой f_0 проходит через фильтр без искажений).

$$\sigma^2 = \mathbf{A}^H \Phi \mathbf{A} \quad (1.1)$$

где Φ - корреляционная (ковариационная) матрица, а надстрочный индекс H означает транспонированную комплексно-сопряженную величину.

Ограничение, вводимое для реализации методов, описывается следующим выражением:

$$\mathbf{S}^H \cdot \mathbf{A} = 1 \quad (1.2)$$

Решение для весовых коэффициентов фильтра имеет следующий вид:

$$\mathbf{A}_{opt} = \frac{\Phi^{-1} \mathbf{S}}{\mathbf{S}^H \Phi^{-1} \mathbf{S}} \quad (1.3)$$

Минимальная дисперсия выходного процесса в этом случае равна:

$$\sigma_{min}^2 = \frac{1}{\mathbf{S}^H \Phi^{-1} \mathbf{S}} \quad (1.4)$$

Из выражения (1.6) видно, что отклик оптимального фильтра на частоте $f = f_0$ равен единице, а характеристики фильтра зависят от автокорреляционной функции выходного процесса. Поскольку минимальная дисперсия выходного процесса зависит от мощности составляющих спектра вблизи частоты f_0 , то величину $\sigma_{min}^2 \cdot \Delta t$ можно интерпретировать как СПМ. Таким образом, оценка СПМ с помощью ММП определяется как:

$$\hat{P}_{ММП}(f) = \frac{\Delta t}{\mathbf{S}^H \Phi^{-1} \mathbf{S}} \quad (1.5)$$

Для вычисления спектральной оценки, а соответственно и получения радиолокационного глубинного портрета методом максимального правдоподобия необходимо знать только оценку автокорреляционной матрицы.

Возможна реализация алгоритмов, позволяющих учитывать частотно «окрашенные» шумы и получать радиолокационных глубинный портрет с более высоким разрешением. К ним относятся алгоритмы, основанные на непосредственной оценке весового вектора, определяемого следующим выражением:

$$\hat{\mathbf{R}}(\Omega) = \hat{\Phi}^{-1} \cdot \mathbf{S}(\Omega) \quad (1.6)$$

Весовой вектор зависит от корреляционной матрицы обрабатываемого сигнала и имеет согласованную с ней размерность. Физически он представляет собой вектор временных весовых коэффициентов для каждой частоты наблюдения.

Квадрат модуля весового вектора позволяет получить оценку мощности сигнала на частоте Ω :

$$\hat{P}_B(\Omega) = \left| \left(\hat{\mathbf{R}}^H(\Omega) \hat{\mathbf{R}}(\Omega) \right)^{-1} \right|. \quad (1.7)$$

Запишем выражение (1.7) в виде:

$$\hat{P}_B(r_m) = \left| \left(\hat{\mathbf{R}}^H(r_m) \hat{\mathbf{R}}(r_m) \right)^{-1} \right|. \quad (1.8)$$

Выражение (1.8) определяет алгоритм получения радиолокационного глубинного портрета при непосредственной оценке весового вектора.

Заключение

Результаты моделирования и проведенных экспериментальных исследований показывают, что введение в подповерхностный радиолокатор устройства адаптивной обработки, реализующего один из разработанных методов, значительно повышает его разрешающую способность. Выигрыш в разрешении дает возможность снизить требования к ширине спектра ЗС, антенно-фидерному тракту, приемному и передающему устройствам.

Список использованных источников

1. Основы радиолокации / О.А. Олейников [и др.]; под общ. ред. О.А. Олейникова. – Минск: ВА РБ, 2004. – 184 с.
2. Вопросы подповерхностной радиолокации. / Под общ. ред. А.Ю. Гринева. – М.: Радиотехника, 2005. – 416 с.
3. Подповерхностная радиолокация / М.И. Финкельштейн, В.И. Карпухин, В.А. Кутеев, В.Н. Метелкин. – М.: Радио и связь, 1994. – 216 с.
4. Гринкевич, А.В. Оценка технического уровня радиотехнических систем методом максимального правдоподобия / А.В. Гринкевич, Е.Ю. Брызгин // Доклады БГУИР. – 2014. – № 7 – С. 14-20.