

Министерство образования Республики
Беларусь Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 621.396.962.25

Нгуен Ван Зуи

Адаптивная обработка сигнала в радиолокационной системе неразрушающего
контроля

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1-39 80 02 "Радиотехника, в том числе системы и
устройства радионавигации, радиолокации и телевидения"

Научный руководитель
Гринкевич Антон Витальевич
кандидат технических наук, доцент

Минск 2020

ВВЕДЕНИЕ

Радиолокаторы подповерхностного зондирования (РПЗ) используются для обнаружения малоразмерных неоднородностей и предметов в приповерхностном слое грунта на полях и в строительных конструкциях. Существенной спецификой РПЗ является использование сверхширокополосных (СШП) сигналов (видеоимпульсных, с дискретной перестройкой частоты) или непрерывных сигналов с линейным изменением частоты, распространяющихся в средах с ярко выраженным затуханием и дисперсией.

Несмотря на существенные достижения в исследовании и разработке РПЗ, проводимые отечественными и зарубежными фирмами, проблема далека от завершения. В частности, не удается обнаруживать и идентифицировать противопехотные и противотанковые мины с вероятностью 99,6% и малой вероятностью ложных тревог. Кроме того, затруднено выполнение требования к низкой погрешности определения параметров объектов.

Основные тенденции развития радаров подповерхностного зондирования – это качественное повышение информативности и достоверности интерпретации радиоизображений подповерхностных сред и объектов, сокращение времени мониторинга, исследование и внедрение новых технологий, касающихся как алгоритмов реконструкции и совершенствования программного комплекса, так и модулей РПЗ.

В связи с чем особую актуальность приобретает необходимость разработки эффективного алгоритма получения радиолокационного изображения, особенно при обнаружении малоразмерных объектов в неметаллическом исполнении.

1 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Радиолокаторы подповерхностного зондирования (РПЗ) используется для обнаружения малоразмерных неоднородностей и предметов в приповерхностном слое грунта на полях и в строительных конструкциях.

Цель данной работы: разработка алгоритмов адаптивного обнаружения заглубленных объектов и структуры устройства формирования радиолокационного изображения (РЛИ).

Задачи исследования:

- анализ существующих подходов к обнаружению заглубленных объектов;
- разработка устройств и моделирование классического и адаптивного алгоритмов формирования РЛИ;
- оценка эффективности разработанных устройств.

Объект исследования: подсистема обнаружения РПЗ.

Предмет исследования: алгоритмы формирования РЛИ.

Основные результаты:

- анализ существующих подходов к получению РЛИ;
- разработка устройств и моделирование алгоритмов формирования РЛИ.
- оценка эффективности разработанных устройств.

Результаты работы докладывались на 55 и 56-й научно-технической конференции среди аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, секция "Радиотехнические системы".

По результатам конференции, опубликованы 3 доклада в тематическом сборнике.

2 КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

2.1 АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРЫ ПО ТЕМЕ ИССЛЕДОВАНИЙ

Подповерхностные радиолокаторы разрабатываются в основном для геофизического применения, они используют частоту около 1 ГГц. Для увеличения разрешения по глубине в случае поиска малогабаритных объектов необходимо использовать сверхширокополосные ЗС на более высокой частоте. Например, для получения разрешения по глубине 3 см при невысокой диэлектрической проницаемости почвы, ширина спектра ЗС должна достигать $\Delta f = 5$ ГГц. Использование высоких частот оправдано для обнаружения неглубоко залегающих объектов. Напротив, когда объект залегает глубоко, а частота довольно высока, есть вероятность вообще ничего не обнаружить, так как с ростом частоты затухание электромагнитных волн в почве значительно увеличивается. Кроме того, обычно невозможно предсказать физические характеристики почвы, глубину залегания объекта поиска. Решением такой дилеммы является использование широкой полосы частот в СПЗ, что может быть реализовано при использовании непрерывного сигнала с дискретной перестройкой частоты (ДПЧ-сигнала), а также применением алгоритмов спектрального анализа с более высоким разрешением.

Использование ДПЧ-сигнала при построении СПЗ является наиболее целесообразным, так как он обладает рядом достоинств, основными из которых являются:

- относительная простота построения приемно-передающего тракта и, как следствие, дешевизна его изготовления;
- легкость изменения набора излучаемых частот, что позволяет оперативно адаптировать систему к помеховой обстановке и характеру решаемой задачи;
- возможность использования относительно маломощного передатчика.

ДПЧ-сигнал описывается выражением.

$$x(t) = A_m \sum_{n=-N}^N \mathcal{G}(t-nT) e^{j2\pi \cdot \delta f \cdot n \cdot (t-nT)} \cdot e^{j2\pi \cdot f_0 \cdot (t-nT)}, \quad (1)$$

где A_m – амплитуда ЗС;

$N_n = 2N + 1$ – количество дискретов ДПЧ-сигнала;

n – порядковый номер дискрета;

$$g = \begin{cases} 1, & |t| \leq T/2 \\ 0, & |t| > T/2 \end{cases};$$

T – длительность дискрета;

$\delta f = f_n - f_{n-1}$ – шаг перестройки по частоте;

f_0 – несущая частота высокочастотного колебания;

$\Delta f = (2N+1) \cdot \delta f$ – диапазон перестройки частоты (ширина спектра сигнала).

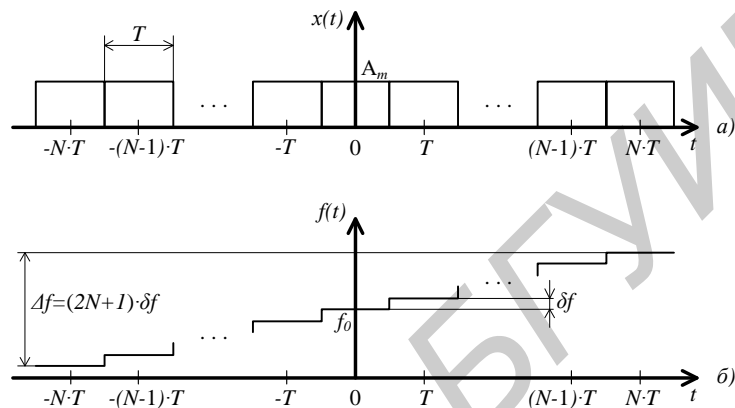


Рисунок 1 – Зондирующий ДПЧ-сигнал: а) – огибающая ДПЧ-сигнала; б) – закон частотной модуляции ДПЧ-сигнала

2.2 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ОБРАБОТКИ ПРИНИМАЕМОГО СИГНАЛА

Классический алгоритм оценки СПМ принятого сигнала записывается в матричном виде:

$$\hat{\mathbf{P}}_{кл}(r) = \mathbf{S}^*(r) \cdot \hat{\mathbf{\Phi}} \cdot \mathbf{S}(r) \quad (2)$$

где $\hat{\mathbf{P}}_{кл}(f)$ – оценка мощности спектральных составляющих для классического алгоритма;

$\mathbf{S}(r)$ – вектор обзора по глубине.

$\hat{\mathbf{\Phi}} = \hat{\mathbf{\Phi}}_с + \hat{\mathbf{\Phi}}_{п}$ – оценка корреляционной матрицы аддитивной смеси сигнала и помех.

$\hat{\mathbf{\Phi}}_с = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \mathbf{U}_с \cdot \mathbf{U}_с^*$ – оценка корреляционной матрицы входного сигнала

K – количество временных выборок;

U_c – вектор-столбец сигнала $u(t)$;

Алгоритм получения МД-оценки СПМ принятого сигнала имеет вид:

$$\hat{\mathbf{P}}_{МД}(r) = \frac{1}{\mathbf{S}^*(r) \cdot \hat{\Phi}^{-1} \cdot \mathbf{S}(r)} = \left[\mathbf{S}^*(r) \cdot \hat{\Phi}^{-1} \cdot \mathbf{S}(r) \right]^{-1} \quad (3)$$

Для упрощения вычислительных процедур, сокращения количества вычислительных действий на практике переходят к непосредственному оцениванию весового вектора \mathbf{R} :

$$\hat{\mathbf{R}} = \hat{\Phi}^{-1} \cdot \mathbf{S} \quad (4)$$

С учетом (4) выражение для ММП (2) можно представить в виде:

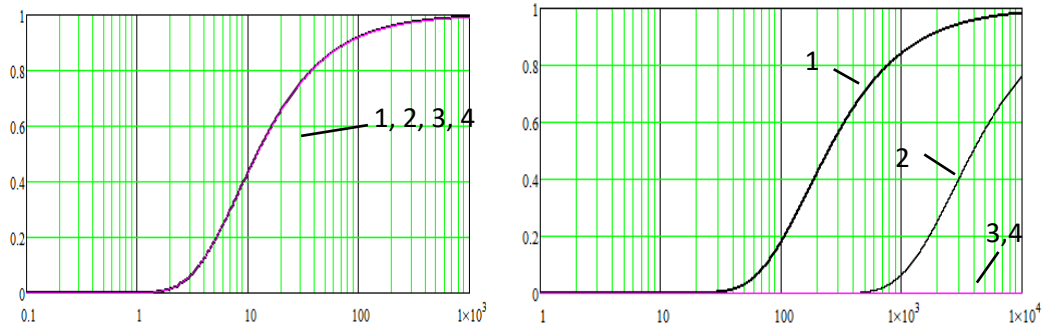
$$\hat{\mathbf{P}}_{новв}(r) = \frac{1}{\hat{\mathbf{R}}^*(r) \cdot \hat{\mathbf{R}}(r)} = \left[\hat{\mathbf{R}}^*(r) \cdot \hat{\mathbf{R}}(r) \right]^{-1} \quad (5)$$

Возможен вариант получения оценок мощности спектральных составляющих при совместном использовании алгоритма, реализующего МД-оценку, и алгоритма при непосредственном оценивании весового вектора.

$$\hat{\mathbf{P}}_{мод}(r) = \left\{ \left[\hat{\mathbf{R}}^*(r) \cdot \hat{\Phi} \cdot \hat{\mathbf{R}}(r) \right] \cdot \left[\hat{\mathbf{R}}^*(r) \cdot \hat{\mathbf{R}}(r) \right] \right\}^{-1} \quad (6)$$

2.3 ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ УСТРОЙСТВА АДАПТИВНОЙ ОБРАБОТКИ

2.3.1 Оценки эффективности алгоритмов обработки принимаемых сигналов



Б

Рисунок 2 – Характеристики правильного (а) и ложного (б) обнаружения сигнала, отраженного от поверхности объекта, 1 – алгоритм (2); 2 – алгоритм (3); 3 – алгоритм (5); 4 – алгоритм (6)

Видно, что вероятность правильного обнаружения не зависит от вида обработки, а вероятность ложного обнаружения, напротив, зависит от вида обработки и повышается при увеличении отношения сигнал/шум.

2.3.2 Сравнительный анализ эффективности исследованных алгоритмов обработки принятого сигнала

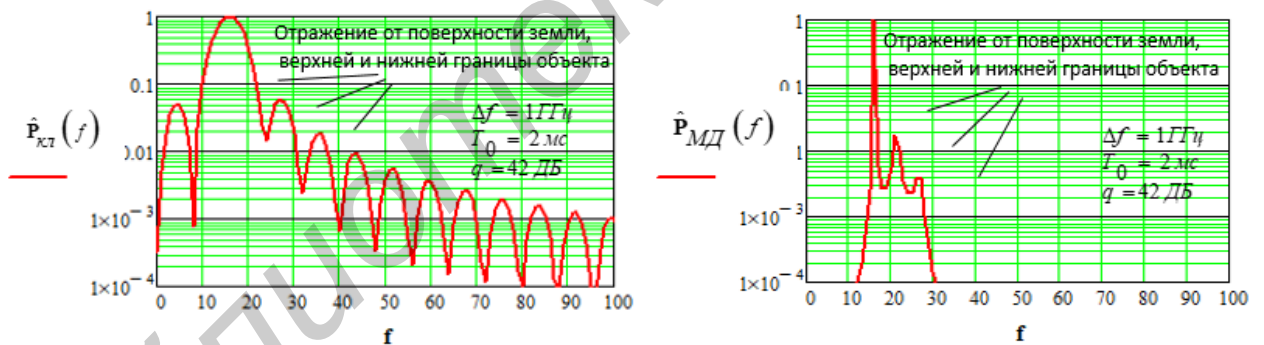


Рисунок 3 – Результаты моделирования классического ($\hat{P}_{кл}(f)$) и адаптивного ($\hat{P}_{МД}(f)$) методов

Результаты моделирования показывают, что метод МД оценки дает лучшее разрешение по сравнению с ДПФ в заданном диапазоне частот. Что позволяет обнаруживать и идентифицировать малые объекты, расположенные близко к поверхности земли.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Объектом исследования является подповерхностный радиолокатор с непрерывным и импульсным зондирующим сигналом.

Целью диссертационной работы является разработка и моделирование устройств формирования радиолокационного изображения.

Диссертация содержит результаты теоретических и практических исследований особенностей использования классических и адаптивных методов спектрального оценивания, особенностей построения устройств, реализующих данные методы, при получении радиолокационных изображений.

Основные результаты работы

1. Проведен анализ различных методов спектрального оценивания, используемых для формирования изображения. Исходя из анализа их достоинств и недостатков следует, что наиболее перспективными являются адаптивные методы спектрального оценивания.

2. Для случая сложных условий радиолокационного наблюдения разработаны математические модели формирования изображения на основе классического и адаптивного алгоритмов.

3. На основе разработанных адаптивных алгоритмов синтезированы устройства адаптивной обработки принятого радиолокационного сигнала, позволяющие получать высокоразрешающие радиолокационные изображения.

Библиотека ВГУИР

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ МАГИСТРАНТУРА

[1 – А.] Нгуен, В.З. Импульсный и непрерывный радиолокационные сигналы в системах неразрушающего контроля / В.З. Нгуен, А.В. Грикевич // 55-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов. Материалы секции "Радио технические системы" – БГУИР, 2019 – С. 123.

[2 – А.] Нгуен, В.З. Алгоритмическая схема устройства адаптивной обработки принятого сигнала в подповерхностном радиолокаторе / В.З. Нгуен, А.В. Грикевич // 56-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов. Материалы секции "Радио технические системы" – БГУИР, 2020 – С. 203.

[3 – А.] Нгуен, В.З. Сравнительный анализ эффективности алгоритмов обработки принятого сигнала в подповерхностных радиолокаторах / В.З. Нгуен, А.В. Грикевич // 56-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов. Материалы секции "Радио технические системы" – БГУИР, 2020 – С. 205.

Библиотека БГУИР