УДК 621.396

В.И.Елфимов, А.А.Калмыков

Уральский технический университет, г. Екатеринбург

РАЗРАБОТКА ЛОКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Рассмотрено построение системы локационных датчиков для задач контроля техногенных и природных объектов повышенного экологического риска. Теоретический аспект работы базируется на разработанных и исследованных моделях формирования информационных сигналов и полей. Предложен подход, отличающийся применением неметрических методик синтеза, с помощью которых создается класс алгоритмов, не требующих знания статистики пространственно-частотных спектров фоноцелевой обстановки.

The development of the system of detection and location sensor to control anthropogenetic and natural objects of assigned ecological risk is considered hereinafter. The theoretical aspect of the work is based on the developed and studied models of forming the information signals and fields. The method which is distinguished by the application of non-metric techniques of synthesis with the help of which a class of algorithms which do not demand the knowledge of statistics of space-frequency spectrum of pattern-targeting conditions is described.

Важнейшей проблемой современного контроля за экологической обстановкой является получение информации о механизме связей различных источников деформации окружающей среды, состоянии всех обследуемых техногенных и природных объектов. Разработана система дистанционного мониторинга, в состав которой входит комплекс аппаратуры, имеющий многоканальную систему диагностики. В каждом дальномерном канале эхо-сигналы проходят предварительную обработку, которая включает три этапа:

- коррекцию входных данных для устранения динамической ошибки измерения дальности и смещения спектра, обусловленного эффектом Доплера;
- выделение полезного сигнала, соответствующего отражению от характерных точек исследуемого объекта, и подавление помех;
- определение запаздывания в каждом периоде повторения зондирующего сигнала на основе анализа фаз спектральных составляющих отраженного сигнала, преобразование запаздываний с учетом внешних данных о скорости распространения зондирующего сигнала в расстояния [1, 4].

Основные научные результаты исследований можно сформулировать следующим образом:

- Построены модели формирования информационных сигналов и полей в локационных датчиках низкочастотного зондирования в виде интегральных уравнений, которые связывают топологию контролируемых структур с выходными сигналами при пространственно-временной согласованной обработке.
- Показано, что модели формирования могут быть уравнениями Фредгольма и его модификациями. При этом ядром уравнения является инвариантная или неинвариантная по пространству аппаратная функция датчика (функция неопределенности зондирующего сигнала, диаграмма направленности антенной системы и их производные).
- Предложены алгоритмы синтеза изображений, которые базируются на современных методах решения некорректных обратных задач с использованием цифровой линейной фильтрации канальных сигналов,

цифровой нелинейной восстанавливающей фильтрации канальных сигналов, синтеза изображения объема по набору сигналов путем усреднения отсчетов сигналов в пределах апертуры синтеза, что позволяет производить многопозиционный синтез объемного изображения с высокой пространственной разрешающей способностью.

• Разработан алгоритм синтеза линейных восстанавливающих фильтров как решения некорректной обратной задачи, учитывающий неустойчивость решения под влиянием шума при спадающих передаточных функциях датчиков; неединственность решения при наличии нулевых значений передаточных функций и неопределенности в скорости распространения колебаний в среде. Для синтеза линейного восстанавливающего фильтра применен неметрический критерий оптимальности – минимум эффективной ширины результирующей аппаратной функции системы датчик – восстанавливающий фильтр при ограниченной мощности шума на выходе системы. Программы имитационного моделирования линейных восстанавливающих фильтров используют алгоритмы простой инверсной фильтрации в ограниченной полосе пространственных частот; неуправляемого и управляемого фильтров Винера и их разновидностей; методов регуляризации Тихонова; фильтра Бэйкуса – Гильберта; среднегеометрического фильтра; эволюционного управления.

• Предложены алгоритмы синтеза нелинейных восстанавливающих фильтров канальных сигналов. В основе нелинейных методов решения некорректной обратной задачи лежит применение интегральных информационных критериев. При отсутствии априорной информации интегральные критерии формируются в рамках теоретико-информационного подхода. Разновидностью такого подхода является использование логарифмических критериев в задачах спектрального анализа (максимума энтропии, кросс-энтропия, параметрические методы и т.п.). Получено решение условно-экстремальной задачи, которая имеет вид нелинейного преобразования от тригонометрического ряда с ограниченным числом членов. Показано, что значения пространственно-частотного спектра нелинейного преобразованного восстановленного изображения тождественно равны нулю вне полосы пропускания датчика. С помощью предложенной методики и критерия максимума энтропии разработан одномерный алгоритм обращения модели формирования путем прямого вычисления (линейная восстанавливающая фильтрация с целью получения отсчетов пространственно-частотного спектра изображения в пределах полосы пропускания пространственных частот датчика; рекурсия Левинсона – Дербина для расчета параметров модели; быстрое дискретное преобразование Фурье специального вида для слабо заполненных массивов и обращение для расчета строки восстановленного изображения).

Имитационное моделирование линейных восстанавливающих фильтров показало возможность улучшения разрешающей способности изображений объектов в 1,2-1,5 раза при таком же проигрыше в отношении сигнал / шум, что существенно повышает контрастность изображения. При нелинейной фильтрации существенно растет по сравнению с линейной восстанавливающей фильтрацией разрешающая способность локационных датчиков (в 2-6 раз в зависимости от отношения сигнал/шум и «сложности» объекта) при уменьшении уровня рабочих «шумовых» выбросов в восстановленном изображении, начиная с отношения сигнал / шум 7,5 дБ и выше.

Научно-технические результаты исследований следующие:

• Разработан опытный образец локационной системы дистанционного зондирования, включающей автоматизированный локатор, систему сопряжения и синхронизации каналов, аппаратную часть первичной обработки сигналов, систему вторичной обработки результатов и принятия решения на основе ЭВМ, блок питания. Проведены испытания отдельных дальномерных каналов системы с использованием низкочастотного диапазона электромагнитных зондирующих сигналов в сочетании со сложными законами модуляции. Испытания позволили отра-

ботать алгоритмы обработки эхосигналов, а также определить чувствительность локационной системы и погрешность измерения.

• Предложены методики исследования природных и техногенных объектов.

• На кафедре «Радиоэлектроника информационных систем» университета разработана учебная программа по дисциплине «Методы дистанционного мониторинга природных и техногенных объектов» для студентов специальности 200700 «Радиотехника». Изданы два учебных пособия [2, 3], поставлены четыре лабораторные работы, направленные на исследования алгоритмов обработки эхосигналов и алгоритмов синтеза изображений со сверхвысокой разрешающей способностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Елфимов В.И.* Разработка локационной системы дистанционного зондирования для экологического мониторинга природных и техногенных объектов / В.И.Елфимов, А.А.Калмыков // Записки Горного института. СПб, 2001. Т.149. С.68-71.

2. *Калмыков А.А.* Обработка авторегрессионных сигналов: Учеб. пособие / А.А.Калмыков, Н.П.Никитин; Уральский технический ун-т. Екатеринбург, 2002. 89 с.

3. Основы радиотеплолокации: Учеб. пособие / В.И.Гадзиковский, А.А.Калмыков, В.С.Кубланов, Н.И.Серегин; Уральский технический ун-т. Екатеринбург, 2001. 116 с.

4. Разработка принципов построения, алгоритмов, программного обеспечения и аппаратуры подповерхностного зондирования / В.А.Добряк, В.И.Елфимов, А.А.Калмыков, В.Д.Нехорошев // Новые методы передачи и обработки информации / Уральский технический ун-т. Екатеринбург, 2002. С.44-48.