В.И.Елфимов, А.А.Калмыков
Уральский технический университет, г.Екатеринбург

УДК 621.396

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

Рассмотрены основы построения и использования радиоакустических систем дистанционного зондирования для решения задач экологического мониторинга. Разрабатываемые аппаратные, программные и алгоритмические средства обеспечения системы позволяют осуществлять сверхоперативные высокоточные неконтактные дистанционные измерения температуры и влажности, корреляционные измерения скорости ветра, применять адаптивные алгоритмы измерений на больших высотах, использовать комплексирование с аэрологическими радиолокационными станциями.

Basics of radio acoustic sounding systems for the remote measuring are researching for solving the purposes of the ecological monitoring. The problem of the method and ways of its decision is defined. Hardware, software and brainware of the systems are being developed. It is pointing out that systems is allowing superfast high precision remote measurements of temperature and humidity, correlation principles of wind speed measurement, adaptive measurement algorithms for high altitudes, integrating with aerological radiolocation stations.

Применение локационных систем дистанционного зондирования для контроля техногенных и природных объектов повышенного экологического риска является перспективным направлением исследований. Разработка автоматизированных информационно-измерительных комплексов для получения объективной систематизированной в полном объеме информации о механизмах связей различных источников деформации окружающей среды, о состоянии всех установленных для контроля объектов является в настоящее время актуальной задачей. В результате измерений формируется массив данных, с помощью которого осуществляется оценка структуры, физико-механического состава контролируемых объектов, нарушения и деформации обследуемых структур, проводится оперативный геологический мониторинг в зонах повышенного экологического риска [1, 2].

Требования к построению локационной системы обычно сводятся к следующим:

- обеспечение проникающей способности зондирующего сигнала, необходимого потенциала и динамического диапазона радио- и акустических каналов;
- достижение высокой пространственной разрешающей способности при жестких ограничениях на размеры раскрытия антенных систем и излучателей, ширину спектра зондирующего сигнала и малом числе лучей при обзоре.

Построение локационных датчиков в разрабатываемой системе основывается на следующих принципах:

- использование низкочастотного диапазона зондирующих сигналов для обеспечения необходимой проникающей способности и динамического диапазона в сочетании со сложными законами модуляции;
- выполнение на основе развития теории и алгоритмов решения некорректных обратных задач после этапа пространственно-временно́й согласованной фильтрации многопозиционного синтеза объемного изображения контролируемых структур с высокой пространственной разрешающей способностью.

Теоретический аспект работы локационных датчиков изображений контролируемых объектов базируется на разработанных и исследованных моделях формирования информационных сигналов и полей. 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-временно́й 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).

В работе предложен подход, использующий неметрические методики синтеза, с помощью которых может быть создан класс алгоритмов, не требующих знания статистики пространственно-частотных спектров фоноцелевой обстановки. Для синтеза линейного восстанавливающего фильтра применяется неметрический критерий оптимальности – минимум эффективной ширины результирующей аппаратной функции системы датчик – восстанавливающий фильтр при ограниченной мощности шума на выходе системы.

Преимущества данного подхода следующие:

- возможность синтеза фильтра при отсутствии априорной информации о пространственно-частотных спектрах информационных полей;

• тесная связь физического смысла критерия с назначением датчика, поскольку в этом случае система датчик – восстанавливающий фильтр играет роль усредняющего фильтра с апертурой минимальной площади при строго ограниченной мощности шума на выходе;

• простота восстановления промежуточных отсчетов сигнала или изображения при дискретном съеме информации, что соответствует эквивалентному увеличению числа лучей при обзоре по углу;

• простота обмена величины разрешающей способности на отношение сигнал/шум.

Результаты имитационного моделирования показали возможность улучшения разрешающей способности изображений объектов в 1,2-1,5 раза при проигрыше в отношении сигнал/шум в 1,2-1,5 раза, что приводит к существенному повышению контрастности изображения.

В основе нелинейных методов решения некорректной обратной задачи лежит применение интегральных информационных критериев. При отсутствии априорной информации предлагается формулировать интегральные критерии в рамках теоретико-информационного подхода. Разновидностью такого подхода является использование логарифмических критериев в задачах спектрального анализа (максимума энтропии, кросс-энтропии 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 следующий одномерный алгоритм обращения модели формирования путем прямого вычисления:

1) линейная восстанавливающая фильтрация с целью получения отсчетов пространственно-частотного спектра изображения в пределах полосы пропускания пространственных частот датчика;

2) рекурсия Левинсона – Дербина для расчета параметров модели;

3) быстрое дискретное преобразование Фурье специального вида (слабо заполненные массивы) и обращение для расчета строки восстановленного изображения.

Предложенная методика опирается на алгоритмы БПФ специального вида (слабо заполненные массивы и др.), рекурсивные алгоритмы, быстро сходящиеся итерационные схемы. Для нелинейных методов показана возможность существенного повышения разрешающей способности 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, равного 7,5 дБ и выше, по сравнению с линейной восстанавливающей фильтрацией.

Программное обеспечение разрабатываемой локационной системы базируется на специальных программах, которые функционируют на IBM-совместимых компьютерах под управлением операционных систем Microsoft © Windows 950SR2, Windows 98, Windows NT/2000 [3].

Результаты, полученные в процессе выполнения работы, используются на кафедре «Радиоэлектроника информационных систем» Уральского технического университета при разработке учебной программы по дисциплине «Методы дистанционного мониторинга природных и техногенных объектов» для студентов специальности 200700 «Радиотехника». Выпущено учебное пособие «Основы радиотеплолокации» [4]. Поставлены три лабораторные работы, направленные на исследование алгоритмов обработки эхо-сигналов и алгоритмов синтеза изображений со сверхвысокой разрешающей способностью. В разработках принимают участие аспиранты и студенты.

Потенциальными потребителями разработки являются Свердловская железная дорога, Управление по делам ГО и ЧС, Уралгидрометеослужба.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Елфимов В.И.* Разработка локационной системы подповерхностного зондирования для мониторинга техногенных и природных объектов повышенного экологического риска / В.И.Елфимов, А.А.Калмыков // Научные исследования высшей школы по рациональному природопользованию: Сборник статей / Санкт-Петербургский горный ин-т. СПб, 2000.

2. *Наговицын В.С.* Мониторинг состояния земляного полотна методами подповерхностной радио- и акустической локации / В.С.Наговицын, А.А.Калмыков, В.И.Елфимов, В.А.Добряк, М.А.Чернин // Конверсия в машиностроении. 2001. № 1 (44).

3. *Наговицын В.С.* Автоматизированное рабочее место оператора локомотивного депо / В.С.Наговицын, А.А.Калмыков, В.И.Елфимов, С.Н.Пестерев, О.А.Гусев // Там же.

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