

Основы теории ошибок. Санкт-Петербург: Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 1972. 122 с. **3. Линник Ю.В.** Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений. М.: Физматгиз, 1962. 344с. **4. Гнеденко Б.В.**, Курс теории вероятностей. Л.: Физматгиз, 1961. 406 с. **5. Ананасенко А.И., Кривич Н.Г., Федоренко Н.Д.** Монтаж, испытания и эксплуатация газоперекачивающих агрегатов в блочно-контейнерном исполнении. Л.: Недра, 1991. 361 с. **6. Шерстюк А.Н.** Насосы, вентиляторы и компрессоры. М.: Высшая школа, 1972. 344 с. **7. Хан Г., Шапиро С.** Статистические модели в инженерных задачах /Пер. с англ. М.: Мир, 1969. 297 с. **8. Fox J.** Nonlinear regression and nonlinear least squares. Appendix to An R and S-PLUS Companion to Applied Regression. January 2002. 9. РМГ 29-99. Государственная

система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения. М: Изд-во стандартов, 1999. 124 с. **10. Газ природный.** Методы расчета физических свойств. Определение коэффициента сжимаемости. ГОСТ 30319.2–96. Минск: ИПК Изд-во стандартов, 1997. 21с. **11. Тевяшев А.Д., Коток В.Б., Сендеров О.А.** Метрологическая аттестация математически моделей газоперекачивающего агрегата. // АСУ и приборы автоматики.2004. Вип.2.

Поступила в редколлегию 01.03.2006

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Гинзбург М.Д.

Сендеров Олег Александрович, аспирант кафедры прикладной математики ХНУРЭ. Научные интересы: системный анализ. Адрес: Украина, 61171, Харьков, Салтовское шоссе, 240, тел. 711-27-17.

УДК 621.396:510.62

РАСПОЗНАВАНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ОТМЕТОК ПО СПЕКТРАЛЬНОМУ ИЗОБРАЖЕНИЮ С АДАПТИВНЫМИ ВЕСОВЫМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ

ЖИРНОВ В.В., СОЛОНСКАЯ С.В.

Обосновывается возможность использования алгебры предикатов для распознавания радиолокационного спектрального изображения в целях выделения отметок подвижных объектов на фоне дискретных мешающих отражений типа «ангел-эхо». При этом эффективность узнаваемости спектральной картины достигается с помощью адаптивной весовой обработки спектра сигнала, где весовые коэффициенты определяются и постоянно корректируются на основе многообзорного анализа и накопления информации о расположении и поведении радиолокационного спектрального изображения мешающих отражений.

1. Введение

Низкая эффективность систем радиолокационного распознавания и выделения малозаметных целей (МЗЦ) на фоне дискретных мешающих отражений типа «ангел-эхо» (АО) объясняется малой величиной отношения сигнал/помеха [1]. В результате этого ухудшается узнаваемость спектральной картины из-за уменьшения контрастности ее изображения, снижается вероятность выделения полезных сигналов подвижных объектов и увеличивается вероятность их пропуска системами автоматического обнаружения и слежения. Для того чтобы улучшить узнаваемость спектральной картины, предлагается использовать адаптивную весовую обработку спектра сигнала, где весовые коэффициенты определяются и постоянно корректируются на основе многообзорного анализа и накопления информации о расположении и поведении радиолокационного спектрального изображения мешающих отражений.

2. Цель и задачи исследования

Цель – разработка системы распознавания радиолокационного спектрального изображения с адаптивными весовыми коэффициентами, основанная на совмещении сигнального (энергетического) и логического спектрального анализа с адаптацией параметров распознавания к статистике и к типу спектра помех в окрестности анализируемого элемента обработки.

Задачи. Сформулировать особенности использования алгебры предикатов для распознавания радиолокационного спектрального изображения в алгоритмах выделения отметок подвижных объектов на фоне дискретных мешающих отражений типа «ангел-эхо». Оценить возможности улучшения узнаваемости спектральной картины при адаптивной весовой обработке спектра сигнала и определить механизм формирования вектора предикатов A_1, A_2, \dots, A_r с учетом адаптивных весовых коэффициентов спектральных каналов в виде логических уравнений, связывающих предикатные переменные X_1, X_2, \dots, X_r . Обосновать алгоритм интеллектуальной системы идентификации спектральных типов S_j с применением системы предикатных признаков.

3. Предикатное представление спектрального изображения с учетом адаптивных весовых коэффициентов спектральных каналов

Для идентификации спектральной картины радиолокационного объекта по признакам ее изображения используется компараторная схема, которая реализует предикат $P(y_1, y_2, \dots, y_k) = t$, соответствующий отношению P к типу изображения спектральной картины (рис. 1). К входам компаратора (элемента распознавания) подключаются своими выходами идентифицируемые информационные процессы f_1, f_2, \dots, f_k (входные преобразователи сигнальной информации в спектральных каналах в логические предикатные функции). Изображение спектральной картины преобразуется с помощью адаптивных весовых коэффициентов спектральных каналов, а затем формируется предикатная функция с использованием

адаптивных пороговых величин сигналов в спектральных каналах.

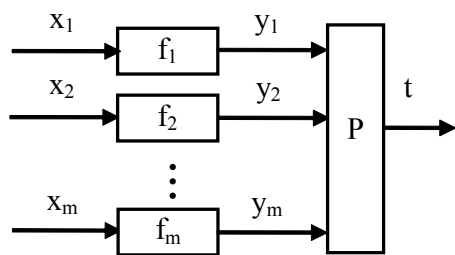


Рис. 1

Здесь $x_1 \in A_1$; $x_2 \in A_2$; ...; $x_k \in A_k$ – физические значения величин сигналов в спектральных каналах; A_1, A_2, \dots, A_k – множества значений физических сигналов в спектральных каналах.

Пусть $M = \{q_1, q_2, \dots, q_k\}$ – множество, состоящее из k элементов преобразованных значений спектральных составляющих в k спектральных каналах, полученных путем перемножения на весовые коэффициенты K_i ; B – подмножество $B \subseteq M$, спектральные составляющие q_i которого превышают некоторые пороговые значения V_i . Составляем набор логических элементов по следующему принципу: если $q_i \in B$, то $q_i = 1$; если $q_i \notin B$, то $q_i = 0$, $i = \overline{1, k}$.

Предикат $B(x)$ на множестве M , соответствующий множеству B значений спектров, превысивших порог в каждом канале, запишется формулой:

$$B(x) = x^{q_1} \vee x^{q_2} \vee \dots \vee x^{q_k}. \quad (1)$$

Адаптация весовых коэффициентов передачи спектральных каналов осуществляется на основе информации, получаемой пролонгацией данных о наличии спектральной составляющей сигнала в низкочастотных каналах в высокочастотные каналы. Основанием для такого подхода является экспериментально представленный факт [1,2] наличия широкого спектра сигналов (рис.2) мешающих отражений типа АО, охватывающего «хвостом» высокочастотную часть спектра, в которой преимущественно появляется отклик полезного сигнала подвижного объекта. Известно также, что существует межобзорная корреляционная связь спектральных составляющих отметок АО.

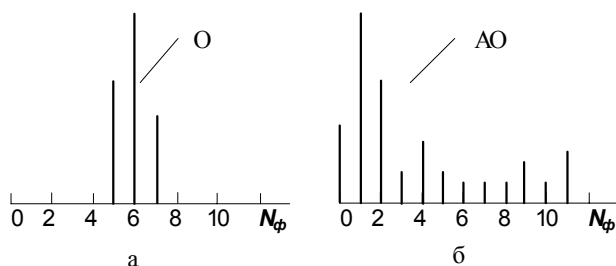


Рис. 2

Вводится пересчетный весовой коэффициент K_{LF} , определяемый оценочными значениями величин сиг-

налов в низкочастотных каналах $K_{LF} = \frac{\tilde{a}_{LF}}{a_{\Sigma}}$, где \tilde{a}_{LF} – оценочное значение интенсивности в низкочастотных каналах; a_{Σ} – суммарная интенсивность.

Адаптивные весовые коэффициенты для всех каналов определяется следующим образом:

$$K_i = 1 - K_{LF} \cdot K_{a_i}.$$

Коэффициент K_{a_i} ($K_{a_i} < 1$) определяет долю сигнала от АО в высокочастотных каналах и вычисляется на основе реальных спектров, полученных в ходе экспериментальных исследований.

Таким образом, при отсутствии мешающих отражений от АО коэффициент K_{a_i} принимает значение, равное единице, а при их наличии – коэффициент уменьшается на определенную величину, зависящую от соотношения оценочных значений интенсивности сигналов, накопленных в низкочастотных подканалах, и суммарной интенсивности. Принцип и эффективность адаптивной весовой обработки спектра на выходе системы когерентной импульсной РЛС представлен на рис.3.

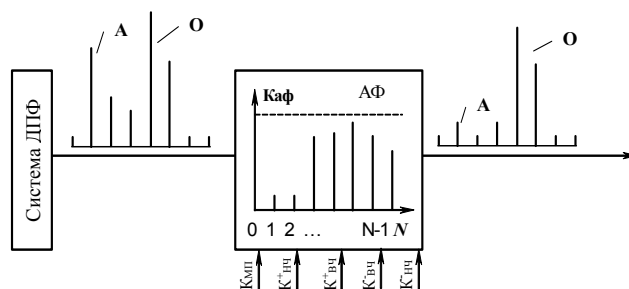


Рис. 3

При прохождении сигналов через адаптивный фильтр происходит искажение дискретного спектра таким образом, чтобы сигналы, отраженные от АО и накопленные главным образом в низкочастотных подканалах, существенно подавлялись, а амплитуды сигналов, накопленные в высокочастотных каналах и отраженные от реальных подвижных объектов, изменялись несущественно.

4. Распознавание радиолокационного спектрального изображения с адаптивными весовыми коэффициентами на основе решения предикатных уравнений

Каждому типу преобразованного радиолокационного спектрального изображения S_j соответствует определенная комбинация нулей и единиц в $B(x)$. Для идентификации типов спектральных изображений вводится система предикатных признаков, восприимчивая к количеству и разрывности нулей и единиц в $B(x)$. Сначала $B(x)$ преобразуется в иной вид предиката – $F(y)$, элементы f_1, f_2, \dots, f_{k-1} которого определяются суммированием по модулю два каждого элемента q_i со смежным элементом q_{i+1} . Для анализа типов спектральных картин используется как арифме-

тическая сумма $\Phi = \sum f_i$, так и ее логический аналог – предикат $F(y)$. Далее вводятся признаки L_i [3], позволяющие отличать спектральные картины по числу групп единиц и нулей между ними $V(x)$. Для определения количества отстоящих друг от друга групп сомкнутых единиц вводятся признак L_1^j , верхний индекс которого указывает на наличие в предикате $V(x)$ спектральной картины j групп сомкнутых единиц (спектральных пиков) и определяется следующим образом: если $\Phi \geq 2$, то $j = \Phi / 2$, иначе $j = 0$. Вводится признак $L_2^{l_1}$, верхний индекс которого l_1 указывает на количество нулей между группами единиц в $V(x)$. Значения признака $L_2^{l_1}$ при $l_1 \leq 3$ классифицируют принятый сигнал, как МЗЦ, а при $l_1 > 3$, как АО. Чтобы отличать спектральные картины по энергетике принятого сигнала, вводится признак $L_3^{s_i}$, верхний индекс которого указывает на количество единиц в $V(x)$ и определяется простым суммированием.

Алгоритм идентификации типов спектральных картин радиолокационной обстановки в общем виде описывается следующими уравнениями:

$$S_j = (L_1^0 \vee L_1^1 \vee \dots \vee L_1^j) \wedge (L_2^0 \vee L_2^1 \vee \dots \vee L_2^{l_1}) \wedge (L_3^1 \vee L_3^2 \vee \dots \vee L_3^{s_i}) \quad (2)$$

Функциональная схема алгоритма распознавания спектральных изображений на основе решения предикатных уравнений анализа спектральных изображений приведена на рис.4.

5. Заключение

Научная новизна работы состоит в том, что в системе распознавания радиолокационного спектрального изображения предлагается использовать адаптивную весовую обработку, где весовые коэффициенты определяются и постоянно корректируются на основе совместного сигнального и логического многообзорного анализа с адаптацией параметров распознавания к статистике и к типу спектра помех в окрестности анализируемого элемента обработки.

Возможности алгоритма распознавания спектральных изображений исследовались на основе записей реальных сигналов РЛС сантиметрового диапазона. Принципиальное отличие системы спектрального распознавателя с адаптивными весовыми коэффициентами от систем подав-

ления путем компенсации, бланкирования мешающих отражений подобного типа состоит в том, что обнаружены и распознаны отметки воздушных объектов на фоне АО, когда их спектры перекрывались.

Практическая значимость адаптивной системы обнаружения заключается в том, что представленный комбинированный цифровой и логический анализ радиолокационного спектрального изображения позволяет значительно увеличить вероятность правильного обнаружения и идентификации воздушных объектов, в том числе малозаметных, на фоне АО.

Литература: 1. *Жирнов В.В.* Радиолокационный обнаружитель подвижных объектов с адаптивной весовой обработкой спектра сигнала // Радиотехника. 2002. Вып. 125. С. 37-44. 2. *Шабанов-Кушнарченко Ю.П.* Теория интеллекта. Математические средства. Х.: Вища шк. Изд-во при Харьк. ун-те, 1984. 144 с. 3. *Солонская С.В.* Возможности использования алгебры предикатов для классификации воздушных объектов по радиолокационному спектральному изображению // Радиотехника. 2004. Вып. 139. С. 73-76.

Поступила в редколлегию 12.09.2005

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Шабанов-Кушнарченко С.Ю.

Жирнов Владимир Витальевич, канд. техн. наук, вед. научн. сотрудник НИЦ КВ КП ХНУРЭ. Научные интересы: обработка радиолокационной информации, распознавание амплитудных и спектральных радиолокационных изображений. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел.: (057)702-14-72, email: vzh@kture.kharkov.ua.

Солонская Светлана Владимировна, инженер НИЦ КВ КП ХНУРЭ. Научные интересы: системы обработки и распознавания изображений, теория информации. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. (057)702-14-72, e-mail: svsol@kture.kharkov.ua.

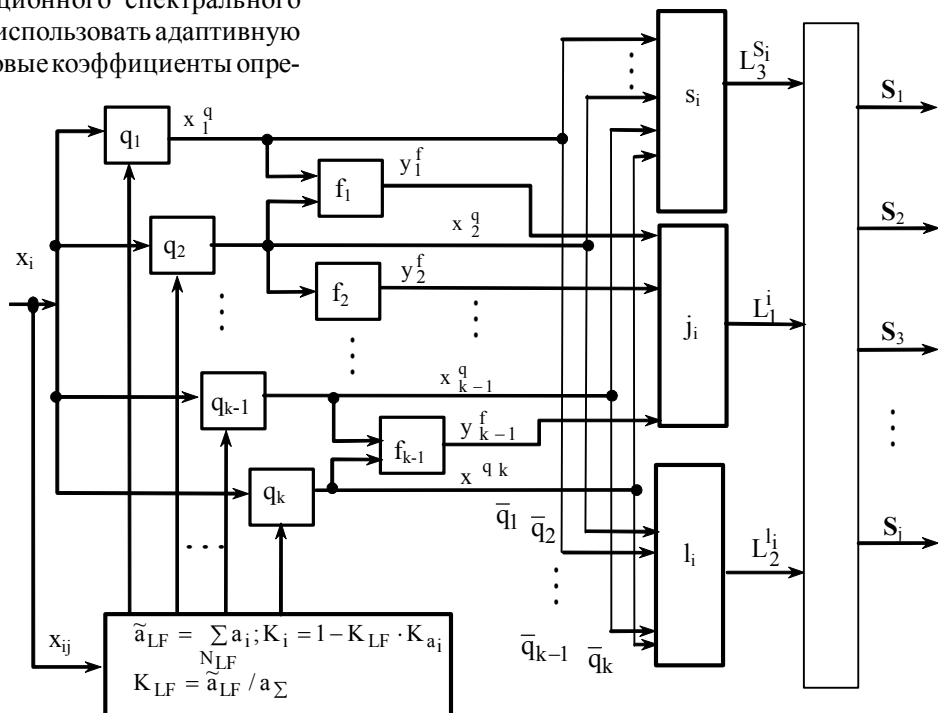


Рис. 4