

РАДИОЛОКАЦИОННОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ МЕТЕООБЪЕКТОВ

(¹)Безрук В. М., (²)Белов Е. Н., (²)Войтович О. А., (¹)Нетребенко К. А., (¹)Тихонов В. А., (²)Руднев Г. А.,
(²)Хлопов Г. И., (²)Хоменко С. И.

(¹)Харьковский национальный университет радиозлектроники
(²)Институт радиозифики и электроники НАН Украины

Аннотация — Рассматриваются особенности радиолокационного распознавания метеообъектов, когда в качестве исходного описания метеообъектов использованы междупериодные флуктуации интенсивности отраженных радиолокационных сигналов. Приведены алгоритмы распознавания, основанные на описании флуктуаций интенсивности отраженных сигналов в рамках авторегрессионной модели. Представлены результаты экспериментальных исследований эффективности радиолокационного распознавания различных метеообъектов по выборкам реальных отраженных сигналов, полученных с помощью разработанного радиолокационного измерительного комплекса.

I. Введение

Для эффективного штормового оповещения с целью обеспечения безопасности полетов авиации, предупреждение градобитий и для других практических приложений, определяющее значение имеет оперативность принятия решения о характеристиках наблюдаемой облачности, а радиолокационные методы измерения параметров облачности часто являются единственным источником метеорологической информации. Поэтому актуальной задачей является автоматическое радиолокационное распознавание метеообъектов [1], в связи с чем значительный интерес представляет разработка алгоритмов распознавания метеообъектов по отраженным сигналам.

При использовании некогерентного импульсного радиолокатора, последовательность отраженных импульсов, как правило, обладает междупериодными флуктуациями, статистические характеристики которых содержат информацию о типе метеообъектов, а настоящая работа посвящена распознаванию метеообъектов для случая, когда междупериодные флуктуации интенсивности отраженных сигналов описываются авторегрессионной (АР) моделью.

II. Авторегрессионные алгоритмы распознавания метеообъектов

Особенности АР модели сигналов. Вероятностное описание последовательности отсчетов флуктуаций интенсивности i -го сигнала с помощью АР модели определяется рекуррентным соотношением [2]

$$x_j^i = \sum_{l=1}^p \phi_l^i x_{j-l}^i + \sigma_a^i a_j, \quad j = \overline{1, L}, \quad (1)$$

где ϕ_l^i , $l = \overline{1, p}$ – коэффициенты авторегрессии i -го сигнала, a_j – независимые случайные величины с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией; p – порядок АР модели i -го сигнала; $(\sigma_a^i)^2$ – дисперсия ошибки предсказания.

Математическая модель (1) представляет случайный сигнал с дискретным временем, который формируется на выходе линейного авторегрессионного фильтра (АРФ) при подаче на его вход порождающего процесса в виде отсчетов дискретного белого шума a_j с дисперсией $(\sigma_a^i)^2$. Взвешивающие

коэффициенты АРФ равны коэффициентам авторегрессии, а число звеньев фильтра – порядку АР модели p . Построение АРФ для i -го сигнала сводится к нахождению параметров АР модели, в частности, значений p , ϕ_l^i , $l = \overline{1, p}$, $(\sigma_a^i)^2$.

Алгоритм распознавания на основе АРФ. К настоящему времени предложен ряд алгоритмов распознавания сигналов на базе АР модели, в частности по минимуму дисперсии ошибки предсказания на выходе одного из АРФ [2]. В это случае последовательность L отсчетов распознаваемых сигналов x_l , $l = \overline{1, L}$ подается на входы АРФ, параметры которых находятся по обучающим выборкам распознаваемых сигналов. В режиме распознавания для предъявленной последовательности отсчетов распознаваемых сигналов вычисляются ошибки предсказания на выходе каждого АРФ, а решение о принадлежности сигнала к одному из классов принимается по минимуму дисперсии ошибки предсказания согласно алгоритма

$$i = \arg \min_{k=1, M} \{ D_{a_k} \}, \quad (2)$$

где D_{a_k} – дисперсия ошибки предсказания на выходе АРФ k -го сигнала, определяемая соотношением

$$(\sigma_a^i)^2 = \frac{1}{L-p} \sum_{j=p+1}^L \left[X_j^i - \sum_{l=1}^p \phi_l^i X_{j-l}^i \right]^2. \quad (2a)$$

Дисперсия ошибки предсказания минимальна на выходе АРФ, параметры которого согласованы со статистическими характеристиками распознаваемого сигнала.

Алгоритм распознавания на основе решетчатых фильтров (РФ). Случайные последовательности отсчетов флуктуаций интенсивности сигналов, отраженных от метеообъектов, также могут быть представлены математической моделью, близкой АР модели (1), и определяемой соотношением [2]

$$x_j^i = - \sum_{l=1}^p K_l^i d_{j-l}^{l-1} + \sigma_j^i a_j, \quad (3)$$

где d_{j-l}^{l-1} – ошибка обратного предсказания в l -м звене РФ; K_l^i – коэффициенты отражения РФ.

При описании флуктуаций интенсивности отраженных сигналов с помощью модели (3) в работе [2] получен алгоритм распознавания типов метеообъектов на основе решетчатых фильтров (РФ). В этом случае решение о типе метеообъекта принимается по минимуму ошибки предсказания на выходе одного из РФ

$$i = \arg \min_{k=1, M} \{ D_{a_k} \}, \quad (4)$$

где D_{a_k} - ошибка предсказания на выходе РФ фильтра k -го сигнала, определяемая выражением

$$D_{a_i} = \frac{1}{L-p} \sum_{j=p+1}^L \left[x_j^i - \sum_{l=1}^p K_l^i d_{j-1}^{l-1} \right]^2. \quad (5)$$

Предложенные алгоритмы радиолокационного распознавания типов метеорологических объектов на основе АРФ и РФ используются в режимах обучения и распознавания. В режиме обучения накапливаются классифицированные обучающие выборки последовательностей отсчетов отраженных сигналов для заданных метеорологических объектов. По этим выборкам оцениваются параметры АРФ либо РФ для каждого i -го сигнала, отраженного от метеорологического объекта в соответствии с уравнением Юла-Уокера и рекуррентной процедуры Левинсона-Дарбина [2].

В режиме распознавания по наблюдаемому сигналом автоматически принимается решение о принадлежности к одному из заданных типов метеорологического объекта согласно решающему правилу (2) либо (4).

В заключение следует заметить, что рассмотренные АРФ и РФ, а также соответствующие алгоритмы распознавания заданных случайных сигналов являются некоторым обобщением известных согласованных фильтров и соответствующих алгоритмов распознавания для детерминированных сигналов.

III. Экспериментальное исследование эффективности радиолокационного распознавания метеорологических объектов

Для экспериментального исследования предложенных алгоритмов распознавания метеорологических объектов использовался модернизированный радиолокационный измерительный комплекс на основе импульсного некогерентного метеорадара типа МРЛ-1 [3]. Комплекс включает в себя блок калибровки чувствительности РЛС, оптико-телевизионный визир для визуального наблюдения исследуемых объектов и блок интерфейса для сопряжения РЛС с персональным компьютером (ПК). Исследования проводились с использованием выборок отраженных сигналов, полученных с помощью разработанного радиолокационного комплекса для различных метеорологических объектов.

При этом целью исследования является оценивание эффективности распознавания рассмотренных алгоритмов распознавания на основе АРФ и РФ (2), (4) для различных типов метеорологических объектов. Для этого использовались выборки реальных сигналов, отраженные, в частности, от высоко-кучевых непросвечивающихся облаков, кучево-дождевых облаков, перьевых облаков, сплошных серых облаков, высококучевых и кучевых мощных облаков, а также оптически ненаблюдаемых метеорологических объектов в виде "ангел эхо", образованных Брэгговским отражением от флуктуаций коэффициента преломления в нижних слоях тропосферы.

В результате методом статистических испытаний на контрольных выборках реальных отраженных сигналов получены приемлемые для практики результа-

ты радиолокационного распознавания заданных метеорологических объектов со средней вероятностью правильного распознавания не 0.8.

IV. Выводы

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- Подтверждена принципиальная возможность радиолокационного распознавания различных метеорологических объектов по флуктуациям интенсивности отраженных сигналов;

- Показано, что высокая вероятность правильного распознавания ($\geq 0,9$) достигается при невысоком порядке АР модели (4-8), что существенно упрощает вычисления;

- В развитие проведенных работ планируется исследование особенностей решения ряда прикладных задач радиолокационного распознавания метеорологических объектов для различных практических приложений, в частности, безопасности полетов авиации, предотвращения градобитий, шквалов в "ясном небе" и др.

V. Литература

- [1] *Метеорологические* автоматизированные радиолокационные сети. – Санкт-Петербург: Гидрометеоздат, 2002. – 311с.
- [2] Безрук В. М., Тихонов В. А., Тихонов Д. В. Распознавание случайных сигналов по параметрам их авторегрессионной модели // АСУ и приборы автоматики. - 2001. - Вып.114. - С.28-32.
- [3] Белов Е. Н., Войтович О. А., Макулина Т. А., Руднев Г. А., Хлопов Г. И., Хоменко С. И. Аппаратурно – программный комплекс для исследования радиолокационных отражений от метеорообразований // Радиопизика и электроники.-2009. – Т. 14, №1. - С. 63-67.

RADAR RECOGNITION OF METEOROLOGICAL OBJECTS

- ⁽¹⁾Bezruk V. M., ⁽²⁾Belov Ye. N., ⁽²⁾Voitovich O. A.,
⁽¹⁾Netrebenko K. A., ⁽¹⁾Tikhonov V. A., ⁽²⁾Rudnev G. A.,
⁽²⁾Khlopov G. I., ⁽²⁾Khomenko S. I.
⁽¹⁾Kharkov National University of Radioelectronics,
⁽²⁾Institute of Radiophysics and Electronics of National Academy of Science of Ukraine

Abstract — The peculiarities of radar recognition of meteorological objects are considered, when interperiod fluctuations of reflected signals can be described by an autoregressive model. The recognition algorithms based on use of autoregressive or grid filters are presented, parameters of which are determined by these models and estimated on the base of learning samples.

The decision of an object type is made up on the base of dispersion minimum of the filter prediction error, when the samples of intensity fluctuations of scattered signals entered into the filter input that corresponds to an object under recognition.

The results of the experimental study of radar recognition efficiency of some meteorological objects using the radar are developed. Finally, acceptable practice results for radar recognition of meteorological objects were obtained by Monte Carlo method, when average probability of correct recognition exceeds 0.8.

The solving of the radar recognition problem is of great interest for different practical applications, including aircraft flight safety, prevention of hail damage, squalls etc.