

УДК 621.391

К.С. Васюта

Харьковский университет Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба, Харьков

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ РАДИОЛОКАЦИОННОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЦЕЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕКУРРЕНТНОГО АНАЛИЗА

В работе впервые предложено для распознавания классов воздушных целей применение нелинейного рекуррентного анализа, который является инструментом для обнаружения степени зависимостей в наблюдаемых процессах. Для решения задачи распознавания в работе предложено рассматривать дальностный портрет цели как лингвистическую характеристику, которую можно формализовать, пользуясь следующей цепочкой: “дальностный портрет” цели \rightarrow структурированность рекуррентной диаграммы \rightarrow зависимость значений \rightarrow мера зависимости (мера детерминизма). Применение для анализа дальностных портретов воздушных целей таких преобразований позволяет распознавать их класс с высокой достоверностью.

Ключевые слова: распознавание воздушных целей, дальностный портрет, рекуррентный анализ, квантификации.

Введение

Развитию теории и техники радиолокационного распознавания воздушных целей посвящено большое количество работ. Наибольшее число экспериментальных и теоретических исследований в области радиолокационного распознавания воздушных целей выполнены под руководством Я.Д. Ширмана и С.П. Лещенко. Краткий обзор этих исследований приведен в [1]. В работе [2] приведены методы радиолокационного распознавания целей и особенности их моделирования. Эти методы основаны на анализе дальностных (дальностно-частотных) портретов целей и сопоставлении их с типом и классом наблюдаемой цели. Однако достоверность и информативность распознавания воздушных целей при использовании даже широкополосных сигналов для получения поперечного портрета в однопозиционной РЛС не всегда является достаточной для принятия правильного решения. Качество распознавания может быть значительно повышено при трассовом сопровождении воздушной цели (многопозиционными радиолокационными системами).

В настоящее время активно развивается теория и техника сетцентрических (знаницентрических) систем ПВО [3]. Для таких систем актуальной остается задача создания каталога воздушных целей.

Целью данной работы является анализ возможности применения рекуррентных диаграмм и их численных мер (квантификаций) для радиолокационного распознавания воздушных целей.

Результаты исследований

Набор известных методик анализа дальностных (дальностно-частотных) портретов воздушных це-

лей для создания их каталога может быть дополнен рекуррентным анализом. В работах [4 – 6] предложен метод, расширяющий возможности нелинейного анализа временных рядов и основанный на фундаментальном свойстве диссипативных динамических систем – рекуррентности (повторяемости состояний). Очевидно, что данный метод анализа, основанный на представлении свойств временных рядов в виде геометрических структур, может служить инструментом для обнаружения степени зависимостей в наблюдаемых процессах и являться одним из инструментов классификации дальностных портретов (целей).

Таким образом, дальностный портрет цели можно рассматривать как лингвистическую характеристику, которую можно формализовать, пользуясь, например, следующей цепочкой: “дальностный портрет” цели \rightarrow структурированность рекуррентной диаграммы \rightarrow зависимость значений \rightarrow мера зависимости (квантификации, например, мера детерминизма).

В [5] был предложен способ отображения m -мерной фазовой траектории состояний наблюдаемого процесса на двумерную квадратную двоичную матрицу размером $N \times N$, в которой 1 соответствует повторению состояния при некотором времени i в некоторое другое время j , а обе координатные оси являются осями времени.

Методов визуализации m -мерного фазового пространства наблюдения основан на его проекции на плоскость:

$$R_{i,j}^{m,\varepsilon} = I(\varepsilon - \|\bar{x}_i - \bar{x}_j\|), \quad (1)$$

где $\bar{x}_i \in R^m$, $i, j = 1, 2, \dots, N$; N – количество рассматриваемых значений x_i ; ε – размер окрестности

точки \bar{x} в момент i ; $\|\cdot\|$ – норма и I – функция Хевисайда), которую называют рекуррентной диаграммой [4]. Для шума рекуррентная диаграмма равномерно заполняется точками, а в случае смеси радиолокационного сигнала (процесса с зависимыми значениями) и шума на рекуррентной диаграмме появляются линии, параллельные главной диагонали.

Образуемые структуры рекуррентных диаграмм можно анализировать численно. Число диагональных линий (точек) определяет меру детерминизма [5] – это отношение числа рекуррентных точек, составляющих диагональные структуры, к общему количеству рекуррентных точек:

$$DET = \frac{\sum_{l=1}^N IP^{\epsilon}(l)}{\sum_{i,j} R_{i,j}^{m,\epsilon}}, \quad (2)$$

где $P^{\epsilon}(l) = \{l_i, i = 1, \dots, N_l\}$ – частотное распределение длин l диагональных линий в RP , N_l – абсолютное количество диагональных линий (каждая линия считается только один раз). Данная мера не имеет значения реального детерминизма процесса.

Кроме изображения рекуррентности в виде черных точек можно изобразить меру зависимости между значениями наблюдения на диаграмме расстояний [6], которая отображается на некоторую цветовую палитру:

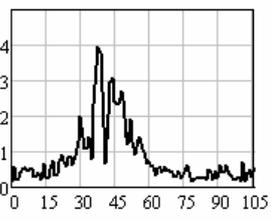
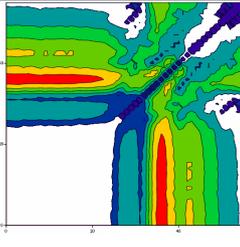
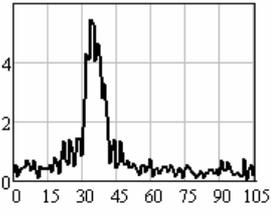
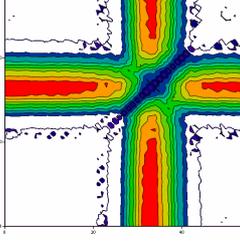
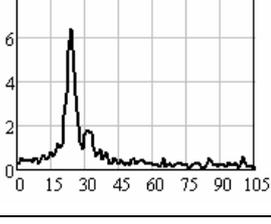
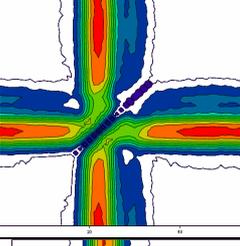
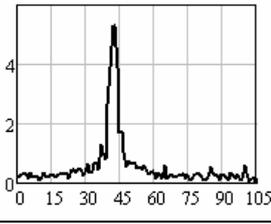
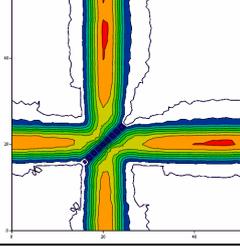
$$D_{i,j}^m = \|x_i - x_j\|. \quad (3)$$

Рассмотрим задачу распознавания воздушных целей, опираясь на (1) – (3).

Пусть на входе устройства распознавания наблюдается аддитивная смесь анализируемого дальностного портрета $\bar{x}(t)$ и некоррелированного шума $\bar{n}(t)$:

Таблица 1

Классификация воздушных целей

Класс цели	Дальностный портрет	Рекуррентная диаграмма	Среднее значение меры детерминизма
 Бомбардировщик			10,027
 Вертолет			7,272
 Истребитель			5,535
 Крылатая ракета			3,414

$$\bar{y}(t) = \bar{x}(t) + \bar{n}(t). \quad (4)$$

Вложим наблюдаемый скалярный временной ряд

$$\{y_i\} = [y_1, y_2, \dots, y_N]$$

в пространство заданной размерности m так, чтобы получить векторный временной ряд $\{z_t\}$, $z_t \in R_{i,j}^{m,c}$ из N значений, используя алгоритм (1), и далее проведем расчет меры детерминизма согласно (2). Результаты численного моделирования приведены в табл. 1.

В таблице приведены классы анализируемых целей и соответствующие им модели дальностных портретов, диаграммы расстояний (3) и среднее значение меры детерминизма, полученное по 100 реализациям (4).

Из таблицы видно, что применение рекуррентных диаграмм и численной меры (детерминизма) для анализа дальностных портретов воздушных целей позволяет с высокой достоверностью распознавать их класс.

Выводы

Таким образом, для создания каталога воздушных целей сетцентрических (знаниецентрических) систем ПВО могут быть применены рекуррентные диаграммы и их численные меры (квантификации). Численное моделирование показало, что их применение для анализа дальностных портретов воздушных целей позволяет распознавать их класс с высокой достоверностью.

Для повышения достоверности и информативности процесса распознавания классов воздушных

целей необходимо использовать при создании каталогов целей траекторные, скоростные и другие признаки.

За рамками данной работы осталась нерассмотренная задача оценки границ применимости предложенного метода распознавания в сложной сигнально-помеховой обстановке. Решение этой важной задачи имеет практическое значение и будет представлено автором в следующих публикациях.

Список литературы

1. Леценко С.П. Развитие теории и техники радиолокационного распознавания воздушных целей / С.П. Леценко // Прикладная радиоэлектроника. – Х.: ХНУРЕ. – 2009. – № 4(8). – С. 490-496.
2. Методы радиолокационного распознавания и их моделирование / Я.Д. Ширман, С.П. Леценко [и др.] // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. – 1996. – Т. 11. – С. 14-25.
3. Куликов А. Война в едином информационном пространстве / А. Куликов // Воздушно-космическая оборона. – 2008. – № 2 (39). – С. 54-60.
4. Eckmann J.P. Recurrence Plots of Dynamical Systems / J.P. Eckmann, S.O. Kamphorst, D. Ruelle // Europhysics Letters 5. – 1987. – P. 973-977.
5. Iwanski J.S. Recurrence plots of experimental data: To embed or not to embed? / J.S. Iwanski, E. Bredley // Chaos. – 1998. – № 8(4). – P. 861-871.
6. Marwan N. Recurrence-plots-based measures of complexity and application to heart-rate-variability data / N. Marwan, N. Wessel, U. Meyerfeldt, A. Schirdewan, J. Kurths // Physical Review, E66, 026702. – 2002.

Поступила в редколлегию 22.07.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Ю.Н. Седышев, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

РОЗВИТОК МЕТОДІВ РАДІОЛОКАЦІЙНОГО РОЗПІЗНАВАННЯ ПОВІТРЯНИХ ЦІЛЕЙ ЗАСТОСУВАННЯМ РЕКУРЕНТНОГО АНАЛІЗУ

К.С. Васюта

В роботі вперше запропоновано для розпізнавання класів повітряних цілей застосування нелінійного рекурентного аналізу, який є інструментом для виявлення ступеня залежностей в спостережуваних процесах. Для рішення завдання розпізнавання в роботі запропоновано розглядати дальнісний портрет цілі як лінгвістичну характеристику, яку можна формалізувати, користуючись наступним ланцюжком: "дальнісний портрет" цілі → структурованість рекурентної діаграми → залежність значень → міра залежності (міра детермінізму). Застосування для аналізу дальнісних портретів повітряних цілей таких перетворень дозволяє розпізнавати їх клас з високою достовірністю.

Ключові слова: розпізнавання повітряних цілей, дальнісний портрет, рекурентний аналіз, квантифікації.

DEVELOPMENT OF AIR TARGETS RADAR RECOGNITION METHODS USING RECURRENT ANALYSIS

K.S. Vasiyta

This paper for the first time presents air targets classes recognition method based on non-linear recursive analysis, which is a tool for detecting the degree of dependence of the observed processes. To solve the problem of recognition it is proposed to consider target range portrait as a linguistic feature, which can be formalized using the following chain: "target range portrait" → structured recurrent chart values → dependence of values → measure of dependence (a measure of determinism). Application of such transformations to the analysis of target range portraits allows to recognize their class with high reliability.

Keywords: air targets classes recognition, range portrait recursive analysis, the quantum-identification.