

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ СИГНАЛЬНО-ТРАЕКТОРНОГО РАДИОЛОКАЦИОННОГО РАСПОЗНАВАНИЯ С АДАПТАЦИЕЙ К УГЛАМ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРИЕНТАЦИИ ОБЪЕКТА

Ярмолик С. Н., Зайко Е. В., Свинарский М. В., Леонович А. С.
Кафедра автоматика, радиолокации и приемо-передающих устройств,
Военная академия РБ
Минск, Республика Беларусь
E-mail: zaiko.eugene@mail.ru, mechislav1993@gmail.com

В рамках доклада представлен вариант устройства последовательного распознавания при совместном использовании сигнальных и траекторных признаков с адаптацией к УПО объекта. Для формирования апостериорных плотностей используется численный метод Монте-Карло.

ВВЕДЕНИЕ

Факт принадлежности наблюдаемого объекта к определенному классу (типу) устанавливается в процессе решения задачи радиолокационного распознавания (РЛР). Информация о классе (типе) наблюдаемого объекта используется при решении широкого спектра задач на различных уровнях управления. В современных условиях вооруженного противоборства подразделений войск противовоздушной обороны и средств воздушного нападения противника особую актуальность приобретает вопрос обеспечения высокой эффективности решения задачи РЛР в реальном масштабе времени.

I. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Совершенствование алгоритмов РЛР достигается путем совместного использования: комплексирования и комбинирования классификационных признаков [1], адаптации классификационных признаков к условиям наблюдения объектов [4], последовательных процедур принятия решения [2 С. 35-44]. Для решения задачи РЛР в качестве классификационных признаков широко используют радиолокационные портреты (РЛП) объектов, а также траекторные признаки, характеризующие закономерности движения объектов [1]. При этом стоит отметить, что существенное влияние на вид и параметры РЛП оказывают углы пространственной ориентации (УПО) наблюдаемого объекта [3]. В рамках доклада представлен вариант устройства последовательного распознавания при совместном использовании сигнальных и траекторных признаков с адаптацией к УПО объекта [2, 3, 4]. Решение о классе объекта или о продолжении наблюдения принимается согласно решающему правилу: для $(n + 1) > K$:
если $\begin{cases} Z(\mathbf{f}_{n+1}|A_k) > Z(\mathbf{f}_{n+1}|A_l), l = \overline{1, M}, l \neq k \\ Z(\mathbf{f}_{n+1}|A_k) > \ln \left(\sum_{g=1, g \neq k}^M e^{Z(\mathbf{f}_{n+1}|A_g)} \right) + \\ + \ln \left(\frac{1 - \Pi_{M+1}}{\Pi_{M+1}} \right) \end{cases}$, то A_k^* , иначе A_{M+1}^*
для $(n + 1) = K$: если $Z(\mathbf{f}_{n+1}|A_k) > Z(\mathbf{f}_{n+1}|A_l)$,
 $l = \overline{1, M}, l \neq k$, то A_k^* , где $Z(\mathbf{f}_{n+1}|A_k) =$

$z_\eta(\mathbf{f}_{n+1}|A_k) + z_\xi(\mathbf{f}_{n+1}|A_k)$ - обобщенное значение логарифма правдоподобия при совместном использовании сигнальных и траекторных признаков в k -м канале обработки с первого по текущий $(n+1)$ -й контакт; Π_{M+1} - стоимость принятия решения о продолжении наблюдения; $z_\eta(\mathbf{f}_{n+1}|A_k) = \ln \left(L_\eta(\mathbf{f}_{n+1}|A_k) \right)$ - логарифм коэффициента правдоподобия по траекторным признакам в k -м канале обработки с первого по текущий $(n+1)$ -й контакт; $z_\xi(\mathbf{f}_{n+1}|A_k) = \left(\sum_{r=1}^{n+1} z_\xi(\mathbf{f}_r|A_k) \right)$ - логарифм отношения правдоподобия по сигнальным признакам в k -м канале с первого по текущий $(n+1)$ -й контакт; K - значение номера контакта, при котором принимается решение о классе объекта без возможности продолжения наблюдения; $\mathbf{f}_{n+1} = \{\mathbf{f}_1, \mathbf{f}_2, \dots, \mathbf{f}_{n+1}\}$ - совокупность принятых реализаций отраженного сигнала с первого по текущий $(n+1)$ -й контакт. Структурная схема устройства РЛР представлена на рисунке 1. Стоит отметить, что особенность представленного алгоритма состоит в использовании численного метода Монте-Карло для аппроксимации апостериорной плотности вероятности УПО $p(\hat{\psi})$ и плотности вероятности оценки траекторных признаков $p(\hat{V}_r)$ наблюдаемого объекта (рисунок 2) [5]. Эффективность функционирования предложенного алгоритма оценивалось методом математического моделирования. В качестве показателей качества использовались вероятности правильного и ложного распознавания класса объекта, а также длительность процедуры принятия решения. Анализировались объекты трех классов: «Крылатая ракета», «Истребитель», «Бомбардировщик». Для анализируемых объектов моделировались прямолинейные траектории полета, отличающиеся параметрами их пространственного перемещения. В качестве сигнальных классификационных признаков использовались дальномерные радиолокационные портреты, а в качестве траекторных – высотно-скоростные характеристики наблюдаемых объектов. Результаты математического моделирования в виде зависи-

мостей вероятностей правильного (D) и ложного (F) распознавания, а также средней длительности процедуры принятия решения (\bar{N}) от отношения сигнал/шум на выходе фильтра сжатия для трех распознаваемых классов представлены на рисунке 3.

II. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты иллюстрируют эффективность представленного алгоритма последовательного РЛР при совместном использовании сигнальных и траекторных признаков с адаптацией к УПО наблюдаемого объекта. Использование при аппроксимации апостериорных плотностей вероятности УПО наблюдаемого объекта и оценки траекторных признаков численного метода Монте-Карло позволяет практически реализовать последовательный алгоритм классификации объектов в современных и (или) перспективных РЛС.

III. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горшков, С. А. Сочетание сигнальных и траекторных признаков в задачах измерения-распознавания / С. А. Горшков, А. С. Солонар // Прикладная радиоэлектроника. — 2009. — Т. 8, №4. — С. 497–500.
2. Храменков, А. С. Последовательное радиолокационное распознавание с минимизацией риска принятия решения о продолжении наблюдения и о классе объекта : дис. ... канд. техн. наук : 05.12.14 / А. С. Храменков. — Минск, 2017. — 194 с.
3. Ярмолик, С. Н. Методика синтеза байесовского алгоритма распознавания радиолокационных объектов с адаптацией к их углам пространственной ориентации / С. Н. Ярмолик [и др.]. // Вест. Воен. акад. Респ. Беларусь. -- 2018. — №4. — С. 53–66.
4. Ярмолик, С. Н. Синтез оптимального устройства последовательного сигнально-траекторного распознавания с адаптацией к пространственной ориентации наблюдаемого объекта / С. Н. Ярмолик [и др.]. // Вест. Воен. акад. Респ. Беларусь. -- 2020. — №3. — С. 80–91.
5. Ярмолик, С. Н. Адаптация к пространственной ориентации объектов в задаче сигнально-траекторного распознавания классов / С. Н. Ярмолик [и др.]. // Информационные технологии и системы 2020 : материалы междунар. науч. конф., Минск, 18 нояб. 2020 г. / редкол.: Л. Ю. Шилин [и др.]. — Минск: БГУИР, 2020. — С. 213–214.

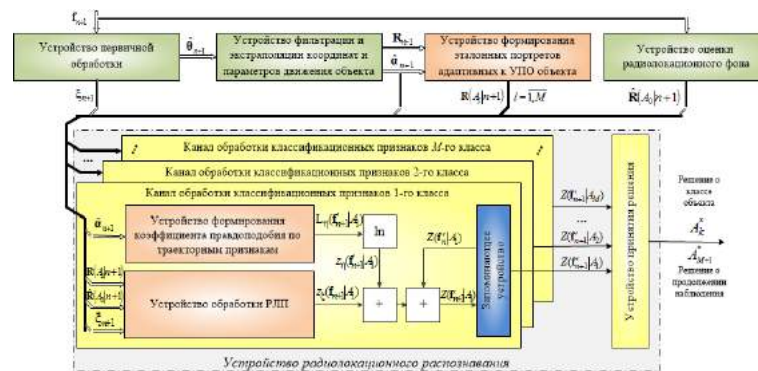
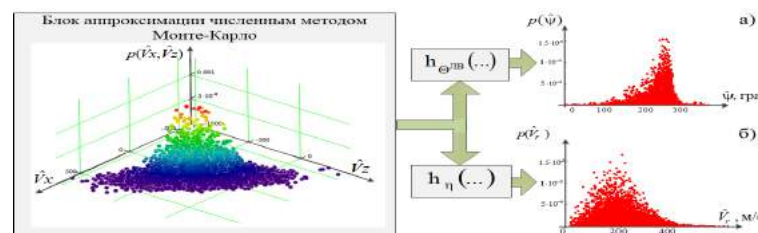


Рис. 1 – Структурная схема последовательного устройства радиолокационного распознавания по сигнальным и траекторным признакам с адаптацией к УПО объекта



а) плотность вероятности угла курса; б) плотность вероятности радиальной скорости

Рис. 2 – Пример аппроксимации плотностей вероятности численным методом Монте-Карло

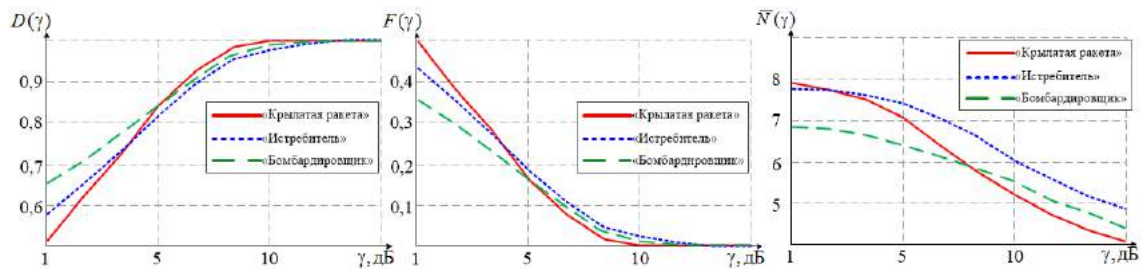


Рис. 3 – Зависимости показателей качества последовательного радиолокационного распознавания от отношения сигнал/шум