

# АДАПТАЦИЯ К ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРИЕНТАЦИИ ОБЪЕКТОВ В ЗАДАЧЕ СИГНАЛЬНО-ТРАЕКТОРНОГО РАСПОЗНАВАНИЯ КЛАССОВ

Ярмолик С. Н., Зайко Е. В., Свинарский М. В., Леонович А. С.

Кафедра автоматики, радиолокации и приема-передающих устройств, Военная академия РБ

Минск, Республика Беларусь

E-mail: zaiko.eugene@mail.ru, mechislav1993@gmail.com

*Основным препятствием практической реализации оптимального устройства распознавания является наличие априорной неопределенности, а также необходимость учета пространственной ориентации объекта при формировании сигнально-траекторных классификационных признаков. В статье предложен вариант адаптации классификационных признаков с помощью метода Монте-Карло.*

## ВВЕДЕНИЕ

Успех противовоздушного боя существенно зависит от качества решения задач целераспределения и целеуказания. Эффективность решения данных задач предполагает наличие информации о классах или типах наблюдаемых объектов. Факт принадлежности наблюдаемого объекта к определенному классу (типу) устанавливается в процессе решения задачи радиолокационного распознавания (РЛР). С учетом того, что задача РЛР решается в условиях сложной воздушной и помеховой обстановки при ограниченности временного ресурса возникает необходимость совершенствования алгоритмов классификации. Для повышения эффективности РЛР используются комбинирование и комплексирование признаков распознавания, их адаптация к условиям наблюдения объектов, использование последовательных процедур принятия решения и т.д. [2]. Для решения задачи РЛР в качестве классификационных признаков широкое распространение получили радиолокационные портреты (РЛП) объектов наблюдения, а также траекторные признаки, характеризующие закономерности их движения [2]. РЛП представляет собой распределение комплексных амплитуд отраженного сигнала по разрешаемым элементам цели. Траекторные признаки являются результатом фильтрации параметров траектории объекта и определяются особенностями пространственного перемещения объекта относительно радиолокатора [3]. Вопрос совместного использования сигнальных и траекторных признаков с адаптацией к условиям наблюдения востребован и актуален при создании перспективных систем РЛР.

## I. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

При синтезе алгоритмов РЛР наиболее широкое распространение получил Байесовский подход, подразумевающий формирование значения среднего (апостериорного) риска [1]. На основании выражения среднего риска формируется решающее правило для принятия решения о принадлежности наблюдаемого объекта к одному из  $M$  классов. Стоит отметить, что общий подход

к формированию среднего риска принятия решения известен [1]. При этом стоит отметить проблему априорной неопределенности, которая возникает при отсутствии данных об априорных плотностях вероятностей (ПВ) классификационных признаков. Сложность практической реализации оптимального устройства, а также отсутствие необходимых априорных данных, обуславливает целесообразность перехода к квазиоптимальным алгоритмам. В квазиоптимальных алгоритмах распознавания процедура принятия решения характеризуется особенностями обработки реализации принятого сигнала на основании выражения для отношения правдоподобия. Рассмотрим особенности формирования отношения правдоподобия при совместном использовании сигнальных и траекторных признаков. При совместном формировании сигнальных и траекторных признаков стоит отметить их слабую корреляцию [2], что позволяет представить обобщенное отношение правдоподобия в следующем виде:  $\Lambda(f|A_g) = \Lambda_\xi(f|A_g)L_\eta(f|A_g)$ , где  $\Lambda_\xi(f|A_g)$  - отношение правдоподобия, характеризующее сигнальные признаки;  $L_\eta(f|A_g)$  - коэффициент правдоподобия, характеризующий траекторные признаки. Обрабатываемые РЛП являются функцией ряда параметров, которые оказывают существенное влияние на вид и параметры РЛП. В качестве одного из таких параметров выступает ориентация наблюдаемого объекта в пространстве [3]. Пространственную ориентацию наблюдаемого объекта будем характеризовать совокупностью трех углов: курса, тангажа и крена ( $\Theta^{ЛВ} = \|\psi^{ЛВ}\nu^{ЛВ}\gamma^{ЛВ}\|^T$ ) в системе координат линии визирования «радиолокатор-объект» [3]. Отношение правдоподобия  $\Lambda_\xi(f|A_g)$  принятой реализации  $f$ , с учетом углов пространственной ориентации наблюдаемого объекта (УПО)  $\Theta^{ЛВ}$ , будет иметь вид [3]:  $\Lambda_\xi(f|A_g) = \int_{\Gamma_{\Theta^{ЛВ}}} p(\Theta^{ЛВ}|A_g)\Lambda(f|\Theta^{ЛВ}, A_g)d(\Theta^{ЛВ})$ , где  $\Theta^{ЛВ}$  - УПО объекта в системе координат линии визирования;  $p(\Theta^{ЛВ}|A_g)$  - априорная ПВ УПО  $\Theta^{ЛВ}$ , при наблюдении объекта  $g$ -го класса;  $\Lambda(f|\Theta^{ЛВ}, A_g)$  - отношение правдоподобия, условное по классу объекта наблюдения  $A_g$  и значению его УПО

$\Theta^{\text{ЛВ}}$ . Следует отметить, что априорная информация о УПО, для текущих условий наблюдения, зачастую отсутствует. Однако стоит отметить, что сформированные текущие оценки, могут уточняться с учетом использования априорной информации. В связи с этим в качестве априорных ПВ УПО наблюдаемого объекта используются их апостериорные значения ( $p(\Theta^{\text{ЛВ}}) \approx p(\Theta^{\text{ЛВ}}|A_g), g = \overline{1, M}$ ) [3]. При этом апостериорный ЗР УПО объекта  $p(\Theta^{\text{ЛВ}})$  связан нелинейным функциональным преобразованием  $h_{\Theta^{\text{ЛВ}}}(\dots)$  с распределением результатов оценивания координат и параметров движения наблюдаемого объекта  $p(\hat{\alpha})$  ( $p(\Theta^{\text{ЛВ}}) = p(h_{\Theta^{\text{ЛВ}}}(\hat{\alpha}))$ ) [3]. При использовании траекторных признаков, функция правдоподобия  $p(f|\hat{\alpha}, A_g)$ , характеризуется значениями вектора состояния  $\hat{\alpha}$ . Составляющие вектора состояния (значения координат объекта, скорости и ускорения их изменения и т.д.) отражают особенности движения наблюдаемого объекта, т.е. траекторные признаки. Траекторные признаки могут быть получены путем функционального преобразования  $\hat{\eta} = h_{\eta}(\hat{\alpha})$  от значений вектора состояния объекта  $\hat{\alpha}$  [2]. При допущении о гауссовско-марковском изменении вектора траекторных признаков ПВ результирующей оценки будет являться максимально правдоподобной оценкой, полученной рекуррентным способом. Таким образом, выражение для функции правдоподобия будет выглядеть следующим образом [2]:  $p(f|A_g) \approx L_{\eta}(f|A_g) = \int_{\Gamma_{\eta}} p(\eta|A_g)p(\hat{\eta}|f, A_g)d(\eta), g = \overline{1, M}$ , где  $\eta$  - траекторные признаки объекта;  $p(\eta|A_g)$  - условная ПВ параметра  $\eta$ , при наблюдении объекта  $g$ -го класса;  $p(\hat{\eta}|f, A_g)$  - апостериорная ПВ траекторных признаков наблюдаемого объекта. Анализ совместного использования сигнальных и траекторных признаков в алгоритмах РЛР показывает необходимость формирования апостериорного ЗР УПО объекта  $p(\Theta^{\text{ЛВ}})$ , а также в получении апостериорной ПВ оценки траекторных признаков  $p(\hat{\eta}|f, A_g)$ . Для аппроксимации апостериорных ПВ оценок предлагается использовать численный метод Монте-Карло [4]. В основе метода Монте-Карло лежит аппроксимация произвольной плотности  $p(\alpha)$  совокупностью случайных отсчетов  $\alpha^{(s)} (s = \overline{1, N_{\text{МК}}}, N_{\text{МК}} \gg 1)$  с использованием нормированных весов этих отсчетов  $w^{(s)}$  [4]. В качестве примера использования

метода Монте-Карло на рисунке 1 представлен вариант аппроксимации ПВ оценки угла курса и радиальной скорости наблюдаемого объекта. На основании данных оценок составляющих вектора состояния  $\hat{\alpha}$ , а также значений корреляционной матрицы ошибок фильтрации  $\mathbf{R}$  формируются весовые коэффициенты  $w^{(s)}$  и значения отсчетов  $\alpha^{(s)}$ . С учетом полученных, с помощью функциональных преобразований  $\hat{V}_r^{(s)} = h_{\eta}(\hat{\alpha}^{(s)})$  и  $\hat{\psi}^{(s)} = h_{\Theta^{\text{ЛВ}}}(\hat{\alpha}^{(s)})$ , значений случайных отсчетов  $\hat{\psi}^{(s)}$  и  $\hat{V}_r^{(s)}$ , и на основании нормированных весов  $w^{(s)}$ , аппроксимируется ПВ угла курса  $p(\hat{\psi}^{\text{ЛВ}})$  (рис.1,а) наблюдаемого объекта, а также апостериорная ПВ траекторных признаков  $p(\hat{V}_r|f, A_g)$  (рис.1,б).

## II. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрен вариант использования численного метода Монте-Карло при аппроксимации ПВ сигнальных и траекторных признаков в интересах решения задачи РЛР. Представленный подход позволяет решать задачу классификации при совместном использовании сигнальных и траекторных признаков. Использование численного метода Монте-Карло при аппроксимации априорной ПВ УПО наблюдаемого объекта позволяет адаптировать РЛР распознаваемых объектов к УПО объекта наблюдения. Совместное использование сигнальных и траекторных признаков с адаптацией к УПО объекта позволяет повысить эффективность решения задачи распознавания при проектировании устройств РЛР в современных и перспективных радиолокаторах.

## III. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Репин, В. Г. Статистический синтез при априорной неопределенности и адаптации информационных систем / В. Г. Репин, Г. П. Тартаковский. – М.: Сов. радио, 1977. – 432 с.
2. 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.
3. Ярмолик, С. Н. Оценивание углов ориентации летательного аппарата в интересах адаптации к условиям наблюдения / С. Н. Ярмолик [и др.]. // Вест. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2017. – №4. – С. 73–82.
4. Соболев, И. М. Численные методы интегрирования Монте-Карло / И. М. Соболев. – М.: Наука, 1973. – 311 с.

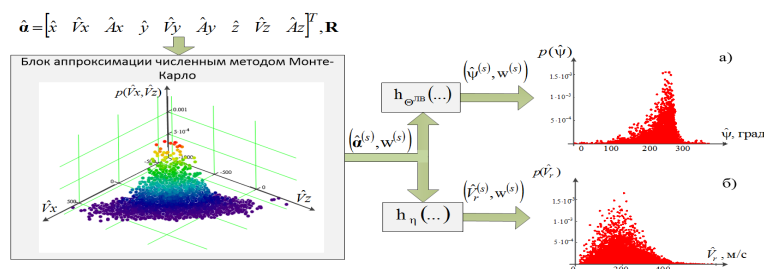


Рис. 1 – Пример аппроксимации плотностей вероятности численным методом Монте-Карло