

В качестве основного инструмента использовались модели нейронных сетей прямого распространения [1], реализованные на языке Python. Приведены результаты экспериментальных исследований, показывающие точность определения класса от используемой топологии нейронной сети.

Результаты и их обсуждение. Результаты наиболее удачных топологий нейронных сетей представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты тестирования

	Модель 2		Модель 3		Модель 4		Модель 5	
	Кол-во нейронов	Функция активации	Кол-во нейронов	Функция активации	Кол-во нейронов	Функция активации	Кол-во нейронов	Функция активации
Слой 1	18	Tanh	18	Tanh	18	Tanh	18	Tanh
Слой 2	36	RELU	36	RELU	36	RELU	36	RELU
Слой 3	9	RELU	36	RELU	36	RELU	18	Sigmoid
Слой 4	9	RELU	9	RELU	36	RELU	36	RELU
Слой 5	9	Softmax	9	Softmax	9	Softmax	9	Softmax
Точность	54.55%		63.64%		54,5%		69.2%	

Для исходной выборки данных точность составила 20–30%, что является не удовлетворительным результатом. Точка пространственного расположения опухоли далеко не всегда совпадает с самым «горячим» местом на тепловой карте, поэтому данные были подобраны таким образом, чтобы местоположение опухоли совпадало с областью максимальной температуры. На этой специально созданной выборке была обучена и протестирована нейронная сеть. Результаты тестирования показали точность 55–69% (таблица 1).

Заключение. Задача локализации раковых опухолей является довольно трудной по ряду причин: неполнота информации в медицинских базах и довольно малые объемы данных натуральных экспериментов. Для обучения и тестирования нейронных сетей необходимо задействовать как можно больше входных данных. В данном случае применение результатов компьютерного моделирования видится достаточно перспективным направлением в развитии данного подхода.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 19-01-00358.

1. Goodfellow I. Deep learning. / Goodfellow I., Bengio Y., Courville A // MIT press, 2016. – 787 P.
2. Глазунов В.А., Лосев А.Г. Алгоритм локализации опухоли при раке молочной железы по данным микроволновой термометрии. Инженерный вестник Дона, 2019, № 7, С. 1–15
3. Жуков Л.А., Решетникова Н.В. Приложения нейронных сетей: Учебное пособие для студентов, учащихся лицей и ЗПШНИ // Л. А. Жуков, Н. В. Решетникова. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2007. – 154 с.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ СИГНАЛЬНО-ТРАЕКТОРНОГО РАСПОЗНАВАНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ОБЪЕКТОВ С АДАПТАЦИЕЙ К УСЛОВИЯМ НАБЛЮДЕНИЯ

Зайко Е.В., Свинарский М.В.,

*адъюнкт, инженер лаборатории кафедры автоматики, радиолокации и приема-передающих устройств УО «ВА РБ», г. Минск, Республика Беларусь
Научный руководитель – Ярмолик С.Н., канд. техн. наук, доцент*

Для эффективного противодействия налету противника необходимо обеспечить первоочередное уничтожение наиболее опасных целей в налете. Для выбора таких целей необходимо иметь соответствующую информацию о классах или типах наблюдаемых объектов. Факт принадлежности наблюдаемого объекта к определенному классу или типу устанавливается в процессе решения задачи распознавания [1, С. 10–15].

Для решения задачи радиолокационного распознавания (РЛР) в качестве отличительных признаков широко используют сигнальные и траекторные классификационные признаки объектов [1, С. 7–23]. С учетом того, что задача РЛР решается в условиях сложной воздушной и помеховой обстановки при ограниченности временного ресурса, возникает необходимость повышения эффективности алгоритмов РЛР. Совершенствование

алгоритмов РЛР достигается комбинированием классификационных признаков различной природы, их адаптацией к условиям наблюдения, а также использованием последовательных процедур принятия решения и т.п. [2].

В основе сигнальных признаков лежат радиолокационные портреты (РЛП). РЛП являются дискретным представлением образа объекта, характеризующим распределение его отражательных свойств по координатам пространства наблюдения [1, С. 10–15]. Существенное влияние на вид и параметры РЛП оказывают углы пространственной ориентации (УПО) $\hat{\Theta}^{лв}$ наблюдаемого объекта [3]. Траекторные признаки характеризуют особенности пространственного перемещения объекта и являются результатом оценивания координат и фильтрации параметров траектории объекта. Постоянно изменяющиеся условия наблюдения объекта определяют отличительные особенности его сигнальных и траекторных классификационных признаков, а также обуславливают необходимость постоянной адаптации эталонных РЛП к текущим УПО объекта [2; 3].

В рамках доклада рассматривается алгоритм последовательного распознавания при совместном использовании сигнальных и траекторных признаков с одновременной адаптацией к УПО объекта.

Материал и методы. Общий подход к синтезу алгоритмов классификации известен. При синтезе алгоритмов РЛР наибольшее распространение получил Байесовский подход, который подразумевает формирование значения среднего (апостериорного) риска на основе данных наблюдения и его минимизацию путем выбора оптимального решающего правила [2]. Отсутствие априорных данных обуславливает необходимость перехода к квазиоптимальным алгоритмам РЛР [2].

Результаты и их анализ. В процессе выполненных исследований синтезирован оптимальный алгоритм последовательного сигнально-траекторного распознавания с адаптацией к УПО [2]. Введение ряда ограничений позволило осуществить переход к квазиоптимальному алгоритму. Решающее правило квазиоптимального последовательного алгоритма сигнально-траекторного РЛР с адаптацией к УПО объекта наблюдения на $(n+1)$ -м контакте будет выглядеть следующим образом:

$$\text{для } (n+1) < K : \text{если } \begin{cases} Z(\xi'_{n+1}|A_k) > Z(\xi'_{n+1}|A_l), l = \overline{1, M}, l \neq k \\ Z(\xi'_{n+1}|A_k) > \ln \left(\sum_{g=1, g \neq k}^M e^{-Z(\xi'_{n+1}|A_g)} \right) + \ln \left(\frac{1 - \Pi_{M+1}}{\Pi_{M+1}} \right), \text{ то } A_k^*, \\ \text{иначе } A_{M+1}^*, \end{cases}$$

$$\text{для } (n+1) = K : \text{если } Z(\xi'_{n+1}|A_k) > Z(\xi'_{n+1}|A_l), l = \overline{1, M}, l \neq k, \text{ то } A_k^*,$$

где $Z(\xi'_{n+1}|A_k) = z_\eta(\xi'_{n+1}|A_k) + \sum_{r=1}^{n+1} z_\xi(\xi_r|A_k)$ – обобщенное значение логарифма правдоподобия при совместном использовании сигнальных и траекторных признаков; $z_\eta(\xi'_{n+1}|A_k) = \ln(L_\eta(\xi'_{n+1}|A_k))$ – логарифм коэффициента правдоподобия по траекторным признакам; $z_\xi(\xi_r|A_k)$ – логарифм отношения правдоподобия по сигнальным признакам; Π_{M+1} – стоимость принятого решения о продолжении наблюдения; $\xi'_{n+1} = \{\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_{n+1}\}$ – совокупность отсчетов РЛП на $(n+1)$ -м контакте; A_k^* – принятое решение о k -м классе наблюдаемого объекта; K – номер шага, при котором принимается однозначное решение о классе объекта.

Выражение для логарифма отношения правдоподобия по сигнальным признакам имеет следующий вид:

$$z_\xi(\xi_{n+1}|A_k) = \xi_{n+1}^{*T} \mathbf{B}_{n+1}(A_k) \xi_{n+1} + a_{n+1}(A_k),$$

Где $\mathbf{B}_{n+1}(A_k)$ – матрица обработки РЛП в k -ом канале обработки устройства распознавания; $a_{n+1}(A_k)$ – смещение в k -ом канале обработки устройства распознавания; $\mathbf{R}(A_k|n+1)$ – корреляционная матрица РЛП, адаптивная к УПО, для k -го канала обработки устройства распознавания; $\hat{\mathbf{R}}(A_0|n+1)$ – корреляционная матрица фона.

Выражение для корреляционной матрицы РЛП $\mathbf{R}(A_k|n+1)$, с учетом адаптации к УПО объекта, будет выглядеть следующим образом:

$$\mathbf{R}(A_k|n+1) = \int_{\Gamma_{\Theta_{n+1}^{\text{ЛБ}}}} \mathbf{R}(A_k|\Theta_{n+1}^{\text{ЛБ}}, n+1) p(\hat{\Theta}_{n+1}^{\text{ЛБ}}) d\Theta_{n+1}^{\text{ЛБ}}, k = \overline{1, M},$$

где $\mathbf{R}(A_k|\Theta_{n+1}^{\text{ЛБ}}, n+1)$ – корреляционная матрица РЛП, зависящая от УПО объекта в k -м канале обработки устройства распознавания; $p(\hat{\Theta}_{n+1}^{\text{ЛБ}})$ – апостериорная плотность распределения УПО объекта.

Выражение для коэффициента правдоподобия по траекторным признакам имеет следующий вид [2]:

$$L_{\eta}(\xi'_{n+1}|A_k) \approx \int_{\Gamma_{\eta_{n+1}}} p(\eta_{n+1}|A_g) p(\hat{\eta}_{n+1}|\xi'_{n+1}, A_g) d(\eta_{n+1}), g = \overline{1, M}$$

где $L_{\eta}(\hat{\xi}_{n+1}|A_g)$ – коэффициент правдоподобия, сформированный по траекторным признакам; $p(\hat{\eta}_{n+1}|\hat{\xi}_{n+1}, A_g)$ – апостериорная плотность вероятности траекторных признаков наблюдаемого объекта; $p(\eta_{n+1}|A_g)$ – априорная плотность вероятности параметра η_{n+1} ;

Эффективность функционирования предложенного алгоритма оценивался методом математического моделирования. Полученные результаты подтвердили повышение качества принимаемых решений при решении задачи распознавания.

Заключение. Представленный алгоритм последовательного РЛР при совместном использовании сигнальных и траекторных признаков с адаптацией к УПО наблюдаемого объекта позволяет повысить эффективность решения задачи распознавания. Переход к казиоптимальному решающему правилу позволяет без потери основных преимуществ оптимального алгоритма распознавания существенно упростить его практическую реализацию.

1. Курлович, В. И. Основы теории радиосистем: учеб. пособие / В. И. Курлович, С. В. Шаляпин. – Минск: ВА РБ, 1999. – 342 с.

2. Ярмолик, С. Н. Синтез оптимального устройства последовательного сигнально-траекторного распознавания с адаптацией к пространственной ориентации наблюдаемого объекта / С. Н. Ярмолик, Е. В. Зайко, М. В. Свинарский // Вест. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2020. – № 3. – С. 80–91.

3. Ярмолик, С. Н. Адаптация устройства радиолокационного распознавания к изменяющимся углам пространственной ориентации объекта наблюдения / С. Н. Ярмолик [и др.]. // Вест. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2019. – № 4. – С. 127–137.