
Методы и научно-технические решения информационного обеспечения для противодействия перспективным средствам воздушно-космического нападения в современных условиях

УДК 004.93'12

Распознавание мод отметок радиолокационных изображений с использованием нейронных сетей

© Е.А. Кузина, И.Ю. Межуев, М.В. Пигальский,
С.А. Рылов, И.Ю. Якупов

АО «НПО дальней радиолокации имени академика А.Л. Минца»

Правильная классификация мод является тривиальной задачей при наблюдении нескольких мод, которые могут быть отсортированы по дальности. Однако при появлении нового объекта в зоне контроля возможно наблюдение только одной моды, что создает проблему ее правильной классификации. В работе описан метод составления и обучения модели на наборе данных, основанный на предположении о статистической однородности экспериментальных данных. Показано, что использование модели позволяет классифицировать моды отметок на новых радиолокационных изображениях. Разработанная нейронная сеть позволяет классифицировать моду отметки вне зависимости от порядка обнаружения, что дает возможность точнее определять дальность до цели.

Ключевые слова: радиолокационное изображение, нейронные сети, машинное обучение, моды.

Введение. Одним из перспективных методов решения задач распознавания объектов на радиолокационных изображениях (РЛИ) является применение нейронных сетей [1–3]. Наиболее распространенным методом обучения нейронных сетей является обучение с учителем. Этот метод предполагает наличие размеченного набора данных с отметками классов, из которого формируется обучающее множество. Обученная на этом наборе нейронная сеть способна эффективно классифицировать новые для нее данные этих же классов.

Моды отметок на РЛИ возникают из-за отражения сигналов от различных слоев ионосферы. При этом возникает несколько путей распространения радиосигнала, отраженного от данного объекта. Наибо-

лее часто сигналы отражаются от слоев F1, F2, E, которые могут появляться или исчезать в зависимости от времени наблюдения и погодных условий [4].

Для оптимального расчета расстояния до объекта нужно в том числе знать моду наблюдаемой в данный момент отметки. Правильная классификация мод является тривиальной задачей при наблюдении нескольких мод, которые могут быть отсортированы по дальности. Однако при появлении нового объекта в зоне контроля или изменении условий приема возможно наблюдение только одной моды, что создает проблему ее правильной классификации.

В данной работе для определения номера моды используется анализ большого количества РЛИ изолированных окрестностей отметок с известными модами. Для анализа используется нейронная сеть, которая обучается на данном множестве. Этот подход позволяет исследовать различие или схожесть мод между собой и, исходя из этих результатов, оптимизировать их дальнейшую классификацию.

В работе рассматривается классификация трех чаще всего встречающихся на РЛИ мод, возникающих в результате отражения от различных слоев F.

Применение нейронной сети для классификации мод. Разработанная авторами нейронная сеть позволила на основе РЛИ, полученных после первичной обработки, классифицировать моды отметок. Данные для обучения состояли из окрестностей отметок размером $11 \times 75 \times 5$ пикселей в координатах (дальность, скорость, азимут) с отметкой, расположенной в центре. Данные были размечены на принадлежность одной из трех мод.

В отдельном эксперименте нейронная сеть обучалась распознавать только две моды. При этом классификация на 1-ю и 3-ю моду показала точность 68 %; на 1-ю и 2-ю — 61 %; на 2-ю и 3-ю — 62 %.

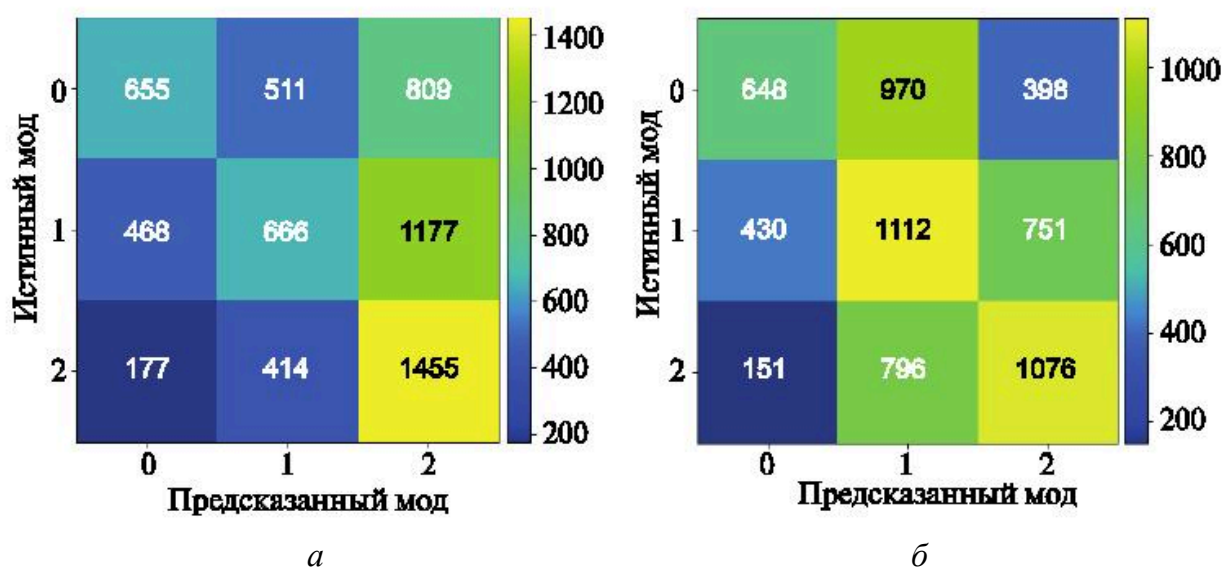
Первая версия модели представляла из себя три сверточных слоя с последующими полносвязными слоями. Обучающий набор данных для данной модели состоял из 4500 отметок и показал точность 54 % при классификации на три класса, 62 % — при классификации объединения 1-го и 2-го класса против 3-го класса и 68 % — при классификации 1-го класса против объединения 2-го и 3-го классов. Эти результаты и другие метрики, полученные при обучении модели, привели к рассмотрению необходимости увеличения набора данных и изменения принципа классификации.

Во второй версии модели использовалась методика многозначной классификации [5], которая позволяет присваивать объектам несколько

классов одновременно. Были определены два базовых класса для 1-й и 3-й моды, а 2-я мода определялась наличием двух базовых классов одновременно (1 + 3). Данное решение было принято в предположении, что часть свойств 2-й моды определяется суперпозицией 1-й и 3-й. В модель нейронной сети были добавлены сверточные блоки и в 15 раз увеличен обучающий набор данных.

Данные изменения позволили улучшить результаты модели: метрика точности показала точность 52,0 % при сравнении всех трех мод, 69,9 % при сравнении 1-й и 2-й мод с 3-й модой, 70,3 % — 1-й со 2-й и 3-й модами. Таким образом, результаты превышают достоверность случайного выбора одной из трех мод.

При оптимизации также рассматривались разные пороговые значения вероятности классификации. На рисунке представлены матрицы ошибок для разных порогов, оптимальным значением порога является 0,645.



Матрица ошибок для порога 0,6 (а) и 0,7 (б)

Заключение. Разработанная авторами модель нейронной сети позволяет анализировать окрестности изолированных отметок на РЛИ и классифицировать их по модам. Были рассмотрены различные варианты классификации и модели нейронных сетей. Была получена 71%-ная точность классификации по трем модам, что превышает точность случайного выбора неизвестной моды для изолированной отметки. Определение моды наблюдаемой в данный момент отметки, основанное на анализе окрестности РЛИ, позволяет оптимизировать расчет расстояния до объекта.

По результатам проведенных исследований был сделан вывод об эффективности применения предлагаемого метода распознавания мод отметок и о перспективности его применения при решении практических задач радиолокации.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Татузов А.Л. *Нейронные сети в задачах радиолокации*. Москва, Радиотехника, 2009.
- [2] Дудихин В.В., Иванов А.С., Межуев И.Ю., Шоков А.В., Якупов И.Ю. Распознавание радиолокационных изображений, полученных в миллиметровом диапазоне, с использованием нейронных сетей. *Вестник Концерна ВКО «Алмаз – Антей»*. 2022, № 3, с. 48–58.
- [3] Баданина Н.Д., Дудихин В.В., Межуев И.Ю., Новикова Н.С., Якупов И.Ю. Метод верификации объектов на радиолокационных изображениях с использованием ансамблей нейронных сетей. *Наукоемкие технологии*. 2023, т. 24. № 2, с. 79–85, DOI: <https://doi.org/10.18127/j19998465-202302-10>
- [4] Белоцерковский Г.Б. *Основы радиотехники и антенны*. Ч. I. Москва, Советское радио, 1969, с. 406–407.
- [5] Tidake V.S., Sane S.S. Multi-label Classification: a survey. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018, 7 (4.19), pp. 1045–1054.

Кузина Екатерина Алексеевна — инженер 2 категории АО «НПО дальней радиолокации имени академика А.Л. Минца». e-mail: ekkuzina@npodr.ru

Межуев Игорь Юрьевич — канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник АО «НПО дальней радиолокации имени академика А.Л. Минца». e-mail: imezhuev@npodr.ru

Пигальский Максим Валерьевич — инженер АО «НПО дальней радиолокации имени академика А.Л. Минца». e-mail: mpigalskiy@npodr.ru

Рылов Сергей Андреевич — инженер, АО «НПО дальней радиолокации имени академика А.Л. Минца». e-mail: srylov@npodr.ru

Якупов Игорь Юрьевич — начальник лаборатории АО «НПО дальней радиолокации имени академика А.Л. Минца». e-mail: iyakupov@npodr.ru

Recognition of radar-image target modes using neural networks

© E.A. Kuzina, I.Yu. Mezhev, M.V. Pigalskiy, S.A. Rylov, I.Yu. Yakupov

Long-Range Radar, JSC

Targets obtained using over-the-horizon radar are characterized by a number of parameters, including the mode, which determines the propagation path of the signal in the ionosphere. To calculate the range to the target object optimally, it is necessary to know the target mode. Correct classification of modes is a trivial task when observing multiple modes that can be sorted by range. However, when a new object appears in the control zone, it is possible to observe only one mode, which creates a problem of its correct classification. The goal of this work is to develop and apply a neural network for the problems of classifying isolated modes using the neighborhoods of targets on radar images. In this paper, under the assumption of statistical homogeneity of the experimental data, a trained model is proposed. It is shown that the model allows to classify target modes on new radar images. The developed neural network allows classifying the target mode regardless of the order of its detection, which makes it possible to more accurately determine of the range to the target.

Keywords: radar image, neural networks, machine learning, modes.

Kuzina E.A., Engineer of the 2nd category at the Long-Range Radar, JSC.
e-mail: ekkuzina@npodr.ru

Mezhuev I.Yu., Ph.D. (Eng.), Leading researcher at the Long-Range Radar, JSC.
e-mail: imezhuev@npodr.ru

Pigalskiy M.V., Engineer at the Long-Range Radar, JSC. e-mail: mpigalskiy@npodr.ru

Rylov S.A., Engineer at the Long-Range Radar, JSC. e-mail: srylov@npodr.ru

Yakupov I.Yu., Head of laboratory at the Long-Range Radar, JSC.
e-mail: iyakupov@npodr.ru