

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
ВСЕРОССИЙСКАЯ ГРУППА ТЕОРИИ ИНФОРМАЦИИ ИЕЕЕ
АКАДЕМИЯ ИНФОРМАТИЗАЦИИ ОБРАЗОВАНИЯ
ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ООО «ОТКРЫТЫЕ РЕШЕНИЯ»
ОБЩЕСТВО «ЗНАНИЕ» РОССИИ
ПРИВОЛЖСКИЙ ДОМ ЗНАНИЙ

*XXII Международная
научно-техническая конференция*

**ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАТИКИ
В ОБРАЗОВАНИИ, УПРАВЛЕНИИ,
ЭКОНОМИКЕ И ТЕХНИКЕ**

Сборник статей

Декабрь 2022 г.

Пенза

УДК 004
ББК 32.81я43+74.263.2+65.050.2я43
П781

П781 **ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАТИКИ В ОБРАЗОВАНИИ,
УПРАВЛЕНИИ, ЭКОНОМИКЕ И ТЕХНИКЕ :**
сборник статей XXII Международной научно-технической
конференции. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2022. – 356 с.

ISBN 978-5-8356-1800-2
ISSN 2311-0406

Под редакцией *В.И. Горбаченко*, доктора технических наук,
профессора;
В.В. Дрождина, кандидата технических наук,
профессора

Информация об опубликованных статьях предоставлена в систему Рос-
сийского индекса научного цитирования (РИНЦ) по договору
№ 573-03/2014К от 18.03.2014.

ISBN 978-5-8356-1800-2
ISSN 2311-0406

© Пензенский государственный
университет, 2022
© АННМО «Приволжский Дом знаний», 2022

*XXII International
scientific and technical conference*

**PROBLEMS OF INFORMATICS
IN EDUCATION, MANAGEMENT,
ECONOMICS AND TECHNICS**

December, 2022

Penza

2. Khachaturova K.R. Information technology as a means of development of creative abilities of primary school pupils in natural science lessons // Глобальный научный потенциал. – 2015. – № 9 (54). – С. 111-113.

Попов Никита Владимирович
Яковлева Наталья Геннадьевна
Ханов Максат Нурбердиевич
Сухов Евгений Николаевич
Тверской государственный
технический университет,
г. Тверь, Россия

Popov N. V.
Yakovleva N. G.
Khanov M. N.
Sukhov E.N.
Tver State Technical University,
Tver, Russia

УДК 621.376

АНАЛИЗ МЕТОДОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВИДОВ МОДУЛЯЦИИ РАДИОСИГНАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

А.М. Ушакова, А.Л. Приоров, В.Д. Набилоков, М.А. Лаврентьев

ANALYSIS OF AUTOMATIC MODULATION CLASSIFICATION USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

A.M. Ushakova, A.L. Priorov, V.D. Nabilkov, M.A. Lavrentiev

Аннотация. Автоматическое определение видов цифровой модуляции радиосигналов играет важную роль в развитии интеллектуального когнитивного радио. Рассмотрены алгоритмы автоматического определения таких видов на основе аппарата искусственных нейронных сетей. Использование представленных моделей позволяет добиться средней точности классификации порядка 80-90%.

Ключевые слова: радиосвязь, цифровая модуляция, распознавание, классификация, искусственные нейронные сети, глубокое обучение.

Abstract. Automatic detection of types of digital modulation of radio signals plays an important role in the development of intelligent cognitive radio. Algorithms for automatic detection of such types based on the apparatus of artificial neural networks are considered. The use of the presented models makes it possible to achieve an average classification accuracy of about 80-90%.

Key words: radio communication, digital modulation, recognition, classification, artificial neural networks, deep learning.

Введение

Автоматическое определение видов цифровой модуляции радиосигналов (AMR – automatic modulation recognition, AMC – automatic modulation classification) имеет большое значение для решения задач в области современной радиосвязи. Применение алгоритмов автоматического определения указанных видов модуляции связано с необходимостью обнаружения полезного сигнала, идентификации помех, контроля радиочастотного спектра. Классификация обнаруженных полезных радиосигналов по видам цифровой модуляции, облегчает получение данных о типе передающих устройств, модели беспроводной передачи данных, характеристиках используемых сигналов. В дальнейшем предоставление достаточно точных данных об используемом виде цифровой модуляции позволит усовершенствовать процесс демодуляции и последующей обработки сигнала. Знание используемого вида модуляции помогает извлекать цифровую информацию даже в условиях ограниченной предварительной (априорной) информации.

Основополагающей задачей для использования алгоритмов автоматического определения видов цифровой модуляции является контроль и обнаружение сигнально-кодовых конструкций, обеспечение своевременного и надежного обмена данными. Реализация этой задачи позволит определить вид модуляции в рабочих диапазонах, сделать реконфигурацию связи, оптимально использовать радиочастотный спектр [1-3].

Существующие алгоритмы автоматического определения видов модуляции можно разделить на две основные категории: алгоритмы, основанные на вероятностном методе (likelihood-based), и алгоритмы, основанные на методах выделения параметров сигнала (feature-based). Методы на основе выделения параметров позволяют извлечь определенные особенности из принятого сигнала и передать их классификатору. К таким методам можно отнести: методы, основанные на получении мгновенных временных характеристик, статистические методы, методы преобразования признаков, вейвлет-преобразование, методы машинного обучения и другие.

Применение этих методов в комбинации с методами машинного обучения, в частности использование искусственной нейронной сети в качестве классификатора, обеспечивает улучшение производительности и эффективности.

В последнее время все реже встречаются методы на основе использования классической нейронной сети (персептрон, многослойный персептрон) в качестве классификатора, и все большее распространение получают методы на основе глубокого обучения. Оно предполагает наличие сложной архитектуры сети и большого объема данных для обучения. Использование

этого метода обучения нейронной сети для решения задачи автоматического определения видов цифровой модуляции исключает необходимость в алгоритмах извлечения признаков из радиосигналов и приближает разработчиков и исследователей к созданию интеллектуального когнитивного радио.

Выделение признаков и классификаторы

Использование искусственной нейронной сети (ИНС) для решения задачи автоматического определения вида цифровой модуляции радиосигналов в классическом (традиционном) подходе разделяется на два независимых этапа: выделение признаков входного сигнала и классификация.



Рис. 1. Схема определения видов цифровой модуляции с использованием блока выделения признаков и классификатора

В качестве алгоритма выделения признаков могут использоваться ранее хорошо зарекомендовавшие себя методы автоматического определения видов цифровой модуляции такие, как вейвлет-преобразование (декомпозиция сигнала) [4], моменты и кумулянты высокого порядка [5], выделение мгновенных характеристик сигнала и другие методы. Полученные признаки различимости, информативности сигнала далее передаются на входной слой ИНС, для проведения классификации входного сигнала.

Алгоритмы на основе вейвлет-преобразования и ИНС в качестве классификатора [5] имеют высокую устойчивость к низким значениям отношения сигнал-шум (ОСШ) входного сигнала, но, несмотря на это, имеются проблемы с внутриклассовой классификацией вида цифровой модуляции типа M-FSK и M-PSK.

Методы на основе вычисления моментов и кумулянтов высокого порядка [5-8] имеют большое распространение и используют различные виды классификаторов. В [5] классификатором выступала ИНС на основе многослойного персептрона. Метод обеспечивает правильную вероятность распознавания цифровых модуляций сигналов: FSK-2 ~ 0,99; ASK ~ 0,98; PSK-2 ~ 0,99; PSK-4 ~ 0,7; PSK-8 ~ 0,98; QAM-16 ~ 0,86. В работах [6-8] в качестве классификаторов использованы глубокие и сверточные нейронные сети. Для предотвращения ошибок распознавания внутриклассовых видов модуляции в [8-9] используется комбинация моментов высокого порядка и кумулянтов с мгновенными характеристиками сигнала. Предложенное решение

позволило снизить порог ОСШ при высокой вероятности распознавая девяти видов модуляций [9]. Вероятность успешного распознавания вида цифровой модуляции при ОСШ = 0 дБ примерно равна 99%.

Глубокое обучение

В последнее время глубокое обучение получило большое распространение во многих областях науки и техники. Данный вид обучения показывает свою эффективность в решении самых различных задач, таких как классификация изображений, распознавание речи, генерация машинного перевода. Благодаря сложной структуре сети с множеством скрытых слоев, позволяющим выполнять обработку данных и выделение признаков внутри сети, и большого количества данных, исчезает необходимость в разработке алгоритмов выделения информационных признаков радиосигналов.

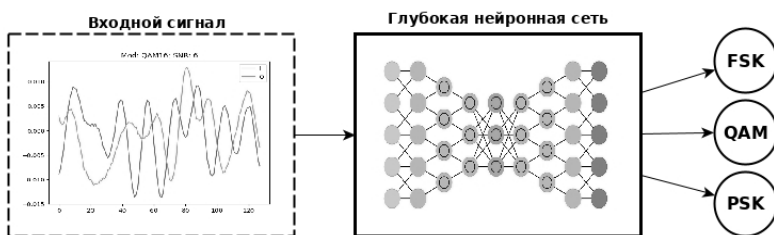


Рис. 2. Схема определения вида цифровой модуляции с использованием глубокой нейронной сети

Заключение

Представлены два подхода к решению задачи автоматического определения вида цифровой модуляции с использованием искусственных нейронных сетей. Использование ИНС в качестве классификатора для алгоритмов выделения информационных признаков радиосигналов имеет хорошие результаты классификации видов модуляции при низком ОСШ, но при этом требует больших вычислительных ресурсов. Сложность повышается, если использовать классическую полносвязную нейронную сеть.

Использование глубоких нейронных сетей для задачи классификации видов цифровой модуляции освобождает от разработки отдельных алгоритмов выделения признаков и классификации, при применении большом объеме данных для обучения. Данный метод также имеет хорошие результаты классификации при относительно низком ОСШ, но имеет неустойчивость к изменяемым характеристикам входного сигнала.

Библиографический список

1. O'Shea T., Roy T., Clancy T.C. Over the Air Deep Learning Based Radio Signal Classification // IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing. vol. 12. 2018. pp. 168-179.
2. Zhu Z., Nandi A.K., Automatic Modulation Classification Principles, Algorithms and Applications 2015.
3. Zhang D., Ding W., Zhang B., Xie C., Li H., Liu C., Han J. Automatic Modulation Classification Based on Deep Learning for Unmanned Aerial Vehicles // MDPI Sensors (Basel). 2018.
4. Walencykowska M., Kawalec A. Type of modulation identification using Wavelet Transform and Neural Network // BULLETIN OF THE POLISH ACADEMY OF SCIENCES TECHNICAL SCIENCES. vol. 64, No. 1, 2016. pp. 257-261.
5. Аджемов С.С., Терешонок М.В., Чиров Д.С. Распознавание видов цифровой модуляции радиосигналов с использованием нейронных сетей. // ВМУ. Серия 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 2015. № 1. С. 23-28.
6. Smith A., Evans M., Downey J., Modulation Classification of Satellite Communication Signals Using Cumulants and Neural Networks // Cognitive Communications for Aerospace Applications Workshop. 2017. United States.
7. Kawamoto D.T., Mcgwier R.W. Rigorous Moment-Based Automatic Modulation Classification // Proceedings of the GNU Radio Conference. [S.l.], vol. 1, n. 1, 2016.
8. Ho Lee Jung, Kim Kwang-Yul, Shin Yoan Feature Image-Based Automatic Modulation Classification Method Using CNN Algorithm // International Conference on Artificial Intelligence in Information and Communication. 2019. pp. 560-563.
9. Lee J.H., Kim J., Kim B., Yoon D., Jun Won Choi. Robust Automatic Modulation Classification Technique for Fading Channels via Deep Neural Network // Entropy. 2017.

Ушакова А.М.

Приоров А.Л.

Набилоков В.Д.

Лаврентьев М.А.

Ярославский государственный
университет им. П.Г. Демидова,
г. Ярославль, Россия

Ushakova A.M.

Priorov A.L.

Nabilokov V.D.

Lavrentiev M.A.

Yaroslavl State University
named after P.G. Demidov,
Yaroslavl, Russia