методы контроля срабатывают в случаях потери или хищения носителей, действенны при работе с объектами критической информационной инфраструктуры.

Всё более широким становится сектор *средств биометрической аутентификации*, например, электронная дактилоскопия, аутентификация по сетчатке или по радужной оболочке глаза, по геометрии руки или лица, термография лица, распознавание голоса, почерка, верификация подписи и тому подобное. Это перспективное и постоянно развивающееся направление, новые открытия в котором ещё, несомненно, впереди.

Несомненно, фактором успеха в современном мире является не столько создание информации, сколько умение обеспечить её безопасность, сохранность. Поэтому не оставляет сомнения, что информационная защищённость организаций, индивидуальных пользователей персональных компьютеров в современном мире должна быть беспрецедентной. Состояние незащищенности информационной среды – задача первого плана для современного общества, которое всё больше зависти от Интернет-технологий.

***

1. Федеральный закон от 27.07.2006 (ред. 09.03.2021) №149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и защите информации»
2. <https://referat.me/informatics/130892-sovremennye-tehnologii-obyebespecheniya-informacionnoy-bezopasnosti>
3. ГОСТ 34.10-2018 (полное название: «ГОСТ 34.10-2018. Информационная технология. Криптографическая защита информации. Процессы формирования и проверки электронной цифровой подписи», англ. «Information technology. Cryptographic data security. Signature and verification processes of electronic digital signature»)
4. Федеральный закон "О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации" от 26.07.2017 N 187-ФЗ (последняя редакция)

Сафонов Н.М.

Классификация радиосигналов свёрточными нейронными сетями

*Российский технологический университет МИРЭА
(Россия, Москва)*

doi: 10.18411/lj-04-2021-23

Аннотация

В настоящей статье представлен краткий экскурс в теоретическую и практическую сферу классификации радиосигналов с помощью метода свёрточных нейронных сетей, представление того, что такое радиосигнал, его виды и сферы применения. Оценка возможностей нейронной сети.

Ключевые слова: нейронная сеть, радиосигнал, глубокое обучение, свёрточная сеть.

Abstract

This article presents a brief overview of the theoretical and practical field of classification of radio signals using the convolutional neural network method, an idea of what a radio signal is, its types and applications. Evaluating the capabilities of a neural network.

Key words: neural network, radio signal, deep learning, convolutional network.

На сегодняшний день объёмы данных нещадно растут в сравнении с предыдущими десятилетиями, как и человеческие ресурсы, затрачиваемые на их обработку. С развитием технологий человечество всегда упрощало свою работу, делая её более эффективной и продуктивной. Технологии машинного обучения берут своё начало ещё в 19-ом веке, но не получили должного распространения ввиду отсутствия достаточных вычислительных мощностей. Любой метод машинного обучения

описывается набором правил или алгоритмов, которые определённым образом манипулируют данными. Машинное обучение пережило несколько волн популярности, но если в начале они были обусловлены новизной метода и прогрессивной, сильно отличающейся от предыдущих подходов идеей, то позже наибольшее влияние стал иметь рост технологий в сфере Науки о Данных и стремительным ростом вычислительных мощностей ЭВМ.

В данной статье используется метод глубокого обучения. Отличие машинного обучения от глубокого заключается в том, что первое использует подмножество искусственного интеллекта, связанное с созданием алгоритмов, которые могут меняться без человеческого вмешательства, а глубокое обучение использует также алгоритмы аналогичные машинным, но с множеством слоёв этих самых алгоритмов, каждый из которых обеспечивает разную интерпретацию данных, по своей логике близких к нейронным связям, присущим человеческому мозгу. Т.е. для классификации одних и тех же данных эти две технологии имеют два разных подхода, где машинному обучению требуется маркировка, а глубокому полагается лишь на обработку данных своими слоями.

Задача радио мониторинга является насущной для сегодняшнего дня. Основной целью радио мониторинга является наблюдение за радиоэлектронными средствами, которые излучают электромагнитные волны, для соблюдения электромагнитной совместимости разнообразных средств, законов и медицинских стандартов.

Основная проблема классификации электромагнитных сигналов заключается в сложности быстрого визуального установления вида модуляции сигнала при быстром преобразовании Фурье. Здесь нам и пригождаются нейронные сети. С их помощью можно ускорить время распознавания, но за это приходится платить погрешностью классификации, ведь не все сигналы одинаково хорошо различимы.

Радиосигнал представляет собой тип беспроводной связи, при которой в качестве передатчика сигнала используются радиоволны, которые могут свободно перемещаться в пространстве

Модуляцией сигнала называют изменение одной либо нескольких характеристик модулирующего высокочастотного сигнала при воздействии управляющего низкочастотного сигнала. Эта модуляция используется для передачи информации с помощью электромагнитного излучения. Существует несколько видов аналоговых модуляций: частотная, амплитудная, фазовая. А также виды импульсных модуляций: амплитудно-импульсная, частотно-импульсная, фазо-импульсная и широтно-импульсная. Использование модуляций позволяет согласовывать параметры сигнала с параметрами линии, увеличить помехоустойчивость, увеличить дальность передачи, создавать многоканальные системы передачи.

Свёрточная нейронная сеть являет собой математическую имитацию биологической нейронной сети, присущей человеческому мозгу. Все термины и логика построения связей в искусственной сети также похожа на нейронные связи в человеческом мозге.

Нейронные сети учатся, минимизируя некоторую штрафную функцию и итеративно обновляя ряд весов и смещений. Сеть изучает сложную функцию, которая способна выполнять такие задачи, как классификация изображений, в нашем случае, дифференциация типов радиосигналов. Обучение происходит в течение нескольких эпох по обучающему датасету. В каждую эпоху сеть предсказывает метки в режиме прямой передачи. Ошибка (или иногда называемая потерей) передается по сети в обратном порядке, слой за слоем. Это то, что называется обратным распространением. Поскольку ошибка принимается каждым слоем, этот слой вычисляет, как математически скорректировать свои веса и смещения, чтобы лучше работать с будущими данными. По мере того, как потеря продвигается назад по сети, она может становиться все меньше и меньше, замедляя процесс обучения. Это называется проблемой исчезающего градиента, которая становится все хуже, когда мы добавляем больше слоев в нейронную сеть.

Использование методов глубокого обучения хорошо подходит для классификации различных данных. Радиосигнал можно представить в виде двумерного изображения, что является самым популярным видом классификации, либо в виде последовательности точек. Такие задачи классификации хорошо решаются свёрточными нейронными сетями.

Поэтому в качестве архитектуры нейронной сети была выбрана свёрточная нейронная сеть с несколькими свёрточными слоями. Функцией активации является – масштабируемая экспоненциально-линейная функция.

Layer	Output dimensions
Input	2 * 1024
Conv Stack	32 * 512
Conv Stack	32 * 256
Conv Stack	32 * 128
Conv Stack	32 * 64
Conv Stack	32 * 32
SeLU	128

Рисунок 1 – архитектура нейронной сети

Архитектура самой сети представляет собой входной слой, 5 свёрточных слоёв и функцию активации.

Масштабируемая экспоненциальная линейная функция. Эта функция активации является одной из самых новых.

В качестве реализации программного решения задачи был выбран высокоуровневый язык Python, поскольку данный язык является самым распространённым для написания нейронных сетей и глубокого обучения. Для создания данной нейронной сети также использовались сторонние библиотеки для работы с данными: tensorflow, keras, numpy, h5py, matplotlib.

Этап обучения происходит в течение 40 эпох. На рисунке 2 показана вероятность ошибки на каждом этапе обучения.

Рисунок 2 – отношение вероятности ошибочной классификации сигнала к эпохе обучения

На рисунке 3 показана погрешность ошибки определения сигнала после всех пройденных эпох.

Рисунок 3 – соотношение представленных модуляций сигналов к модуляциям, которые опознала нейронная сеть

Как можно заметить из рисунка 3, не все модуляции одинаково хорошо идентифицируются. Происходит это из-за схожести типов сигналов.

Таким образом, задача классификации радиосигналов является решаемой с помощью искусственных нейронных сетей. Окончательный результат достоверности определения показал достаточно высокую прогнозируемость сигнала (78%). Хочется отметить, что данное решение классификации нельзя использовать как абсолютно достоверное, а лишь как упрощение ранее известных способов определения модуляций сигналов.

***

1. Сорокин А.Б. Искусственные нейронные сети прямого распространения: учебно-методическое пособие / Сорокин А.Б., О.В. Платонова. – М.: МИРЭА – Российский технологический университет, 2018. – 68с
2. Страница приложения Wikipedia [Электронный ресурс] URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Нейронная_сеть (дата обращения 25.03.2021)
3. Wu, Hao & Wang, Qing & Zhou, Liang & Meng, Jin. (2018). VHF radio signal modulation classification based on convolution neural networks. MATEC Web of Conferences. 246. 03032. 10.1051/mateconf/201824603032.