

ОБНАРУЖЕНИЕ СПЕКТРОВ ИМПУЛЬСНЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Сигналы радиолокационных станций (РЛС) имеют разную структуру и, соответственно, разные спектры [1, 2]. Возьмем для примера три широко применяемых в радиолокации типа импульсных сигналов [2]:

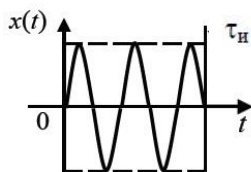


Рис. 1. Простой немодулированный радиоимпульс

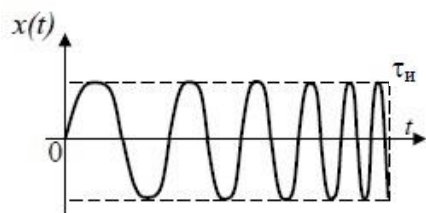


Рис. 2. Импульс с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ)

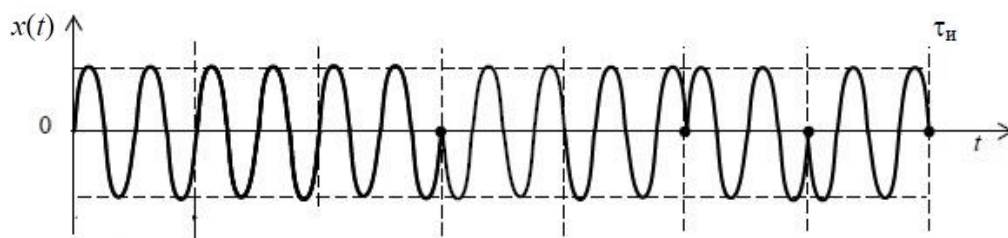


Рис. 3. Импульс с фазовой кодовой манипуляцией (ФКМ)

Спектры (модули амплитудных спектральных функций) перечисленных сигналов, как известно, имеют следующий вид [2]:

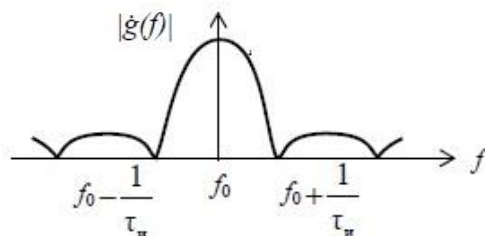


Рис. 4. Спектр простого немодулированного радиоимпульса

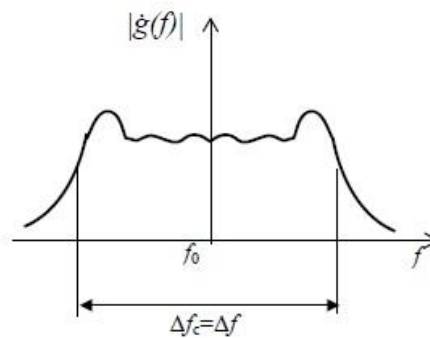


Рис. 5. Спектр ЛЧМ-сигнала

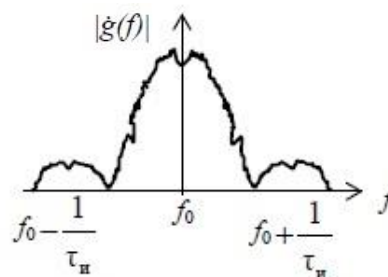


Рис. 6. Спектр ФКМ-сигнала

Решим задачу обнаружения какого-либо из перечисленных спектров на некотором визуальном поле (например, на экране монитора панорамного приемника) с одновременным распознаванием типа сигнала. Для этого используем нейронную сеть, в которой реализован прием, называемый дообучением (fine-tuning) [3-5]. Суть его в следующем.

Возьмем предварительно обученную на неважно каком, но достаточно большом, наборе изображений сверточную нейросеть. Заморозим всю сеть, кроме выравнивающего слоя: его мы заменим своим выравнивающим слоем. Проведем тренировку получившейся сети, а затем разморозим верхний сверточный каскад. После этого выполним уже окончательную тренировку нейросети.

Такой подход позволяет существенно сократить расходы времени и средств для выполнения поставленной перед нами задачи.

В качестве базовой возьмем сверточную нейронную сеть VGG-16 [3, 4], тренированную на наборе изображений ImageNet, и дополним ее двумя параллельными каналами: детектором и классификатором. Детектор служит для определения местоположения изображения спектра радиолокационного сигнала (или заданного участка спектра), а классификатор – для определения типа сигнала.

Выходные каналы доработанной нейросети представлены на рис. 7:

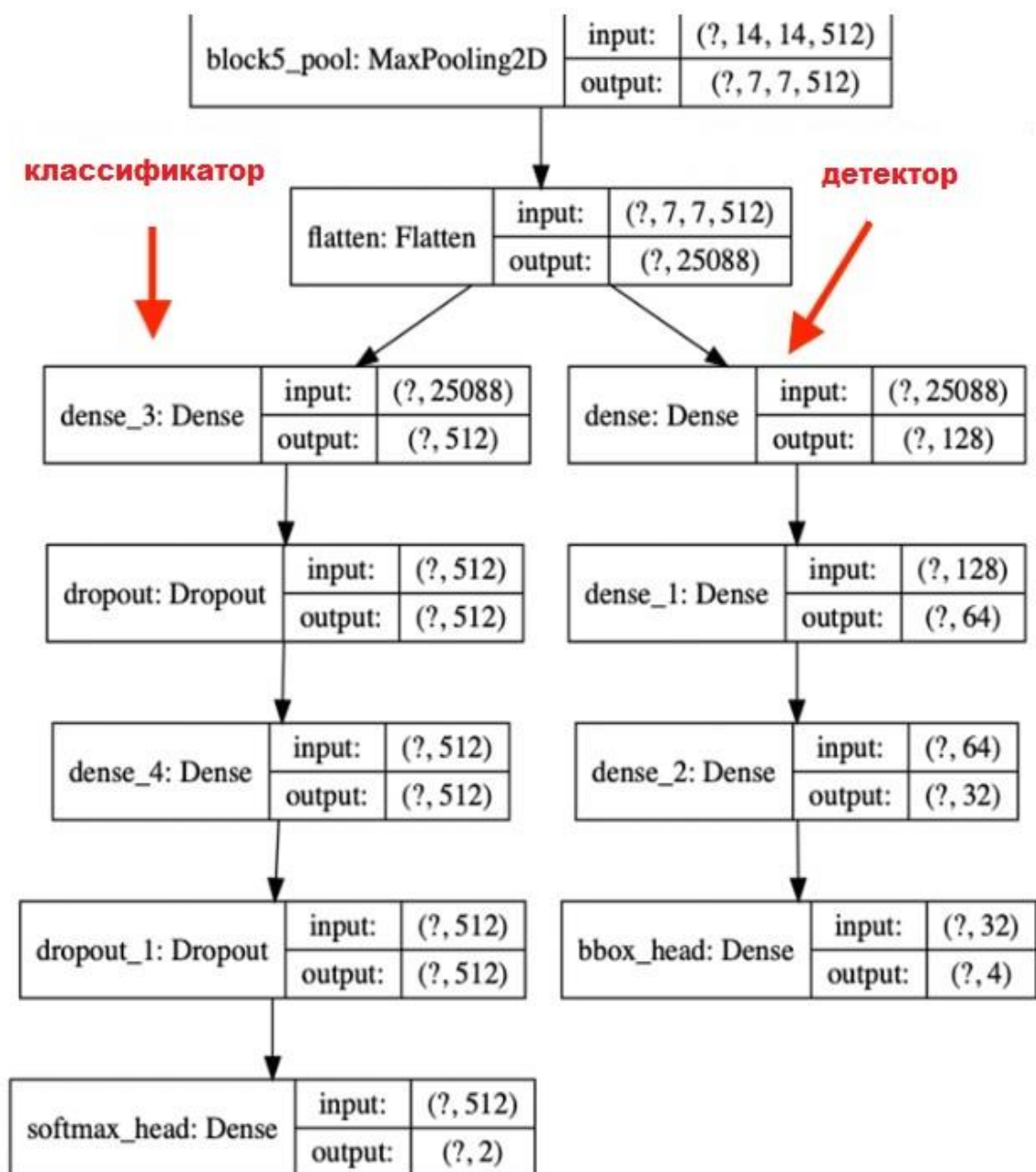


Рис. 7. Каналы классификатора и детектора

Моделирование будем проводить с использованием фреймворка Keras [3]. В качестве оптимизатора выберем Adams, скорость обучения определим величиной 0,0001. Низкая скорость обучения необходима, чтобы не нарушить полезные настройки обученной сети VGG-16.

Используемый нами код для тренировки сети находится в файле train.py, а для обнаружения и распознавания ею контрольных изображений – в файле predict.py.

Рассмотрим результаты работы нашей нейросети.

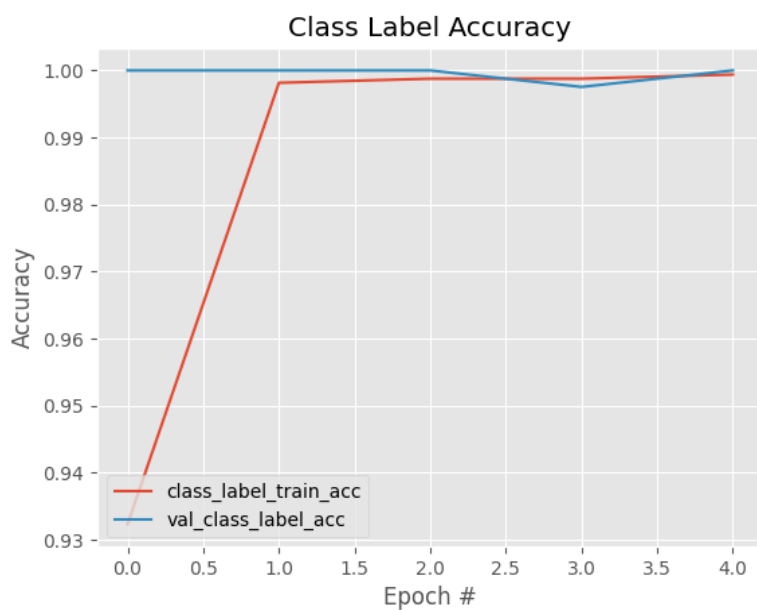


Рис.8. Графики функций точности при тренировке нейросети (оптимизатор Adams, размер батча – 16, количество эпох – 5)

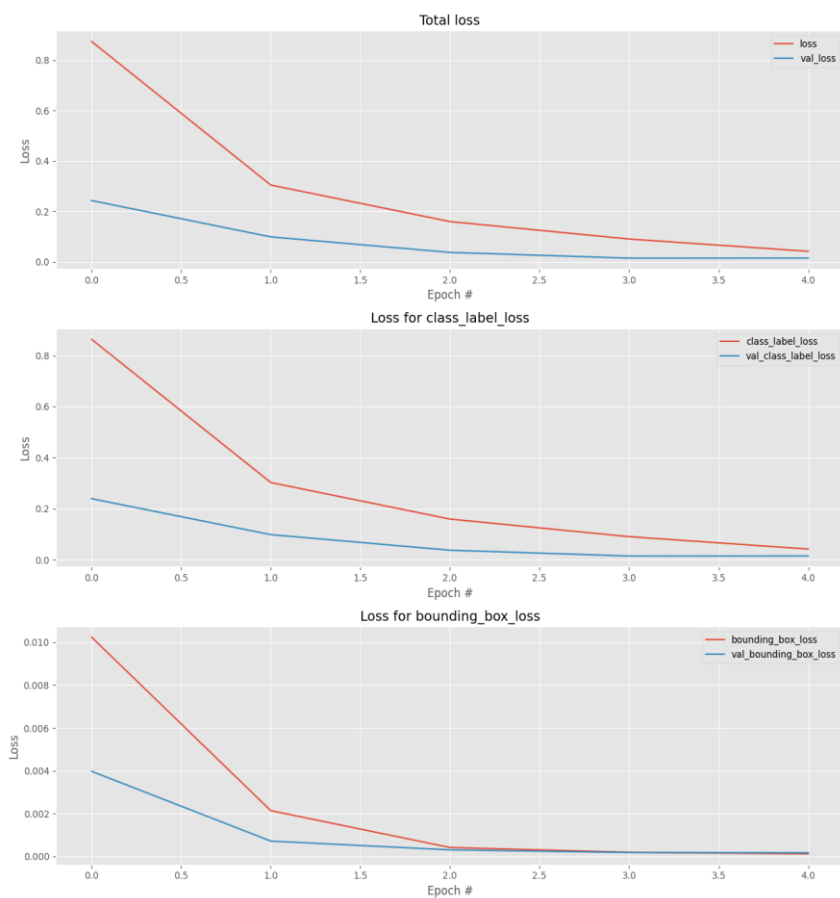


Рис.9. Графики функций потерь для (снизу вверх): детектора, классификатора и суммарных потерь в обоих каналах

Определим задачу для работы с ФКМ-импульсами. Пусть детектор выделяет основной участок спектра, а классификатор, как и во всех остальных случаях, определяет тип сигнала.

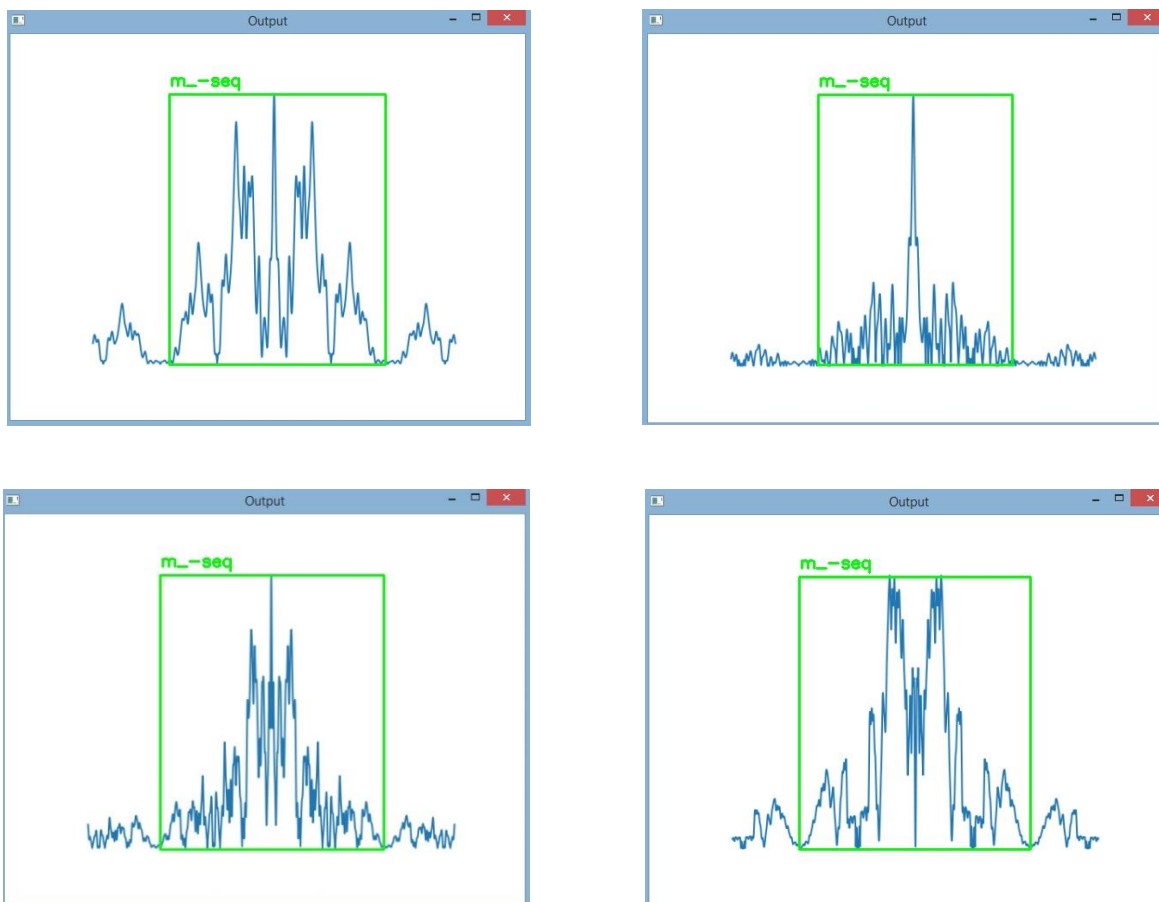
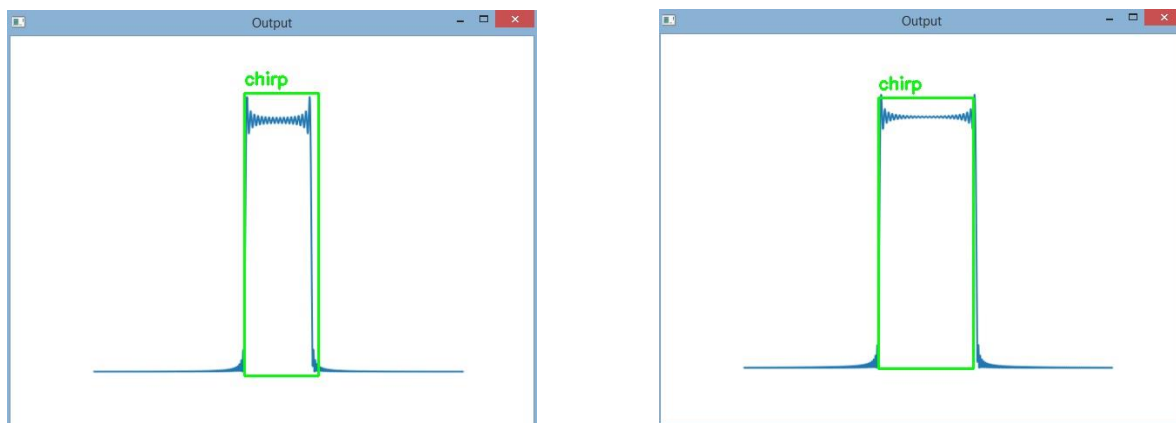


Рис.10. Результаты обнаружения и распознавания ФКМ-сигналов

При работе с ЛЧМ-сигналами установим следующее требование для детектора: он должен будет отслеживать ширину спектра.



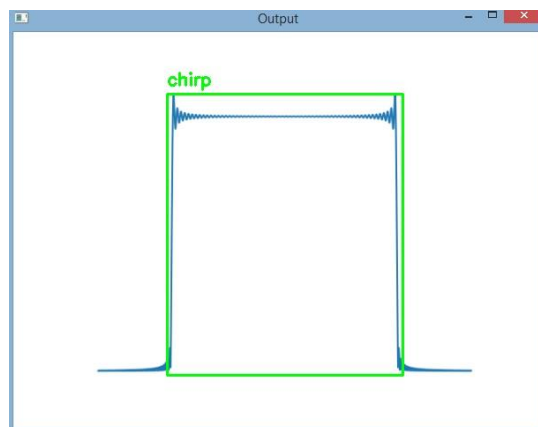
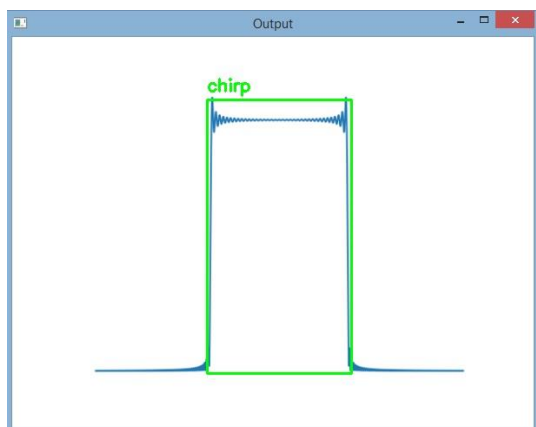


Рис.11. Результаты обнаружения и распознавания ЛЧМ-сигналов

А для простых немодулированных радиоимпульсов попробуем отслеживать положение основного лепестка модуля спектральной функции.

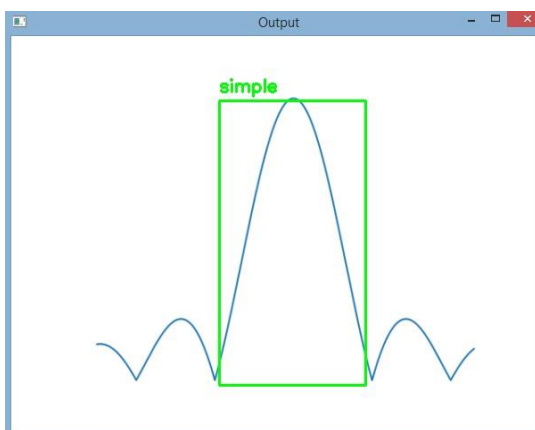
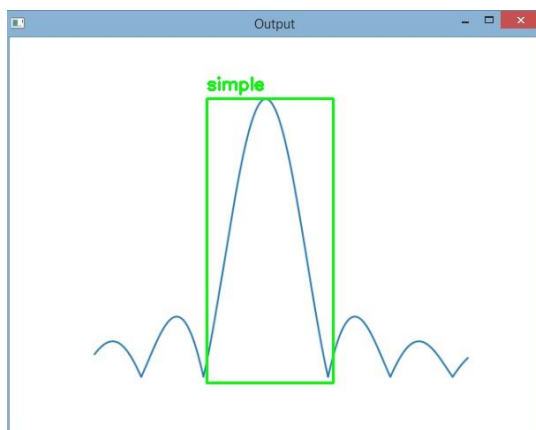
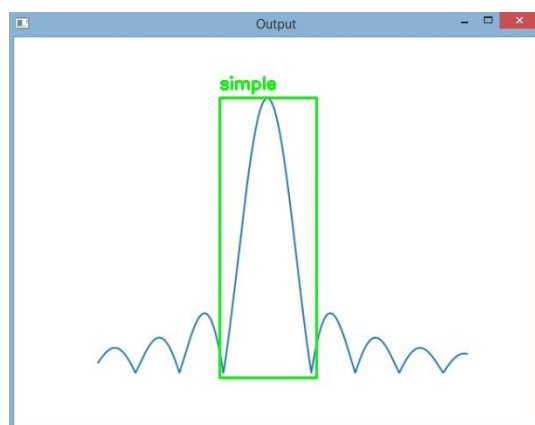
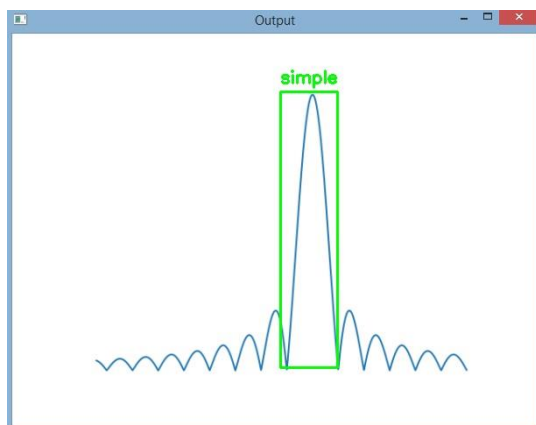


Рис. 12. Результаты обнаружения и распознавания простых немодулированных радиоимпульсов

Из рисунков видно, что нам удалось обнаружить и правильно распознать все три заданные типа радиоимпульсов.

Таким образом, можно сделать следующий вывод: для обнаружения и распознавания спектров радиолокационных сигналов (и даже их элементов) можно с успехом применять метод дообучения предварительно настроенной сверточной нейросети, например, VGG-16.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Структура проекта (папки/файлы):

```
|
|---dataset
| |---annotations
| | |---chirp.csv (координаты контура детектора спектра ЛЧМ-импульса)
| | |---m_seq.csv (координаты контура детектора спектра ФКМ-импульса)
| | |---simple.csv (координаты контура детектора спектра немодулированного импульса)
| |---images
| | |---chirp.csv (набор изображений спектров ЛЧМ-импульсов)
| | |---m_seq.csv (набор изображений спектров ФКМ-импульсов)
| | |---simple.csv (набор изображений спектров немодулированных радиоимпульсов)
|
|---output
| |---plots
| | |---accs.png (график функции точности)
| | |---losses.png (графики функций потерь)
| |---detector.h5 (сериализованная модель сети)
| |---lb.pickle (сериализованные метки классов)
| |---test_paths.txt (пути к данным для тестирования)
|
|---config.py (модуль конфигурирования)
|---predict.py (модуль оценки точности обнаружения и распознавания сигналов)
|---train.py (модуль тренировки нейросети)
```

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Е. Варакин. Системы связи с шумоподобными сигналами. - М.: Радио и связь, 1985
2. Радиолокационные системы. / Под ред. В. П. Бердышева. – Красноярск, СФУ, 2012
3. Франсуа Шолле. Глубокое обучение на Python. – СПб.: Питер, 2018
4. Adrian Rosebrock. Deep Learning for Computer Vision with Python. – PyImageSearch, 2017
5. Ян Гудфеллоу и др. Глубокое обучение. – М.: ДМК Пресс, 2018