

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]:

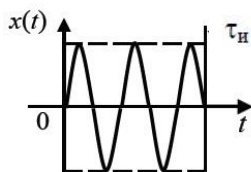


Рис. 1. Простой немодулированный радиоимпульс

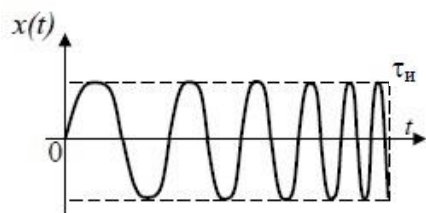


Рис. 2. Импульс с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ)

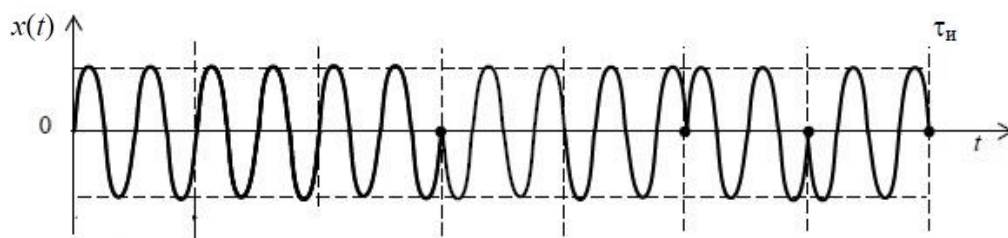


Рис. 3. Импульс с фазовой кодовой манипуляцией (ФКМ)

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

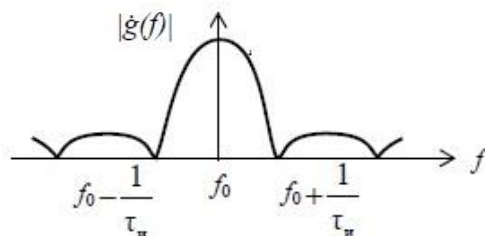


Рис. 4. Спектр простого немодулированного радиоимпульса

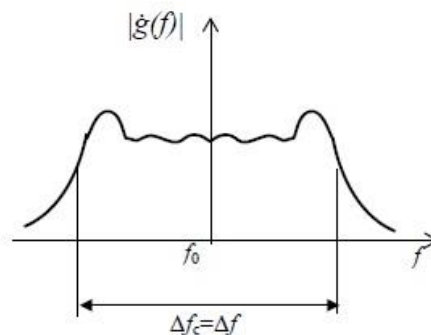


Рис. 5. Спектр ЛЧМ-сигнала

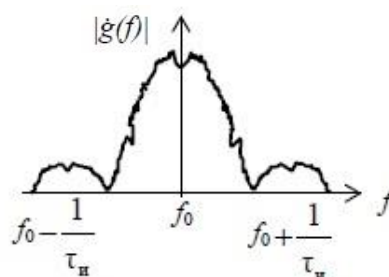


Рис. 6. Спектр ФКМ-сигнала

Решим задачу обнаружения какого-либо из перечисленных спектров в некотором визуальном поле (например, на экране монитора панорамного приемника) с одновременным распознаванием типа сигнала.

Для этого возьмем сверточную нейросеть, предварительно обученную на неважно каком, но достаточно большом, наборе изображений различных объектов. Заморозим всю сеть, кроме ее последнего каскада, то есть выравнивающего слоя с последующим набором полносвязных. Заменяем этот каскад своим, наилучшим образом подходящим для решения нашей задачи. После этого выполним тренировку нейросети [3].

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:

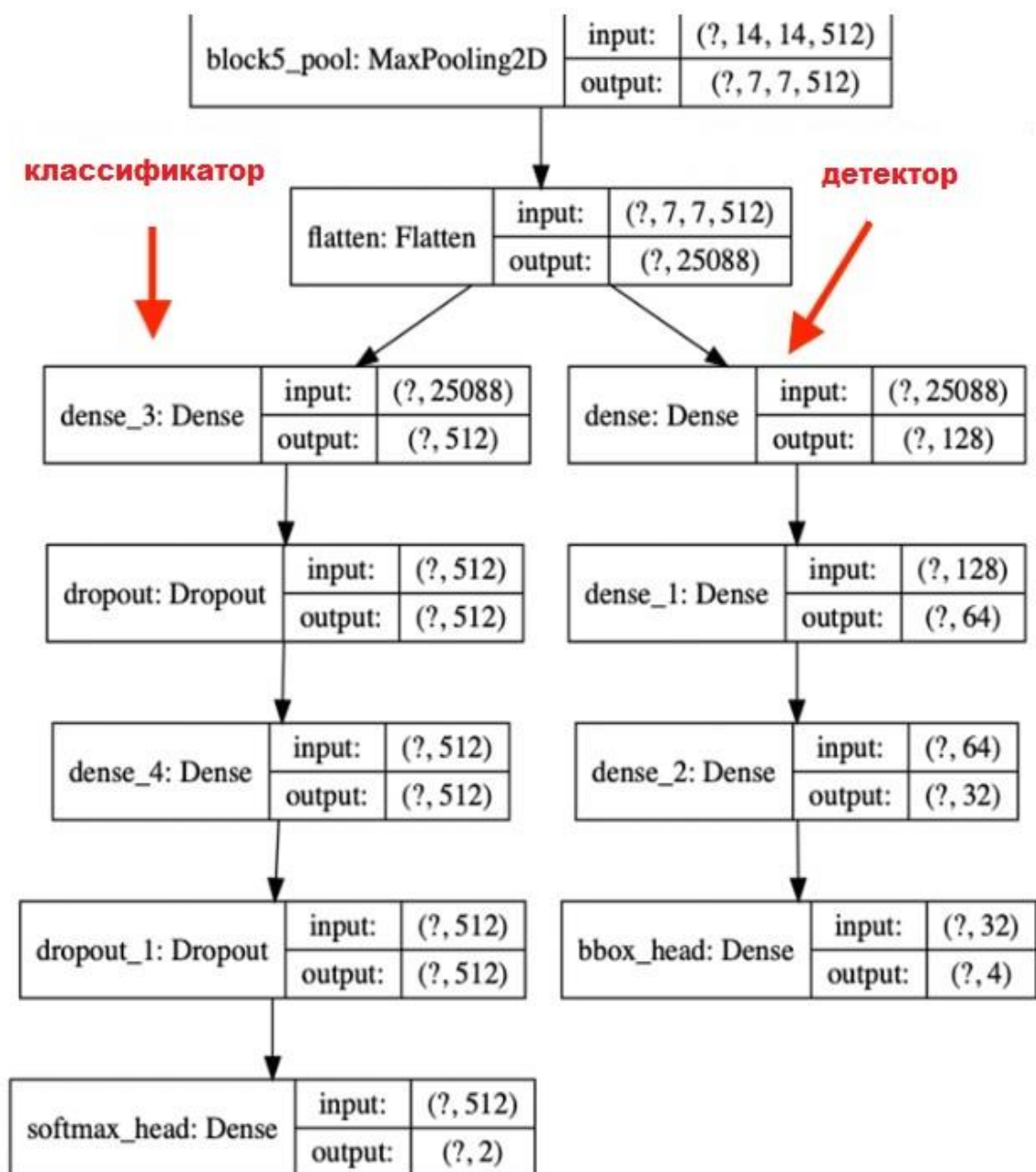


Рис. 7. Каналы классификатора и детектора

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.

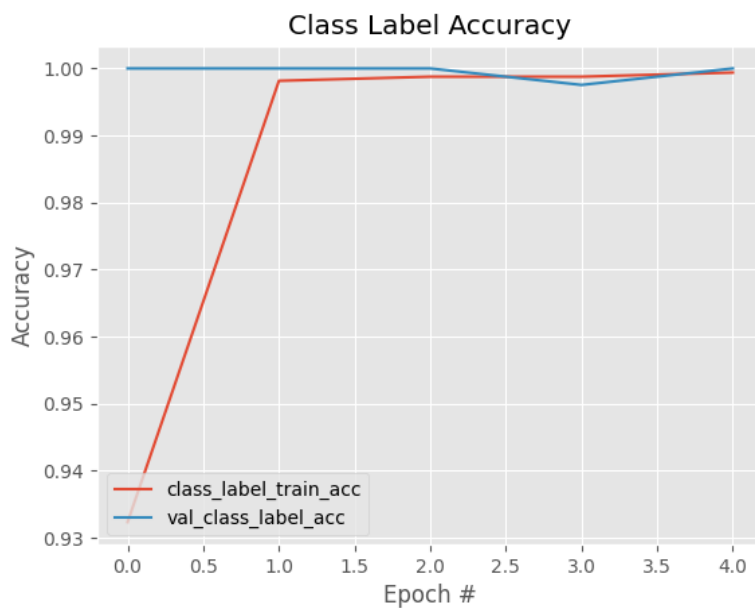


Рис.8. Графики функций точности при тренировке нейросети (оптимизатор Adams, размер батча – 16, количество эпох – 5)

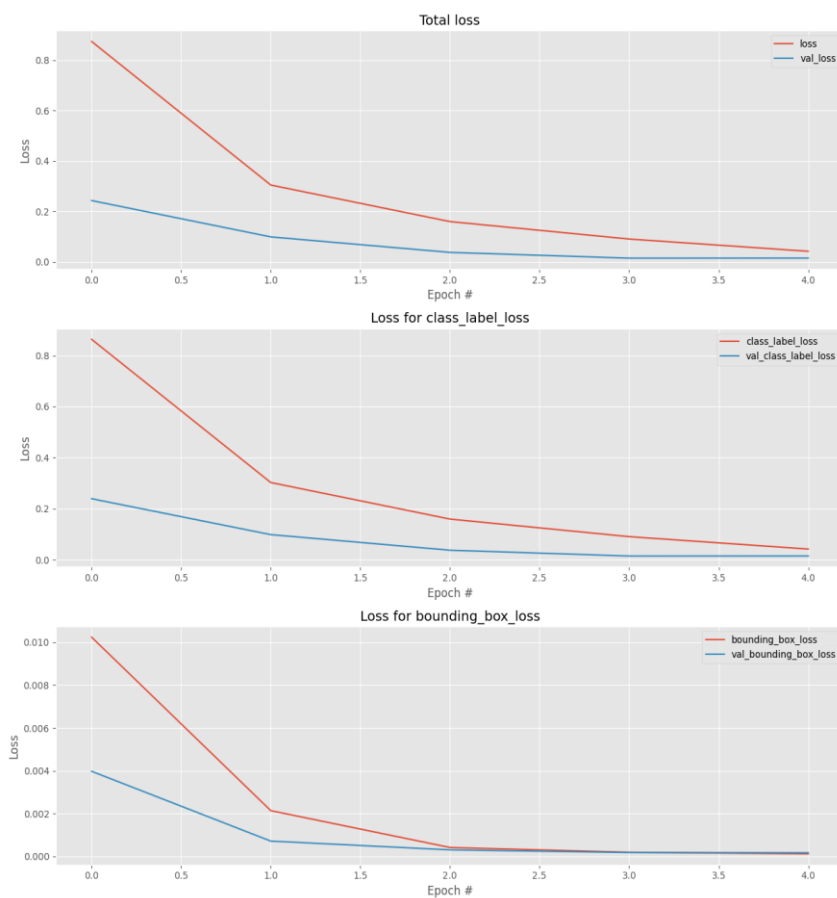


Рис.9. Графики функций потерь для (снизу вверх): детектора, классификатора и суммарных потерь в обоих каналах

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

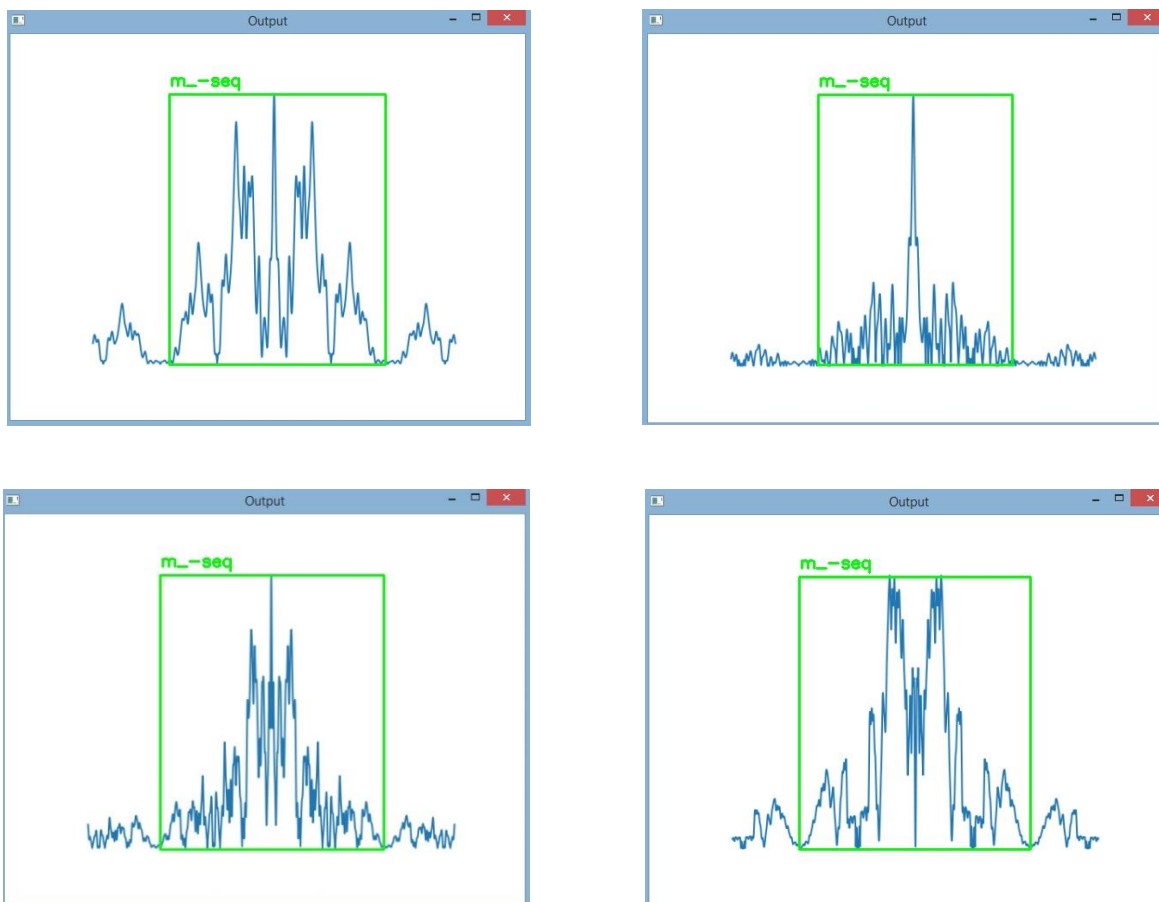
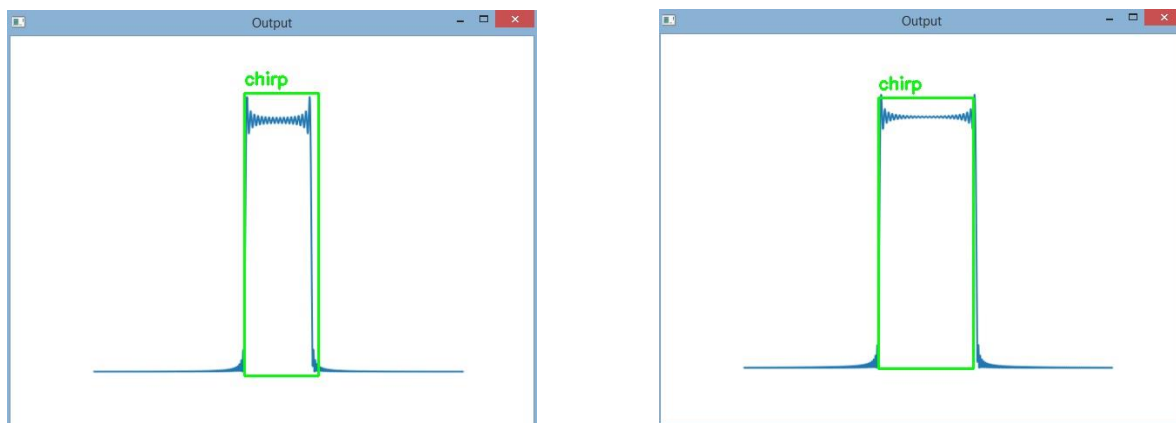


Рис.10. Результаты обнаружения и распознавания ФКМ-сигналов

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



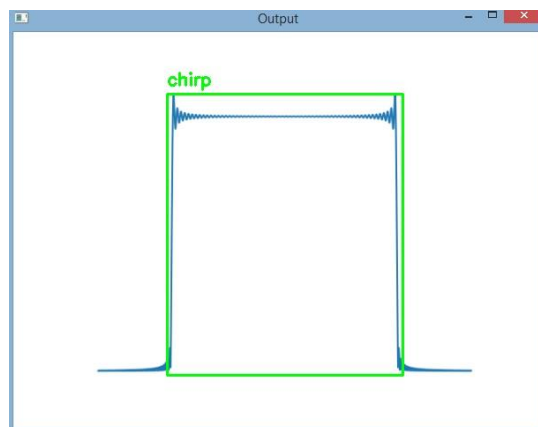
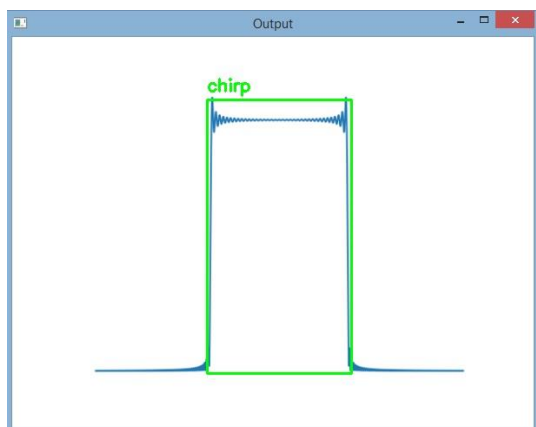


Рис.11. Результаты обнаружения и распознавания ЛЧМ-сигналов

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

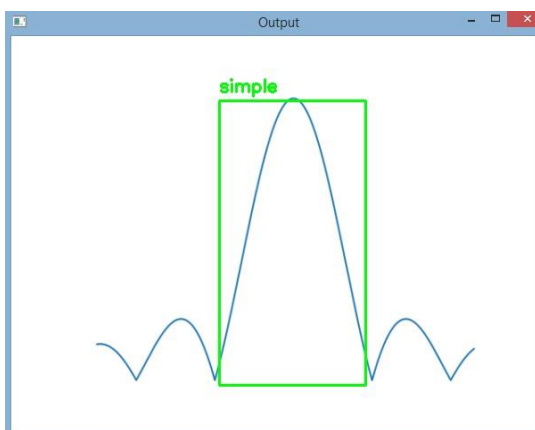
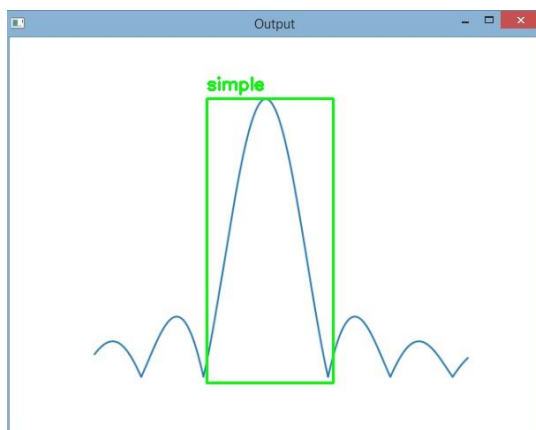
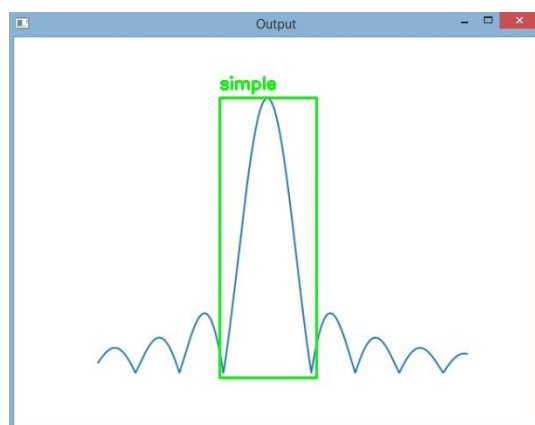
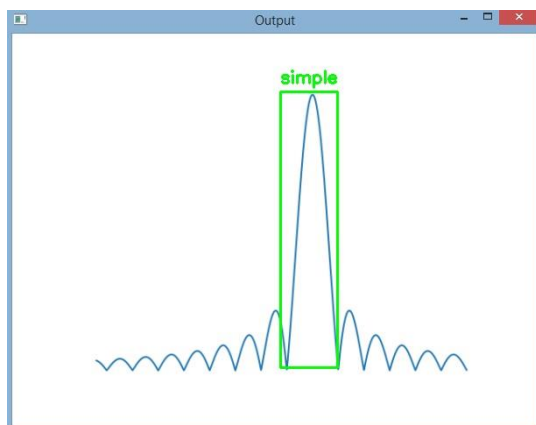


Рис. 12. Результаты обнаружения и распознавания простых немодулированных радиоимпульсов

Из рисунков видно, что нам удалось обнаружить и правильно распознать все три заданные типа радиоимпульсов, причем для ЛЧМ-сигналов мы отследили ширину их спектров, а для простых немодулированных – не только ширину, но и положение основных лепестков их спектров.

Таким образом, можно сделать следующий вывод: для обнаружения и распознавания спектров радиолокационных сигналов (и даже их элементов) можно с успехом применять донастроенную предварительно обученную сверточную нейросеть, 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