

## РАСПОЗНАВАНИЕ 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]:

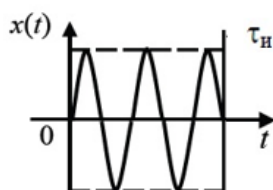


Рис. 1. Простой немодулированный радиоимпульс

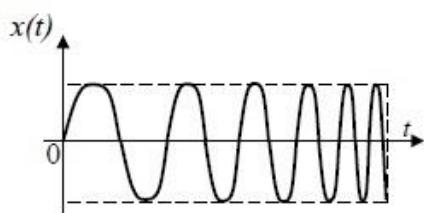


Рис. 2. Импульс с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ)

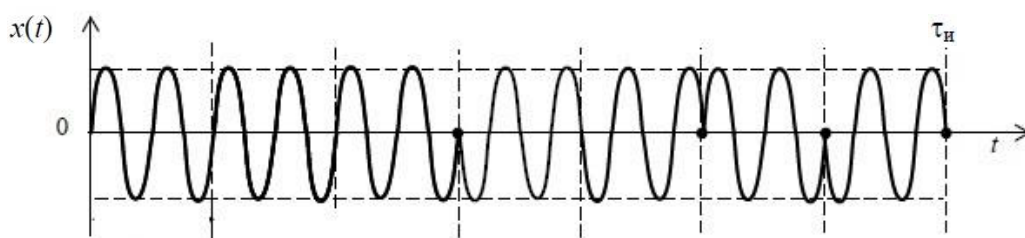


Рис. 3. Импульс с фазовой кодовой манипуляцией (ФКМ)

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

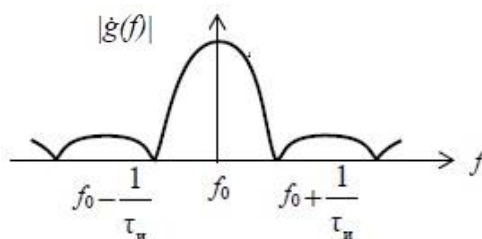


Рис. 4. Спектр простого немодулированного радиоимпульса

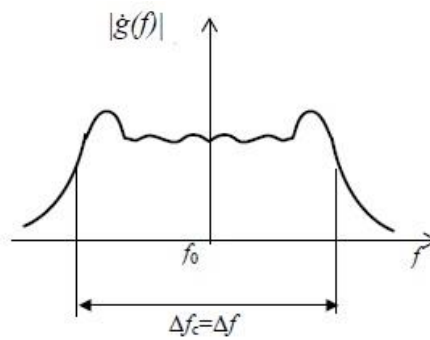


Рис. 5. Спектр ЛЧМ-сигнала

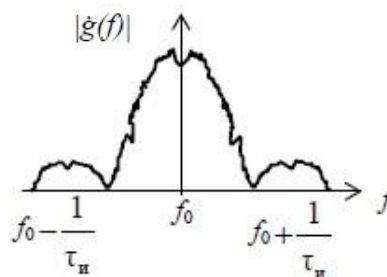


Рис. 6. Спектр ФКМ-сигнала

Решим задачу распознавания данных спектров. Для этого используем сверточную нейронную сеть (CNN). Как известно [3, 4, 5], сети такого типа наилучшим образом подходят для распознавания изображений.

Моделирование будем проводить с использованием фреймворка PyTorch [3].

Спроектируем простую VGG-образную CNN [3, 4] по следующей схеме (рис.7):

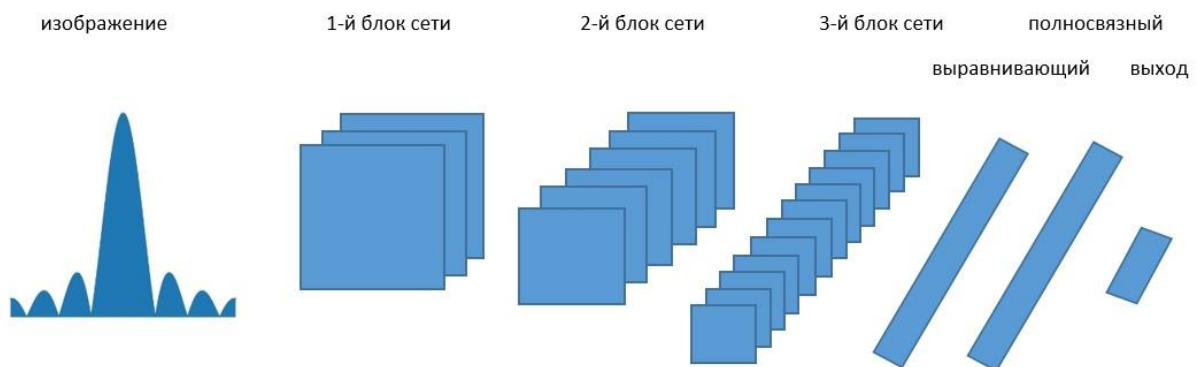


Рис. 7. Сверточная VGG-образная нейронная сеть

Каждый блок сети состоит последовательно из сверточного слоя, слоев активации, пакетной нормализации, а также подвыборочного и прореживающего слоев. Завершают сеть выравнивающий, полносвязный и выходной слой.

Первый блок содержит 32 элемента свертки с ядром 3x3, второй – 64, последний – 128. Используемые здесь функции активации - “relu”, подвыборочные слои – “maxpooling (2x2)”, прореживание – 25%. После выравнивающего слоя использован 512-элементный полносвязный слой с последующим 50%-м прореживанием. На выходе имеем трехэлементный полносвязный слой с последующей активацией “softmax”.

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

Рассмотрим результат работы данной сверточной нейросети.



Рис.8. Графики функций потерь и точности при тренировке сверточной нейросети (оптимизатор SGD, размер батча – 64, количество эпох – 10)

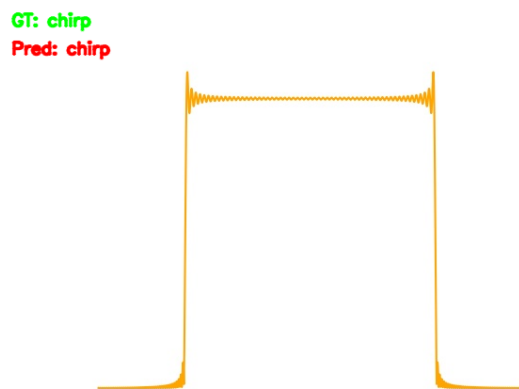
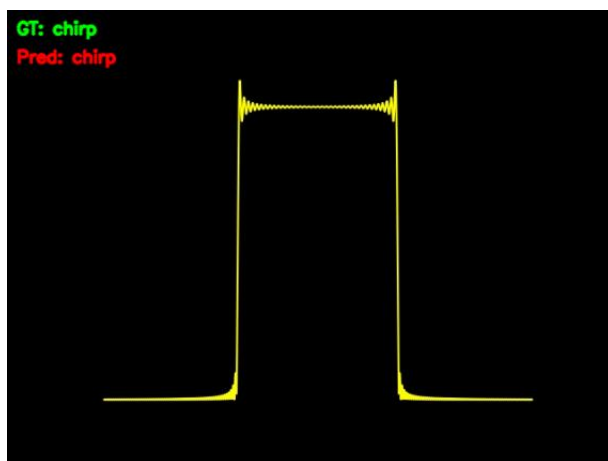


Рис. 9. Результаты распознавания ЛЧМ-сигналов

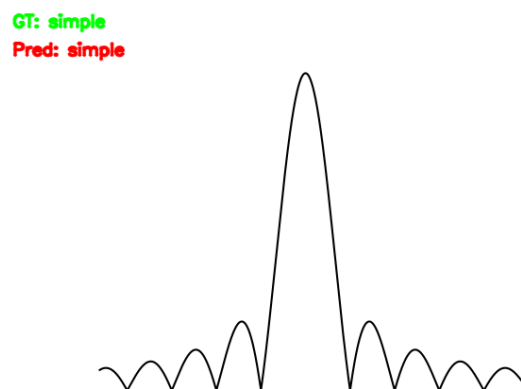
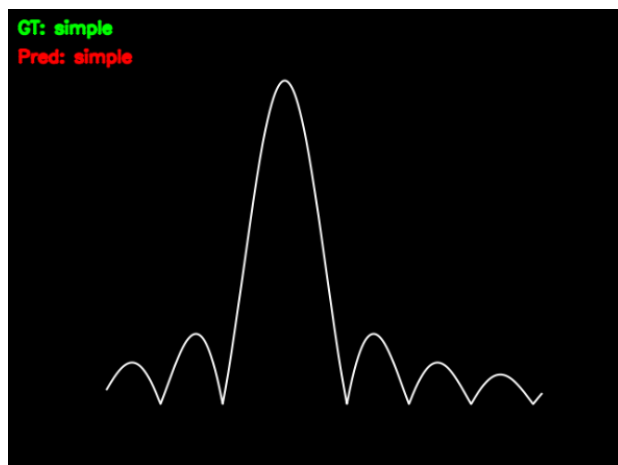


Рис. 10. Результаты распознавания простых немодулированных радиоимпульсов

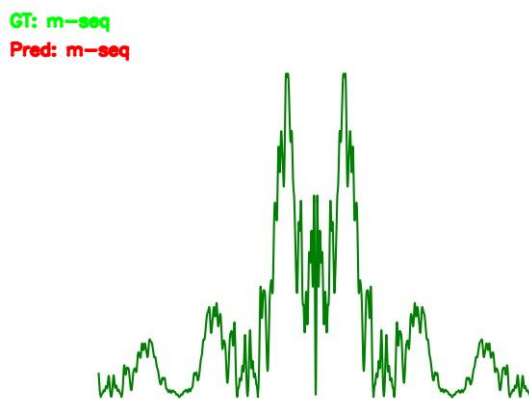
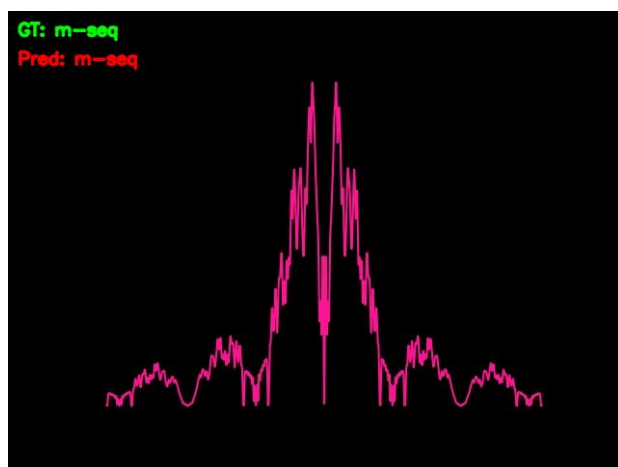


Рис. 11. Результаты распознавания ФКМ-сигналов

С помощью сверточной нейронной сети мы получили точные результаты. Все спектры распознаются правильно, в соответствии со своими классами.

Таким образом, можно сделать следующий вывод: для распознавания спектров радиолокационных сигналов целесообразно использовать достаточно несложную сверточную нейронную сеть.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

### Структура проекта (папки/файлы):

```
|  
|---images  
|   |---chirp_55.jpg (контрольное изображение спектра ЛЧМ-импульса)  
|   |---chirp_800.jpg (контрольное изображение спектра ЛЧМ-импульса)  
|   |---m-seq_194.jpg (контрольное изображение спектра ФКМ-импульса)  
|   |---m-seq_368.jpg (контрольное изображение спектра ФКМ-импульса)  
|   |---simple_230.jpg (контрольное изображение спектра немодулированного импульса)  
|   |---simple_1123.jpg (контрольное изображение спектра немодулированного импульса)  
|  
|---output  
|   |---model.pth (сериализованная модель сверточной сети)  
|   |---plot.png (график потерь/точности распознавания для простой сети)  
|  
|---outputs (результаты распознавания контрольных изображений)  
|  
|---train (тренировочный датасет)  
|   |---train_chirp (спектры ЛЧМ-импульсов, 700 изображений)  
|   |---train_m-seq (спектры ФКМ-импульсов, 700 изображений)  
|   |---train_simple (спектры простых немодулированных импульсов, 700 изображений)  
|  
|---valid (проверочный датасет)  
|   |---train_chirp (спектры ЛЧМ-импульсов, 234 изображения)  
|   |---train_m-seq (спектры ФКМ-импульсов, 234 изображения)  
|   |---train_simple (спектры простых немодулированных импульсов, 234 изображения)  
|  
|---model_cnn.py (модуль построения нейросети)  
|---predict.py (модуль оценки верности распознавания изображений)  
|---train.py (модуль тренировки сверточной сети)
```

## 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. Eli Stevens et al. Deep Learning with PyTorch. – Manning, 2020
4. Adrian Rosebrock. Deep Learning for Computer Vision with Python. – PyImageSearch, 2017
5. Ян Гудфеллоу и др. Глубокое обучение. – М.: ДМК Пресс, 2018