

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ НЕЙРОСЕТЕВАЯ СИСТЕМА ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ ПРИЕМО-ПЕРЕДАЮЩЕГО ТРАКТА

Рудко А.А.¹, студент гр.241301

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники¹
г. Минск, Республика Беларусь

Лапцевич А.А. – канд. техн. наук, доцент

Аннотация. В работе рассмотрены особенности обработки радиосигналов в условиях шума, нестабильности аппаратуры и искажений канала. Проведён анализ классических методов и показаны их ограничения при работе со сложными сигналами. Представлены нейросетевые модели для шумоподавления, восстановления и прогнозирования сигнала, распознавания его структуры, автоматического выделения информативных характеристик и выбора оптимального варианта сигнала. Выполнено сравнение интеллектуальных подходов с традиционными алгоритмами. Установлено, что нейросетевые модели обеспечивают более высокую устойчивость обработки сигнала по сравнению с традиционными методами.

Ключевые слова. радиосигналы, нейросетевые методы, шумоподавление, восстановление сигнала, временные последовательности, демодуляция, искажения канала, обработка сигналов, интеллектуальные алгоритмы, приёмо-передающий тракт.

1. Введение

В современном мире объём и сложность обрабатываемых радиосигналов постоянно растут. Радиосвязь применяется в бытовых устройствах, промышленности, беспилотных системах, телекоммуникациях и других областях, где требуется надёжная передача информации. Реальные сигналы подвержены шумам, нестабильности аппаратуры, внешним помехам и искажениям канала, что значительно затрудняет извлечение полезных данных.

Классические методы, такие как фильтрация, корреляционный анализ и простые методы демодуляции, долгое время были основой обработки сигналов. Однако при сложных условиях передачи они часто оказываются недостаточно эффективными.

Нейросетевые методы позволяют автоматически выделять информативные признаки и восстанавливать структуру сигнала даже при сильных искажениях. В данной работе рассматриваются интеллектуальные подходы к обработке радиосигналов приёмо-передающего тракта и проводится их сравнение с традиционными алгоритмами.

Цель данной работы – сравнить эффективность классических и нейросетевых подходов при анализе радиосигналов.

2. Классические методы обработки сигналов

К традиционным алгоритмам относят фильтрацию, корреляционный анализ, спектральные преобразования и базовые методы демодуляции.

Фильтрация часто используется для подавления шума, однако при низком отношении сигнал/шум её эффективность снижается. Корреляционные методы позволяют выделять повторяющиеся структуры, но чувствительны к искажениям формы сигнала.

Простейшие методы демодуляции корректно работают при стабильных канальных условиях, но оказываются ненадёжными при фазовых сдвигах, частотных дрейфах или нелинейных искажениях.

Спектральные методы, основанные на БПФ, позволяют анализировать частотную структуру сигнала, однако становятся менее информативными при нестационарных и импульсных помехах.

3. Нейросетевые методы анализа радиосигналов

3.1 Особенности и преимущества

Интеллектуальные модели способны автоматически извлекать признаки, адаптироваться к статистике сигнала и восстанавливать структуру временных последовательностей. Среди преимуществ:

- устойчивость к искажениям;
- способность обрабатывать сложные нелинейные зависимости;
- отсутствие необходимости вручную проектировать признаки.

3.2 Модели для обработки сигналов

В работе были рассмотрены следующие модели, ориентированные на разные этапы обработки радиосигнала:

- шумоподавляющий автоэнкодер, выполняющий восстановление и фильтрацию сигнала;

- LSTM-модель, анализирующая временные зависимости и выполняющая прогнозирование;
- сверточные нейронные сети, применяемые для демодуляции AM- и BPSK-сигналов;
- модель выделения признаков, автоматически извлекающая информативные характеристики сигнала (частотные компоненты, фазовые и амплитудные параметры, энергетические оценки);
- модель выбора оптимального сигнала, принимающая набор признаков и определяющая наиболее качественный сигнал для дальнейшей обработки.

Совокупное использование этих моделей позволяет автоматизировать ключевые этапы анализа и восстановления сигнала.

3.3 Применение методов

Использованные нейросетевые подходы позволяют решать следующие задачи:

- подавление аддитивного и импульсного шума;
- восстановление и предсказание временных последовательностей;
- анализ структуры сигнала;
- выделение признаков для демодуляции и классификации.

По сравнению с классическими методами нейросети дают более устойчивые результаты при низком SNR и нелинейных искажениях.

4. Метрики качества

Для оценки качества восстановления и анализа сигналов применяются следующие метрики:

- MSE (Mean Squared Error): показывает среднеквадратичное отклонение восстановленного сигнала от исходного;
- MAE (Mean Absolute Error): оценивает среднюю абсолютную ошибку;
- Корреляция: отражает степень совпадения формы сигнала;
- SNR и SNR improvement: оценка итогового отношения сигнал/шум и прироста данного показателя после обработки.

Использование нескольких метрик позволяет комплексно оценивать как точность восстановления амплитуды, так и сохранение структуры временного сигнала.

5. Заключение

Проведено исследование методов обработки радиосигналов в условиях шумов и искажений. Показано, что классические алгоритмы теряют эффективность при сложных условиях передачи, тогда как нейросетевые модели демонстрируют высокую устойчивость и способность восстанавливать структуру сигнала. Полученные результаты подтверждают перспективность применения нейросетевых моделей в условиях низкого SNR и сложных каналов связи. Рассмотренные модели могут использоваться в системах связи, радиомониторинге, беспилотных устройствах и других областях, где требуется обработка сложных временных последовательностей.

Список использованных источников:

1. Кондратович, П. А. Основы обработки цифровых сигналов в радиофизических приложениях : учебное пособие / П. А. Кондратович. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2025. – 164 с. – ISBN 978-5-9729-2518-6.
2. Классификация модуляции с помощью глубокого обучения [Электронный ресурс] / Exponenta.ru. – Режим доступа: https://docs.exponenta.ru/R2021a_nmtnew/comm/ug/modulation-classification-with-deep-learning.html.
3. Sarmanbetov, S. Novel filtering and regeneration technique with statistical feature extraction and machine learning for automatic modulation classification / S. Sarmanbetov [et al.] // *Digital Signal Processing*. – 2024. – Vol. 155. – Art. 104744. – DOI: 10.1016/j.dsp.2024.104744.
4. Wang, T. A Survey of Applications of Deep Learning in Radio Signal Modulation Recognition / T. Wang [et al.] // *Applied Sciences*. – 2022. – Vol. 12, № 23. – Art. 12052. – DOI: 10.3390/app122312052.