

ПРИМЕНЕНИЕ ГЛУБОКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ СИГНАЛОВ АВАРИЙНОГО ОПОВЕЩЕНИЯ В ШАХТАХ

В работе исследуется и предлагается вариант поиска оптимального нелинейного фильтра для задач передачи аварийных или телеметрических сигналов с низкоскоростными скоростями через высокопроводящие среды. Также важной задачей для подтверждения эффективности выбранных методов является сравнение выбранного подхода с методами линейной фильтрации и классического построения приемного детектора [1–3]. Настоящая статья направлена на исследование оптимальных алгоритмов обработки сигналов для построения комплексного ТТЕ-канала (Through-the-Earth) низкоскоростного обмена информационными сообщениями в аварийных шахтах на основе ЭМ проникающих сигналов СНЧ-диапазона [4].

Распространение электромагнитного поля и потери энергии в реальной среде определяется показателем затухания, который рассчитывается согласно выражению [5]:

$$\alpha = \omega \sqrt{\frac{\mu' \epsilon'}{2} (\sqrt{1 + \tan^2 \delta} - 1)}, \quad (1)$$

где $\omega = 2\pi f$ – частота электромагнитных колебаний; μ' – относительная магнитная проницаемость; ϵ' – относительная диэлектрическая проницаемость; $\tan \delta$ – тангенс диэлектрических потерь.

Из (1), а также с учетом того, что диапазон параметра электропроводности пород σ находится в пределах от 0,001 См/м до 0,1 См/м, то используется ULF или VLF диапазоны частот. В этом случае требования к ТТЕ-системе ограничиваются дальностью связи – 1000 м, Bit Error Rate = 10^{-3} , Bit Rate = 2 bit/s.

В основе базового подхода к решению задачи лежит идея работы моделей глубокого обучения. Процедура обучения представляет собой оптимизацию некоторой функции потерь, зависящую от задачи. Если в качестве функции потерь предложить вероятность побитовой ошибки при декодировании участка входного сигнала, то полученная глубокая нейронная сеть будет осуществлять нелинейную фильтрацию сигнала с последующей демодуляцией.

Для сравнения эффективности фильтрации на базе DNN и согласованной фильтрации реализована схема линейного обнаружителя FSK-сигналов (рис. 1а–1г). Входной сигнал (рис. 1а) после предварительного усиления фильтруется во входном полосовом фильтре ПФ0 с центральной частотой $f_0 = 975$ Гц и добротностью $Q = 10$ (рис. 1б). Далее фильтруется двумя параллельными узкополосными фильтрами ПФ1, $f_1 = 984$ Гц (рис. 1с) и ПФ2, $f_2 = 966$ Гц или 975 Гц (рис. 1д). После квадратичного выпрямления выходных сигналов ПФ1 и ПФ2 (рис. 1е) осуществляется несколько этапов интегрирования со сбросом разности выпрямленных сигналов интеграторами (рис. 1ф). Решение о принятом бинарном сигнале осуществляется в решающем устройстве РУ1, которое формирует двоичную информационную последовательность нулей и единиц (рис. 1г).

Результат работы DNN-приемника по демодуляции реальных FSK-сигналов приведены на рис. 2 на примере реальной записи битовой последовательности длительностью $T = 30$ с. В данном случае, вся битовая последовательность была принята безошибочно. Результат обработки всех 37 последовательностей с помощью DNN-приемника на базе НФ позволил добиться усредненного по всем последовательностям результата $BER = 5 \cdot 10^{-3}$.

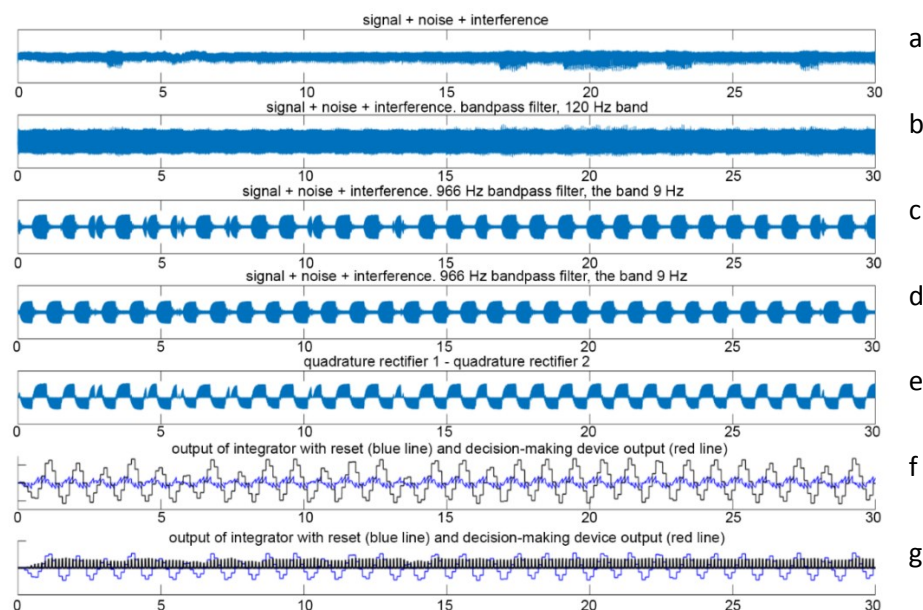


Рис. 1. Последовательный алгоритм работы линейного обнаружителя

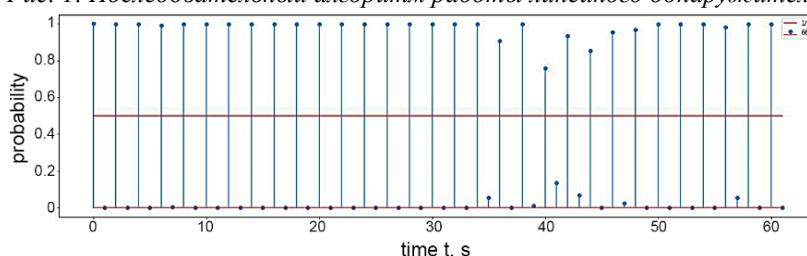


Рис. 2. Результат работы DNN-приемника

Выводы

В статье теоретически и экспериментально было показано, что подход к построению НФ на основе методов машинного обучения, в частности, с применением ГНС, позволил достичь лучшего результата для задач передачи сообщений на низких битовых скоростях через среды с высокой проводимостью в сравнении с методами линейной фильтрации, в особенности, в условиях промышленных импульсных помех, присутствующих при промышленной добыче полезных ископаемых закрытым способом.

Приведены результаты моделирования и сделан сравнительный анализ эффективности работы индивидуального шахтерского приемника с применением методов линейного когерентного приема и DNN-фильтра. Обучение НС проводилось на модельных и экспериментальных данных, полученных на реальном подземном руднике.

Список литературы

1. S. Hochreiter, J. Schmidhuber, "Long Short-Term Memory," Neural Comput., vol. 9, pp. 1735–1780, November 1997.
2. W. Chan, I. Lane, "Deep Recurrent Neural Networks for Acoustic Modelling", CoRR, url: <https://arxiv.org/abs/1504.01482>, 2015
3. J.-P. Briot, G. Hadjeres, F. Pachet, "Deep Learning Techniques for Music Generation – A Survey," CoRR, url: <http://arxiv.org/abs/1709.01620>, 2017.
4. Kudinov, D. S., Kokhonkova, E. A., Maykov, O. A. Evaluation of the possibility of wireless data transmission over rocks for automating an alarm system in mines using lowfrequency electromagnetic waves and radio tags. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 537(5),052013. –2019.
5. Shaydurov, G. Y., Kudinov, D. S., Kokhonkova, E.A., Shchitnikov, A. A. Through-the-earth communication in underground mines by electromagnetic waves. Conference paper «2016 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2016», –2016.