

Компенсация нелинейных искажений в системах с поляризационным мультиплексированием на основе полносвязанных нейронных сетей

С.А. Богданов^{1,*}, О.С. Сидельников¹, М.П. Федорук^{1,2}, С.К. Турицын^{1,3}

¹Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск

²Институт вычислительных технологий СО РАН, г. Новосибирск

³Астонский университет, Бирмингем, Великобритания

*E-mail: s.bogdanov@gsnu.ru

DOI: 10.31868/RFL2020.124-125

Увеличение пропускной способности современных волоконно-оптических систем связи через повышение мощности сигнала (и увеличения отношения мощности сигнала к шуму, как в линейных каналах связи) затруднено ввиду нелинейности оптического волокна. Поляризационное уплотнение каналов (Polarization-division multiplexing - PDM), которое позволяет повысить скорость передачи данных вдвое за счет одновременной передачи информации по двум поляризационным компонентам волокна, приводит к дополнительным нелинейным искажениям из-за взаимодействия сигналов имеющих разные поляризации. Методы машинного обучения зарекомендовали себя как эффективный инструмент для цифровой обработки принятых сигналов в волоконно-оптических линиях связи [1, 2]. В данной работе мы предлагаем использовать полносвязные нейронные сети (НС) прямого распространения для компенсации нелинейных искажений в приемнике систем передачи данных с поляризационным мультиплексированием. Были рассмотрены нейронные сети различной архитектуры и проведено сравнение их эффективности с линейной схемой компенсации.

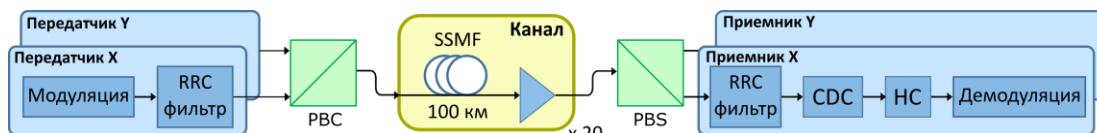


Рис. 1. Схема исследуемой линии

Схема исследуемой волоконной линии связи представлена на рисунке 1. Каждый передатчик генерирует 16-QAM сигнал с символьной скоростью $R_s = 32$ Гбод. Для придания формы импульсам используется фильтр с характеристикой типа приподнятый косинус с коэффициентом сглаживания 0.1. Далее сигналы с разных передатчиков объединяются в PDM-сигнал, который затем подается в канал. Линия состоит из 20 пролетов стандартного одномодового волокна по 100 км каждый и эрбиевых оптических усилителей с $NF = 4.5$ дБ после каждого пролета. В приемнике после разделения поляризационных компонент сигнал проходит через согласованный фильтр, а затем выполняется идеальная компенсация хроматической дисперсии. Далее после понижения частоты дискретизации до 1 отсчета на символ происходит компенсации нелинейных эффектов с помощью предложенной схемы, на основе полносвязных нейронных сетей. Затем выполняется демодуляция сигнала и вычисление коэффициента битовых ошибок.

Для классификации 16-QAM символов на приемнике используется нейронная сеть. Для обработки каждого символа на вход нейронной сети последовательно подаются действительные и мнимые части N предыдущих и N

последующих символов с обеих поляризаций. Таким образом, входной слой состоит из $2 \cdot 2 \cdot (2 \cdot N + 1)$ нейронов. Сеть также имеет два скрытых слоя с варьируемым числом нейронов и нелинейными функциями активации (\tanh). Выходной слой состоит из 16 нейронов, что соответствует количеству точек сигнального созвездия формата модуляции 16-QAM. Для обучения нейронной сети использовался алгоритм оптимизации Adam библиотеки TensorFlow.

На рис. 2а показан результат применения нейронной сети на приемнике системы связи только с одной поляризацией и для случая, когда данные передавались по двум поляризациям, но на вход сети подавались символы одной из них (синяя и зеленая линии соответственно). В обоих случаях для каждого символа учитывались его 10 предыдущих и 10 последующих соседей, а сеть имела по 64 нейрона на скрытых слоях. Далее для системы с двумя поляризациями делается попытка учесть символы со второй поляризации для предсказания только первой (красные точки). Видно, что при 64 нейронах на скрытых слоях учет второй поляризации не дает никакого эффекта: это связано с тем, что такая простая сеть не способна обработать возросшее число символов на входе. И лишь увеличение числа нейронов на скрытых слоях позволяет повысить эффективность такой обработки сигнала за счет учета второй поляризации.

Рис. 2б показывает, как одна и та же нейронная сеть с 192 нейронами на каждом скрытом слое может обрабатывать данные с двух поляризаций в зависимости от числа используемых символов с каждой поляризации на входном слое. На графике также приведены результаты для линейной схемы на основе адаптивных фильтров (Least Mean Square - LMS), которая компенсирует нелинейный фазовый сдвиг. В данном случае нейронные сети предсказывают либо данные только с одной из двух поляризаций, либо сразу с двух (зеленые и красные точки соответственно). Видно некоторое ухудшение в эффективности сети для случая предсказания двух поляризаций, связанное с необходимостью разделения на 256 классов.

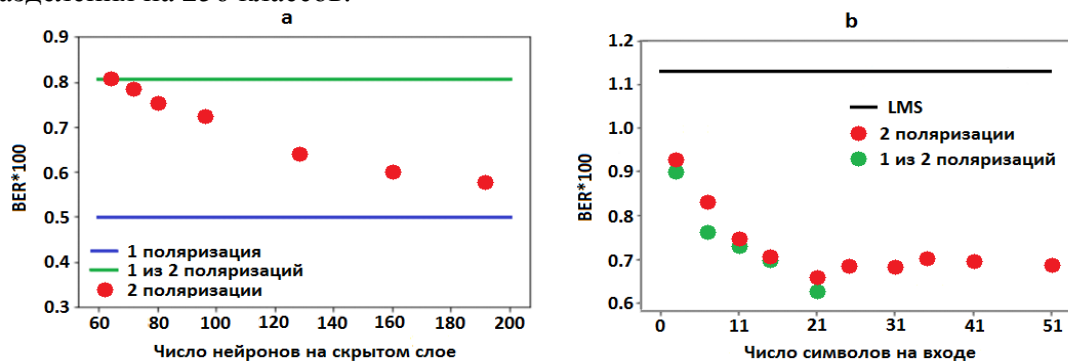


Рис. 2. Эффективность учета второй поляризации в зависимости от числа нейронов на скрытом слое (а). Результат применения нейронной сети для предсказания одной и двух поляризаций (б).

Работа Сидельникова О.С. (теоретический анализ) была выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации (МК-915.2020.9). Работа Богданова С.А. (математическое моделирование) была поддержана государственным заданием на проведение фундаментальных исследований №FSUS-2020-0034.

Литература

- [1] O.S. Sidelnikov et al, *Opt.Express.* **26**, 32765-32776 (2018).
- [2] C. Häger et al, *Proc. OFC, W3A.4* (2018).