

Оптическое восстановление телекоммуникационного сигнала с амплитудной модуляцией

Е.А. Куприков¹, А.С. Кохановский¹, О.С. Сидельников¹, С.К. Турицин^{1,2}

¹Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Пирогова 2, Россия

²Aston Institute of Photonic Technologies, Aston University, Birmingham B4 7ET, UK

*E-mail: e.kuprikov@g.nsu.ru

DOI: 10.31868/RFL2020.126-127

Волоконные линии связи с высокой скоростью передачи данных (100 Гбит/с) по одномодовому волокну на небольшие расстояния широко востребованы в центрах обработки данных для реализации протокола IEEE 802.3bs 400 Гбит/с [1]. Для достижения таких скоростей передачи данных необходимо компенсировать искажения оптического сигнала, создаваемые эффектом хроматической дисперсии, нелинейными эффектами и их комбинацией. При этом не все существующие решения, используемые в магистральных линиях связи, могут быть реализованы в центрах обработки данных. Основными требованиями к волоконным системам, применяемым в центрах обработки данных, являются низкая стоимость, простота реализации и эффективные энергетические характеристики. Поэтому желательно избежать сложных схем цифровой обработки сигнала для компенсации этих эффектов, которые могут приводить к дополнительным затратам энергии и задержки сигнала. В данной работе предлагается схема оптического регрессора, который позволяет восстанавливать оптический сигнал до непосредственного детектирования. Такие оптические методы потенциально могут быть энергетически эффективны и иметь широкую частотную полосу пропускания.

На Рисунке 1 представлена схема волоконной линии связи длиной 27 км с оптическим регрессором. В качестве формата модуляции оптического сигнала использовалась 4-уровневая амплитудно-импульсная модуляция со скоростью передачи 14 Гига-бод. После прохождения через линию связи и оптического регрессора сигнал детектируется фотоприемником. Средняя мощность сигнала варьировалась в диапазоне от 0 до 4 дБм.

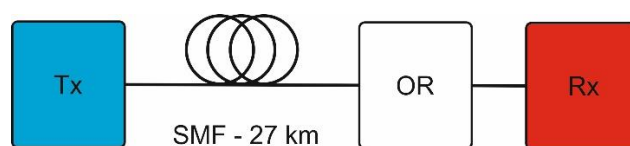


Рис. 1. Схема линии связи с оптическим регрессором

На Рисунке 2 представлена схема предлагаемого метода оптической обработки сигнала, которая состоит из 3 волоконных ответвителей и 3 волоконных объединителей.

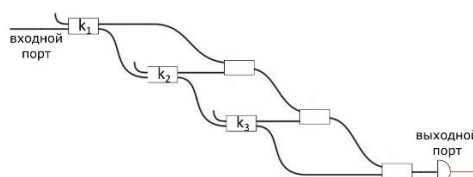


Рис. 2. Схема оптического регрессора.

Количество ответвителей и длина волоконной линии между соседними ответвителями являются гиперпараметрами предлагаемого устройства и подбираются для данной скорости передачи сигнала и длины оптоволоконной линии связи. Для каждого набора гиперпараметров коэффициенты деления ответвителей α определяются методом обратного распространения ошибки. Метод обратного распространения ошибки находит набор значений коэффициентов деления ответвителей k , который обеспечивает минимальную среднеквадратичную ошибку Err между детектируемым сигналом и первоначальным сигналом без искажений.

$$Err = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N |D(F(u(i), k)) - D(\hat{Y}(i))|^2 \rightarrow \min,$$

где u – сигнал на выходе из оптической линии связи, F – функция преобразования устройства, которая зависит от набора коэффициентов деления ответвителей k , D – функция детектора, Y – сигнал до передачи по линии оптической связи, i – номер передаваемого символа от 0 до N .

Для демонстрации работы оптического регрессора использовалось численное моделирование распространения оптического сигнала по оптическому волокну с помощью решения нелинейного уравнения Шредингера, которое описывает эволюцию огибающей оптического сигнала $A(z,t)$:

$$\frac{\partial A}{\partial z} = -\frac{\alpha}{2} A - i \frac{\beta_2}{2} \frac{\partial^2 A}{\partial t^2} + i \gamma |A|^2 A.$$

Данное уравнение решалось численно с помощью симметричного метода Фурье расщепления по физическим процессам со следующими параметрами: линейные потери $\alpha=0.2$ дБ/км, нелинейность волокна $\gamma=1.4$ 1/(Вт·км), хроматическая дисперсия $\beta_2=-25$ пс²/км, длина волны $\lambda=1550$ нм, количество отсчётов на период $q=16$. На Рисунке 3 представлены глазковые диаграммы (eye-diagrams) сигнала после детектирования для случая, когда применялась предложенная схема (а) и для случая прямого детектирования (б). Средняя мощность сигнала составляла 0 дБм. В процессе определения параметров схемы мы получили следующую архитектуру устройства: 4 ответвителя с расстоянием 0.9116 мм между ними и коэффициентами 0.99, 0.45, 0.08 и 0.25 соответственно. Интенсивность битовых ошибок (BER) без применения предлагаемого метода составляет 0.00415, а после применения 0.00026. Для мощности 4 дБм BER без применения предлагаемого метода составил 0.0042 а после применения 0.00038. Коэффициенты ответвителей равны 0.95, 0.4, 0.09 и 0.66, соответственно.

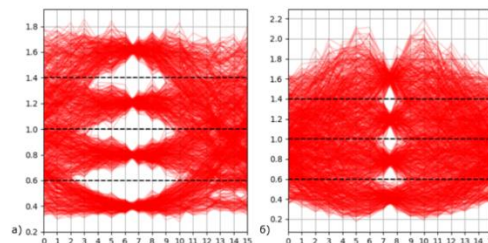


Рис. 3. Глазковые диаграммы регистрируемого сигнала а) после прохождения через устройство б) при прямом детектировании после прохождения линии связи.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект №17- 72-30006).

Литература

- [1] "IEEE Standard for Ethernet, Standard 802.3bs", 2017.
- [2] G.P. Agrawal, Nonlinear fiber optics, 4th ed. Academic press, 2007, 539.