

ニューラルネットワークを用いた4値強度変調における非線形劣化補償

1210135 畑 聡之 (光制御・ネットワーク研究室)

(指導教員 岩下 克 教授)

1. 研究背景・目的

近年、スマートフォンなどの通信機器の急速な普及により、データセンタ間のIPトラフィックが増加している。そのため、光通信システムの大容量化が求められている。大容量化するために波長多重や多値化が用いられるが、広帯域化のための信号対雑音比が劣化してしまう。そのため、高光入力電力が必要となる。しかし、それにより非線形劣化が増大してしまう。この非線形劣化をニューラルネットワークを用いて補償することで、光通信システムの大容量化及び、長距離化することを目的して研究を行った。本研究では400GbE(400ギガビットイーサ)で採用されている変調方式の4値強度変調(PAM4)についてシミュレーションを行い、その補償特性を明確にする。

2. シミュレーション内容

本シミュレーションでは強度変調・直接検波(Intensity Modulation - Direct Detection (IM-DD))伝送システムにおける4値強度変調の送信信号の生成、伝送路における信号劣化、ニューラルネットワークを用いた劣化の補償、ビット誤り率(BER)の評価を行った。シミュレーションの全体像を図1に示す。

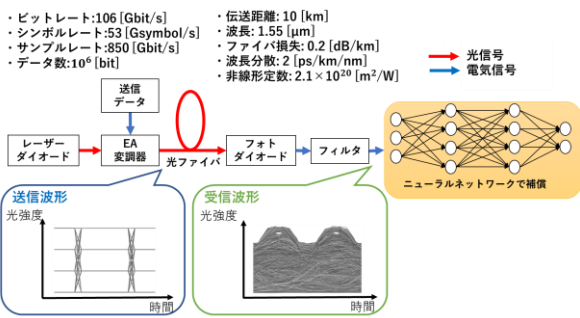


図1 シミュレーションの全体像

IM-DD伝送により加わる波長分散及び、非線形劣化はスプリットステップフリエ法を用いて計算をした。フォトダイオードの2乗検波特性で線形補償はできないので、伝送により劣化した受信波形をニューラルネットワークにより補償を行った。受信データをニューラルネットワークの入力データ、送信データをニューラルネットワークの正解データとして学習させた。ニューラルネットワークによる波形劣化補償を図2に示す。

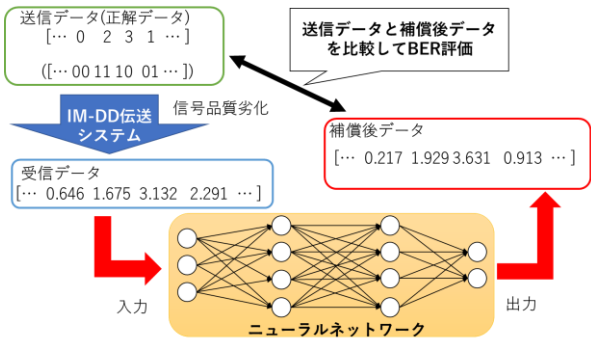


図2 ニューラルネットワークによる波形劣化補償

ニューラルネットワークで効率良く学習するためには、波長分散や非線形劣化による波形の広がりを考慮しなければな

い。そのため補償したいシンボルとその前後いくつかのシンボルをニューラルネットワークの入力層へ入力した。入力光電力3dBmのときの入力シンボル数ごとのBERを図3に示す。

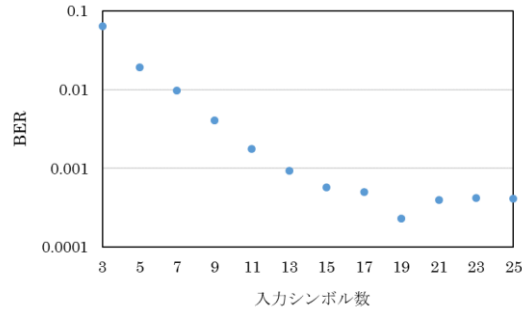


図3 入力シンボル数とBERの関係

このようにして、入力平均光電力ごとにニューラルネットワークへの入力シンボル数を最適化した。その後、最適化したニューラルネットワークを用いて、ニューロン数を変えて受信信号の波形劣化補償を行った。

3. シミュレーション結果

IM-DD伝送システムにおける4値強度変調で10km伝送したときの受信信号のBER及び、最適化したニューラルネットワークにより受信波形を補償したときのBERを図4に示す。

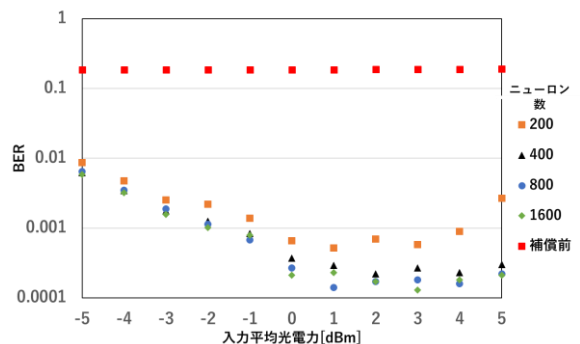


図4 ニューラルネットワークによる補償前と補償後のBER

図4の結果からニューラルネットワークで補償することで補償前からBERを最大1/1000近くまで改善できた。ニューロン数を増加させて補償するとBERが小さくなる傾向がみられたが、ニューロン数を800から1600に増加させても補償後のBERはほとんど変わらなかった。ニューロン数が少ない方が小さい回路規模で補償ができるため、本シミュレーションではニューロン数800が最適であった。また、熱雑音はランダムな雑音で規則性がないのでニューラルネットワークで補償することが困難であるが、入力光電力を大きくすることで増加する非線形劣化はニューラルネットワークで補償することができ、50GSym/sで10kmの伝送が可能であることを示した。

4. まとめ

IM-DD伝送システムにおける4値強度変調で発生する波形劣化をニューラルネットワークを用いて補償することができた。それにより、IM-DD伝送システムにおける4値強度変調において変調速度50GSym/sで波長分散2ps/km/nmのシングルモードファイバで10kmの伝送が可能であることを示した。