

光コヒーレント伝送における ニューラルネットワークを用いた非線形劣化補償

Nonlinear Distortion Compensation using Neural Networks in Coherent Optical Transmission Systems

1235118 上山 峻央 (光制御・ネットワーク研究室)
(指導教員 岩下 克 教授)

1. はじめに

インターネットトラフィックが爆発的に増加し続けているため、大容量光ネットワークが必要とされている。しかし、波長多重や高速化により光ファイバへの入力光電力が増大し受信信号の非線形劣化が問題となる。これに対し、いくつかの方法が提案されているが、いずれも膨大な計算量が必要となってしまう、実装上の欠点となっている。その解決策として、ニューラルネットワーク (NN) を用いた非線形劣化補償法が提案されている。しかし、これらの方法は、位相雑音存在下での学習に問題がある。

本研究ではこの問題を解決するために、非線形劣化補償 NN の新たな学習方法を提案し、その効果をシミュレーションで確認した。

2. 提案法

本論文で提案する新たな学習方法は図 1[1]に示す。この構成で生成した正解データを図 2 に示す光コヒーレント伝送システムに置かれた非線形劣化補償 NN の学習に用いた。まず、波長分散補償後の受信信号が入力される(図 1(a))。次に、入力された信号は送信信号(図 1(b))によって逆変調される(図 1(c))。逆変調された信号は、信号成分が取り除かれ、位相雑音と光ファイバの非線形劣化によって生成される振幅変動で構成されている。その後、ローパスフィルタ (LPF) で高周波成分が除去され、絶対値ブロックで振幅変動も除去され、光源の発振波長揺らぎで発生する変化が緩やかな位相変化 (位相ドリフト) のみが残る(図 1(d))。以上によって求められた位相ドリフトは送信信号に乘算される(図 1(e))。従って、正解データには送信信号と位相ドリフトが含まれる。つまり、学習データから正解データへの変化は非線形劣化がなくなったことのみと考えられるため、NN は非線形劣化のみを学習し、位相ドリフトは無視するようになる。そのため、使用時、NN の出力には位相ドリフトが残るが、これは NN 後の位相同期回路 (PLL) によって補償される。非線形劣化補償に用いられる NN には、実ニューラルネットワーク (RvNN) または複素ニューラルネットワーク (CvNN) を用いた。NN の活性化関数には Swish を用いた。

3. 光コヒーレント伝送システムモデル

シミュレーション構成を図 2 示す。32Gbaud 16QAM 信号において、中心波長を 1550nm とし、シングルモードファイバ伝送路は 1 中継区間あたり 50km を M 回 (スパン) 中継し 50×M km の伝送路とした。損失は 0.2dB/km、波長分散は 1ps/(km·nm)、非線形係数は 1.4W⁻¹/km、光アンプの NF は 4.5dB とした。送信データ列にはランダムパターンを用いた。光源の線幅は 100kHz とした。

4. 結果

まず、ビット誤り率 (BER) の入力光強度依存性において Digital Back Propagation (DBP) method との比較を行った。伝送距離は 4000km (80 スパン) とした。ハイパーパラメータはそれぞれの入力光強度ごとに最適化された。結果は図 3 ようになり、CvNN が最も BER が低く、DBP と比較して 0.3 倍となり改善された。次に、RvNN, CvNN, および DBP における計算時間の伝送距離依存性を調べた。また、DBP の計算時間によって正規化を行った。結果は図 4 のようになり、

RvNN の計算時間が最も短く、DBP と比較して 8×10^{-3} 倍となり改善された。

5. まとめ

提案法によって学習した非線形劣化補償 NN は、伝送距離 4000km の 32Gbaud 16QAM 伝送において、DBP と比較して、BER が 0.3 倍、計算時間が 8×10^{-3} 倍になり改善された。従って、新たな非線形劣化補償法として有効である。

参考文献

[1] 上山峻央, 森文香, 小林弘和, 岩下克, “QPSK 光コヒーレント伝送における深層学習による非線形劣化補償,” 2020 年電子情報通信学会総合大会, B-10-37, 2020.

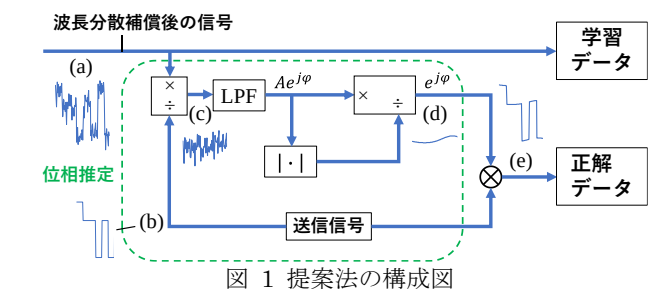


図 1 提案法の構成図

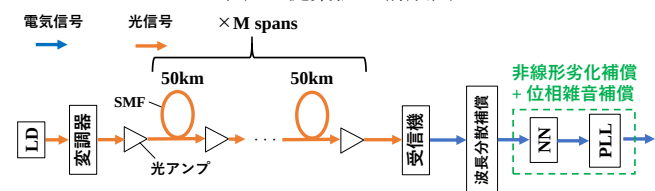


図 2 光コヒーレント伝送システム (LD: Laser Diode)

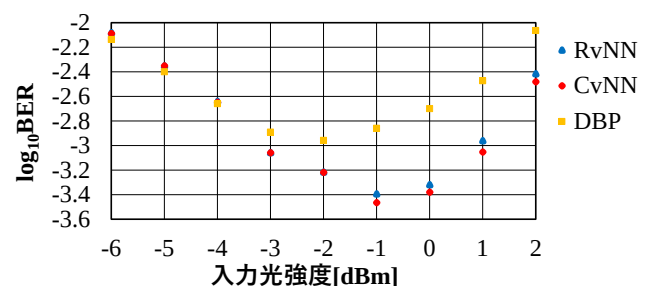


図 3 BER の入力光強度依存性

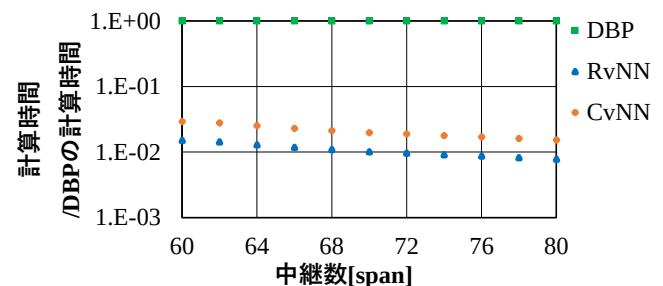


図 4 計算時間の伝送距離依存性 (“Intel (R) Core (TM) i9-9900KF CPU @ 3.60GHz 3.60, NVIDIA GeForce RTX 2080 SUPER” を用いた)