

光ファイバ通信におけるニューラルネットワークを用いた非線形補償の研究

Study of Artificial Neural Network based Nonlinearity Compensation in Optical Fiber Communication

平井 理宇 (Riu HIRAI)

As the data traffic demand continues growing, cost-effective optical fiber nonlinearity compensation (NLC) is strongly required for not only long-reach but also short-reach system. Artificial neural network (ANN) based NLC, which can train nonlinear channel response precisely from received data, is promising due to more power-saving than nonlinear Schrödinger equation derived NLC. For IM/DD utilized short-reach system, where optical field information is lost due to square law detection, practical feasibility of ANN based NLC has not been verified. In this report, we clarify relationship between compensation effect and power consumption in 80-km fiber transmission of a single IM/DD PAMn signal.

5G 通信時代のデータトラフィックを支えるデータセンタ間インターコネクタでは、短中距離用途の光通信インフラの増強が求められている。長距離用途の幹線網に導入済みのデジタルコヒーレント方式の利用も検討されているが、消費電力やモジュールサイズに課題がある。そこで省電力化が可能な強度変調と直接検波方式(IM/DD)の利用が有望視されており、高ボーレート化・高多値化・波長多重の高密度化などの容量増大の検討が進められている。しかしながら、10 km までの短距離用途では問題とならなかった非線形光学効果が、最大 100 km の中距離用途では大容量化の阻害要因となるため、次世代の短中距離向け光モジュールの電力増大を抑えられる非線形補償方式の実現が求められている。

近年、非線形補償方式として、人工ニューラルネットワーク(ANN)の活用が検討されている。機械学習の一種である ANN は複数の入力 $x_i \{i=1,2,\dots,n\}$ に重み係数 $w_i \{i=1,2,\dots,n\}$ を乗算してバイアス項 b との和を z とする数式 $z = \sum(w_i x_i + b)$ と、 z に活性化関数 f を作用させて出力 y を得る数式 $y = f(z)$ からなり、それらを複数組み合わせることで線形分離が困難な複雑なデータ列の分離を可能とする。光ファイバ伝送路で生じる非線形波形歪みの波形等化手法として、受信データから非線形チャネル応答を正確に学習する ANN は演算量に対して補償能力が高いことから従来の非線形シュレディンガー方程式に由来する非線形補償方式に替わる候補として注目を集めている[1-3]。

しかし、先行文献の復調方式は、非線形補償に関して十分な電界情報が得られるコヒーレント方式であった。一方、IM/DD では電界情報の消失により十分な補償効果を得るために必要な ANN 規模が増大することが懸念される。電力制約が厳しい短中距離用途では実用性の観点から回路規模の評価が必要である。

IM/DD システムにおける ANN の非線形補償効果を確認するため Fig.1 に示す 100G 級の強度多値変調 PAMn(n=8)光送信器および直接検波光受信器を構築し、データセンタ間インターコネクタの要件であるシングルモードファイバ 80 km の光伝送実験を実施した。非線形補償に用いた ANN は Fig.2 に示すように入力層、隠れ層、出力層の 3 層から構成され、

それぞれのニューロン数を変化させることで補償量を調整した。活性化関数には、隠れ層では正值のみを出力する ReLU を代表とする非線形関数を利用し、出力層では恒等関数で出力をパススルーした。Fig.3 に非線形補償に必要な演算量に対する非線形補償ゲインを示す。ANN は従来のボルテラ型非線形補償器(VFFE)に比べて最大 0.4dB の非線形補償ゲインが得られ、また同じゲインで比較した際、87%少ない演算量となった。

本研究により、光電界情報を失う IM/DD システムにおいても ANN は演算効率の高い非線形補償が可能であることを明らかにした。今後、波長多重システムで生じる非線形光学効果に解析範囲を広げて、次世代のデータセンタ間インターコネクトの実現に貢献する。

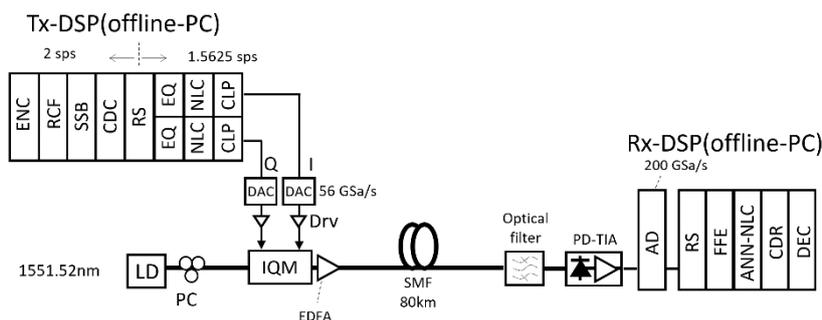


Fig.1 Optical transmitter and receiver of 100-Gbit/s class SSB Nyquist PAM8 IM/DD signaling

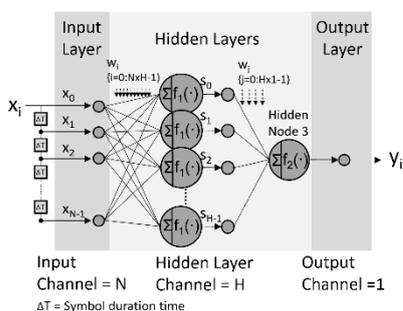


Fig.2 ANN based NLC

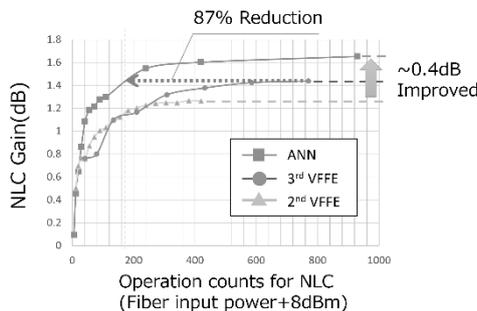


Fig.3 NLC gain versus operation counts

.....

参考論文

[1] C. Catanese, et al., 21st International Conference on Transparent Optical Networks, July, 2019.
 [2] O. Sidelnikov, A. Redyuk, et al., IEEE JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, vol.39, no.8, pp.2397-2406, April, 2021.
 [3] 大塚 優太, 他, 信学技報, OCS2019-14 (2019-06), pp.21-24.