

深層学習による変調方式の設計とその評価

Design of modulation schemes by deep learning and their evaluation

須田 敦大[†] 那賀 明[†]

Atsuhiko SUDA[†] Akira NAKA[†]

[†] 茨城大学理工学研究科 電気電子システム工学専攻

[†] Graduate School of Science and Engineering, Ibaraki University

1. 背景・目的

近年、深層学習は急激な進化を遂げ、様々な分野で応用されています。光ファイバ通信の技術分野でも、非線形補償、多層ネットワークの最適化、通信性能の監視などの研究が進められている[1]。本研究では、光ファイバ通信への応用を目的として、深層学習の手法の1つである自己符号化器を用いて、変調方式における、2次元コンスタレーションの設計を行い、その性能の評価結果を報告する。

2. 本研究に用いた手法と評価方法

図1に自己符号化器の構成を示す。入力は m ビットのバイナリビット列 $\mathbf{b} = (b_1, b_2, \dots, b_m)$ である。中間出力は2変数からなる $x(I, Q)$ であり、これに雑音を付加し $y(I, Q)$ とする。出力は入力ビット列の各ビットに対応した m 個の事後確率 $p(b_i|y)$ である。

入力ビット b_i と事後確率 $p(b_i|y)$ の対応関係が最大となるように自己符号化器を学習する。 2^m 種類の入力に対応した各中間出力 $x(I, Q)$ を変調点(コンスタレーション)とすることで、変調方式の設計を行う。また、この構成を用いることで、シンボルのマッピングとラベリングを同時に可能とする[2]。本研究では、 $m = 3, 4$ でコンスタレーションを設計する。

設計により得たコンスタレーションを適応した送受信器と DVB-S2 規格に基づく LDPC 符号 (Low-Density Parity-Check Code, 符号化率 $1/4$ $1/2$) を用いた AWGN チャンネルの伝送路から成る評価系を用いて、BER 特性の評価を行う。

3. 結果

本研究では、 $m = 3, 4$ でコンスタレーションの設計を行ったが、この原稿では、 $m = 3$ での結果のみを示す。図2に、 $m = 3$ で設計したコンスタレーションと比較に用いる標準 8QAM を示す。また、 E_s/N_0 は1シンボル当たりの信号対雑音比を表す。 E_s/N_0 が -1.2 dB では、8つの変調点が2点ずつ重なり、見かけ上4点のコンスタレーションとなった。 E_s/N_0 が 0.8 dB では、変調点が2列に並ぶコンスタレーションになった。 E_s/N_0 が 3.8 dB では、中央に変調点が2点ありそれを取り囲むようなコンスタレーションとなった。

図3および図4に、図2で示したコンスタレーションにおける BER 特性を LDPC の符号化率 $1/4$ および $1/2$ の条件でそれぞれ示す。いずれの符号化率においても、 E_s/N_0 が 3.8 dB の条件で得たコンスタレーションは、標準 8QAM と比

較して良い BER 特性を得た。

E_s/N_0 が -1.2 dB および 0.8 dB の条件で得たコンスタレーションでは、標準 8QAM と比較して、対応する E_s/N_0 条件にて良い BER 特性を得た。これらの結果より、 E_s/N_0 条件に対応して学習が行われていることが確認できた。

4. まとめ

自己符号化器を用いて、BER 特性が標準 8QAM と比較して良い特性を持つコンスタレーションを設計した。

参考文献

- [1] F. N. Khan, et al., "An optical communication's perspective on machine learning and its applications," J. Lightw. Technol., vol. 37, no. 2, pp. 493-516, 2019.
 [2] S. Cammerer, IEEE, "Trainable Communication Systems: Concepts and Prototype", IEEE Transactions on Communications, vol. 68, no. 9, pp. 5489-5503, 2020.

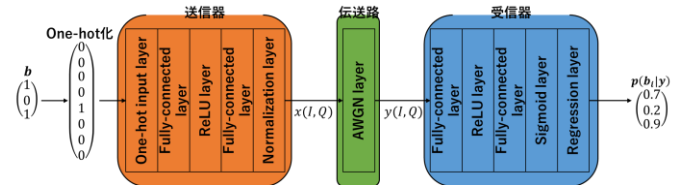


図1 自己符号化器の構成

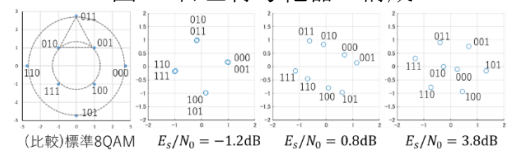


図2 $m=3$ で設計したコンスタレーション

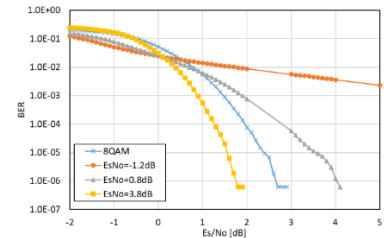


図3 BER 特性(符号化率 1/4)

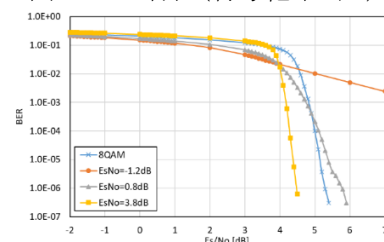


図4 BER 特性(符号化率 1/2)