

学習型 ISTA による OFDM の復調性能の改善

1200349 二宮 勇希 【ワイヤレスネットワーク研究室】

1 はじめに

機械学習の手法のひとつである深層学習技術は無線通信分野にも適用の機運が高まっている．無線通信の代表的な方式として知られている直交周波数分割多重方式 (orthogonal frequency division multiplexing: OFDM) はピーク対平均電力 (peak-to-average power ratio: PAPR) が高くなる．波形のクリッピングにより PAPR を低減できるが，操作が非線形のため復調精度が劣化する [1]．クリッピングされた OFDM 信号に反復縮小しきい値アルゴリズム (iterative shrinkage thresholding algorithm: ISTA) の改良版である C-TISTA (complex-field trainable ISTA) を用いた復調方式が提案されている [2]．本研究では，クリッピングされた OFDM 信号に C-TISTA に基づき修正を加えた学習型 ISTA を用いることで復調性能を改善する．

2 クリッピングされた OFDM 信号

N 個の QPSK メッセージ信号を $X = [X(0), X(1), \dots, X(N-1)]^T$ と表す． X を逆離散フーリエ変換により時間領域に変換すると OFDM 信号 $x = [x(0), x(1), \dots, x(N-1)]^T = F^H X$ が得られる．ここで F は $N \times N$ の離散フーリエ変換 (discrete fourier transform: DFT) 行列， H はエルミート転置を示す．

OFDM 信号の PAPR は次式で定義される．

$$\text{PAPR}[x(n)] = 10 \log_{10} \frac{\max_{0 \leq n \leq N-1} [|x(n)|^2]}{E[|x(n)|^2]} \quad (1)$$

上式の $E[\cdot]$ は期待値を表す． x は高い PAPR を持つため，あるしきい値以上の信号を規定のレベルに置き換えて PAPR を低減する．クリッピングされた信号は次式となる．

$$x_p(n) = \begin{cases} x(n) & (|x(n)| \leq A) \\ Ae^{j\phi(n)} & (|x(n)| > A) \end{cases} \quad (2)$$

ここで， $x_p(n)$ はクリッピングされた OFDM 信号の n 番サンプル， A は振幅のしきい値である．しきい値と x の実効値の比はクリッピング比 γ と呼ばれる．

通信路では白色ガウス雑音 (additive white Gaussian noise: AWGN) が付加されることを想定する．

3 学習型 ISTA による復調

クリッピングされた OFDM 信号に学習型 ISTA を用いてメッセージ信号を復調する．学習型 ISTA は次式である．

$$r_t = s_t + \beta_t^2 h(s_t) \quad (3)$$

$$s_{t+1} = \eta(r_t; \lambda_t) - r_t \quad (4)$$

$$h(s_t) = F \left[\{y - f(F^H s_t)\}^* \odot \frac{\partial f}{\partial z^*}(F^H s_t) + \{y - f(F^H s_t)\} \odot \frac{\partial f^*}{\partial z}(F^H s_t) \right] \quad (5)$$

ここで， y は受信信号の DFT， s_t は探索ベクトル， β_t は学習可能パラメータ， λ_t は縮小関数制御パラメータ， \odot はアダマール積， f はクリッピング操作を表す． T 回の反復 ($t = 1, 2, \dots, T$) により，メッセージ信号 X の推定 $\hat{X} = s_{1+T}$ を得る．

4 性能評価

OFDM 信号のキャリア数 $N = 64$ ，メッセージ信号を QPSK，クリッピング比 $\gamma = 1.0$ ，ミニバッチサイズ 1000，反復回数 $T = 10$ とする．学習可能パラメータの最適化には Adam を利用し，学習率を 0.001 としたときの C-TISTA，学習型 ISTA，そして DFT を用いた復調のビット誤り率 (bit-error rate: BER) 特性を図 1 に示す．図 1 より，学習型 ISTA の BER 特性は，DFT よりも BER = 10^{-3} で約 5.0dB 改善されており，C-TISTA よりも約 0.5dB 改善されている．

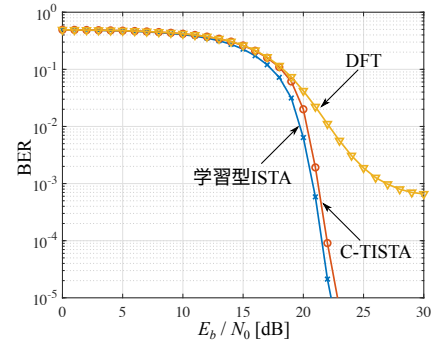


図 1 クリッピングされた OFDM 信号の復調における BER 特性

5 まとめ

本研究では，クリッピングされた OFDM 信号の復調に学習型 ISTA を用いることで，BER 特性をわずかに改善できることを示した．

参考文献

- [1] B. Tang, K. Qin, X. Zhang, and C. Chen, "A clipping-noise compression method to reduce PAPR of OFDM signals," IEEE Commun. Lett., vol. 23, no. 8, Aug. 2019.
- [2] S. Takahabe and T. Wadayama, "Complex field-trainable ISTA for linear and nonlinear inverse problems," <https://arxiv.org/abs/1904.07409>, 2019.