チャネル推定が不完全な MIMO システムの性能評価

1220376　細川　五代　【 ワイヤレスネットワーク研究室 】

1　はじめに

機械学習を利用した研究が様々な分野で発展しており，無線通信分野ではニューラルネットワークに基づく多入力多出力 (multiple-input multiple-output: MIMO) チャネル推定法が検討されている [1]．MIMO システムは最尤 (maximum likelihood: ML) 推定法により最良の性能が得られるが，計算量が膨大であり，大規模なリアルタイムシステムでは実用的ではない [2]．また，正確なチャネル推定が必要であるが，無線通信ではチャネル推定に誤差が含まれることから性能悪化が懸念される．本研究ではチャネル推定が不完全な MIMO システムとニューラルメッセージ推定法のビット誤り率 (bit-error rate: BER) 特性を評価する．

2　MIMO

2.1　受信信号

送信アンテナを N 本，受信アンテナを L 本とする MIMO システムについて考える．i 番送信アンテナと j 番受信アンテナの間のチャネル応答を $h_{i,j}$ とし，これを i 行 j 列要素に持つチャネル行列を $\mathbf{H} \in \mathbb{C}^{L\times N}$ とする．送信メッセージを $\mathbf{s}$ とすると，受信信号 $\mathbf{y} \in \mathbb{C}^{L}$ は次式となる．

$$\mathbf{y} = \mathbf{H}\mathbf{s} + \mathbf{z} \tag{1}$$

ここで，$\mathbf{z} \in \mathbb{C}^{L}$ は平均 0，分散 σ^2 の複素ガウス雑音を要素に持つベクトルである．

2.2　チャネル推定の誤差

本研究では，受信側で推定したチャネル応答として，真値 $h_{i,j}$ に誤差成分 $\varepsilon_{i,j}$ を加算した $\widehat{h}_{i,j}$ を用いる．$h_{i,j}$ は平均 0，分散 ${\sigma_h}^2$ の複素ガウス過程であり，$\varepsilon_{i,j}$ を平均 0，分散 $\alpha{\sigma_h}^2$ の複素ガウス分布に従う誤差とする．

2.3　ニューラルメッセージ推定法

本研究で用いるニューラルメッセージ推定法には，3 層からなるディープニューラルネットワーク (deep neueal network: DNN) を用いる．図 1 に一層分のニューラルメッセージ推定法のフローチャートを示す．DNN 各層の出力が次の層へ入力される．各層の入出力関係は次式である．

$$\mathbf{q}_1 = \mathbf{y} \tag{2}$$

$$\mathbf{q}_{k+1} = \rho_k(\mathbf{W}_k\mathbf{q}_k + \mathbf{b}_k)\ (k = 1, ..., K-1) \tag{3}$$

$$\hat{\mathbf{s}} = \rho_K(\mathbf{W}_K\mathbf{q}_K + \mathbf{b}_K) \tag{4}$$

ここで，ρ_k は $1 \le k \le K-1$ に対して ReLU 関数，$k = K$ に対して tanh 関数とする．重み行列 $\mathbf{W}_k$ とバイアスベクトル $\mathbf{b}_k$ $(k = 1, \cdots, K)$ が学習可能パラメータである．

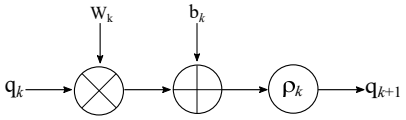

図 1　一層分のフローチャート

3　性能評価

送受信アンテナの本数が $L = N = 4$ の MIMO システムについて，ニューラルメッセージ推定法とチャネル推定誤差のある ML 推定法の性能を比較する．3 層 DNN モデル $(K = 3)$ の隠れ層のユニット数を 20，最適化に学習率 0.001 の Adam を用いる．ミニバッチサイズを 25，学習回数を 5000 回，α を 0，0.01，0.02 としたときの BER 特性を図 2 に示す．図 2 より，α が増加してチャネル推定誤差が大きくなると，ML 推定法の BER 特性が大幅に悪化することを確認できる．ニューラルメッセージ推定は E_b/N_0 が 8dB 以下の場合に $\alpha = 0.02$ の ML 推定法と同等の BER が得られ，E_b/N_0 が 12dB 以上の場合に $\alpha = 0.01$ の ML 推定法と同等の BER が得られることを確認できる．

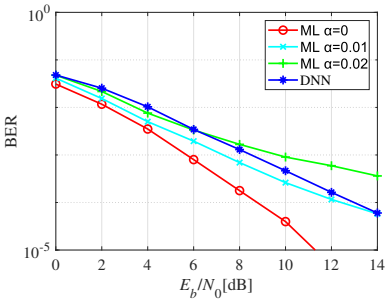

図 2　$N = L = 4$ の BER 特性

4　まとめ

本研究では，チャネル推定が不完全な MIMO システムの性能とニューラルメッセージ推定法の性能を比較した．ニューラルメッセージ推定法により，チャネル推定誤差 $\alpha = 0.01 \sim 0.02$ 程度の ML 推定法と同等の性能が得られることを示した．

参考文献

[1] 和田山 正,“無線通信のための深層学習の基礎,”電子情報通信学会通信ソサイエティ, Oct. 2019.

[2] N.Samuel, T.Diskin, and A.Wiesel, “Learning to Detect,” IEEE Trans. Signal Process., vol.67, no.10, pp.2554-2564, May 2019.