

MIMO システムにおける LR-ZF 法の直交性の改善

深井 賢人 満永 大輔 趙 華安

(熊本大学大学院自然科学研究科 情報電気電子工学専攻)

1 はじめに

大容量で高信頼性をもつ通信を可能とし、周波数効率を損なわない通信技術として MIMO 無線通信がある。この通信において、特に受信側では少ない計算量と高い検出性能を必要とする。本論文において、この要求に対し、格子基底縮小 (LR:Lattice Reduction) を用いる直交の不完全性を改善した ZF(Zero forcing) 法の改善手法を示す。また、シミュレーションにおいて BER(Bit Error Rate) 性能の改善が見られたことを示す。

2 LR-ZF 法における不完全直交性の改善

MIMO 無線通信のシステムモデルと LR の不完全直交性の改善について紹介する。

2.1 システムモデル

MIMO 無線通信は、複数の送受信アンテナを用いて高速な通信を行う。送信アンテナを N_t 本とし、受信アンテナを N_r 本とした時、MIMO の送受信のシステムモデルは

$$\mathbf{y} = \mathbf{H}\mathbf{x} + \mathbf{n} \quad (1)$$

と表すことができる。

$\mathbf{y} \in \mathbb{C}^{N_r}$ は受信信号ベクトル、 $\mathbf{x} \in \mathbb{C}^{N_t}$ は QAM コンステレーションを示す \mathbf{X} から独立して取り出された送信信号ベクトル、 $\mathbf{n} \in \mathbb{C}^{N_r}$ はノイズベクトル、 $\mathbf{H} \in \mathbb{C}^{N_t \times N_r}$ はチャネル行列を表し、受信側で既知とする。

2.2 LR-ZF 法

信号検出の際に LR を使用することで、BER 性能を大幅に向上させることが可能である。LR を式 (1) に適用したとき、

$$\mathbf{y} = \mathbf{H}\mathbf{T}\mathbf{T}^{-1}\mathbf{x} + \mathbf{n} = \tilde{\mathbf{H}}\tilde{\mathbf{x}} + \mathbf{n} \quad (2)$$

と表す。 $\tilde{\mathbf{H}}$ は LR により高い直交性を持ったチャネル行列、 \mathbf{T} は整数で構成されるユニモジュラ行列、 $\tilde{\mathbf{x}}$ は \mathbf{T} で変換された送信信号ベクトルである。そして、ZF 法より復号を行うために雑音を 0 として擬似逆行列を用いて式 (2) の変形を行うと、

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{x}} &= \mathbf{T}^{-1}\hat{\mathbf{s}} = \mathbf{T}^{-1}(\tilde{\mathbf{H}}^H\tilde{\mathbf{H}})^{-1}\tilde{\mathbf{H}}^H\mathbf{y} \\ &= \mathbf{x} + \mathbf{T}^{-1}(\tilde{\mathbf{H}}^H\tilde{\mathbf{H}})^{-1}\tilde{\mathbf{H}}^H\mathbf{n} \end{aligned} \quad (3)$$

となる。 $\hat{\mathbf{x}}$ は導出された送信信号であり、さらに量子化により解を求めることができる。

2.3 ノルム判定を用いた LR の直交性の改善

LR はより高い直交性を得ることで、BER 性能を向上させる手法である。だが、不完全直交化問題 [1] により、未だ不完全な直交といえる。よって、この問題に対する改善手法を含めたアルゴリズムを以下に示す。

Step1 : 行列 \mathbf{H} に QR 分解、LR を適用しユニモジュラ行列から $\tilde{\mathbf{H}}$ の生成

Step2 : 判定基準 θ_1, θ_2 により、 $\tilde{\mathbf{H}}$ の格子から直交性の高い列ベクトルの選択

Step3 : 判定基準を満たした列ベクトルの復号

Step4 : 判定基準を満たさなかった場合、残りのチャンネルを用いて Step1 に再帰

Step5 すべての列ベクトルを復号後、送信信号 $\hat{\mathbf{x}}$ の出力

判定基準 θ_1, θ_2 の値を下記に示す。

$$\|\mathbf{z} - \mathbf{r}\| < \theta_1 \quad (4)$$

$$\frac{\mathbf{N}}{N_{ave}} < \theta_2 \quad (5)$$

\mathbf{r} は候補解ベクトル、 \mathbf{z} は量子化された候補解ベクトル、 \mathbf{N} はチャネル行列の格子のもつユークリッドノルム、 N_{ave} はチャネル行列全体のユークリッドノルムの平均値である。

3 シミュレーション

改善手法の BER 性能について MATLAB を用いて検証を行う。アンテナ数 $N_r \times N_t$ を、 4×4 と 16×16 にした時の結果を図 1, 2 に示す。

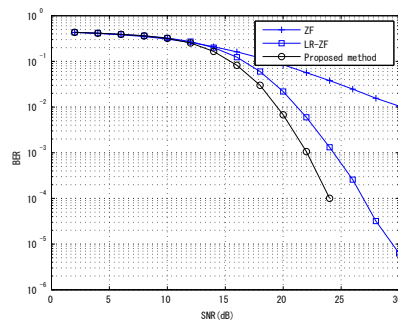


図 1: 4x4

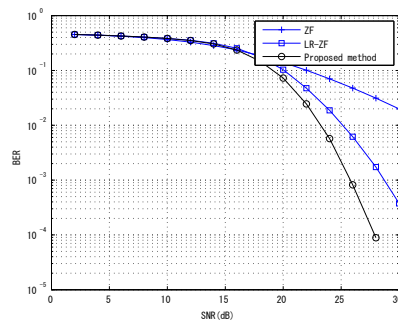


図 2: 16x16

4 まとめ

本論文では、チャネル行列の持つ直交性改善による LR-ZF 法の改善手法を示した。従来の手法に対し改善手法は、どのパターンでも改善を示し、アンテナ数が増加した場合により良い改善を示した。

参考文献

- [1] Kamal A. Singhal, Tanumay Datta and A. Chokalingam, "Lattice Reduction Aided Detection in Large-MIMO Systems", Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC), 2013 IEEE 14th Workshop on. IEEE, 2013.