

MU-MIMO におけるユーザ間干渉抑制の一手法

高原 諒 馬立 侑典 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 年)

1 はじめに

MIMO(Multiple-Input Multiple-Output) 無線通信はアンテナ数を増やすことで通信速度を向上させるが、端末が小型のものはアンテナ数を増やすのが難しい。そこで、複数のユーザと基地局の間で MIMO を実現する MU-MIMO システムがある。このシステムの課題として、信号を送信する際にユーザ間干渉を考慮する必要がある。今回はこれを除去する THP 法を実装し、その BER 性能を比較する。

2 MU-MIMO の送信側指向性技術

基地局側に多くのアンテナを有し、複数ユーザの全アンテナと基地局のアンテナ間を大規模な MIMO チャンネルとみなす MU-MIMO の課題である、送信側指向性制御技術について説明する。

2.1 システムモデル

図 1 に一般的な MU-MIMO の下り回線のモデルを示す。

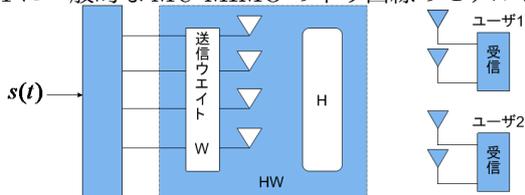


図 1: 送信側指向性制御を考慮した MU-MIMO システムモデル

基地局のアンテナ数を N_T 、端末のアンテナ数を N_R 、ユーザ数を N_U とする。例えば、 $N_T = 4, N_R = 2, N_U = 2$ とすると、 $N_R N_U \times N_T = 4 \times 4$ MIMO チャンネルが全体で形成されることになる。送信ウェイトを考慮した受信信号 $\mathbf{y}(t)$ は

$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{H}\mathbf{W}\mathbf{s}(t) + \mathbf{n}(t) \quad (1)$$

のように表せる。ここで、 $\mathbf{n}(t)$ は熱雑音である。指向性制御はこのウェイト値 \mathbf{W} を決定することが重要である。

2.2 ZF 法

ZF 法はチャンネルの逆行列を送信ウェイトとして適用する。ZF 法によるウェイトは以下の式で表せる。

$$\mathbf{W}_{ZF} = \frac{\mathbf{H}^{-1}}{\|\mathbf{H}^{-1}\|_F} \quad (2)$$

ここで、分母の $\|\mathbf{H}^{-1}\|_F$ は、総送信電力を一定とするための規格化である。 $\|\cdot\|_F$ はフロベニウムノルムを表す。

2.3 BD 法

BD 法では、ユーザ 1,2 に対応するウェイト $\mathbf{W}^{(1)}, \mathbf{W}^{(2)}$ とチャンネル行列 $\mathbf{H}^{(1)}, \mathbf{H}^{(2)}$ の間の関係を利用する。ここで、

$$\mathbf{H}^{(2)}\mathbf{W}^{(1)} = \mathbf{0}_{2 \times 2} \quad (3)$$

$$\mathbf{H}^{(1)}\mathbf{W}^{(2)} = \mathbf{0}_{2 \times 2} \quad (4)$$

が成り立つようなウェイトを決定する。これにより、送信側の信号処理のみで複数ユーザの信号を完全に分離することができる。

2.4 THP

THP はまず DPC という方法で干渉を除去した後に、Modulo 演算を行い送信電力の増大を抑える手法である。

まず、チャンネル行列 \mathbf{H} に QR 分解を用いる。

$$\mathbf{H}^H = \mathbf{Q}\mathbf{L}^H \quad (5)$$

ここで、 \mathbf{L} は $N_U N_R \times N_T$ の下三角行列である。 \mathbf{Q} は $N_U N_R \times N_T$ のユニタリ行列である。すなわち、 $\mathbf{Q}^H \mathbf{Q} = \mathbf{I}_{N_T}$ が成り立つ。送信ウェイト \mathbf{W} を

$$\mathbf{W} = \mathbf{Q} \quad (6)$$

とおくと、受信信号は

$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{H}\mathbf{W}\mathbf{s}(t) + \mathbf{n}(t) \quad (7)$$

$$= \mathbf{L}\mathbf{s}(t) + \mathbf{n}(t) \quad (8)$$

となる。 $\mathbf{L}\mathbf{s}(t)$ を成分ごとに分解し、 $\mathbf{x}(t) = \mathbf{L}\mathbf{s}(t)$ と定義する。送信すべき信号 $s'_i(t)$ を

$$s'_i(t) = s_i(t) - \sum_{m=1}^{i-1} \left(\frac{l_{im}}{l_{ii}} \cdot s_m(t) \right) \quad (9)$$

で与えると、送信側の演算により干渉を除去できる。

次に Modulo 演算を行う。Modulo 演算は以下のように定義する。

$$\text{mod}_A(x) = x + 2A \cdot m + j2A \cdot n \quad (10)$$

これにより、送信電力が大きくなりすぎた信号を小さくすることができる。

3 THP の実装

THP を実装し、ZF 法、BD 法と比較し評価を行う。実装結果を以下に示す。

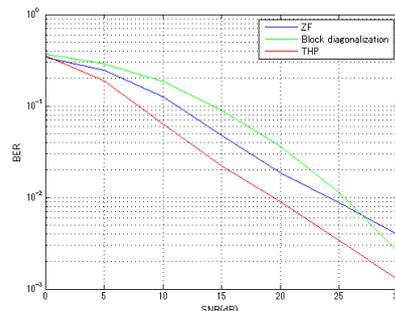


図 2: ZF, BD, THP による BER 性能の比較

図 2 は ZF, BD, THP それぞれの方法での BER 性能を示している。今回は $N_T = 4, N_R = 1, N_U = 4$ とした場合で比較している。三つの方法の中で、THP が最も性能がいいことが分かる。

4 まとめ

本報告では MU-MIMO における指向性制御技術として THP の性能のよさを示すことができた。

参考文献

- [1] 西森健太郎, "マルチユーザ MIMO の基礎", コロナ社, 2014 年 9 月 8 日.
- [2] Cho, Yong Soo, et al. MIMO-OFDM wireless communications with MATLAB. John Wiley and Sons, 2010.