

# ユーザ間干渉を考慮した下りリンクマルチユーザ MIMO 受信機の一検討

## A Study of Downlink Multi-User MIMO Receiver in Consideration of Multi-User Interference

小泉 亮  
Ryo Koizumi

周東 雅之  
Masayuki Sutoh

株式会社 モバイルテクノ  
Mobile Techno Corp.

### はじめに

下りリンク MU-MIMO では、UE (User Equipment) からフィードバックされる CSI (Channel State Information) を用いて Precoding により伝搬路を直交化する。フィードバック情報量の有限性やフィードバック遅延等により CSI 誤差が生じると、伝搬路の直交性が崩れ、多重ユーザ間干渉が発生する。非直交伝搬路を前提とした受信機として、希望ユーザと干渉ユーザの全送信パタンに基づく受信信号レプリカと受信信号間のユークリッド距離を検証する Max-Log-MAP (Maximum A Posteriori probability) 受信機が知られている[1]。この方法は、干渉ユーザが使用し得るすべての変調方式について送信パタンを検証する必要があり、演算量が増大する問題がある。そこで、本稿では、干渉ユーザからの受信シンボルをガウス雑音とみなし、希望ユーザの送信パタンのみ検証する Max-Log-MAP 受信機を提案する。実際の干渉の分布とガウス分布の差が大きい場合は誤り訂正能力が劣化するため、提案方式は実際の干渉の分布と近くなるよう尤度関数を補正する機能を有する。

### システムモデル

基地局の送信アンテナ数 2、空間多重ユーザ数 2、各ユーザの受信アンテナ数 1 で MU-MIMO を構成する場合のユーザ 1 の受信シンボル  $y_1$  は次式となる。

$$y_1 = \mathbf{h}_1 \mathbf{p}_1 x_1 + \mathbf{h}_1 \mathbf{p}_2 x_2 + n_1 \quad (1)$$

ここで  $\mathbf{h}_1$  は基地局→ユーザ 1 間の伝搬路行列、 $\mathbf{p}_1$  および  $\mathbf{p}_2$  はユーザ 1 および 2 の Precoding 行列、 $n_1$  はユーザ 1 受信端における分散  $\sigma_N^2$  の雑音をあらわす。従来の Max-Log-MAP 受信機における希望ユーザの送信パタン番号  $k$  ( $1 \dots N_k$ ) の尤度  $p_k^{trad}$  を次式に示す[1]。

$$p_k^{trad} = 1 / \sqrt{\pi \sigma_N^2} \exp(-d_k) \quad (2)$$

$$d_k = \arg \min_l \left\| y_1 - \hat{\mathbf{h}}_1 \hat{\mathbf{p}}_1 \tilde{x}_1(k) - \hat{\mathbf{h}}_1 \hat{\mathbf{p}}_2 \tilde{x}_2(l) \right\|^2 / \sigma_N^2$$

ここで  $\tilde{x}_1(k)$  はユーザ 1 の送信パタン番号  $k$  の送信シンボルレプリカ、 $\tilde{x}_2(l)$  はユーザ 2 の送信パタン番号  $l$  ( $1 \dots N_l$ ) の送信シンボルレプリカ、 $\hat{\mathbf{h}}_1 \hat{\mathbf{p}}_1$  および  $\hat{\mathbf{h}}_1 \hat{\mathbf{p}}_2$  はそれぞれユーザ 1 および 2 の Precoding 行列と伝搬路行列の推定値を表す。 $p_k^{trad}$  の計算に必要なユークリッド距離計算回数は  $N_L$  回となる。提案方式では、 $y_1$  に含まれる干渉成分を分散  $\sigma_I^2$  のガウス雑音とみなすことで、式(3)のように 1 回のユークリッド距離計算で尤度を導出する。また、干渉の分布に合うように線形項  $\beta$  と非線形項  $\alpha$  により尤度関数を補正する。ここで  $I_{\max}$  は干渉電力の最大値  $\arg \max_l (|\tilde{x}_2(l)|^2) |\hat{\mathbf{h}}_1 \hat{\mathbf{p}}_2|^2$  を表す。

$$p_k^{prop} = \frac{1}{\sqrt{\pi \sigma_{N+I}^2}} \exp(-d_k)$$

$$d_k = \begin{cases} (z_k / (\beta^2 \sigma_{N+I}^2))^\alpha & (z_k \leq I_{\max}) \\ \left( (\sqrt{z_k} - \sqrt{I_{\max}})^2 / \sigma_N^2 + (I_{\max} / (\beta^2 \sigma_{N+I}^2))^\alpha \right) & (z_k > I_{\max}) \end{cases}$$

$$z_k = \left\| y_1 - \hat{\mathbf{h}}_1 \hat{\mathbf{p}}_1 \tilde{x}_1(k) \right\|^2, \quad \sigma_{N+I}^2 = \sigma_N^2 + \sigma_I^2 \quad (3)$$

### 性能評価

前章のシステムモデルを用いて計算機シミュレーションをした。希望ユーザ (ユーザ 1) の変調方式を 16QAM、誤り訂正符号は Turbo Code (R=1/2, Codeword 長=1024)、干渉ユーザ (ユーザ 2) の送信シンボルは QPSK, 16QAM, 64QAM からランダムに選択した。256 サブキャリアの OFDM を想定し、伝搬路はサブキャリア毎に独立、送信アンテナ間で 0.5 の相関を持つレイリーフェージングとした。フィードバック CSI 誤差を  $-2\text{dB}$  とし、Precoding は MMSE-BF とした。受信機が用いる伝搬路推定値は理想とした。 $\alpha$  および  $\beta$  は干渉ユーザ数 1 の条件で予め最適化し 2, 1.2 とした。BER 特性を図 1 に示す。尤度関数の補正を行った提案方式 (prop.  $\alpha=2 \beta=1.2$ ) は補正を行わない場合 (prop.  $\alpha=1 \beta=1.0$ ) と比べ劣化を抑えられており、従来方式 (conv.) と同等の特性が得られた。

### まとめ

ユーザ間干渉をガウス雑音とみなすことでユークリッド距離演算回数を  $1/N_L$  に削減しつつ、実際の干渉の分布に合うよう尤度関数を補正して劣化を抑える受信機を提案した。計算機シミュレーションにより提案方式の有効性を示した。参考文献 [1] Z. Bai et al., "Receiver performance-complexity tradeoff in LTE MU-MIMO transmission," ICUMT 2011.

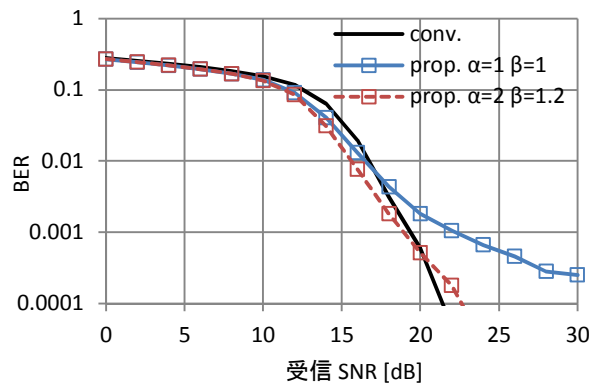


図 1 BER 特性