

# 離散性とグループスパース性を利用した 上りリンク過負荷 MU-MIMO OFDM 信号検出法に関する検討

Discreteness and Group Sparsity Aware Signal Detection Method for Uplink Overloaded MU-MIMO OFDM

早川 諒<sup>1</sup>

Ryo Hayakawa

中井 彩乃<sup>1</sup>

Ayano Nakai-Kasai

林 和則<sup>2</sup>

Kazunori Hayashi

京都大学大学院 情報学研究科<sup>1</sup>

Graduate School of Informatics, Kyoto University

大阪市立大学大学院 工学研究科<sup>2</sup>

Graduate School of Engineering, Osaka City University

## 1 はじめに

IoT (Internet of Things) 環境の MU-MIMO (Multi-User Multi-Input Multi-Output) OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) [1] において、基地局アンテナ数よりも多数の IoT 端末からの信号を検出するための手法として、離散性とグループスパース性を利用した手法が提案されている [2]。本稿では、計算機シミュレーションを用いてその特性を oracle ZF (Zero Forcing) 法と比較し、プリコーディングの有無による特性の変化を評価する。

## 2 離散性とグループスパース性を利用した信号検出法

$M$  個の基地局アンテナをもつ基地局と  $N$  個の IoT 端末との間の上りリンク通信を考える。  $n$  番目の IoT 端末の送信信号ベクトルを  $\mathbf{s}_n \in \mathbb{C}^C$  とする ( $C$  はサブキャリア数およびブロック長) と、端末がアクティブな場合は  $\mathbf{s}_n \in \mathcal{A}^C$ 、非アクティブな場合は  $\mathbf{s}_n = \mathbf{0}$  となる。ただし、 $\mathcal{A}$  はシンボルアルファベットを表す。基地局における周波数領域の受信信号は

$$\begin{bmatrix} \mathbf{r}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{r}_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{\Lambda}_{1,1}\mathbf{P} & \cdots & \mathbf{\Lambda}_{1,N}\mathbf{P} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{\Lambda}_{M,1}\mathbf{P} & \cdots & \mathbf{\Lambda}_{M,N}\mathbf{P} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{s}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{s}_N \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{v}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{v}_M \end{bmatrix}$$

と表される。ここで、 $\mathbf{r}_m \in \mathbb{C}^C$  は  $m$  番目の基地局アンテナにおける受信信号ベクトルであり、通信路行列  $\mathbf{H} \in \mathbb{C}^{CM \times CN}$  中の  $\mathbf{\Lambda}_{m,n} \in \mathbb{C}^{C \times C}$  は  $n$  番目の IoT 端末と  $m$  番目の基地局アンテナ間の周波数応答を主対角成分にもつ対角行列となる。 $\mathbf{v}_m \in \mathbb{C}^C$  は  $m$  番目の基地局アンテナで加わる白色雑音ベクトルであり、 $\mathbf{P} \in \mathbb{C}^{C \times C}$  はプリコーディング行列である。

本稿では、受信信号ベクトル  $\mathbf{r} = [\mathbf{r}_1^T \cdots \mathbf{r}_M^T]^T$  から、送信信号ベクトル  $\mathbf{s} = [\mathbf{s}_1^T \cdots \mathbf{s}_N^T]^T$  を推定する手法である IW-DGS (Iterative Weighted Discreteness-and-Group-Sparsity) [2] について検討する。IW-DGS では、 $\mathbf{s}$  の離散性とグループスパース性を利用した W-DGS 最適化問題

$$\begin{aligned} & \underset{\mathbf{x} \in \mathbb{C}^{QN}}{\text{minimize}} \quad \sum_{\ell=1}^L \sum_{i=1}^{CN} q_{i,\ell} g_{\ell}(x_i - b_{\ell}) + \sum_{n=1}^N \alpha_n \|\mathbf{x}_n\|_2 \\ & \text{subject to} \quad \|\mathbf{r} - \mathbf{H}\mathbf{x}\|_2 \leq \epsilon \end{aligned}$$

を、パラメータ  $q_{i,\ell}, \alpha_n$  を更新しながら繰り返し解くことで  $\mathbf{s}$  の推定を行う。ここで、 $L, b_{\ell}$  はそれぞれ  $\mathbf{s}$  の各成分のとりうる値の数と要素、 $g_{\ell}(\cdot)$  はスパース正則化の関数、 $\epsilon$  は 0 以上のパラメータである。

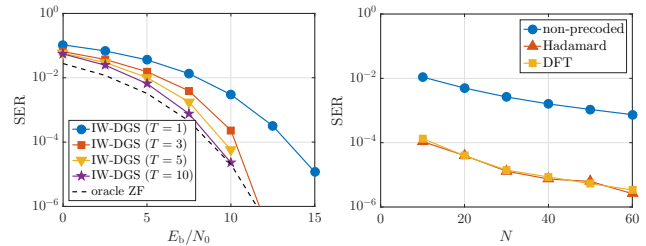


図1  $E_b/N_0$  に対する SER 特性

図2 プリコーディングによる SER 特性の変化

## 3 シミュレーション結果

IW-DGS を用いて信号検出を行ったときのシンボル誤り率 (Symbol Error Rate, SER) 特性を評価する。変調方式は QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) とし、サブキャリア数を  $C = 64$  とする。

図1は、 $N = 100$ ,  $M = 50$ , およびアクティブ端末数  $N_{\text{act}} = 20$  とした場合の SER 特性である。 $T$  は IW-DGS のパラメータ  $q_{i,\ell}, \alpha_n$  の更新回数であり、「oracle ZF」はどの端末がアクティブであるかを既知とした場合の ZF 法の特性を表す。 $E_b/N_0$  が十分に大きい場合、 $T = 10$  とした IW-DGS が oracle ZF 法とほぼ同等の特性を達成可能であることがわかる。

図2は、プリコーディング行列  $\mathbf{P}$  の選択による IW-DGS ( $T = 5$ ) の SER 特性の変化を示す。 $M = 0.4N$ ,  $N_{\text{act}} = 0.3N$  および  $E_b/N_0 = 15$  dB である。「non-precoded」はプリコーディングを行わない  $\mathbf{P} = \mathbf{I}$  (単位行列) の場合、「Hadamard」はアダマール行列を用いた場合、「DFT」は DFT (Discrete Fourier Transform) 行列を用いた場合である。プリコーディングを用いた場合の方が良い特性を得られることがわかる。なお、DFT 行列によるプリコーディングはサイクリックプレフィックスを用いたシングルキャリアブロック伝送に対応するため、実際には送信端末側でのプリコーディングや IDFT (Inverse DFT) を行わずに伝送できるというメリットがある。

## 謝辞

本研究は、総務省の電波資源拡大のための研究開発における委託研究課題「IoT 機器増大に対応した有無線最適制御型電波有効利用基盤技術の研究開発」によるものです。

## 参考文献

- [1] K. Hayashi, A. Nakai-Kasai, R. Hayakawa, and S. Ha, in *Proc. APSIPA ASC*, Nov. 2018.
- [2] 中井 彩乃, 早川 諒, 林 和則, 電子情報通信学会総合大会, 2019 年 3 月.