

# TDD システムにおけるインターリーブに紐づけされた 受信ビームフォーミングを用いる IDMA に基づくランダムアクセスの一検討

## Investigation on Interleaver-Linked Receiver Beamforming for IDMA-Based Random Access in TDD System

B-5

村上 陽太郎  
Yotaro Murakami樋口 健一  
Kenichi Higuchi東京理科大学 理工学部 電気電子情報工学科  
Department of Electrical Engineering, Faculty of Science and Technology, Tokyo University of Science

### 1. まえがき

インターリーブ分割多元接続 (IDMA: interleave division multiple access) [1] に基づくランダムアクセス [2] において, TDD システムを前提にインターリーブに紐づけされた受信ビームフォーミング (BF: beamforming) を行う方法を提案する.

### 2. 従来法 (PACE-RBF 法) の問題点

IDMA に基づくランダムアクセスにおいて, Massive MIMO 環境のように基地局で多数のアンテナを用いて受信を行う場合, 従来ではアンテナ間の受信信号を例えば最大比合成 (MRC: maximum ratio combining) 規範で合成する受信 BF を行うために, 各受信アンテナでのチャンネル推定が必要であった. 以降, このような従来のアンテナ毎チャンネル推定に基づく受信 BF 法 [3] を PACE-RBF (per antenna channel estimation-based receiver BF) 法と呼ぶ. PACE-RBF 法は, 受信アンテナ数が増大するほど 1 アンテナ当たりの受信信号電力が減少するため, チャンネル推定精度の劣化に起因した受信 BF 誤差が増大する問題があった.

### 3. 提案法 (ILL-RBF 法)

そこで, IDMA に基づくランダムアクセスにおいてシステムが用意する総数  $M$  個のインターリーブのそれぞれに固有の受信 BF ベクトルを紐づけ, ユーザ端末があらかじめ適切な基地局での受信 BF ベクトルを事前を選択してそれに対応するインターリーブでランダムアクセス packets を上りリンクで送信する方法を提案する. 以降, 提案法を ILL-RBF (interleaver-linked receiver BF) 法と称する.

ILL-RBF 法は, 下りリンクと上りリンクが同一のチャンネル状態となる TDD システムを前提とする. 各ユーザ端末は下りリンクでのチャンネル推定結果から (下りリンクでは基地局の送信電力が大きいため精度の高いチャンネル推定が可能である), あらかじめ用意された中で最適な基地局での受信 BF ベクトルを選択し, 選択した受信 BF ベクトルと紐づいているインターリーブで上りリンク packets を送信する. このため基地局では, 各受信アンテナでのチャンネル推定を行うこと無しに, 各インターリーブを用いた packets に対して当該インターリーブに紐づけされた受信 BF ベクトルで受信 BF を行うことができる.

ILL-RBF 法は, あらかじめ用意された受信 BF ベクトルの中から 1 つを選択するため, チャンネルに完全に整合した最適な受信 BF を行うことはできないが, 受信アンテナ毎のチャンネル推定誤差に起因する受信 BF 誤差を軽減できるため, 特に基地局の受信アンテナ数が増大となる Massive MIMO 環境において PACE-RBF 法に比較して伝送特性を改善できると期待できる. 図 1 に従来の PACE-RBF 法と提案する ILL-RBF 法の送受信フローを示す.  $\pi_m$  と  $\mathbf{b}_m$  はそれぞれシステムが用意する  $m$  番目 ( $m = 1, \dots, M$ ) のインターリーブと受信 BF ベクトルである.

### 4. シミュレーション評価

伝送帯域幅が約 4.5 MHz でサブキャリア数が 307 の DFT-spread OFDM 規範のシングルキャリア伝送を仮定した. 0.5 ms 長の packets は 7 DFT ブロックで構成され, そのうち 3 ブロックは Zadoff-Chu 系列で生成したチャンネル推定用のプリアンブル送信に用いた. チャンネル符号化として, それぞれ符号化率が 1/3 と 1/7 のターボ符号と繰り返し符号を組み合わせた. データ変調は QPSK を用いた. 10 ユーザが同時に packets 伝送を行うものとした.

基地局受信アンテナ数は  $N = 100$  とした. チャンネルモデルとして rms 遅延スプレッドが 1  $\mu$ s の 6 パスレイリーフェージングを仮定した. 受信アンテナは半波長間隔で直線状に配置され, 各ユーザ  $k$  の全 6 パスの受信信号は同一の到来角  $\theta(k)$  から理想的な平面波として受信されるものとした. そのため, 各受信アンテナで観測されるフェージングは, 隣接アンテナ間で固定の  $e^{j\pi \cos \theta(k)}$  だけ位相回転が加わったものなるものとした. 各ユーザ  $k$  の到来角  $\theta(k)$  は  $\pi/6 \sim 5\pi/6$  の範囲で一様分布させた.

本チャンネルモデルに従い, ILL-RBF 法が用意する長さ  $N = 100$  の受信 BF ベクトル  $\mathbf{b}_m$  ( $m = 1, \dots, M$ ) は, 到来角が  $2\pi(m-1)/3(M-1) + \pi/6$  のチャンネルに整合するよう次式で定めた.

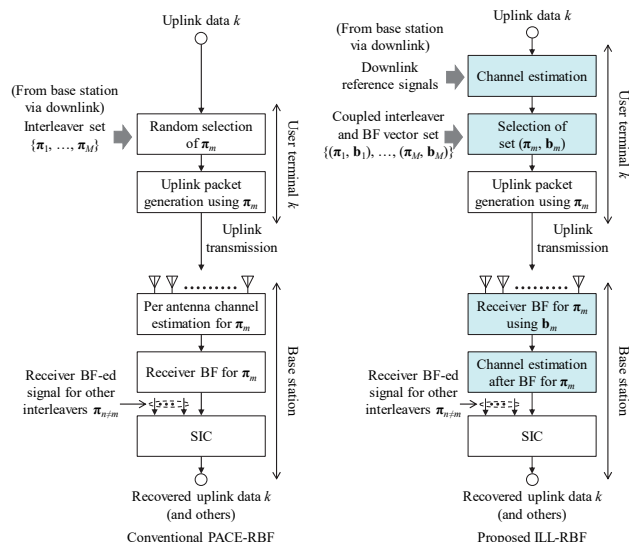


図 1. PACE-RBF 法と ILL-RBF 法の送受信フロー

$$\mathbf{b}_m = \left[ \frac{1}{\sqrt{N}}, \frac{1}{\sqrt{N}} e^{j\pi \cos \left[ \frac{2\pi(m-1)}{3(M-1)} + \frac{\pi}{6} \right]}, \dots, \frac{1}{\sqrt{N}} e^{j\pi(N-1) \cos \left[ \frac{2\pi(m-1)}{3(M-1)} + \frac{\pi}{6} \right]} \right]^T \quad (1)$$

基地局受信機には最大繰り返し数が 8 の SIC (successive interference canceller) を用いた. 文献 [3] 記載のプリアンブルを用いた時間領域チャンネル推定を適用した.

図 2 に SNR に対する平均パケット誤り率 (PER: packet error rate) を示す. インターリーブ数  $M$  をパラメータとした. PACE-RBF 法の平均 PER がほとんど  $M$  の値によらないのに対し, ILL-RBF 法の平均 PER は  $M$  の値に大きく依存している.  $M$  が小さいときに平均 PER が劣化するのには用意される受信 BF ベクトル候補数が十分でないためチャンネルに十分整合する受信 BF ベクトルを選択できないからである. しかし,  $M$  を増大するに従い ILL-RBF 法の特性は改善し, PACE-RBF 法よりも低い平均 PER を実現できた. これは PACE-RBF 法で生じる受信アンテナ毎チャンネル推定の誤差の影響を回避できたためである.

### 5. まとめ

提案した ILL-RBF 法が, 従来の PACE-RBF 法に比較して, 十分な数のインターリーブが用意できる条件では, Massive MIMO 環境で PER 特性を改善できることを示した.

### 参考文献

- [1] L. Ping, et al., IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 5, no. 4, pp. 938-947, Apr. 2006. [2] M. Kawata, et al., in Proc. IEEE VTC2018-Fall, Chicago, U.S.A., Sept. 2018. [3] T. Tomizawa, et al., in Proc. ISAPCS 2019, Taipei, Taiwan, 3-6 Dec. 2019.

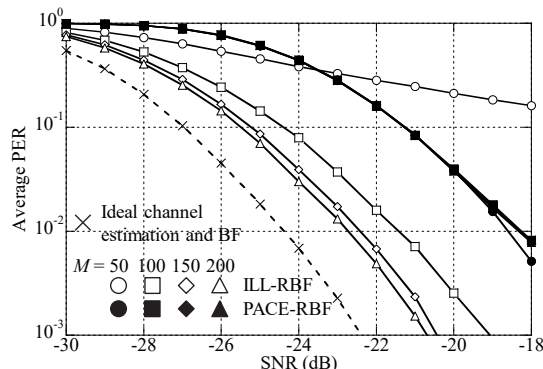


図 2. SNR に対する平均 PER