

インターリーバ紐づけ型受信ビームフォーミングと送信チャネル等化を組み合わせた IDMA に基づくランダムアクセスの一検討

B-5

Investigation on Interleaver-Linked Receiver Beamforming with Transmitter Channel Equalization in IDMA-Based Random Access

室城 勇人
Yuto Muroki

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

本稿では、IDMA (interleave division multiple access) に基づくランダムアクセス[1]において、インターリーバ紐づけ型受信ビームフォーミング法(以降 ILL-RBF (interleaver-linked receiver beamforming)法と称する) [2]に送信チャネル等化を組み合わせた送受信プロトコルを提案する。

2. ILL-RBF 法とその問題点

筆者らが先に提案した IDMA に基づくランダムアクセスにおける ILL-RBF 法では、上下リンクが同一のチャネル状態となる TDD システムを前提として、システムが用意する複数のランダムアクセス用インターリーバのそれぞれに固有の受信ビームフォーミング(BF: beamforming)ベクトルをあらかじめ紐づけ、ユーザ端末が下りリンクでのチャネル推定結果に基づき適切な基地局での受信 BF ベクトルを選択しそれに対応するインターリーバで上りリンクのランダムアクセスパケットを送信する。これにより、基地局受信においてアンテナ間の受信信号を合成する受信 BF を行うための各受信アンテナでのチャネル推定が不要となり、チャネル推定精度の劣化に伴う受信 BF 誤差を抑制できる。

一方、ILL-RBF 法ではシステムで用意するインターリーバ数 = 受信 BF ベクトル数 M が十分大きくない、用意された受信 BF ベクトルがユーザチャネルに十分整合できない確率が高くなり伝送特性が劣化する。 M を制限する要因の 1 つにインターリーバ毎に用意されるチャネル推定用のプリアンブル数の制約がある。本稿では、プリアンブルに自己相関特性に優れた Zadoff-Chu (ZC) 系列を使用する。長さ L の同一の ZC 系列を Δ ずつ巡回シフトすることにより互いに直交するプリアンブルを L/Δ だけ生成できる。ただし、 Δ はマルチパスの遅延時間広がりよりも大きくしないとユーザ間のパスを分離して識別できずチャネル推定精度が劣化する。マルチパス遅延スプレッドが大きいと Δ を大きくする必要から M を大きくすることが阻害されてしまう。

3. 提案する TCEILL-RBF 法

提案法では、ILL-RBF 法に送信チャネル等化を組み合わせることにより、送信チャネル等化を含む実効チャネルの周波数選択性を低減、言い換えると実効チャネルの遅延スプレッドを低減させる。これにより、 Δ を削減しチャネル推定の精度を保ったまま M を増大させ、受信 BF 精度を向上させることができる。以降、提案法を TCEILL-RBF (ILL-RBF with transmitter channel equalization)法と呼ぶ。

送信チャネル等化は周波数領域で行う。あるユーザ k の受信 BF 後の受信信号の周波数 n ($n = 1, \dots, M$) におけるチャネルを $H_{k,n}$ とする。ILL-RBF 法では TDD を仮定しユーザ k は下りリンクで無線チャネルを測定し受信 BF ベクトルも自身で選択するので、パケット送信前に $H_{k,n}$ を知っているため、送信チャネル等化を行うことができる。

送信チャネル等化には遅延スプレッドを低減するために最も基本的な ZF (zero forcing) 規範を用いた。しかし、純粋な ZF 規範の送信チャネル等化を用いると $|H_{k,n}|$ の小さな周波数での送信電力損が過大になるため、しきい値処理を組み合わせた修正 ZF 送信チャネル等化[3]を適用した。ユーザ k の周波数 n での送信等化重み $Q_{k,n}$ は次式で与えられる。

$$Q_{k,n} = \begin{cases} \alpha_k / H_{k,n}, & |H_{k,n}|^2 \geq A_{th,k} \\ \alpha_k H_{k,n}^* / \sqrt{A_{th,k}} |H_{k,n}|, & |H_{k,n}|^2 < A_{th,k} \end{cases} \quad (1)$$

$A_{th,k}$ はユーザ k 用のしきい値であり、非負の基準パラメータ $A_{th,base}$ を用いて $A_{th,k} = A_{th,base} \sum_{n=1}^M |H_{k,n}|^2 / N$ で求められる。 α_k はユーザ k の全周波数での $|Q_{k,n}|^2$ の合計値を N とするため

の電力正規化係数である。 $|H_{k,n}|^2 < A_{th,k}$ とする周波数に対しては位相補償のみでチャネル等化を行わない。 $A_{th,base}$ を大きくするほど送信チャネル等化による遅延スプレッド低減効果の劣化を犠牲に状態の良いチャネルへの電力割り当てを増大できる。 $A_{th,base} = 0$ のとき純粋な ZF 規範に相当する。

4. シミュレーション評価

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 長のパケットは 7 DFT ブロックで構成され、そのうち 3 ブロックは長さ $L = 307$ の ZC 系列で構成されるプリアンブル送信に使用した。チャネル符号化として、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る。データ変調は QPSK を用いた。提案する TCEILL-RBF 法に加え、従来の ILL-RBF 法及びアンテナ毎チャネル推定に基づく受信 BF (PACE-RBF: per antenna channel estimation-based RBF)法[4]を評価した。 Δ を 40 とし M が 75 となる場合を共通諸元とし、TCEILL-RBF 法ではさらにプリアンブル同士の直交性が同程度になる Δ が 15 で M が 200 となる場合も評価した。10 ユーザが同時にパケット伝送を行うものとした。rms 遅延スプレッドが 1 μ s の 6 パスレイリーフェージングを仮定した。基地局の受信アンテナ数は 100 とした。受信アンテナは半波長間隔で直線状に配置され、各ユーザの受信信号は到来角に応じた隣接アンテナ間で一定量の位相回転が与えられて受信するものとした。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[4]記載の時間領域のチャネル推定を適用した。TCEILL-RBF 法での $A_{th,base}$ は 0.8 とした。

図 2 に SNR に対する平均パケット誤り率(PER: packet error rate)を示す。 M が同一の 40 の場合、TCEILL-RBF 法は送信チャネル等化による電力損の影響により ILL-RBF 法よりも PER が増大している。一方、 Δ の削減効果を考慮して TCEILL-RBF 法の M を 200 に増大すると、受信 BF の精度向上に起因して従来の ILL-RBF 法よりも PER を減少できた。

5. まとめ

IDMA に基づくランダムアクセスにおける ILL-RBF 法に送信チャネル等化を組み合わせた提案 TCEILL-RBF 法が PER 特性を改善できることを示した。

参考文献

[1] M. Kawata, et al., in Proc. IEEE VTC2018-Fall, Chicago, U.S.A., Sept. 2018. [2] 村上ら, IEICE 東京支部学生会第 25 回研究発表会発表予定, Mar. 2020. [3] I. Cosovic, et al., in Proc. IEEE VTC2003-Fall, Orlando, U.S.A., Oct. 2003. [4] T. Tomizawa, et al., in Proc. ISAPCS 2019, Taipei, Taiwan, 3-6 Dec. 2019.

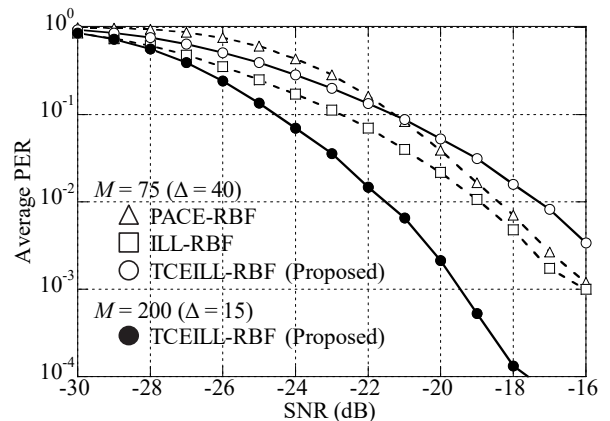


図 1. SNR に対する平均 PER