

線形 Precoding を用いる MU-MIMO-OFDM システムにおける 低演算量空間フィルタ

Low Complexity Spatial Filtering for MU-MIMO-OFDM Systems Using Linear Precoding

夜船 誠致 江頭 直人 周東 雅之
Masanori YOFUNE Naoto EGASHIRA Masayuki SUTOH

株式会社 モバイルテクノ
Mobile Techno Corporation

1. はじめに

下りリンクにおいて、線形 Precoding を用いる MU-MIMO-OFDM システムが検討されている [1], [2]。MU-MIMO-OFDM システムでは、UE (user equipment) からフィードバックされる CSI (channel state information) を用いて Stream 間干渉を抑圧する。しかし、フィードバック遅延や、推定誤差によって CSI と伝搬路に差が生じると、Stream 間干渉を抑圧できないため、UE で空間フィルタによる、Stream 間干渉の抑圧を行う必要がある [1], [2]。

しかし、空間フィルタによる Stream 間干渉抑圧は、計算量が大きいため、UE には負担となる。本稿では、演算量を削減しつつ、Stream 間干渉を抑圧する MMSE 規範空間フィルタを提案し、計算機シミュレーションにより、その有効性を評価する。

2. MMSE 規範空間フィルタの演算量削減

u 番目の UE ($1 \leq u \leq U$ であり、 U は UE 数) における MMSE 規範空間フィルタ重み \mathbf{w}_u は、式(1)で計算される [2]。

$$\mathbf{w}_u = \mathbf{h}_u^H (\mathbf{h}\mathbf{h}^H + \sigma^2 \mathbf{I})^{-1}, \quad (1)$$

$\mathbf{h} = [\mathbf{h}_1 \dots \mathbf{h}_U]$ であり、 \mathbf{h}_u は当該 UE で使用する Stream に挿入される、Precoding を施された参照信号から推定された N 行 L_u 列 (N は UE 毎の受信アンテナ数、 L_u は UE 毎の Stream 数) の CSI 行列である。また、 σ^2 は雑音電力、 \mathbf{I} は単位行列、 \mathbf{a}^H は行列 \mathbf{a} の複素共役転置を表す。

式(1)では、他 UE が使用する Stream の CSI も用いるため、Precoding で除去できなかった Stream 間干渉の抑圧が可能となるが、UE 数の増加に伴い計算量が多くなる。

そこで本稿では、式(2)、(3)に示す MMSE 規範空間フィルタを提案する。

$$\sigma_n'^2 = \sigma^2 + \sum_{l \in \Omega} |h_{n,l}|^2, \quad (2)$$

$$\mathbf{w}_u = \mathbf{h}_u^H (\mathbf{h}_u \mathbf{h}_u^H + \text{diag}[\sigma_1'^2 \dots \sigma_N'^2] \mathbf{I})^{-1}, \quad (3)$$

$h_{n,l}$ は \mathbf{h} の n 行 l 列の要素 ($1 \leq n \leq N$, $1 \leq l \leq L$, $L = UL_u$) であり、 Ω は他 UE で使用する Stream 番号の集合である。

提案法は、式(3)に示す通り \mathbf{h}_u のみを用いてフィルタ重みを算出するため、UE 数が増加しても行列のサイズは変わらず、式(2)に示す演算量の増加に抑えることができる。

表 1 演算量

従来方式	式(1)	乗算回数	$4N^2L + 4N^2L_u$
		加算回数	$2N^2L + 2N^2(L-1) + N + 2N^2L_u + 2N^2(L_u-1)$
提案方式	式(2)	乗算回数	$2(L-L_u)N$
		加算回数	$2(L-L_u)N$
	式(3)	乗算回数	$8N^2L_u$
加算回数		$4N^2L_u + 4N^2(L_u-1) + N$	

3. 性能評価

提案する空間フィルタの有効性を確認するため、計算機シミュレーションを行った。UE 数を 4、送信アンテナ数を 8、UE 毎の受信アンテナ数を 2、UE 毎の Stream 数を 2 とした。フレーム構成は文献 [3] に従い、システム帯域幅は 20MHz とした。伝搬路モデルは、パス間隔 2sample、パス減衰 1dB の 6 パス指数減衰モデル (遅延広がり 0.106us)、最大ドップラー周波数は 1Hz とした。

送信機で用いる Precoding は ZFBF (zero forcing beam forming) [2] とした。またフィードバックする CSI は、5ms 周期で送信される sounding 用参照信号を用いて推定され、1ms 遅延で誤りなくフィードバックされるものとした。

図 1 に、式(1)を用いる従来方式と、式(2)、(3)を用いる提案方式の BLER (block error rate) 特性を示す。各変調方式、符号化率において、提案方式の BLER 特性は、従来方式とほぼ同等の BLER 特性を達成している。

表 1 に、従来方式と提案方式の MMSE 規範空間フィルタ重み算出に必要な演算量を示す。ただし、逆行列演算の演算量は除外している。また、複素乗算演算は乗算 4 回、加算 2 回、複素加算演算は加算 2 回、複素数の電力計算は乗算 2 回、加算 1 回として、演算量を求めた。

シミュレーションを行った条件において、2 行 2 列の逆行列演算 (公式を利用) の演算量を乗算 26 回、加算 15 回とした場合、従来方式の演算量は、乗算 186 回、加算 161 回となり、提案方式の演算量は、乗算 114 回、加算 89 回となる。従って、提案方式は、従来方式と比較して、乗算回数を約 39%、加算回数を約 45% 削減している。

4. 結論

本稿では、線形 Precoding を用いる MU-MIMO-OFDM における低演算量の空間フィルタを提案した。計算機シミュレーションにより、従来方式とほぼ同等の BLER 特性を達成しながら、計算量を削減できることを示した。

参考文献

- [1] 鷹取泰司, 西森健太郎, “次世代高速無線アクセスシステムへの下りリンクマルチユーザ MIMO 技術の適用,” 信学論 B, vol. J93-B, No.9, pp.1127-1139, Sep. 2010.
 [2] M. Fujii, “Antenna-Permutation Channel-Vector Quantization for Finite Rate Feedback in Zero-Forcing Beamforming Multiuser MIMO-OFDM Systems,” *IEICE Trans. Commun.*, vol. E92-B, No.7, pp. 2442-2451, Jul. 2009.
 [3] 3GPP TS36.211 v.10.0.0. 2010.

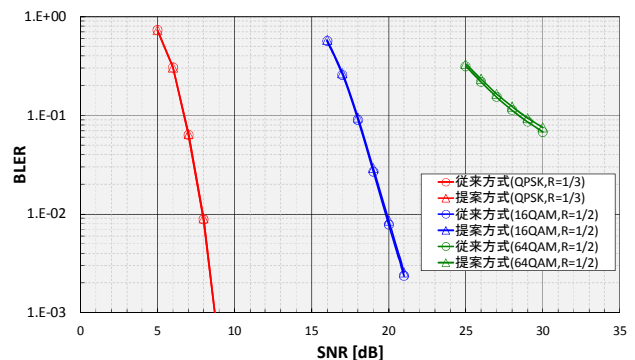


図 1 BLER 特性