

大規模 MU-MIMO 下り回線における空間多重伝送法に関する研究

大迫 智之 井手 輝二 佐藤 正知
鹿児島工業高等専門学校 電気電子工学科

1. はじめに

近年、様々なIoT機器の普及に伴って無数の無線端末による通信需要が高まっている。本稿では、アンテナ規模が大規模な基地局と小規模な端末間のマルチユーザ (MU-)MIMO下り回線について、同時接続数が少数の環境におけるマルチストリーム伝送の検討を行う。

2. システムモデル

本稿では各受信機(端末)のアンテナ素子数を等しく N_r とし、端末数を N_u 、送信機(基地局)のアンテナ素子数を N_t ($\geq N_u N_r$) とする。送信機と第 m 端末間の通信路行列は $\mathbf{H}_m \in \mathbb{C}^{N_r \times N_t}$ と表され、全体の通信路行列は $\mathbf{H} = [\mathbf{H}_1^T \cdots \mathbf{H}_m^T \cdots \mathbf{H}_{N_u}^T]^T \in \mathbb{C}^{N_u N_r \times N_t}$ と表される。 $[\cdot]^T$ はベクトルや行列の転置を表す。

端末間干渉が生じないマルチストリーム伝送を実現する方法として、本研究では3つの手法を比較する。1つ目は通信路行列 \mathbf{H} の疑似逆行列を送信重みとして用いる単一アンテナ受信(1A)法、2つ目は対象の端末 m 以外の通信路行列 $\tilde{\mathbf{H}}_m = [\mathbf{H}_1^T \cdots \mathbf{H}_{m-1}^T \mathbf{H}_{m+1}^T \cdots \mathbf{H}_{N_u}^T]^T$ の雑音部分空間で固有モード(E-SDM)伝送を行うことで他端末の全アンテナに対してヌルを向けるブロック対角化(BD)法[1]、3つ目は通信路行列 \mathbf{H}_m を特異値分解して得られる特異値に対応する送信重みを端末間でグラム・シュミットの直交化法で直交化する不完全ブロック対角化(IBD)法[2]である。また、マルチストリーム伝送の際に各ストリームの電力配分は注水定理[3]によって通信路容量が最大になるように配分する。

3. 計算機シミュレーションによる評価

本稿では $(N_r, N_u) = (2, 2)$ と固定し、 N_t を変えたときの MU-MIMO の通信路容量の確率密度関数(PDF)と、最大の通信路容量を示した手法の比率を示す。総送信電力に対する1受信アンテナ当たりの雑音電力比(送信端 SNR)を 10dB とした。また、通信路行列の各要素は無相関のレイリーフェージングとした。

3.1 総通信路容量の比較 図1に各端末がマルチストリーム伝送時(ms, 計4ストリーム)の全ストリームの通信路容量の総和 C_{total} のPDFを示す。図より $N_t = 4$ の時は送信ストリーム数と N_t が等しく、自由度が不足するために劣化したストリームが生成されることで手法によって分布に大きなばらつきが生じており、IBD法が優れた特性を示している。しかし、 $N_t = 16, 64$ の時では、送信アンテナ数が十分に大きいために各手法で大きな差が生じないことに加えて、電力配分の最適化の有無による差もなかった。また、 N_t が4倍になるごとに通信路容量が約8 bit/Hz増える。これは、 N_t が2倍でストリームのSNRが約2倍になり通信路容量が1 bit/Hz増加するため、4ストリームでそれぞれ2 bit/Hz増加することで計8 bit/Hz増加する。さらに、 N_t が増えるにつれて分布のばらつきも小さくなるのが分かる。

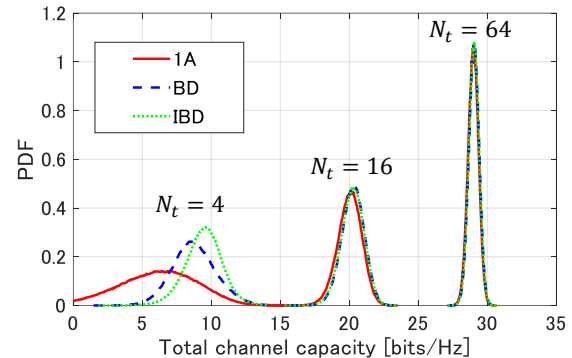


図1. 総通信路容量の確率密度関数

表1. 最大の通信路容量を示す手法の選択割合

N_t	4	8	16	32	64
1A, ss	5.5 %	0 %	0 %	0 %	0 %
1A, ms	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
BD, ss	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
BD, ms	15.9 %	99.6 %	100 %	100 %	100 %
IBD, ss	24.1 %	0 %	0 %	0 %	0 %
IBD, ms	54.5 %	0.4 %	0 %	0 %	0 %

3.2 C_{total} が最大になる手法の割合 表1に3つの送信重み計算法に加えて、それぞれの手法で各端末に対してシングルストリーム伝送(ss, 計2ストリーム)の3パターンも選択候補にしたとき、最大の C_{total} が得られる手法の選択比率を示す。したがって、表の各列の総和が100%になる。表より、 $N_t = 4$ では様々な伝送手法が選択されるのに対して、 $N_t \geq 8$ では、ほぼBD法のマルチストリーム伝送が選択されている。BD法とIBD法のマルチストリーム伝送では端末間干渉の直交化に同じ自由度を消費するが、通信路容量はわずかにBD法の方が上回っている結果になった。これはIBD法では直交化する際に雑音部分空間に電力を配分してしまうためであると考えられる。

紙面の都合上省略したが、発表時においては電力の最適配分によって電力が割り当てられないストリームが生じてマルチストリーム数が減少してしまう例外の発生割合などについても紹介する。

5. まとめ

MU-MIMO下り回線において、送信アンテナ数が大規模な場合、BD法を用いたマルチストリーム伝送が優れた通信路容量を実現することを明らかにした。

謝辞 本研究の一部は、JSPS 科研費(20K04994)の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 府川, 信学会「知識ベース」, 4-1-7, pp.9-15, 2010.
- [2] 木村, 佐藤, 信学論 vol.J98-B, no.12, pp.1298-1301, 2015.
- [3] 大鐘, 小川, “わかりやすい MIMO システム技術,” オーム社, 2009.