

マルチユーザ MIMO に関するスループット特性のフィールド実験結果

Throughput performance evaluation for field experiments in MU-MIMO Systems

○秋山拓也[†] 長橋崇晴[†] 山口貴裕^{††} 山口一弘^{††} 松江英明^{††} 蓮井昭夫^{†††} 滑 孝和^{†††}
 福井 博^{††††} 七松 敏^{††††}

[†]諏訪東京理科大学大学院 工学・マネジメント研究科, ^{††}諏訪東京理科大学 システム工学部 電子システム工学科
[†], ^{††}〒391-0292 長野県茅野市豊平 5000-1

^{†††}長野県安曇野市, ^{††††}株式会社ミライト・テクノロジーズ, ^{†††††}NPO 法人中央コリドー情報通信研究所

E-mail: [†]tjgh14601@ed.tus.ac.jp, ^{††}tjg111065@ed.tus.ac.jp, ^{†††}yamaguchi@rs.tus.ac.jp, ^{††††}matsue@rs.suwa.tus.ac.jp

1. はじめに

モバイル WiMAX の下り回線におけるマルチユーザ MIMO (MU-MIMO) システムのスループット特性を実験により評価した。また BD 法に基づく計算機シミュレーションによる特性を比較検討した。

2. MU-MIMO システムのシミュレーション結果

IEEE802. 16e 準拠のモバイル WiMAX を用いた下り回線における MU-MIMO システムを想定し、ブロック対角化(BD)法を用いてモデルを作成しシミュレーションを行った。図 1 にその概要を、シミュレーション諸元を表 1 に示す。

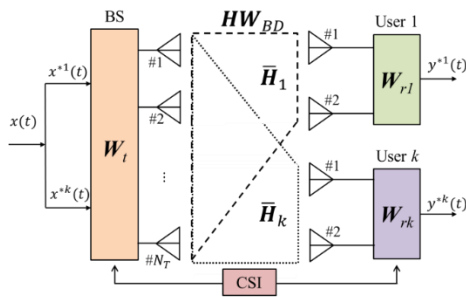


図 1. BD 法による MU-MIMO システムの概要

送信側基地局のアンテナ数を 6、ユーザー端末のアンテナ数を 2、パラメータとしてユーザー数を 1~3 台、1 次変調方式を QPSK, 16QAM, 64QAM とし、空間相関値がない理想的な場合のレーレーフェージング環境下における平均 BER 特性を評価し、その結果を図 2 に示す。

端末数が 1 の場合、例えば平均 BER=10⁻⁶ 点において、QPSK では所要 C/N 値は 13. 2dB であるが、端末

表 1. シミュレーション諸元

使用周波数帯	2.5 GHz
帯域	10 MHz
一次変調	QPSK / 16QAM / 64QAM
誤り訂正	畳み込み符号 R = 1/2
FFT 点数	1024
OFDMシンボル長 [μ s]	89.6
GI長 [μ s]	22.4
フレーム構成	OFDMA-TDD
フレーム周期 [ms]	5
上下比率	29対18 (下り対上り)
データサブキャリア数(下り)	720本
基地局アンテナ数 (Tx)	6本
端末アンテナ数 (Rx)	2本
無線端末数	1~3台
伝搬路モデル	12波レーフェージング(最大遅延 17μ s)
ドップラー周波数	5Hz

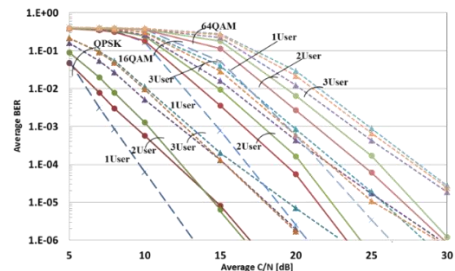


図 2. 6x1x1~3 MU-MIMO における平均 BER 特性
 数 2 台とした MU-MIMO の場合、所要 C/N 値は 2 台の端末間で、平均値は 16.8dB となる。この差分 3.6dB は MU-MIMO における 2 端末間の分離が完全でないことによる干渉であり、15.7dB 相当の信号対干渉電力比 C/I 値となることを示している。MU-MIMO における平均 C/N 対伝送容量特性のシミュレーション結果を図 3 に示す。

ここで、WiMAX システムの諸元より端末 1 台のとき物理層における下り回線最大伝送速度を求める。下り回線におけるデータ伝送帯域は、帯域幅 10MHz の内データサブキャリアが 720 本であるため、データ伝送帯域 = 720/1024 × 10MHz = 7.0MHz となる。また、下り回線の 29 シンボル中、データ用シンボル数は 24 である。

従って、1次変調 64QAM, 誤り訂正 $R = \frac{5}{6}$ とすると、
 下り最大伝送速度 = $6 [\text{bit}] \times \frac{5}{6} \times 24$
 $\times 720/5 [\text{ms}]$
 $= 17.28 [\text{Mbit/s}]$

となる。

この環境でユーザー数を 2, 3 と増やした場合、単位周波数当たりの伝送容量はそれぞれ 8.0bit/s/Hz, 12.1 bit/s/Hz となり、伝送速度に換算すると 28.8Mbit/s, 44.7Mbit/sを得る。

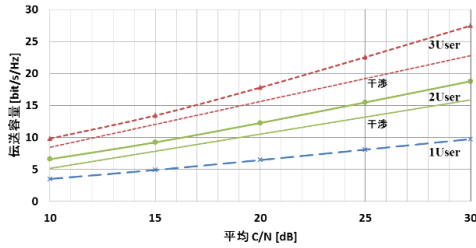


図 3. 平均 C/N 値対伝送容量特性

3. フィールド実験結果

長野県安曇野市において展開している WiMAX システムを用いた実験ネットワークを活用して下り回線について MU-MIMO システムの特性評価を行った。[1] 今回の実験では、WiMAX の Matrix-B モードにて運用し、送信ストリーム数は最大 2 まで実現できる。強受信電力エリア (エリア 1), 中受信電力エリア (エリア 2) の 2 つのエリアにおいて、受信電力およびスループット値を測定した。無線端末は人が保持してゆっくり歩行しながらデータ取得した。また、スループット測定には、無線基地局に直接サーバを接続し、UDP 層上において下り回線の実効スループット値を測定した。図 4 に実験系の概要を示す。

図 5 に 2 つのエリアの累積受信電力分布を示す。エリア 1 では -55dBm 以下の範囲では $10\text{dB}/1$ 桁にまた、エリア 2, エリア 1 + エリア 2 (全エリア) では -65dBm 以下で $10\text{dB}/1$ 桁のカーブになっており、レーレーフェージングに近い特性となっている。また、エリア 1 とエリア 2 をまとめた全エリアの場合のスループット特性を図 6 に示す。無線端末 1 台の場合、最大値 13Mbps, 最小値 5Mbps, 最も頻度の高い値は 9 Mbps, データサンプル数は 4052 であった。一方、端末数 2 の MU-MIMO 時において、それぞれの端末のスループットの分布特性はほぼ同じの最



図 4. MU-MIMO システムの実験系の概要

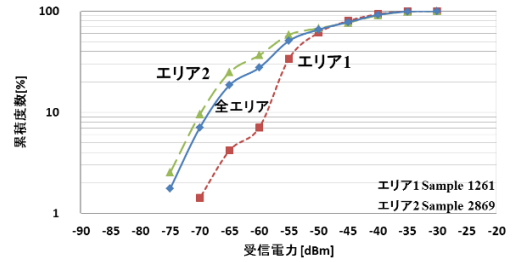


図 5. 下り回線における累積受信電力分布

大値 11~12Mbps, 最小値 4Mbps である。同時刻における 2 台の端末合計値は最大値 23Mbps, 最小値 7Mbps, 最も頻度の高い値は 16Mbps, 全データサンプル数 10206 であった。以上の結果より MU-MIMO システムのスループット特性としてほぼ 2 倍の特性が得られ、シミュレーション結果とも一致することを確認した。

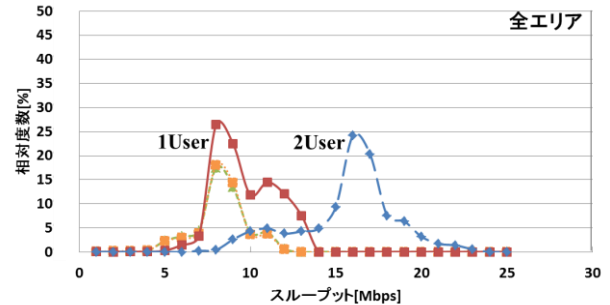


図 6. 全エリアにおけるスループット値分布

4. まとめ

MU-MIMO について、フィールド実験と計算機シミュレーションによってスループット値を評価した結果、1 ユーザー時最大 13Mbps, 2 ユーザー MU-MIMO 時最大 23 Mbps とほぼ 2 倍の結果が得られることを明らかにした。

文 献

[1]長橋崇晴, 宮坂浩平, 秋山拓也, 山ロー弘, 松江英明, 他 “マルチユーザ MIMO システムのスループット特性に関するフィールド実験評価,” 信学技報, RCS2013-174, pp.1-6, 2013 年 11 月