

分散アンテナネットワークにおけるマルチユーザ MIMO の適用効果

Channel Capacity Improvement of Multi-user MIMO on Distributed Antenna Network

熊谷 慎也 松川 隆介 小原 辰徳 山本 哲矢 安達 文幸

Shinya Kumagai Ryusuke Matsukawa Tatsunori Obara Tetsuya Yamamoto Fumiyuki Adachi
東北大学 大学院工学研究科 電気・通信工学専攻

Dept. of Electrical and Communication Engineering, Graduate School of Engineering, Tohoku University

1. まえがき

多数のアンテナを分散配置する分散アンテナネットワーク(DAN)[1]は、フェージングだけでなく伝搬損失とシャドウイング損失による通信品質劣化を救済できる。筆者らはこれまで、シングルユーザ(SU-MIMO)[2]を用いる下りリンク DAN のチャンネル容量分布について検討を行ってきた[3]。本論文では、周波数選択性チャンネルにおいて、マルチユーザ(MU-MIMO)を用いる下りリンク DAN のチャンネル容量分布について検討を行う。

2. 下りリンク DAN 伝送モデル

図 1 に示すように、半径 R の円形セル内に 7 本の送信アンテナを等間隔で分散配置する($N_t=7$)。セル内には単一受信アンテナ($N_r=1$)を有する端末が U 台存在するものとする。また、比較として、セル中央に 7 本のアンテナを集中させた従来のセルラネットワーク(CN)を考える。

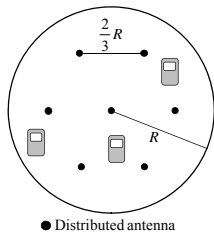


図 1 DAN セルモデル

3. MU-MIMO のチャンネル容量

本論文では、サイクリックプレフィックス(CP)を用いるブロック伝送を仮定する。各送信アンテナからは N_c 個のサンプルからなる信号ブロックに、チャンネルの最大遅延時間より十分に長い CP を挿入して送信する。CP 除去後の U 台の端末の周波数領域受信信号の第 k 周波数成分 $\mathbf{Y}(k)$, $k=0 \sim N_c-1$, は、まとめて $U \times 1$ ベクトルで表現でき、次式で表される。

$$\mathbf{Y}(k) = \sqrt{2E_s/T_s} \mathbf{H}(k) \mathbf{X}(k) + \mathbf{Z}(k) \quad (1)$$

ここで、 E_s は送信シンボルエネルギー、 T_s はサンプル長である。 $\mathbf{H}(k)$ は N_t 本の送信アンテナと U 台の端末間の $U \times N_t$ チャンネル行列、 $\mathbf{X}(k)$ は N_t 本の送信アンテナからの $N_t \times 1$ 送信信号ベクトル、 $\mathbf{Z}(k)$ は U 台の端末で受信される $U \times 1$ 雑音ベクトルである。

送信機では Zero-forcing 規範に基づくプリコーディング(ZFBF)[4]を行うことでユーザ間干渉を抑圧する。このとき、セル内の合計チャンネル容量(bps/Hz)は次式で表される。

$$\begin{cases} C_{\text{sum}} = \frac{1}{N_c} \max \sum_{u=0}^{U-1} \sum_{k=0}^{N_c-1} \log_2(1 + (E_s/N_0) \bar{H}_u(k) P_u(k)) \\ \text{s.t.} \sum_{u=0}^{U-1} \sum_{k=0}^{N_c-1} P_u(k) = N_c \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 N_0 は加法的白色ガウス雑音(AWGN)の片側電力スペクトル密度である。 $\bar{H}_u(k)$ は $(\mathbf{H}(k) \mathbf{H}^H(k))^{-1}$ の (u,u) 要素の逆数であり、ZFBF によって直交化されたアンテナ-端末間の等価チャンネル利得である。 $P_u(k)$ は第 u 端末の第 k 周波数への電力配分係数である。総送信電力一定の制約条件下でセル内の合計チャンネル容量を最大化する最適送信電力配分係数は次式で表される。

$$P_u(k) = \max \left\{ \frac{1}{\mu} - \frac{1}{(E_s/N_0) \bar{H}_u(k)}, 0 \right\} \quad (3)$$

ただし、 μ は上式および制約条件を満たすように決まる定数である。

4. 数値計算シミュレーション

$N_c=256$ とし、 $L=16$ パスの一様電力遅延プロファイルを有する周波数選択性ブロックレイリーフェージングチャンネルを仮定する。伝搬損失指数 $\alpha=3.5$ とし、シャドウイング損失は標準偏差 $\sigma=7.0$ (dB)の対数正規分布に従うものとした。 $U=7$ 台の端末をセル内に一様分布で発生させ、その合計チャンネル容量の分布を測定した。図 2 に合計チャンネル容量の累積分布関数(CDF)が 0.01 となる DAN のチャンネル容量(1%アウトエージ容量)を示す。距離 R だけ離れた地点での平均受信 E_s/N_0 が γ となるように送信電力を設定する。比較として、ZFBFを用いる SU-MIMO 空間多重の 1%アウトエージ容量を併せて示す。このとき、端末は $N_r=7$ 本の受信アンテナを有するものとする。図 2 より、MU-MIMO の 1%アウトエージ容量が SU-MIMO よりも高いことがわかる。これは、各分散アンテナの近傍には高確率で端末が存在するため、MU-MIMO のマルチユーザダイバーシチ効果を十分に得られるからである。一方、SU-MIMO では端末から遠方に存在する分散アンテナによる空間多重への寄与が小さくなってしまふ。

図 2 には CN の 1%アウトエージ容量を比較のためプロットした。MU-MIMO を用いるとき、CN よりも DAN が高い 1%アウトエージ容量を達成できることがわかる。CN ではアンテナがセル中央に集中しているために伝搬損失の影響が大きく、マルチユーザダイバーシチ効果が得られても空間多重の効果が得られにくいからである。

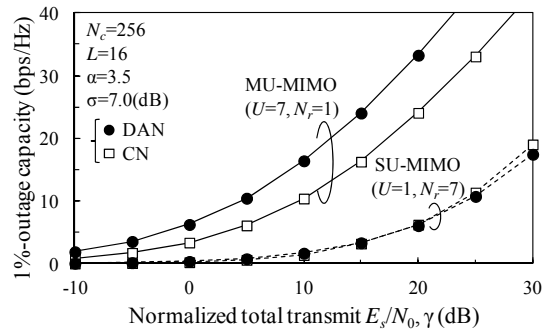


図 2 1%アウトエージ容量

5. まとめ

本論文では、MU-MIMO を用いる下りリンク DAN のチャンネル容量分布を明らかにした。DAN が CN よりも高いチャンネル容量を達成できることを示し、MU-MIMO との高い親和性を示した。

参考文献

- [1] H. Hu, Y. Zhang, and Y. Yao, *Distributed antenna systems; open architecture for future wireless communications*, Auerbach Pub., 2007.
- [2] E. Biglieri, R. Calderbank, A. Constantinides, A. Goldsmith, A. Paulraj, and H. V. Poor, *MIMO Wireless Communications*, Cambridge University Press, 2007.
- [3] 熊谷, 松川, 小原, 山本, 安達, 信学技報, RCS2011-144, pp. 25-30, 2011年10月
- [4] T. Yoo, and A. Goldsmith, *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, Vol. 24, No. 3, pp. 528-541, Mar. 2005.