

MIMO-ANC およびマルチリレーANC を用いる SC 双方向中継通信のスループット特性比較に関する一検討

Throughput Performance Comparison of SC Bi-Directional Relay Communications Using MIMO-ANC and MR-ANC

宮崎 寛之 小原 辰徳 安達 文幸
 Hiroyuki MIYAZAKI Tatsunori OBARA Fumiuyuki ADACHI

東北大学大学院 工学研究科 電気・通信工学専攻

Department of Electrical and Communication Engineering, Graduate School of Engineering, Tohoku University

1. まえがき

アナログネットワーク符号化 (ANC) [1]を用いる双方向中継通信は、直接通信と等しい最大スループットを実現しつつ伝搬損失およびシャドウィング損失の影響を低減できる。以前、筆者らはマルチ送受信アンテナ (MIMO) ANC またはマルチリレー (MR) ANC を用いるシングルキャリア (SC) 双方向中継通信のための送受信協調周波数領域等化 (FDE) を提案した[2,3]。本論文では、MIMO-ANC および MR-ANC を用いる SC 双方向中継通信におけるセルスループット特性を計算機シミュレーションにより求め、リレーに用いるアンテナ本数の影響について考察している。

2. ANC 双方向中継通信

本論文で仮定しているシステムモデルを図 1 に示す。半径が 1 に正規化された円形セル内に $K=6$ 個のリレー局 (RS) が基地局 (BS) から等しい距離に等間隔に配置されているとする。各 RS は、MIMO-ANC 伝送の場合は J 本、MR-ANC 伝送の場合は 1 本のアンテナを搭載しているものとする。また端末 (MT) および BS は、それぞれ一本のアンテナを搭載している。MT-RS 間の短区間平均受信信号電力対雑音電力比 (SNR) が大きい順に、MIMO-ANC 伝送では 1 個、MR-ANC 伝送では J 個のリレーを選択して ANC 伝送を行う。

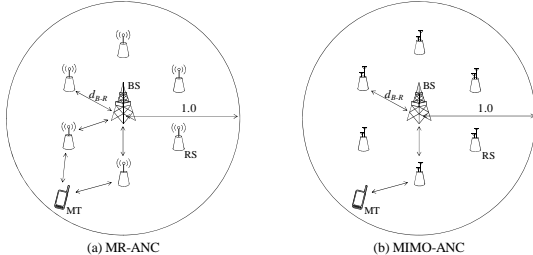


図 1 システムモデル

本論文では、送受信協調周波数領域等化 (FDE) [2,3]を用いる SC 双方向中継通信を仮定する。図 2 に各タイムスロットにおける MIMO-ANC 伝送および MR-ANC 伝送の動作を示す。まず第 1 タイムスロットにおいて、MT と BS が RS に同時に送信する。RS では、受信信号に送信 FDE を適用し、第 2 タイムスロットにて MT および BS に同時送信する。MT および BS では、受信信号から自身の信号成分を除去した後、受信 FDE を適用する。MT, RS および BS はすべてのリンクのチャネル情報を有しているものとし、RS の送信 FDE 重み、BS および MT の受信 FDE 重みは、それぞれ MT (または BS) の送信信号と BS (または MT) における FDE 後の受信信号との平均二乗誤差 (MSE) が最小となるよう決定される。

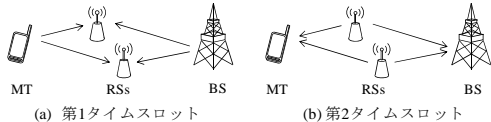


図 2 MR-ANC の動作

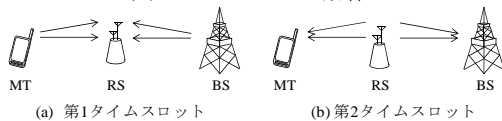


図 3 MIMO-ANC の動作

3. 計算機シミュレーション

変調方式は QPSK または 16QAM, ブロックサイズ N_c およびサイクリックプレフィックス (CP) 長 N_g はそれぞれ $N_c=128$ シンボルおよび $N_g=16$ シンボルであり、1 パケットは

10 ブロックで構成されるものとする。等電力遅延プロファイルを有する $L=16$ バスの周波数選択性ブロックレイリーフェージングを仮定し、伝搬損失指数 α およびシャドウィング損失の標準偏差 σ はそれぞれ $\alpha=3.5$ および $\sigma=7.0$ (dB) とする。また正規化 BS-RS 間距離 r_{B-R} は $r_{B-R}=0.5$ である。なお、各 RS は RS-BS 間の短区間平均受信 SNR が長区間平均受信 SNR に等しくなる (RS-BS 間のシャドウィング損失がない) 位置に配置されているものとする。また公平な比較のため、双方向通信に要する総送信電力は等しいものとし、総送信電力の 1/2 を RS に、1/4 を MT および BS に配分する。本論文では次式を用いてスループット S (bps/Hz) を計算する。

$$S = 0.5 \cdot \log_2 M (1 - PER) / (1 + N_g / N_c) \quad (1)$$

ここで M は変調多値数、 PER はパケット誤り率を表している。スループットの累積分布関数の 10% 値を 10% アウテージスループットと定義する。

図 4 に MIMO-ANC および MR-ANC を用いたときの正規化総送信電力対雑音電力比 γ 対 10% アウテージスループット特性を示す。図 4 より、MR-ANC 伝送が MIMO-ANC 伝送より優れたスループット特性を実現していることがわかる。これは空間的に離れた RS を複数用いることにより高い空間ダイバーシチ効果が得られるためである。しかしながら MR-ANC 伝送では、選択 RS 数を増やすにつれ MT から離れた RS を選択するようになるため、スループット改善効果が小さくなる。一方 MIMO-ANC 伝送では、MT-RS 間の短区間受信 SNR を最大とする RS を選択するため、アンテナ本数に比例した空間ダイバーシチ利得が得られる。例えば $J=4$ の MIMO-ANC 伝送では、 $S=1.6$ bps/Hz を達成するための送信電力を MR-ANC 伝送より 1dB 低減できる。このことは、 $J=4$ 本以上のアンテナを利用できるときには、MIMO-ANC 伝送が MR-ANC 伝送より高い空間ダイバーシチ効果を得ることができることを示している。

なお本論文では初期検討として、簡易なリレー配置のモデルを用いて評価を行った。リレー局配置およびリレー局密度の影響については今後の検討課題である。

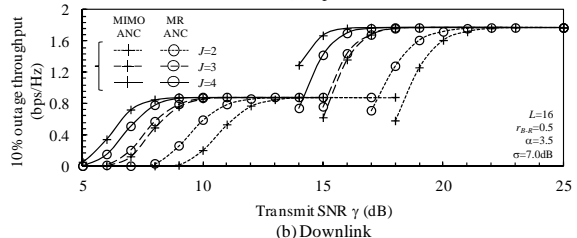
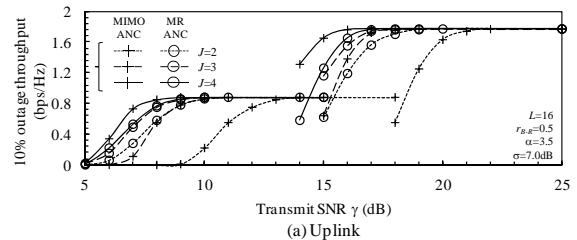


図 4 10% アウテージスループット特性

4. まとめ

MIMO-ANC および MR-ANC を用いる SC 双方向中継通信におけるスループット特性を比較した。その結果リレーに用いるアンテナ本数が多いときには、MIMO-ANC 伝送が MR-ANC 伝送より優れたスループット特性を実現できることを示した。

- [1] S. Katti, et al., in Proc. ACM SIGCOMM, pp. 397-408, Aug. 2007.
- [2] 宮崎ら, 信学技報, RCS2011-332, pp. 95-100, 2012年3月.
- [3] 宮崎ら, 信学技報, RCS2012-73, pp. 175-180, 2012年6月.