

MIMO アナログネットワーク符号化を用いたシングルキャリア 双方向中継通信におけるチャンネル推定誤差に関する一検討

Study on the impact of the channel estimation error in single-carrier bi-directional relay communications using MIMO analog network coding

宮崎 寛之 中田 雅之 小原 辰徳 安達 文幸
Hiroyuki MIYAZAKI Masayuki NAKADA Tatsunori OBARA Fumiyuki 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

送信電力を抑えつつ、直接通信と等しい最大スループットを実現できる中継通信に、アナログネットワーク符号化(ANC)を用いる中継通信がある[1]。さらに送信電力低減を実現する手段として、複数のアンテナを有する中継局を介して ANC 伝送を行うマルチ送受信(MIMO) ANC 伝送が検討されている[2]。本論文では、MIMO-ANC を用いたシングルキャリア(SC)双方向中継通信において、チャンネル推定誤差があるときの平均 BER 特性を明らかにし、チャンネル推定誤差が検出精度に与える影響について考察する。

2. MIMO-ANC 双方向中継通信

本論文では、送受信協調周波数領域等化(FDE)[3]を用いる SC-MIMO-ANC 双方向中継通信を仮定する。MIMO-ANC 伝送は、双方向中継通信に 2 タイムスロット必要とする。図 1 に MIMO-ANC 伝送の動作を示す。端末(MT)および基地局(BS)は 1 本、中継局(RS)は J 本のアンテナを有している。まず第 1 タイムスロットにおいて、MT と BS が同時に RS に送信する。RS は各アンテナの受信信号に対して FDE を適用した後、電力増幅を行う。そして第 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 受信機は、受信信号から自身の信号成分を除去した後、FDE を適用して希望信号を検出する。チャンネル情報は、自身の信号成分除去および送受信協調 FDE の際に用いられる。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。

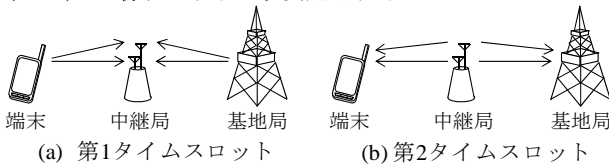


図 1 MIMO-ANC 双方向中継通信の動作

3. チャンネル推定誤差モデル

チャンネルの時間変動が観測範囲で無視できるほど小さい場合、チャンネル推定誤差は複素ガウス近似できることが知られている[4]。そこで本稿では、MT-RS 第 j アンテナ間および RS 第 j アンテナ-BS 間のチャンネルの第 k 周波数点におけるチャンネル推定値 $\tilde{H}_{M-R}^{(i)}(j,k)$ および $\tilde{H}_{R-B}^{(i)}(j,k)$ ($i \in \text{MT, BS, RS}$) を次式のように表現する。

$$\begin{cases} \tilde{H}_{M-R}^{(i)}(j,k) = H_{M-R}(j,k) + v_{M-R}^{(i)}(j,k) \\ \tilde{H}_{R-B}^{(i)}(j,k) = H_{R-B}(j,k) + v_{R-B}^{(i)}(j,k) \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 $H_{M-R}(j,k)$ および $H_{R-B}(j,k)$ は、それぞれ MT-RS 第 j アンテナ間および RS 第 j アンテナ-BS 間の第 k 周波数点の真のチャンネル利得である。 $v_{M-R}^{(i)}(j,k)$ および $v_{R-B}^{(i)}(j,k)$ は、真のチャンネル利得の二乗平均値で正規化されたチャンネル推定誤差であり、それぞれ平均 0、正規化分散 $2(\sigma_{M-R}^{(i)}(j))$ および $2(\sigma_{R-B}^{(i)}(j))$ をもつ複素ガウス変数である。

4. 計算機シミュレーション

QPSK データ変調方式を仮定し、チャンネル推定誤差の正規化分散は MT, BS および RS で等しいものと仮定する。伝搬路は、等電力遅延プロファイルを有する 16 パ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する。双方向通信に要する総送信電力が一定という条件のもと評価を行う。総送信電力の 1/2 を RS に、1/4 を MT および BS に配分する。なお本論文では、伝搬損失およびシャドウイング損失の影響は考慮していない。この場合、平均受信信号対雑音電力比(SNR)が MT および BS で等しくなるため、上下リンクで等しい平均 BER 特性が得られる。

図 2 は、総送信電力対雑音電力比 $\gamma = 20, 25(\text{dB})$ において、MT および BS における平均 BER をチャンネル推定誤差の正規化分散の関数としてプロットしたグラフである。比較対象として、文献[2]で筆者らが提案した、RS にて送信ダイバーシチを、BS および MT で FDE を行う方法(従来法と呼ぶ)を用いた場合の特性も図 2 に示す。図 2 より、 $\gamma = 25\text{dB}$ および $J=2$ の場合において、 $\text{BER} = 10^{-5}$ を確保するために許容されるチャンネル推定誤差の正規化分散 $2\sigma^2$ は、従来法では $2\sigma^2 = 7 \times 10^{-4}$ であるが、送受信協調 FDE では $2\sigma^2 = 2 \times 10^{-4}$ である。このことから、送受信協調 FDE は従来法に対して大きなチャンネル推定誤差を許容できることが分かる。これは、RS, MT および BS が協調して FDE を行うことで、残留符号間干渉を従来法より抑圧できるためである。また送受信協調 FDE および従来法ともに、RS のアンテナ本数を増やすことでダイバーシチ効果が得られ、より大きなチャンネル推定誤差を許容できる。

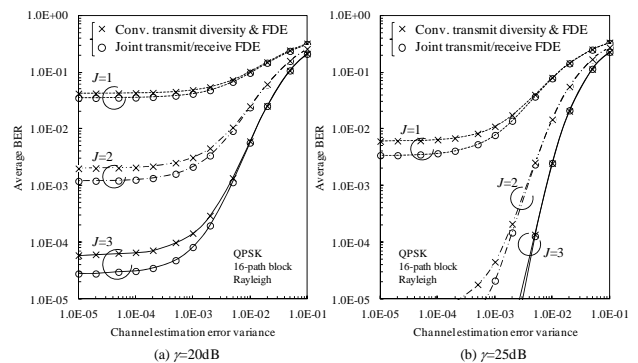


図 2 チャンネル推定誤差の正規化分散に対する平均 BER

5. まとめ

本論文では、MIMO-ANC を用いた SC 双方向中継通信におけるチャンネル推定誤差の影響を明らかにした。シミュレーション結果より、送受信協調 FDE は従来法より大きなチャンネル推定誤差を許容できることを明らかにした。

[1] S. Katti, et al., in Proc. ACM SIGCOMM, pp. 397-408, Aug. 2007.

[2] 宮崎ら, 信学技報, RCS2011-221, pp. 191-196, 2011 年 11 月.

[3] K. Takeda, et al., IET communications, Sep. 2010.

[4] K. Ishihara, et al., IEICE Trans. Commun., Vol. E90-B, No. 5, pp. 1171-1180, May 2007.