

循環遅延パイロットチャネル推定を用いる MIMO アナログネットワーク符号化 シングルキャリア双方向中継のスループット特性

Throughput Performance of MIMO-ANC SC Bi-Directional Relay Using Cyclic Shifted Pilot Channel Estimation

宮崎 寛之 小原辰徳 安達 文幸
Hiroyuki Miyazaki Tatsunori Obara Fumiyuki Adachi
東北大学大学院 工学研究科 通信工学専攻

Department of Communications 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) を用いた双方向中継通信は、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 [1]. 筆者らはこれまで、マルチ送受信アンテナ (MIMO) -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循環遅延パイロットチャネル推定を提案した[2]. 本論文では、循環遅延パイロットチャネル推定と送受信協調周波数領域等化 (FDE) [2]を用いる SC-MIMO-ANC 双方向中継通信のスループット特性を明らかにし、チャネル情報のフィードバックが必要なチャネル推定[3]を用いた場合より優れたスループット特性を実現できることを示す。

2. MIMO-ANC 双方向中継通信

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。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 双方向中継通信の動作を示す。まず第 1 タイムスロットにおいて、MT と BS が同時に RS に送信する。RS は各アンテナの受信信号に FDE を適用して電力増幅を行った後、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。

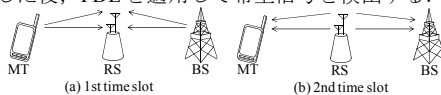


図 1 MIMO-ANC 双方向中継通信

3. 循環遅延パイロットを用いるチャネル推定

送受信協調 FDE を用いる SC-MIMO-ANC 双方向中継通信では、MT は自身の信号成分除去および受信 FDE を行うために、次式で与えられる MT-RS-MT 間および BS-RS-MT 間等価チャネル $H_{M-R-M}(k)$ および $H_{B-R-M}(k)$ の推定が必要である。

$$\begin{cases} H_{M-R-M}(k) = \sqrt{2P_M} \sum_{j=0}^{J-1} G(j)H_{M-R}(j,k)H_{M-R}(j,k)V(j,k) \\ H_{B-R-M}(k) = \sqrt{2P_B} \sum_{j=0}^{J-1} G(j)H_{M-R}(j,k)H_{B-R}(j,k)V(j,k) \end{cases} \quad (1)$$

ただし P_M および P_B はそれぞれ MT および BS の送信電力であり、 $H_{M-R}(j,k)$ および $H_{B-R}(j,k)$ はそれぞれ MT-RS 第 j アンテナ間および BS-RS 第 j アンテナ間のチャネル利得である。また $G(j)$ は RS 第 j アンテナの増幅率であり、 $V(j,k)$ は RS 第 j アンテナの送信 FDE 重みである。BS でも同様に BS-MT-BS 間および MT-RS-BS 間の等価チャネルの推定が必要である。また RS では送信 FDE を行うために MT-RS 間および BS-RS 間のチャネルの推定が必要である。

本論文では、 N_B データブロック毎にパイロットブロックが挿入される時間多重パイロットを仮定している。パイロットステージは 2 タイムスロットで構成される。パイロットステージ第 1 タイムスロットでは、異なる循環遅延パイロットを有する MT および BS が RS に同時送信する。RS 第 j アンテナにおける周波数領域受信信号 $\{R_R(j,k); k=0, \dots, N_c-1\}$ は次式で表される。

$$R_R(j,k) = \begin{bmatrix} \sqrt{2P_M} H_{M-R}(j,k) \\ + \sqrt{2P_B} H_{B-R}(j,k) \exp(-j2\pi k\theta/N_c) \end{bmatrix} P(k) + N_R(j,k) \quad (2)$$

ただし、 $P(k)$ はパイロット信号の第 k 周波数成分であり、 θ は循環遅延量である。また $N_R(j,k)$ は雑音成分である。RS は受信パイロット信号からパイロット成分を除去した後、遅延時間領域窓関数[4]を適用することによって MT-RS 間および BS-RS 間チャネルを同時推定する。その後、RS は推定したチャネル情報から送信 FDE 重みを生成し、受信パイロット信号に乗算する。そして第 2 タイムスロットにおいて BS および MT に同時送信する。MT における周波数領域受信信号 $\{R_M(k); k=0, \dots, N_c-1\}$ は次式で表される。

$$R_M(k) = \begin{bmatrix} H_{M-R-M}(k) \\ + H_{B-R-M}(j,k) \exp(-j2\pi k\theta/N_c) \end{bmatrix} P(k) + \tilde{N}_M(k) \quad (3)$$

ただし $\tilde{N}_M(k)$ は雑音成分である。MT は上式で表される受信パイロット信号からパイロット成分を除去した後、遅延時間領域窓関数を適用することによって MT-RS-MT 間および BS-RS-MT 間等価チャネルを同時に推定する。BS においても同様な推定法によって BS-RS-BS 間および MT-RS-BS 間等価チャネルを同時に推定する。以上の操作により、提案チャネル推定法では、チャネル情報のフィードバックを行うことなく、送受信協調 FDE および自身の信号成分除去に必要なチャネル情報を推定することができる。

4. 計算機シミュレーション

QPSK データ変調方式を仮定し、高速フーリエ変換 (FFT) のブロックサイズ 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、 $N_c=512$ および $N_g=16$ とする。また 1 パケットは 2048 ビットで構成されるものとする。伝搬路は、一様電力遅延プロファイルを有する $L=16$ 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し、チャネルの時間変動は十分緩慢であるものと仮定する。総送信電力の 1/2 を RS に、1/4 を MT および BS に配分する。パイロットには Chu 系列[4]を用い、パイロット挿入間隔 N_B は $N_B=16$ とする。本論文では、比較対象としてチャネル推定値のフィードバックが必要な文献[3]のチャネル推定を用いる。1 サンプルあたり $N_q=8$ ビットで量子化するものとし、フィードバックチャネルではデータステージと等しい変調方式 (QPSK) を用いて伝送を行うものとする。以上の仮定のもと、チャネル推定値のフィードバック量を考慮したスループット $S(\text{bps/Hz})$ は次式で与えられる。

$$S = 0.5 \cdot \log_2 M \cdot (1 - \text{PER}) \cdot \frac{1}{1 + (N_g/N_c)} \cdot \frac{N_B}{N_B + 1 + (N_q J / \log_2 M)} \quad (4)$$

ただし M は変調多値数であり、 PER はパケット誤り率である。 $N_q=0$ のときは循環遅延パイロットチャネル推定を用いたときのスループットを与える。

図 2 に循環遅延パイロットチャネル推定を用いた場合の上りリンクスループット特性を示す (下りリンクも同様)。チャネル推定値のフィードバックが必要な文献[3]のチャネル推定を用いた場合、RS アンテナ本数が増えるに従い最大スループットが低下している。これは RS アンテナ本数が増えるに従い、フィードバック量が增大するためである。一方、循環遅延パイロットチャネル推定では、RS アンテナ本数に関わらず常に等しい最大スループットが得られている。

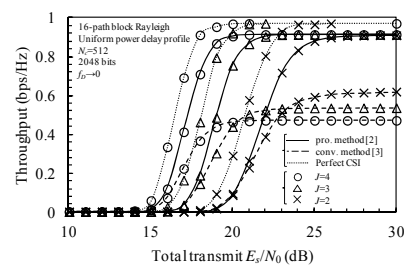


図 2 総送信 E_s/N_0 対スループット特性

5. まとめ

本論文では、循環遅延パイロットチャネル推定を用いる SC-MIMO-ANC 双方向中継通信におけるスループット特性を明らかにした。シミュレーション結果より、チャネル推定値のフィードバックが必要な文献[3]のチャネル推定より常に高いスループットを実現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, 信学技報, RCS2012-213, 2012 年 12 月.
- [3] H. Gacanin, et al., EURASIP Journal of Wireless Communication and Networking, Vol. 2011, Article ID 980430, pp. 12, 2011.
- [4] J. J. de beek, et al., Proc. 45th VTC, Vol. 2, pp. 815-819, July 1995.
- [5] D. C. Chu, IEEE Trans. On Inf. Theory, Vol. 18, Issue 4, pp. 531-532, July 1972.