

アナログネットワーク符号化を用いる時空間ブロック符号化 双方向中継伝送のための選択送信ダイバーシチ

Selection Transmit Diversity for Space-Time Block Coded Amplify-and-Forward Bi-Directional Relay Using Analog Network Coding

遠藤 力 宮崎 寛之 安達 文幸

Chikara ENDO Hiroyuki MIYAZAKI 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

無人航空機 (UA) を用いる無線中継システムは、災害時に迅速に通信ネットワークを確保できる[1]。筆者らは、アナログネットワーク符号化 (ANC) と非再生中継用時空間ブロック符号 (AF-STBC) を組み合わせた ANC/AF-STBC 双方向中継伝送およびそれに適した循環遅延パイロットチャネル推定法 (CDP-CE) を提案した[2,3]。本論文ではチャネル推定時に得られる自己信号成分除去用の等価チャネルを用いた選択送信ダイバーシチ法を提案し、計算機シミュレーションにより選択送信ダイバーシチを用いることによる BER 特性の改善を確認している。

2. ANC/AF-STBC 双方向中継伝送

地上局 A および B はそれぞれ N_A 本および N_B 本のアンテナを有し、上空に 1 本のアンテナを有する UA 中継局が N_R 機存在するものとする。信号 1 フレームは、 N_{data} 個のデータブロックを N_{pilot} 個のパイロットブロックで挟むように構成されている。また伝送方式には N_c サブキャリアの直交周波数分割多重 (OFDM) を用いる。地上局 A (B) は N_A 本 (N_B 本) のアンテナの内から 1 本選択し、1 フレームの信号を UA 中継局に同時送信する。UA 中継局ではパイロットブロックに対して循環遅延パイロット乗算処理、データブロックに対して AF-STBC 符号化[2,3]をそれぞれ適用し、地上局に増幅・送信する。地上局 A (B) では、パイロットブロックに CDP-CE を適用して等価チャネルを推定した後、受信データブロックに対して自己信号成分除去、周波数領域等化 (FDE) および AF-STBC 復号を適用する。

以下、地上局 A, B の受信処理は同様であるため、地上局 A について述べる。 n'_A 番目のアンテナから信号が送信されたとき、 $N_R=2$ 機するとき、最後尾のパイロットブロックより自己信号成分除去のための第 k サブキャリアの等価チャネル $\{H_{ARA}(n'_A, n_R, n'_A, k) ; n'_A=0, \dots, N_A-1, n_R=0, \dots, N_R-1, k=0, \dots, N_c-1\}$ が次式のように得られる。

$$\begin{cases} H_{ARA}(n'_A, 0, n'_A, k) = G(0)H_{AR}(n'_A, 0, k)H_{AR}(n'_A, 0, k) \\ H_{ARA}(n'_A, 1, n'_A, k) = G(1)H_{AR}^*(n'_A, 1, k)H_{AR}(n'_A, 1, k) \end{cases} \quad (1)$$

ここで $G(n_R)$ は第 n_R 番目の UA 中継局における電圧増幅率であり、UA 中継局ごとに自身の瞬時送信電力を一定にするように決定される。 $H_{AR}(n'_A, n_R, k)$ は地上局 A の第 n'_A アンテナと第 n_R 番目の UA 中継局間のチャネルの伝達関数である。式(1)より、地上局 A の第 n'_A アンテナと第 n_R 番目の UA 中継局間チャネルの電力 $P_{AR}(n'_A, n_R, k)$ は次式で得られる。

$$P_{AR}(n'_A, n_R, k) = |H_{ARA}(n'_A, n_R, n'_A, k)|^2 \quad (2)$$

また式(1),(2)より、地上局の第 n'_A ($\neq n'_A$) アンテナと第 n_R 番目の UA 中継局間チャネルの電力 $P_{AR}(n'_A, n_R, k)$ は次式で得られる。

$$P_{AR}(n'_A, n_R, k) = |H_{ARA}(n'_A, n_R, n'_A, k)|^2 / P_{AR}(n'_A, n_R, k) \quad (3)$$

地上局 A は、式(2),(3)を用いて送信アンテナと UA 中継局の全ての組み合わせの中から $P_{AR}(n'_A, n_R, k)$ ($=G(n_R)|H_{AR}(n'_A, n_R, k)|^2$) を最大とする送信アンテナ番号 n'_A を選択する。以上により、地上局と UA とでチャネル情報を共有することなく、地上局と UA 中継局間のチャネルの伝達関数を最大とする送信アンテナを選択できる。

3. 計算機シミュレーション

計算機シミュレーションにより BER 特性を求めた。高速フーリエ変換 (FFT) ブロックサイズおよびガード長はそれぞれ $N_c=64$ および $N_g=16$ とし、 $(N_A, N_R, N_B)=(2, 2, 2)$ および $(N_{data}, N_{pilot})=(12, 2)$ とした。チャネルモデルは $L=8$ パスの 3dB 指数減衰電力遅延プロファイルの仲上・ライス (K ファクタ 10dB) およびレイリーフェージングを、正規化ドップラー周波数を $f_D T_s=3.0 \times 10^{-5}$ とした (信号帯域幅 $1/T_s$ が 20MHz の場合、127km/h の飛行速度に相当する)。

図 1 に正規化送信 E_b/N_0 対平均 BER 特性、図 2 に仲上・ライス K ファクタ対平均 BER 特性を示す。図 1 よりチャネルの振幅変動が少ない仲上・ライスフェージング環境下では選択送信ダイバーシチを用いても BER 特性が改善しないものの、レイリーフェージング環境下では選択送信ダイバーシチを用いることで BER 特性が改善している。例えば CDP-CE を用いる場合、選択送信ダイバーシチにより $BER=10^{-3}$ を得るための所要送信 E_b/N_0 を約 1dB 低減できる。低減量が 1dB 程度であるのは、選択送信ダイバーシチを用いることで UA 中継局における受信 SNR が大きくなるが、自身の瞬時送信電力を一定とするように動作するため増幅率が小さくなり、UA 中継局における送信信号電力が低下する。そのため地上局における受信 SNR が小さくなってしまふ。このような UA 中継局と受信局の関係があるため、改善効果があまり得られない。また図 2 より、K ファクタが 0dB 以下の場合に選択送信ダイバーシチを用いることで BER 特性を改善できることがわかる。以上のことから、UA 中継局が見通し外環境である場合において選択送信ダイバーシチは有効であることが分かる。

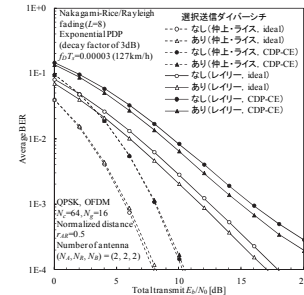


図 1 E_b/N_0 対 BER

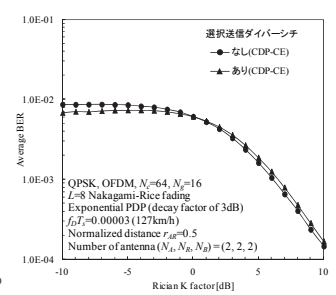


図 2 K ファクタ対 BER

4. まとめ

本論文では ANC/AF-STBC 双方向中継伝送における選択送信ダイバーシチを提案した。計算機シミュレーションにより、レイリーフェージング環境下では、選択送信ダイバーシチにより $BER=10^{-3}$ を得るための所要送信 E_b/N_0 を約 1dB 低減できることを明らかにした。

謝辞

本稿の一部は、総務省委託研究開発「無人航空機を活用した無線中継システムと地上ネットワークとの連携および共用技術の研究開発」による委託を受けて実施した研究開発による成果である。

文献

- [1] K. Takizawa, et al., PIMRC, pp.111-116, Sept. 2013.
- [2] 遠藤ら, 信学技報, RCS2015-133, pp.7-12, Aug. 2015.
- [3] 遠藤ら, 信学技報, RCS2015-210, pp.121-126, Nov. 2015.