

# 地上-UAS 連携マルチリンク MIMO 協調中継伝送におけるスループット特性

## Throughput Performance in Ground-to-UAS Multi-link MIMO Cooperative Relay

宮崎 寛之 安達 文幸

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

大規模な災害時に通信手段の迅速な復旧を実現する通信技術に、無人航空機 (UAS) を用いる無線中継システムがある [1]。地上局-UAS 間通信品質は距離変動や他無線通信システムからの干渉によって通信が時々刻々と変動する不安定になる。複数アンテナを搭載する UAS を用いる UAS 連携マルチリンク MIMO 協調中継は、遠く離れた地上局間で高安定通信を実現できる。本論文では、時空間符号化を用いる地上-UAS 連携マルチリンク MIMO 協調中継伝送を用いた場合のスループット特性を計算機シミュレーションにより明らかにしている。

### 2. システムモデル

本論文で考慮する地上-UAS 連携マルチリンク MIMO 協調中継伝送のシステムモデルを図 1 に示す。地上に  $N_s$  および  $N_d$  本のアンテナを搭載している送信局および受信局がそれぞれ存在し、それらの上空に  $N_u$  本のアンテナを搭載した UAS が 1 個存在するものとする。地上送信局-UAS 間および UAS 間-地上受信局間リンクは見通し内通信となり、それぞれ周波数選択性向上・ライスフェージングによって特徴づけられるものとする。

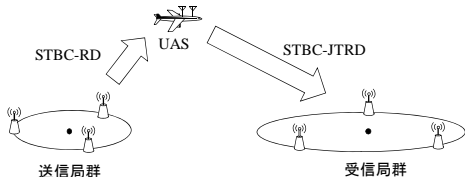


図 1 システムモデル

本論文では、第 1 タイムスロット (送信局→UAS) において時空間ブロック符号化受信ダイバーシチ (STBC-RD) [2] を、第 2 タイムスロット (UAS→受信局) において時空間ブロック符号化送受信ダイバーシチ (STBC-JTRD) [3] を用いる直交周波数分割多重 (OFDM) マルチリンク MIMO 協調再生中継 (DF) 伝送を用いるものとする。地上送信局、UAS および地上受信局の送受信機構成を図 2 に示す。地上送信局では、データ変調および時空間ブロック符号化を適用した後、OFDM 変調を行う。第 1 タイムスロットでは地上送信局から UAS に送信する。UAS 受信機では、受信信号に受信周波数領域等化 (FDE) を適用した後、時空間ブロック復号およびデータ復調を行う。UAS 送信機は得られたビット系列にデータ変調を施した後、時空間ブロック符号化および送信 FDE を適用する。そして、OFDM 変調後、第 2 タイムスロットで地上送信局に送信する。地上受信局では、周波数領域にて時空間復号を行った後データ復調を行う。なお、UAS における受信 FDE および送信 FDE 重みはそれぞれ最大比合成 (MRC) および最大比送信 (MRT) 規範によって決定されるものとする。上述のシステムでは、受信 FDE および送信 FDE を行うために UAS はチャンネル情報を必要とするが、地上送信局および受信局ではチャンネル情報が不要である。また、地上送信局-UAS 間および UAS→地上受信局間の通信では、符号化率を低下させることなく、UAS では任意のアンテナ本数を利用できる。

### 3. 計算機シミュレーション

地上送信局および受信局のアンテナ本数をそれぞれ  $N_s=N_d=2$  とする。パケットサイズは 1536 ビットとし、QPSK データ変調を用いるものとする。また地上送信局 (UAS) は UAS (地上受信局) における平均受信信号電力対雑音電力比 (SNR) が  $\Gamma_{s,u}$  (dB) ( $\Gamma_{u,d}$  (dB)) となるような送信電力で送信するものとする。高速フーリエ変換 (FFT) ブロックサイズおよび CP 長はそれぞれ  $N_c=64$  および  $N_g=16$  とする。周波数選択性向上・ライスフェージングを仮定し、1 符号語内におけるチャンネルの時間変動は無視できるものと仮定している。また、仲上・ライスフェージング K ファクタは  $K=10$  とした。パス数

$L$  は  $L=8$  とし、減衰指数  $\beta=3$  dB の指数減衰電力遅延プロファイルを仮定した。また、UAS ではチャンネル推定が必要であるが、理想的であるものとした。このときのスループット  $S$  (bps/Hz) は次式で与えられる。

$$S = \frac{1}{2} \log_2 M (1 - PER) \frac{N_c}{N_c + N_g} \quad (1)$$

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。

地上-UAS 連携マルチリンク MIMO 協調中継伝送を行った場合のスループット特性を図 3 に示す。図 3 よりマルチリンク MIMO 協調中継では、単一アンテナを搭載する UAS よりスループット特性を大幅に改善できることが分かる。 $G_{s,u}=10$  dB で所要スループットが 0.7bps/Hz のとき、 $N_u=4$  のマルチリンク MIMO 協調中継では、UAS の所要送信電力を  $N_u=1$  のときより約 7 dB 低減できる。また、 $\Gamma_{s,u}=5$  dB のときにおいて単一アンテナを搭載する UAS の場合、UAS においてパケット誤りが発生するため、 $\Gamma_{u,d}$  にかかわらずスループットが得られない。一方マルチリンク MIMO 協調中継では、地上送信局→UAS 間および UAS→地上受信局間通信の両方の伝送品質を改善できるから、 $G_{s,u}=5$  dB のときでも所要スループットを達成できる。

### 4. まとめ

本論文では、時空間符号化を用いる地上-UAS 連携マルチリンク MIMO 協調中継伝送のスループット特性を計算機シミュレーションにより明らかにした。UAS アンテナ本数  $N_u=4$  では、スループット 0.7bps/Hz と達成するための所要 UAS 送信電力を  $N_u=1$  のときより約 7 dB 低減できることを示した。

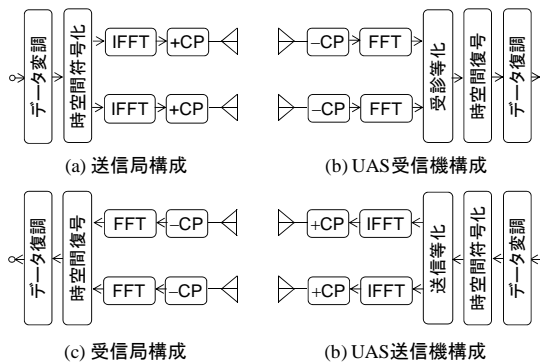


図 2 送受信機構成

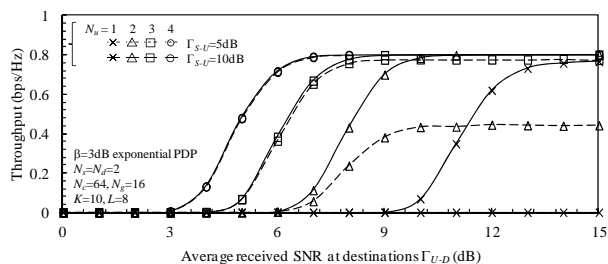


図 3 スループット特性

### 謝辞

本論文は、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」によるものである。

- [1] 三浦ら, 信学会総合大会, BI-2-6, 2013年3月.
- [2] V. Tarokh et al., IEEE J Sel. Areas Commun., vol. 17, no. 3, pp. 451-460, Mar. 1999.
- [3] H. Tomeba et al., IEICE Trans. commun., vol. E90-B, No. 3, pp. 5597-606, Mar. 2007.