

# 長距離無線伝送におけるダイバーシチ技術を用いた耐干渉型変復調手法

今村優希\*, 長尾勇平\*\*, 黒崎正行\*\*

(\*九州工業大学 情報工学部, \*\*九州工業大学大学院 情報工学研究院)

## 1. はじめに

近年, ドローンを活用したサービスが発展しており, 様々な分野において重要性が高まっている. ドローンと遠隔地から直接操縦する際には, 長距離・高信頼・低遅延な無線通信を確立することが不可欠である.

しかし, 長距離無線環境では, 電波干渉やマルチパスフェージングによる通信品質の劣化が大きな問題となる. さらに, このような特定の環境に適した最適化や実装性の検討はまだ十分でない. そこで本研究では, 空間・周波数・時間を統合的に活用し, 長距離無線伝送における干渉耐性の高い変復調手法の構築を目指す.

## 2. 空間・周波数ダイバーシチを得る手法

空間ダイバーシチを得る代表的な手段は, 受信アンテナ数を増やすことである. これにより, 空間方向で異なる伝播経路を通過した信号を複数受信できるため, チャネルの独立性を活かした空間ダイバーシチが得られる.

周波数ダイバーシチを得る手法として, 同一の情報を複数のサブキャリアに配置するDuplication手法を導入する. 本手法を用いることで, 周波数選択制フェージングや干渉の影響を分散させ, 信号品質劣化を抑制できる.

## 3. 耐干渉型復調手法

復調を行う際に, 複数の受信信号を合成する必要がある. 代表的な手法としてMRC (Maximum-Ratio Combining) が知られている. MRCはSNRを最大化するために重み付けをして信号の合成を行う. ただし, 本研究で対象とする長距離無線環境では, MRCでは十分に抑圧できない干渉信号の影響を考慮する必要がある.

そこで本研究では, 干渉信号を考慮した耐干渉型MRC (IMRC: Interference-Aware MRC) を導入する.  $K$ をサブキャリア総数,  $D$ をDuplication数とする. 本研究で導入するDuplicationでは,  $s$ 番目および $(s+K/D)$ 番目 ( $D=2$ の場合) のサブキャリアにおいて同じシンボル $x_s$ を送信する. 受信機における推定シンボル $\hat{x}_s$ は, 受信信号ベクトル $\mathbf{y}_s = [y_{1,s} \ y_{2,s} \ y_{1,s+K/D} \ y_{2,s+K/D}]^T$ を用いて, 式(1)で示される.

$$\hat{x}_s = \mathbf{w}_s^H \mathbf{y}_s \quad (1)$$

ここで, IMRCにおける重みベクトル $\mathbf{w}_s$ は, チャネルベクトル $\mathbf{h}_s = [h_{1,s} \ h_{2,s} \ h_{1,s+K/D} \ h_{2,s+K/D}]^T$ を用いて, 式(2)で示される.

$$\mathbf{w}_s = \frac{\mathbf{h}_s^H \mathbf{G}^{-1}}{\mathbf{h}_s^H \mathbf{G}^{-1} \mathbf{h}_s}, \quad \mathbf{G} = \text{diag} \left( \sigma_{1,s}^2, \sigma_{2,s}^2, \sigma_{1,s+K/D}^2, \sigma_{2,s+K/D}^2 \right) \quad (2)$$

ここで $\sigma^2$ は, 受信機における雑音の分散 $\sigma_A^2$ と干渉信号の分散 $\sigma_I^2$ の和であり, 式(3)で示される.

$$\sigma^2 = \sigma_A^2 + \sigma_I^2 \quad (3)$$

## 4. シミュレーション

本シミュレーションでは, 図1のモデルを用い, IEEE802.11be規格[1]に準拠したOFDM伝送方式を採用している. Duplicationにより同一情報を2つのサブキャリアに配置し, そのうち一方のサブキャリア群に干渉信号が加わる環境を想定する.

IMRCとDuplicationを用いた際のSNRとPERの関係を図2に示す. この結果から, IMRCを適用することで, MRC

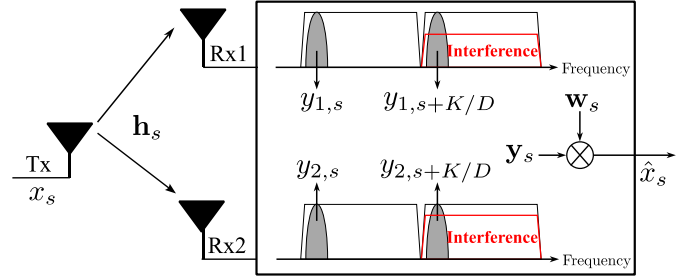


図1 Duplication数2個の場合の合成例

表1 シミュレーション環境

変調	QPSK, OFDM
チャンネルモデル	IEEE 802.11 Model E
送信×受信アンテナ数	1×2
Duplication数	2
信号対干渉比 (SIR)	0dB

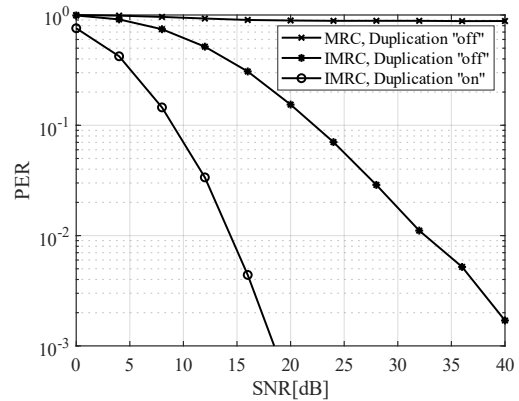


図2 シミュレーション結果

と比較して強い干渉環境下においても十分なダイバーシチ利得が得られることが確認できる. 加えて, Duplicationを併用することで, IMRC単独の場合に比べてPERが改善している. IMRCとDuplication双方を用いることで, 受信可能SNRが8dBあれば, 自由空間パスロス環境において, 約2 kmの通信が可能である. さらに, 通信距離の増加に伴って強まる干渉の影響に対しても, 目的信号を正しく復調できることを示している.

## 5. まとめと今後の課題

本研究では, 空間・周波数ダイバーシチを活用し, 長距離においても干渉波に耐えうる変復調手法として, IMRCとDuplication手法を導入した. シミュレーションより, 双方の手法を用いることで, 長距離かつ強干渉下においても復調が可能であること示した. また, 時間方向のダイバーシチを得る手法としては, 重送による方式が有効であると考えられる. 今後は, 干渉信号の強度や量に応じて重送回数やDuplicationの構成を最適化することで, 高信頼な長距離通信の実現を目指す.

## 参考文献

- [1] IEEE Std 802.11be-2024, "Amendment 7: Enhancements for Extremely High Throughput (EHT)," May 2024.