

直交変換分割多元接続方式のセキュリティ性能に空間相関が及ぼす影響

1180316 川添 航平 【ワイヤレスネットワーク研究室】

1 はじめに

無線システムにおいて盗聴に対する堅牢性を高めることは、機密通信を提供するために重要なことである [1]. 文献 [2] では、盗聴者の受信を劣化させるように設計された直交変換分割多重 (orthogonal transform division multiplexing: OTDM) が提案されている. OTDM では、各ユーザのチャネルから新たな直交基底を抽出し、信号の送受信に使用する. 正当な受信者のために専用の信号が生成されるため安全性が増す.

本研究では、盗聴者の空間相関とビット誤り率 (bit-error rate: BER) の関係を通して、OTDM のセキュリティ性能を評価する.

2 システムモデル

OTDM の送受信機を図 1 に示す.

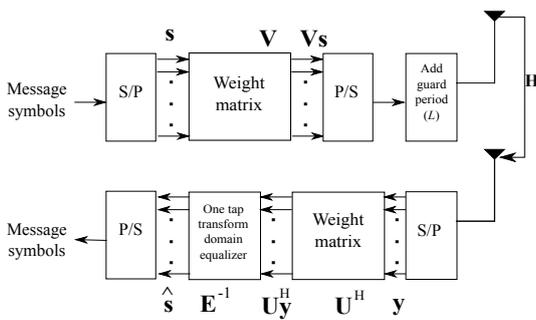


図 1 OTDM の送受信機

OTDM の下り回線において、 N 個の QPSK メッセージからなるベクトル $\mathbf{s} \in \mathbb{C}^{N \times 1}$ を送信する送信信号は次式で与えられる.

$$\mathbf{x} = \mathbf{V}\mathbf{s} \quad (1)$$

ここで、 $\mathbf{V} \in \mathbb{C}^{N \times N}$ は各ユーザのチャネルから抽出された変換行列であり、各ユーザのチャネルインパルス応答 $\mathbf{h} = [h_1 \ h_2 \ \dots \ h_L]^T$ (L はパス数) を要素を含む Toeplitz 行列 $\mathbf{H} \in \mathbb{C}^{(N+L-1) \times N}$ を特異値分解することで求めることができる.

$$\mathbf{H} = \mathbf{U}\mathbf{E}\mathbf{V}^H, \mathbf{U} \in \mathbb{C}^{(N+L-1) \times N}, \mathbf{E} \in \mathbb{R}^{N \times N} \quad (2)$$

ここで、 $(\cdot)^H$ は行列の複素共役転置、 \mathbf{U} は列が特異ベクトルであるユニタリ行列、 \mathbf{E} は対角要素に特異値を持つ実数の対角行列である.

OTDM の受信信号 \mathbf{y} は次式のようになる.

$$\mathbf{y} = \mathbf{h} * \mathbf{x} + \mathbf{z} = \mathbf{H}\mathbf{x} + \mathbf{z} \in \mathbb{C}^{(N+L-1) \times 1} \quad (3)$$

ここで、 $*$ は畳み込み、 \mathbf{z} は受信機で発生する両側スペクトル密度 $N_0/2$ の加法的白色ガウス雑音 (additive white Gaussian noise: AWGN) である.

受信機では、 \mathbf{H} から \mathbf{U}^H を抽出し、次の $\hat{\mathbf{s}}$ を抽出する.

$$\hat{\mathbf{s}} = \mathbf{U}^H \mathbf{y} \in \mathbb{C}^{N \times 1} \quad (4)$$

最後に、 \mathbf{E} による等化を施し、 N 個のメッセージシンボルの推定値 $\hat{\mathbf{s}}$ を得る.

$$\hat{\mathbf{s}} = \mathbf{E}^{-1} \hat{\mathbf{s}} = \mathbf{s} + \mathbf{E}^{-1} \mathbf{U}^H \mathbf{z} \quad (5)$$

3 性能評価

OTDM のセキュリティ性能を盗聴者の空間相関と BER 特性から評価を行う. 盗聴者は、正当な受信者の変換行列 \mathbf{U} を知っていると仮定する. シミュレーション条件は、 $L = 9, N = 64$ とする. 正当な受信者と盗聴者の空間相関を $\rho = 0.70, 0.80, 0.90, 0.99$ とする. シミュレーション結果を図 2 に示す.

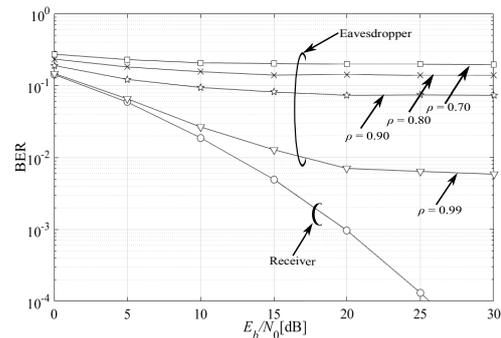


図 2 BER 特性

図 2 より、 ρ が 1 に近くなるほど盗聴しやすくなることが分かる. しかし、 $\rho = 0.99$ という非常に高い空間相関値においてさえも、正当な受信者に比べ BER の大幅な悪化が見られ、OTDM のセキュリティ性能の高さを確認することができる.

4 まとめ

本研究では、OTDM 信号のセキュリティ性能を空間相関のある盗聴者の BER 特性から示した.

参考文献

- [1] N. Yang, L. Wang, G. Geraci, M. Elkashlan, J. Yuan and M. Di Renzo, "Safe-guarding 5G wireless communication networks using physical layer security," IEEE Commun. Mag., vol. 53, no. 4, pp. 20-27, Apr. 2015.
- [2] J.M. Hamamreh and H Arslan, "Secure Orthogonal Transform Division Multiplexing (OTDM) Waveform for 5G and Beyond," IEEE Commun. Lett., vol. 21, Issue. 5, pp. 1191-1194, May 2017.