

シングルキャリア固有モード MIMO 伝送に及ぼす電力配分の影響

Impact of power allocation on single-carrier eigenmode MIMO transmission

熊谷 慎也 小原 辰徳 山本 哲矢 安達 文幸
Shinya Kumagai Tatsunori Obara Tetsuya Yamamoto Fumiyuki Adachi

東北大学 大学院工学研究科 通信工学専攻
Dept. of Communications Engineering, Graduate School of Engineering, Tohoku University

1. まえがき

筆者らは以前、シングルキャリア(SC)MIMO 伝送の伝送品質向上のため、最小平均二乗誤差(MMSE)規範に基づく送受信協調フィルタリング[1]を提案した。これは、MIMOチャネルを固有モードに変換し、MMSE 規範に基づく送信電力配分を行うものである。一方で、これまで固有モード MIMO 伝送における電力配分規範が種々検討されてきた[2-4]。本論文では、これらの規範に基づく電力配分が SC 固有モード MIMO 伝送に及ぼす影響について比較検討する。

2. SC 固有モード MIMO 伝送系

N_t 本のアンテナを有する送信機と N_r 本のアンテナを有する受信機による MIMO 伝送を考える。周波数利用効率 η (bps/Hz)を満たす空間多重数 $J(\leq \min(N_t, N_r))$ 及び変調方式の組み合わせの中から、ビット誤り率(BER)最小規範に基づいて最適な J 及び変調方式を選択するように Rank adaptation 及び適応変調を動作させる。送信機では、情報ビット系列を J 個の変調シンボルブロックに変換し、 N_c ポイントの離散フーリエ変換(DFT)によって周波数領域信号に変換した後、送信フィルタリングを適用する。 $N_t \times J$ の送信フィルタ行列 $\{\mathbf{W}_t(k), k=0 \sim N_c-1\}$ は次式で表される。

$$\mathbf{W}_t(k) = \mathbf{V}(k)\sqrt{\mathbf{P}(k)} \quad (1)$$

ここで、 $N_t \times J$ の行列 $\mathbf{V}(k)$ の第 j 列は、 $N_t \times N_r$ のチャネル行列 $\mathbf{H}(k)$ からなる行列 $\mathbf{H}^H(k)\mathbf{H}(k)$ の第 j 固有値 $\Lambda_j(k)$ に対応する固有ベクトルであり、 $J \times J$ の対角行列 $\mathbf{P}(k)$ は次章で示す電力配分行列である。送信フィルタリング後の周波数領域信号に N_c ポイント逆 DFT(IDFT)を適用し時間領域のシンボルブロックに変換し、 N_g シンボルのサイクリックプリフィックス(CP)を付加して送信する。

受信機では、CP 除去後の受信信号ブロックを N_c ポイント DFT によって周波数領域信号に変換し、受信 MMSE フィルタリングを適用する。 $J \times N_r$ 受信フィルタ行列 $\{\mathbf{W}_r(k), k=0 \sim N_c-1\}$ は次式で表される。

$$\mathbf{W}_r(k) = \mathbf{W}_t^H(k)\mathbf{H}^H(k)\{\mathbf{H}(k)\mathbf{W}_t(k)\mathbf{W}_t^H(k)\mathbf{H}^H(k) + \gamma^{-1}\mathbf{I}_{N_r}\}^{-1} \quad (2)$$

ここで、 $\gamma = E_s/N_0$ であり、 E_s は平均送信シンボルエネルギー、 N_0 は加法性白色ガウス雑音(AWGN)の片側電力スペクトル密度である。受信フィルタリング後の J 個の周波数領域信号にそれぞれ IDFT を適用することで、時間領域の軟判定シンボルブロックを得る。

3. 電力配分

本論文では、MMSE 規範に基づく電力配分[1]、BER 最小規範の基づく電力配分(Min.BER)[2]、固有モード次元に対する注水電力配分(1D-WF)[3]、固有モードと周波数の 2次元注水電力配分(2D-WF)[4]を考える。これらを用いるときの $\mathbf{P}(k)$ の第 j 対角要素 $P_j(k)$ はそれぞれ次式で与えられる。

$$P_j^{\text{MMSE}}(k) = \max \left\{ \frac{1}{\sqrt{\mu}} \frac{1}{\sqrt{\gamma \Lambda_j(k)}} - \frac{1}{\gamma \Lambda_j(k)}, 0 \right\} \quad (3-a)$$

$$P_j^{\text{Min.BER}}(k) = \max \left[\frac{b_j \sum_{k=0}^{N_c-1} \Lambda_j^{-1}(k)}{\gamma N_c^2} \left\{ \ln \frac{a_j M_j \gamma N_c}{\eta b_j \sum_{k=0}^{N_c-1} \Lambda_j^{-1}(k)} - \frac{1}{\sqrt{\mu}} \right\}, 0 \right] \quad (3-b)$$

$$P_j^{\text{1D-WF}}(k) = \max \left[\frac{1}{N_c} \left\{ \frac{1}{\sqrt{\mu}} - \frac{1}{\gamma N_c} \sum_{k=0}^{N_c-1} \Lambda_j^{-1}(k) \right\}, 0 \right] \quad (3-c)$$

$$P_j^{\text{2D-WF}}(k) = \max \left\{ \frac{1}{\sqrt{\mu}} - \frac{1}{\gamma \Lambda_j(k)}, 0 \right\} \quad (3-d)$$

ここで、 μ は総送信電力を一定にする定数である。また、 a_j, b_j は変調方式によって異なる定数[1]、 M_j は第 j 固有モードに割り当てられるビット数である。

4. 計算機シミュレーション

$N_c=128, N_g=16$ とし、16パスの一樣電力遅延プロファイルを有する周波数選択性ブロックレイリーフェージングチャネルを仮定し、各アンテナのフェージングは無相関とする。チャネル推定は送受信機双方で理想的に行えるものとする。BPSK, QPSK, 8PSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM の中から変調方式を選択するものとする。図1に、 $N_t=N_r=4, \eta=8$ (bps/Hz)としたときの平均 BER 特性を示す。比較として、受信側だけで MMSE フィルタリングを行ったときの特性も併せて示す。図1より、MMSE 電力配分が最も優れた BER 特性を示すことがわかる。これは、固有モードと周波数の 2次元で MMSE 電力配分を行っているからである。Min.BER および 1D-WF 電力配分では周波数次元で電力配分を行えないためチャネルの周波数選択性を十分抑圧できず、2D-WF 電力配分では周波数次元で注水電力配分を行うためにチャネルの周波数選択性を強調してしまい特性が劣化する。

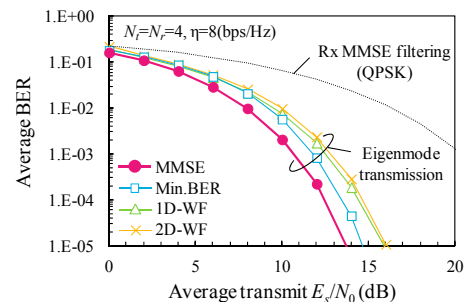


図1 平均 BER 特性

5. まとめ

本論文では、SC 固有モード MIMO 伝送に及ぼす電力配分の影響を検討し、MMSE 電力配分が最も優れた BER 特性を示すことを明らかにした。

参考文献

- [1] 熊谷ら, 信学技報, RCS2012-232, pp. 291-296, 2012年12月.
- [2] K. Miyashita, et al., Proc. IEEE VTC2002-Fall, Sept. 2002.
- [3] K. Ozaki, et al., IEICE Trans. Commun., vol. E91-B, no. 5, pp. 1521-1530, May 2008.
- [4] S. Kumagai, et al., Proc. IEEE VTC2012-Fall, Sept. 2012.