

キャリアパワーコントロールを適用した高密度マルチキャリア変調方式の最適電力配分について

1190320 久保 壮一郎 【ワイヤレスネットワーク研究室】

1 はじめに

現在幅広く用いられている通信方式として直交周波数分割多重 (orthogonal frequency division multiplexing: OFDM) 方式が挙げられる [1]. OFDM 方式以上の周波数利用効率や伝送速度に柔軟性を持たせることのできる高密度マルチキャリア変調 (high-compaction multi-carrier modulation: HC-MCM) 方式が提案されている. HC-MCM 方式は各サブキャリアの周波数を直交周波数間隔以下の狭い間隔で配置することで, 周波数利用効率を向上させる. しかし, キャリヤ間干渉が発生し, 各受信信号を独立に復調することが難しくなるため最尤推定を行うことが検討されている. 文献 [1] では各送信信号にキャリアパワーコントロール (carrier power control: CPC) を適用した CPC/HC-MCM が提案されている. 本研究ではラグランジュの未定乗数法を用いて最適な電力配分を求め, それを CPC/HC-MCM 方式に適用し, ビット誤り率 (bit-error rate: BER) 特性を改善できることを示す.

2 システムモデル

周波数間隔 Δf [Hz] で配置された区間 $[0, T]$ における HC-MCM 方式の送信信号 $s(t)$ は次式で表される.

$$s(t) = \sum_{m=1}^M b_m e^{j2\pi(m-1)\Delta ft} \quad (1)$$

ここで, b_m はメッセージシンボル, M はサブキャリア数である. 送信信号 $s(t)$ を等間隔にサンプリングして得られるサンプル値列は $x_k = s((k-1)\frac{T}{K})$ ($k = 1, 2, \dots, K$) となる. このサンプル値列をベクトルで表現すると次式となる.

$$\mathbf{x} = \mathbf{G}\mathbf{b} \quad (2)$$

ここで $\mathbf{x} = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_K]^T$, $\mathbf{b} = [b_1 \ b_2 \ \dots \ b_M]^T$, $G = [g_{k,m}]$, $g_{k,m} = e^{j2\pi(m-1)(k-1)\frac{\Delta f T}{K}}$ である. $(\cdot)^T$ は行列の転置を示す.

受信機では $r(t)$ を等間隔にサンプリングして受信信号のサンプル値列 $\hat{\mathbf{x}} = [\hat{x}_1 \ \hat{x}_2 \ \dots \ \hat{x}_K]^T$ を得る. 最尤推定ではこの $\hat{\mathbf{x}}$ と \mathbf{x} のレプリカ $\tilde{\mathbf{x}}_q$ ($q = 1, 2, \dots, N^M$; N は変調多値数) のユークリッド距離 $d_q = \|\hat{\mathbf{x}} - \tilde{\mathbf{x}}_q\|$ を全てのパターン計算し, 最小となる $\tilde{\mathbf{x}}_q$ を送信されたメッセージシンボルとして判定する.

CPC/HC-MCM 方式では, メッセージシンボルベクトル \mathbf{b} にキャリアパワーコントロールを適用して, $\mathbf{b}' = \mathbf{A}\mathbf{b}$ を得る. \mathbf{A} はキャリアパワーコントロールを表現しており, $\mathbf{A} = \text{diag}\{a_1, a_2, \dots, a_M\}$ であり, $\sum_{m=1}^M a_m^2 = 1$

を満たす行列である. このときの \mathbf{x} のレプリカは $\mathbf{x}_q = \mathbf{G}\mathbf{A}\mathbf{b}_q$ ($q = 1, 2, \dots, N^M$) として表される.

本研究では

$$J = \sum_{q=1}^{N^M} \sum_{q'=1}^{N^M} \|x_q - x_{q'}\|^2 \quad q, q' = 1, 2, \dots, N^M \quad (3)$$

を評価関数として最大化する. 上式からラグランジュの未定乗数法により,

$$L = J - \lambda \left(1 - \sum_{m=1}^M a_m^2 \right) \quad (4)$$

を定義する. ここで λ はラグランジュ乗数である. 式 (3), (4) から最適値を導出する.

3 性能評価

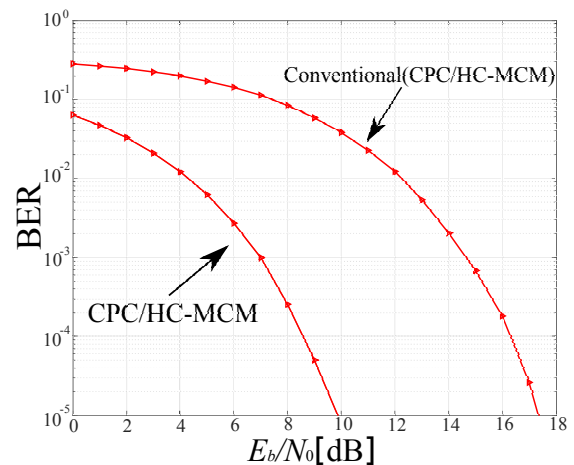


図 1 BER 特性の比較

メッセージシンボルを QPSK, サブキャリア数を $M = 4$, 1 シンボルあたりのサンプル数を $K = 4$, 変調指数を $\Delta f T = 1/8$ とする. 文献 [1] で提案されている電力配分を適用した CPC/HC-MCM 方式, 今回求めた最適値を適用した CPC/HC-MCM 方式の BER 特性を図 1 に示す. 文献 [1] の方式に比べて約 8dB ほどの改善が見られ, 最適電力配分によってビット誤り率 (bit-error rate: BER) 特性を改善できたと考えられる.

4 まとめ

本研究では, CPC/HC-MCM 方式における最適な電力配分を導出し, 非常に優れた BER 特性になることを示した.

参考文献

- [1] 桑村昌吾, “高密度マルチキャリア変調方式の誤り率の改善,” 高知工科大学修士論文, Feb. 2015.