

陪直交周波数分割多重方式 (BFDM) における 不確定性関数を用いたガウスパルスの最適化

Optimization of gaussian pulse using ambiguity function

in Biorthogonal Frequency Division Multiplexing (BFDM)

五藤 大介¹
Daisuke GOTO

山里 敬也¹
Takaya YAMAZATO

モンゴル バヤルプレブ²
Bayarpurev MONGOL

名古屋大学 工学研究科¹
Graduate School of Engineering, Nagoya University

モンゴル国立大学²
National University of Mongolia

1 はじめに

高速伝送方式のひとつである陪直交周波数分割多重 (BFDM) は、送信パルスに時間周波数制限性のよいガウスパルスを用いることで、シンボル間干渉 (ISI) とキャリア間干渉 (ICI) の低減が期待できる。本研究では、時間-周波数空間でのガウスパルスの拡がりによる特性の変化に基づき、通信路に適したパルス設計を考察する。

2 システムモデル

送信信号 $s(t)$ はサブキャリア数 K 、シンボル時間 T 、サブキャリア周波数間隔 F のとき、次式のようになる。

$$s(t) = \sum_{l=-\infty}^{\infty} \sum_{k=0}^{K-1} a_{l,k} g_{l,k}(t) = \sum_{l=-\infty}^{\infty} \sum_{k=0}^{K-1} a_{l,k} g(t - lT) e^{j2\pi k F (t - lT)} \quad (1)$$

$a_{l,k}$ はシンボル $l \in \mathbb{Z}$ 、サブキャリア $k \in \{0, 1, \dots, K-1\}$ でのデータシンボル、 $g(t)$ は送信パルスであり、BFDM では次式のようなガウスパルスを用いる。

$$g(t) = B \exp(-\pi \sigma t^2) \quad (2)$$

スペクトル $G(f)$ は次式のようになる。

$$G(f) = C \exp\left(-\frac{\pi}{\sigma} f^2\right) \quad (3)$$

f は周波数、 B, C は正規化係数である。 σ はその値によって時間-周波数空間でのガウスパルスの拡がりが増える。図 1, 2 は $\sigma = 1.0 \times 10^{-4}, 3.0 \times 10^{-4}$ における各々送信パルスとスペクトルを示している。図のように、 σ の値によるガウスパルスの拡がりの変化は時間と周波数で異なる。

受信信号 $r(t)$ から得られる受信シンボル $x_{l,k}$ は次式のように出力される。

$$x_{l,k} = \langle r, \gamma_{l,k} \rangle = \int_t r(t) \gamma_{l,k}^*(t) dt \quad (4)$$

$\gamma(t)$ は受信パルスである。受信機でのデータシンボルの復調は、次式のような陪直交条件を満たすときのみ得られる。

$$\langle g_{l,k}(t), \gamma(t) \rangle = \delta_l \delta_k \quad (5)$$

3 不確定性関数を用いたガウスパルスの最適化

送受信パルスの設計における指標として、次式に示す不確定性関数を用いる [1]。

$$A_{\gamma,g}(\tau, \nu) = \int_{-\infty}^{\infty} \gamma(t) g^*(t - \tau) e^{-j2\pi \nu t} dt \quad (6)$$

ここで、マルチパスレイリーフェージング通信路による受信信号の最大遅延時間を τ_{\max} 、最大ドップラー周波数を ν_{\max} ($\tau_{\max} < T, \nu_{\max} < F$) とすると、送受信パルスの干渉特性に対する指標 η を定義する。

$$\eta = \frac{\int_{-(T-\tau_{\max})}^{T-\tau_{\max}} \int_{-(F-\nu_{\max})}^{F-\nu_{\max}} A_{\gamma,g}(\tau, \nu) d\tau d\nu}{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} A_{\gamma,g}(\tau, \nu) d\tau d\nu} \quad (7)$$

式 (7) は、ISI/ICI の影響を及ぼさない領域

$$\mathcal{R} = [-(T - \tau_{\max}), T - \tau_{\max}] \times [-(F - \nu_{\max}), F - \nu_{\max}] \quad (8)$$

における不確定性関数のエネルギーの割合 ($0 < \eta < 1$) を表したものである。図 3 は $\tau_{\max} = 40[\mu\text{s}], \nu_{\max} = 500[\text{Hz}]$ における式 (2) の σ を変化させた場合の η のグラフである。図のように、 η は σ の値に大きく依存し、 η が最大となる σ が存在する。図 3 では $\sigma = 1.29 \times 10^{-4}$ のとき、 η が最大となる。

4 誤り率特性

図 4 に異なる σ でのシンボル誤り率特性を示す。変調方式は 16QAM、シンボル時間は $256[\mu\text{s}]$ とした。図 4 より、式 (7) の不確定性関数の比 η が大きいときにシンボル誤り率が小さくなるのが分かる。このことから、 η を最大とする σ の値を用いることで、通信路に適したガウスパルスを選択することができる、より特性を向上させることができると考えられる。

5 むすび

本稿では、BFDM で用いるガウスパルスの時間-周波数空間での拡がりに伴う特性の変化から、通信路に適したパルス設計を考察した。時間周波数分散通信路に適したパルス設計の指標として、送受信パルスの不確定性関数を用いた。通信路の最大遅延時間と最大ドップラー周波数の情報から得られたガウスパルスとその他のガウスパルスの誤り率特性をシミュレーションによって比較し、通信路に適したガウスパルスの設計が行えることを示した。

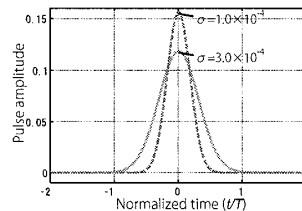


図 1 送信パルス $g(t)$

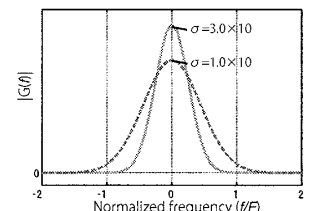


図 2 送信スペクトル $G(f)$

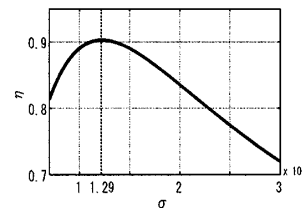


図 3 $\tau_{\max} = 40[\mu\text{s}], \nu_{\max} = 500[\text{Hz}]$ における η

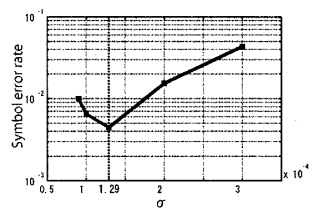


図 4 誤り率特性

謝辞 日頃、熱心に御指導頂く名古屋大学エトピア科学研究所教授片山正昭先生、及び助教小林健太郎先生に感謝します。

参考文献

- [1] W. Kozek and A. F. Molisch, *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 16, pp. 1579-1589, Oct. 1998.
- [2] G. Matz et al., *IEEE Trans. Commun.*, vol. 6, pp. 1921-1931, May 2007