

スレピアン系列を用いた非直交マルチキャリア信号の周波数利用効率の改善法

1180315 川島 成絵 【ワイヤレスネットワーク研究室】

1 はじめに

スマートフォンや無線 LAN 等が普及するにつれて、ユーザの関心が高速・快適な移動通信の方向に向けられ、通信方式にはより高い周波数利用効率が求められるようになってきた。周波数利用効率の高い通信方式として非直交サブキャリアを用いたマルチキャリア (nonorthogonal multicarrier: NOMC) 信号を用いることが検討されている。NOMC 信号にスレピアン系列を用いた直交信号により高い周波数利用効率を実現できることが示されている [1]。

本研究では、ユーザ数が少ない場合の周波数利用効率を NOMC 信号の送信間隔を短くすることで向上させることについて検討し、短くできる送信間隔の限界をビット誤り率 (bit-error rate: BER) により評価する [2]。

2 NOMC 信号モデル

NOMC 信号は直交サブキャリアを用いたマルチキャリア (orthogonal multicarrier: OMC) 信号の一部を切り出すことで生成される。OMC 信号の信号長を T_0 [s]、サブキャリア数を N 、サブキャリアの周波数を $(l - \frac{1}{2})/T_0$ [Hz] ($l = 1, 2, \dots, N$)、OMC 信号から切り出した長さを T [s] ($< T_0$) とすると、NOMC 信号の k 番信号 $c_k(t)$ ($k = 1, 2, \dots, K$) は次式となる。

$$c_k(t) = g_T(t) \sum_{l=1}^N c_{k,l} e^{j \frac{2\pi}{T_0} (l - \frac{1}{2}) t} \quad (0 < t < T) \quad (1)$$

ここで、 $j = \sqrt{-1}$ 、 $g_\tau(t)$ は矩形ゲート関数で $g_\tau(t) = \{1 (0 < t < \tau), 0 (\text{otherwise})\}$ 、 $c_{k,l}$ は l 番サブキャリアの複素振幅を表す。NOMC 信号のサブキャリアの密度 ρ は OMC 信号と比べて $\rho = T_0/T$ 倍になる。NOMC 信号 $c_k(t)$ において、スレピアン系列を $c_{k,l}$ として選ぶと、NOMC 信号は離散長球波動関数 (discrete prolate spheroidal wave function: DPS 波動関数) と呼ばれる信号となる [1]。

本研究では最大の多重数 K_{\max} を占有帯域幅 $W (= N/T_0)$ と信号長 T の積で与える。

$$WT = \frac{N}{T_0} \times T = N \times \frac{T}{T_0} = \frac{N}{\rho} \quad (2)$$

3 提案方法

システム内に収容されているユーザの数が最大の K_{\max} であることはまれである。そこでユーザ数が少ない場合の周波数利用効率向上を考える。周波数利用効率を上げるため、複素メッセージ $b_{k,n}$ を送信する間隔を T_I [s] ($< T$) とすると、 $b_{k,n}$ は $t = nT_I$ に送信されることとなる。このときの多重信号 $y(t)$ と k 番ユーザの相関器出力 $z_{k,n}$ は次式となる。

$$y(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{k=1}^K b_{k,n} c_k(t - nT_I) \quad (3)$$

$$z_{k,n} = \int_{nT_I}^{nT_I+T} c_k^*(t) y(t) dt \quad (4)$$

ここで、 $*$ は複素共役を表す。

4 性能評価

サブキャリア数 $N = 100$ 、サブキャリア密度 $\rho = 4$ とすると $K_{\max} = 25$ となる。多重数 K を 25 から 5 まで減少させ、送信間隔 T_I を $1.0T$ から $0.6T$ まで減少させたときのシミュレーション結果を図 1 に示す。

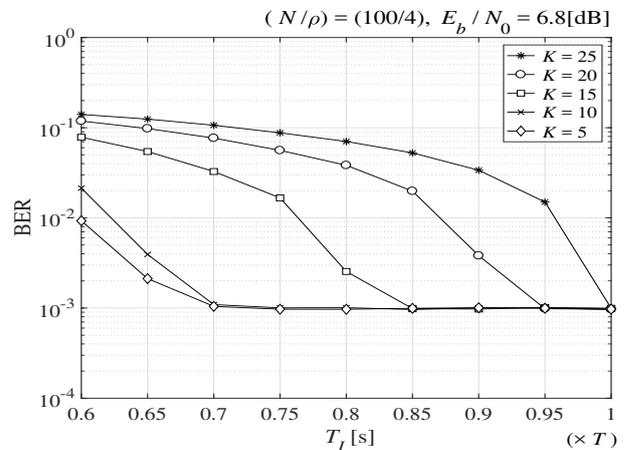


図 1 多重数 K と送信間隔 T_I の関係

図 1 より、多重数 K が小さいときには、短い T_I でも 10^{-3} の BER を達成することが分かる。例えば $K = 10$ 、 $T_I = 0.7T$ の場合では各ユーザの通信速度に換算すると約 43% の改善である。したがって、ユーザ数が少ない場合には、複素メッセージシンボルの送信間隔を狭めるという簡単な方法で周波数利用効率を高められることが分かる。

5 まとめ

本研究では、スレピアン系列を用いた非直交マルチキャリア信号において、ユーザ数が少ない場合に送信間隔を短くすることで周波数利用効率を高められることを示した。

参考文献

- [1] 浜村昌則, “非直交マルチキャリア信号へのスレピアン系列の応用,” IEICE Fundamentals Review, vol.11, no.1, pp.54-62, July 2017.
- [2] N. Kawashima and M. Hamamura, “Improvement of spectral efficiency for nonorthogonal multicarrier signals using Slepian sequences,” 電気関係学会四国支部連合大会, p.112, Sept. 2017.