

周波数シフトチャープ変調信号の相関特性とスペクトル

1220327 合田 心季 【ワイヤレスネットワーク研究室】

1 はじめに

IoT化の大きな課題として省電力化が挙げられる。離れたデバイス同士が通信可能な状態を維持するにはワイヤレス接続が必須であり、ワイヤレス接続に大量の電力消費が必要な状況ではコストがかかり実現が困難となる。そのような中、IoT向けの省電力かつ遠距離通信を実現する低消費電力広域ネットワーク (LPWAN) がIoT化の重要な要素として注目されている。LPWANの規格にはLoRa (long range) と呼ばれるチャープ波形を利用した無線通信方式が含まれる。

本研究ではLoRaで用いられる周波数シフトチャープ変調 (frequency shift chirp modulation: FSCM) 信号の相関特性とエネルギースペクトルの特徴を調べる。

2 周波数シフトチャープ変調信号

一般に、FSCM信号は送信に使用するチャンネルの帯域幅を B とし、 $T = \frac{1}{B}$ ごとにサンプルを送信すると説明される。FSCM信号によって T_s [s] 毎に送信されるメッセージシンボルは、長さ SF [bits] の2進ベクトル \mathbf{w} を10進数化した $s(nT_s)$ であり次式で与えられる。

$$s(nT_s) = \sum_{h=1}^{SF-1} \mathbf{w}(nT_s)_h 2^h \quad (1)$$

ここで、 $\mathbf{w}(nT_s)_h$ は \mathbf{w} の h 番要素である。 SF は拡散率と呼ばれる。

あるメッセージシンボル $s(nT_s)$ に対する持続時間 T_s のFSCM信号は、 T [s] 間隔のサンプル値列として次式で与えられる。

$$c(nT_s + kT) = \frac{1}{\sqrt{2^{SF}}} e^{j2\pi[(s(nT_s)+k) \bmod 2^{SF}]kT \frac{B}{2^{SF}}} \quad (k = 0, 1, \dots, 2^{SF} - 1) \quad (2)$$

上式から分かるように、FSCM信号の周波数は時間指標である k に対して直線的に増加する。したがってチャープ波形と呼ばれる信号になる。初期周波数が $s(nT_s)$ によってシフトすることから周波数シフトチャープ変調信号と呼ばれている。

メッセージシンボルが $s(nT_s) = \alpha$ のときに生成されるFSCM信号をベクトル \mathbf{c}_α とすると、 \mathbf{c}_α のセットは直交する。

$$\mathbf{c}_\alpha^H \mathbf{c}_\beta = \begin{cases} 1 & (\alpha = \beta) \\ 0 & (\alpha \neq \beta) \end{cases} \quad (3)$$

ここで、 $(\)^H$ はベクトルの複素共役転置を表す。

3 結果

3.1 相関特性

\mathbf{c}_α の自己相関関数 ($\alpha = 0$) 及び相互相関関数 ($\alpha = 0$ と 30) の例を図1に示す。式(3)から分かるように、時間差0では自己相関関数が1、相互相関関数が0となることを確認できる。

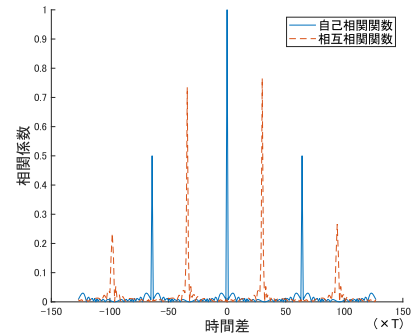


図1 自己相関関数と相互相関関数 (絶対値特性)

3.2 エネルギースペクトル

拡散率 $SF = 7$ 、 α が 10, 30, 50 の信号波形のスペクトルを図2に示す。FSCM信号の帯域幅の指標としては α に依らず B が用いられるが、図2より α が大きくなるほど占有帯域幅が狭くなることを確認できる。

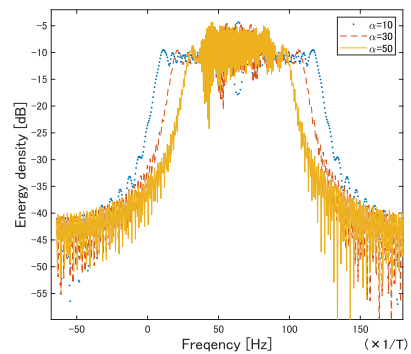


図2 エネルギースペクトル

4 まとめ

本研究ではIoT用に検討されているFSCM信号の相関特性とエネルギースペクトルについて調べた。FSCM信号の占有帯域幅がメッセージシンボルによって与えられる初期周波数によって大幅に異なることが分かった。このことはこの信号を測距・測位に利用する際の精度に影響すると考えられ、これが今後の検討課題となる。

参考文献

- [1] L. Vangelista, "Frequency shift chirp modulation: The LoRa modulation," IEEE Signal Process. Lett. vol 24, no.12, pp.1818-1821, Dec. 2017.