

(301) 通信工学

蓄積一括信号処理を用いた衝突した信号の新しい分離・復調方法の一検討

A study on a new separation and demodulation method for collided signals using stored batch signal processing

西山 徹[†] 宮地 龍功 大野 文也 富里 繁 田野 哲 上原 一浩

Toru Nishiyama[†] Ryuku Miyachi Humiya Ohno Shigeru Tomisato Satoshi Denno Kazuhiro Uehara

[†]岡山大学 大学院自然科学研究科

1 はじめに

IoT 時代が間近となり、限られた周波数資源の中で多数の低機能の端末が無秩序に通信し衝突や干渉により受信が出来なくなり、時に人々の安心安全をも脅かすという課題がある。そこで、ネットワーク上での蓄積一括信号処理技術を確認し、従来の受信機では実現できない、衝突した信号や干渉を受けた IoT/M2M 端末信号の分離、復調を目指している。

本稿では蓄積一括信号処理に用いる信号分離方法についての検討と、同期検波方式に代わる新たな復調方法として特徴量復調方法の提案を行う。また BPSK, QPSK, 16QAM 変調の三つの変調方式の信号を用いて計算機シミュレーションを行い、本提案の多値変調信号を用いた場合の有効性を評価する。

2 STFT による特徴量抽出を用いた信号分離方法

信号分離については、重畳する受信信号の時間的に連続した周波数特性から、短時間フーリエ変換 (Short-Time Fourier Transform: STFT) により所望信号の中心周波数上の電力成分と位相成分を特徴量として抽出し、所望信号の中心周波数と同一の周波数の無変調信号である基準信号の電力成分と位相成分に乗算することで所望信号を復元する信号分離方法が検討されている[1,2]。

所望信号を $y(t)$ 、雑音を $n(t)$ として、窓関数 $w(t)$ を用いて STFT を行くと、式 (1) で表される時刻 τ の所望信号複素スペクトル $Y(\omega, \tau)$ が得られる。このうち中心周波数 f_c 上のスペクトル $Y(\omega_c, \tau)$ と、式 (2) で表される無変調信号を STFT して得られる中心周波数上の複素スペクトル $G(\omega_c, \tau)$ から式 (3) のように特徴量 $\sqrt{p(t)}e^{j\phi}$ を抽出することができる。

$$Y(\omega, \tau) = \int_{-\infty}^{\infty} w(t-\tau)y(t)e^{-j\omega t} dt + \int_{-\infty}^{\infty} w(t-\tau)n(t)e^{-j\omega t} dt \quad (1)$$

$$G(\omega_c, \tau) = \int_{-\infty}^{\infty} w(t-\tau)e^{-j(\omega_c - \omega)t} dt \quad (2)$$

$$\sqrt{p}e^{j\phi} = \frac{Y(\omega_c, \tau)}{G(\omega_c, \tau)} \quad (3)$$

3 特徴量復調方法

信号分離後の復調方法については同期検波方式を採用しているが、STFT において窓関数で変調波を切り出す際にシンボルの変曲点を含んでいると信号を復元した際に信号が歪んでしまい誤りの原因となってしまう。

この問題を解決するため、本稿では同期検波方式に代わり特徴量復調方法を新たに提案する。特徴量復調方法とは、2 章で提案する信号分離方法によって取り出した特徴量 $\sqrt{p(t)}e^{j\phi}$ の電力成分、位相成分が IQ 平面で変調信号の信号点配置を表すことを利用し、この座標情報を判別することによって復調を行う方法である。特徴量 $\sqrt{p(t)}e^{j\phi}$ は式 (4) に示すとおり中心周波数 ω_c での変調信号 $s(t)$ と言えるため問題なく復調を行うことが可能となる。変調信号 $s(t)$ は式 (1) にある通り所望信号 $y(t)$ に雑音 $n(t)$ が加わったものだが、特徴量復調では、図 1 に示すように AWGN 環境下では雑音の影響は中心周波数上のみになるため $s(t) = y(t) + n(t) \approx y(t)$ として記載している。

$$\begin{aligned} \sqrt{p}e^{j\phi} &= \frac{Y(\omega_c, \tau)}{G(\omega_c, \tau)} = \frac{\int_{\tau_1}^{\tau_2} s(t) \times \cos \omega_c t dt}{\int_{\tau_1}^{\tau_2} e^{-j(\omega_c - \omega)t} dt} \\ &= s(\tau) \left[\frac{\frac{e^{j(\omega_c - \omega)\tau}}{2j(\omega_c - \omega)} - \frac{e^{-j(\omega_c + \omega)\tau}}{2j(\omega_c + \omega)}}{\frac{e^{j(\omega_c - \omega)\tau}}{j(\omega_c - \omega)}} \right]_{\tau_1}^{\tau_2} \\ &= s(\tau) \left[\frac{1}{2} - \frac{\omega_c - \omega}{2(\omega_c + \omega)} e^{-j(\omega_c + \omega)\tau} \right]_{\tau_1}^{\tau_2} \\ &= \frac{s(t)}{2} (\because \omega = \omega_c) \end{aligned} \quad (4)$$

4 シミュレーション結果

本稿では、BPSK, QPSK, 16QAM の 3 つの変調信号を用いて従来方法である同期検波方式と提案手法である特徴量復調方法の信号分離性能を比較した。信号分離性能の評価には、所望信号と干渉信号の占有帯域幅が重畳した部分の所望信号の占有帯域幅に対する割合として定義する尺度 (Overlapped Bandwidth Ratio[%]: OBR) (図 2) を使用し、OBR を小さく、つまり 2 つの信

号の中心周波数を離していった場合の BER 特性を評価している。

シミュレーション時の各パラメータを表 1, 従来手法および提案手法の信号分離性能を変調方式別に図 3, 4, 5 に示す。BER=10⁻³を信号分離可能な値とすると、図 3 より BPSK 信号の場合、従来手法、提案手法ともに OBR=97.5%で分離可能なことが確認できた。同じく図 4 より QPSK 信号の場合、従来手法では OBR=84.9%, 提案手法では OBR=83.8%で分離可能なことが確認できた。また図 5 より 16QAM 信号の場合、従来手法では分離が不可能であったが、提案手法では OBR=63.5%で分離可能なことが確認できた。以上の結果より提案手法を用いた場合、BPSK, QPSK 信号では従来手法である同期検波方式と信号分離性能に違いは確認できなかったが、16QAM 信号では従来手法では不可能であった重畳した信号の分離が可能なることが確認できた。また、いずれの変調方式の信号でも OBR の値によって BER が上下する箇所が確認できる。このような BER 特性となったのは、STFT で使用する矩形の窓関数が、メインローブに対してサイドローブのパワーが大きく、信号の重なり方によっては、信号を切り出した際にサイドローブの影響を受けスペクトルが歪むためだと考えられる。

5 まとめ

特徴量の振幅・位相成分を用いて直接復調を行う特徴量復調方法を提案し、計算機シミュレーションによりその有効性を評価した。その結果より BPSK, QPSK 信号の場合、提案手法は従来手法の STFT による同期検波方式を用いた信号分離方法と同等の性能となり、16QAM 信号の場合、従来手法では分離できない条件下でも信号分離が可能であることを明らかにした。

謝辞

研究の一部は JSPS 科研費 JP17K06425 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] T. Yamada et al., IEICE Trans. Commun., vol. E95-B, no.4, pp.1085-1092, April.2012.
- [2] 宮地,他, “蓄積一括信号処理による信号分離における最適窓関数選択方法の一検討,” 電気・情報関連学会中国支部連合大会, R18-09-12, Oct.2018.

表 1 シミュレーション条件

変調方式	BPSK	QPSK	16QAM
所望信号の中心周波数	1000 Hz		
占有帯域幅	926 Hz		1200 Hz
シンボルレート	64 symbol/s		
サンプリングレート	8192 Hz		
窓幅	0.5 symbol		
窓関数	矩形		
伝搬環境	AWGN		
E_b/N_0	7 dB		10 dB

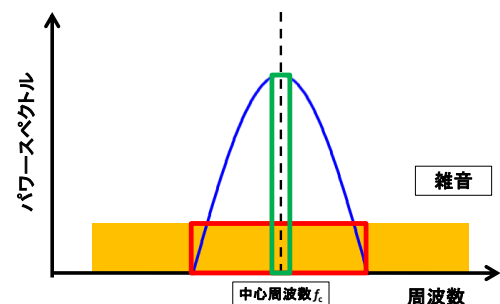


図 1 AWGN 環境での雑音の影響

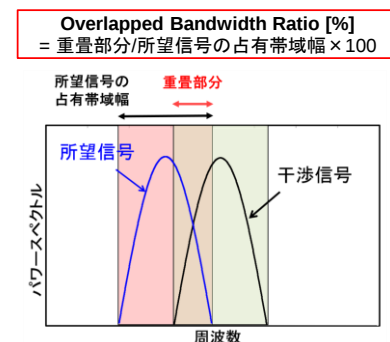


図 2 OBR の算出方法

図 2 OBR の

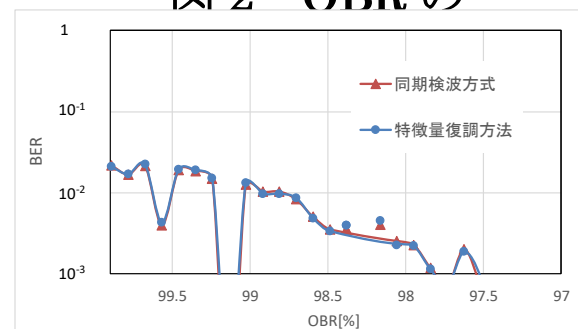


図 3 BPSK 変調方式による信号分離性能評価

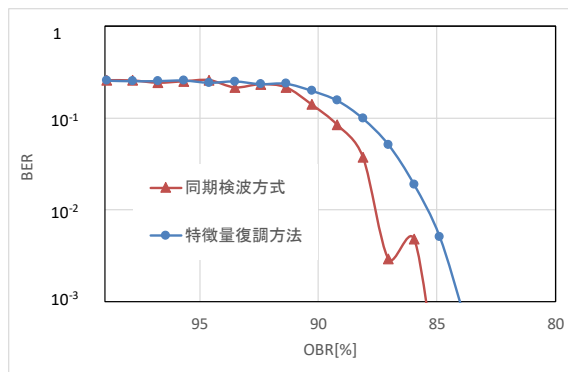


図 4 QPSK 変調方式による信号分離性能評価

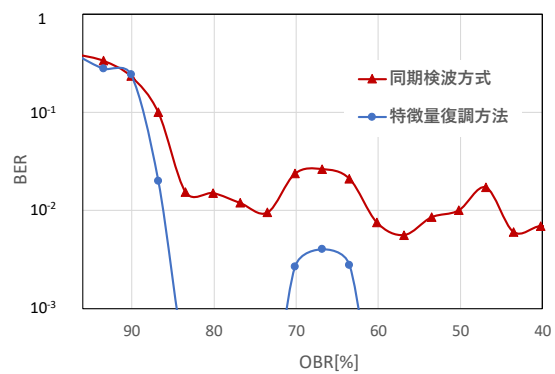


図 5 16QAM 変調方式による信号分離性能評価