

ISMバンドでのPWM通信に向けた直接スペクトラム拡散に関する一検討

A Study on Direct Sequence Spread Spectrum for PWM Communication in ISM Band

石田 繁巳
Shigemi ISHIDA福田 晃
Akira FUKUDA

九州大学大学院システム情報科学研究院 / Faculty of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University

1 はじめに

無線センサネットワーク (WSN) において超低消費電力なノードを実現する際には、送受信回路が簡素となるという理由で無線信号の有無を利用する PWM (Pulse Width Modulation) などの変調方式が採用される。PWM 通信を 2.4GHz 帯などの ISM (Industry, Scientific, and Medical) バンドで行う場合、他の通信機器との干渉により誤ったビットの挿入やビット消失が発生する。本稿では、ビット挿入・消失による通信エラーを低減するシフト加算相関 DSSS (スペクトラム拡散) を示す。

2 ISM バンドにおける PWM 通信

ISM バンドを用いる多くの無線規格は CSMA (Carrier Sense Multiple Access) 方式のアクセス制御を採用している。CSMA を行う無線機器が存在する ISM バンドにおいて PWM 通信を行う場合、PWM の無信号期間に他の無線規格の通信が割り込むことでビットの挿入・消失が発生する。PWM では無線信号の送信時間でデータビットが表現されるため、送信時間の長さが PWM 信号と等しい信号は全てデータビットと認識され、ビットの挿入が起こる。また、割り込んだ無線信号と PWM の送信信号との時間間隔が極めて短い場合には 2 つの信号が結合して見かけ上の送信時間が長くなり、データビットとして認識されずにビットの消失が起こる。

ビット挿入・ビット消失問題に対しては、古くから符号化方式に関する研究が行われてきた [1-3]。しかしながら、このような符号の復号処理は複雑な行列演算を必要とするため、計算資源の乏しい無線センサノードでは現実的な時間で復号が難しい。

低消費電力な回路で高いエラー耐性を得られる手法として DSSS (直接スペクトラム拡散) が知られているが、ビットの挿入・消失が生じる場合にはシンボル誤りが多発する。DSSS では直交性のある PN (Pseudo Noise: 疑似ノイズ) 符号のチップ列で送信データを表現し、受信チップ列と元の PN 符号との相関値に基づく復号処理を行うことでエラー耐性を得ている。ビットの挿入・消失が発生した場合には送信機が送信した元の PN 符号との相関値が大幅に低下し、シンボル誤りが発生する。

3 シフト加算相関 DSSS

2 で述べたように、ISM バンドにおける PWM 通信ではビットの挿入・消失に対するエラー対策が必須となる。ここで、ビット挿入・消失が発生した場合には挿入・消失ビットを除いたビット列が元のビット列と完全に一致することに着目する。DSSS において、相関値の大きさは 2 つの符号をビット毎に比較して一致したビット数が多いほど大きくなるため、部分一致を考慮した相関値の計算を行うことでビット挿入・消失に対するエラー耐性を高めることができる。

シフト加算相関 DSSS は、このような考えに基づいて設計された相関値計算手法を取り入れた DSSS である。送信機は、通常の DSSS と同様に送信データビットを表す PN 符号のチップ列を送信する。受信機では、符号語となっている PN 符号群と受信したチップ列とのシフト加算相関値を計算し、シフト加算相関値がもっとも大きい PN 符号を表すシンボルを受信シンボルとして復号する。

図 1 にシフト加算相関値の計算方法を示す。図は一例として 1 チップが挿入された場合を示している。受信チップ列は比較対象の PN 符号よりも長いため、まず、比較対象の PN 符号の長さで相関値 c_0 を計算する。次に、比較対象の PN 符号を右に 1 ビットシフトし、相関値 c_1 を計算する。同様にして比較対象の PN 符号をシフトしながら、比較対象の PN 符号の終端が受信チップ列の終端に達する時点まで相関値 c_n を計算する。最後に、全ての c_n を合計することでシフト加算相関値が得られる。ビット消失が生じた場合には受信チップ列が比較対象の PN 符号よりも短くなるため、受信チップ列の長さで相関値 c_n を計算してシフト加算相関値を算出する。



図 1 シフト加算相関値の計算方法 (1 チップが挿入された場合)

4 シミュレーション評価

4.1 評価環境

シフト加算相関 DSSS の有効性を検証するため、計算機シミュレーションによりシンボル誤り率を評価した。PN 符号として 31 bit の Gold 符号 33 個を用いた。33 個の Gold 符号からランダムに 1 つを選択し、ランダムな位置にランダムなビットを挿入、またはランダムな位置のビットを削除して受信チップ列を得た。そして、受信チップ列と 33 個の Gold 符号とのシフト加算相関値をそれぞれ計算し、シフト加算相関値がもっとも大きい Gold 符号を受信シンボルとした。最後に、受信シンボルの Gold 符号と送信した Gold 符号が一致するか否かによってシンボル誤りを判定した。

通信誤りは生じないものとし、ビット挿入・消失が同時に起きる場合を除いて挿入・消失ビット数を 1 から 10 まで変化させて評価を行った。シミュレーションの試行回数は 100,000 回である。比較対象として、(1) 通常の相関計算手法、(2) シフト加算相関手法 (提案手法) のそれぞれについてシミュレーションを行った。ここで、通常の相関計算手法とはシフト加算相関値の代わりに周期相互相関の最大値を相関値として同様の復号処理を行う手法である。

4.2 評価結果

図 2 に、挿入ビット数に対するシンボル誤り率を示す。図より、挿入ビット数が 1~10 の範囲において提案手法により大幅にシンボル誤りを削減できることが分かる。シンボル誤りの削減効果は挿入ビット数が 1 のときにもっとも大きく、挿入ビット数の増加とともに小さくなる。しかしながら、挿入ビット数が 3 以上になると提案手法を用いた場合でもシンボル誤り率が 10% を超える。実用に向けては他のエラー対策との組合せが必要であると考えられる。

図 3 に、消失ビット数に対するシンボル誤り率を示す。図より、ビット挿入の場合と同様に消失ビット数が 1~10 の範囲において提案手法によりシンボル誤りを削減できることが分かる。特に、提案手法を用いた場合には消失ビット数が 1~2 の範囲において 100,000 回の試行で誤りを確認できなかった。シンボル誤りの削減効果は消失ビット数が 1 のときにもっとも大きく、消失ビット数の増加とともに小さくなる。しかしながら、ビット挿入の場合と同様に消失ビット数が 3 以上になると提案手法を用いた場合でもシンボル誤り率が 10% を超えることが確認された。

5 おわりに

本稿では、ISM バンドでの PWM 通信において問題となるビット挿入・消失に対するエラー対策として、シフト加算相関 DSSS を提案した。シミュレーション評価を通じてシフト加算相関手法の有効性を検証し、通常の DSSS 通信に用いられる相関値計算手法に比べてシンボル誤りを削減できることを確認した。今後は理論的な検討を進めるとともに、ビット挿入・消失が同時に生じた場合に向けて提案手法を改良していく予定である。

謝辞

本研究の一部は、文部科学省「社会システム・サービスの最適化のための IT 統合システム構築」(採択課題名:「社会システム・サービス最適化のためのサイバーフィジカル IT 統合基盤の研究」) の助成で行われた。

参考文献

- [1] Z. Liu *et al.*, "Codes for deletion and insertion channels with segmented errors," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol.56, no.1, pp.224-232, Jan. 2010.
- [2] M.C. Davey *et al.*, "Reliable communication over channels with insertions, deletions, and substitutions," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol.47, no.2, pp.687-698, Feb. 2001.
- [3] F.F. Sellers, Jr., "Bit loss and gain correction code," *IRE Trans. Inf. Theory*, vol.8, no.1, pp.35-38, Jan. 1962.

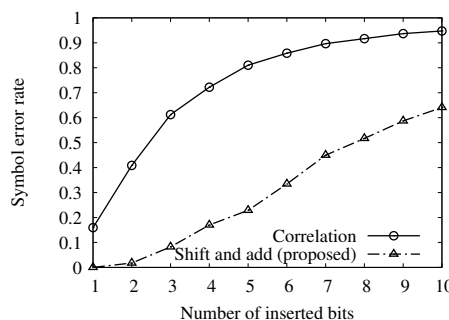


図 2 挿入ビット数に対するシンボル誤り率

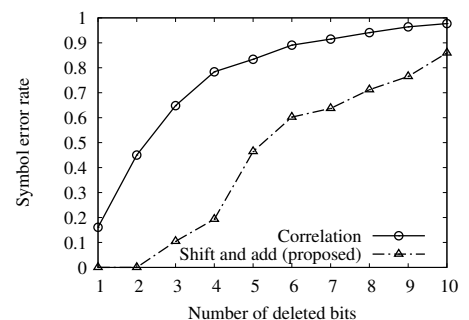


図 3 消失ビット数に対するシンボル誤り率