

# パケット型インデックス変調伝送を用いたLoRaWANの検討

LoRaWAN Using Packet Index Modulation

鶴見康平<sup>1</sup> 蕪木碧仁<sup>1</sup> 安達宏一<sup>1</sup> 田久修<sup>2</sup> 太田真衣<sup>3</sup> 藤井威生<sup>1</sup>  
Kohei Tsurumi Aoto Kaburaki Koichi Adachi Osamu Takyu Mai Ohta Takeo Fujii

電気通信大学 先端ワイヤレス・コミュニケーション研究センター<sup>1</sup>  
Advanced Wireless and Communication Research Center, The University of Electro-Communications  
信州大学<sup>2</sup> 福岡大学<sup>3</sup>  
Shinshu University Fukuoka University

## 1 まえがき

LoRaWANに代表されるLPWAでは、端末が自律分散的にパケットを情報集約局(GW)に送信することで、多数端末通信を可能とする。しかしながら、各端末には送信比率(DC)の遵守が課せられているため、単純に送信パケット数を増やすことで伝送容量を増大させることは不可能である。本稿では、LoRaWANにおいて、1)各端末が送信するパケットの時間間隔が一般的に大きいこと、2)LoRaWANでは複数の周波数チャネルを用いた通信が可能であることに着目して、パケット型インデックス変調を提案する。提案法では、パケットを送信する周波数チャネル・時間スロットを用いて情報を伝送することで、既存の通信規格を変更せずに伝送容量を拡大できることを示す。

## 2 システムモデル

本稿では初期検討として、1つの端末がGWへ情報を送信する環境を想定する。帯域幅を $W$  [Hz]、拡散率を $S$ とすると、チャープスペクトラム拡散(CSS)変調信号のシンボル長 $T_{\text{sym}}$  [sec]は以下で与えられる[1]。

$$T_{\text{sym}} = 2^S / W \quad (1)$$

パケットはプリアンブルとオーバーヘッド( $B_{\text{oh}}$  [bit])、ペイロード( $B_{\text{pl}}$  [bit])から構成されるため、1パケットで送信されるCSSシンボル数は次式で表される[2]。

$$N_{\text{sym}} = n + \lceil (B_{\text{oh}} + B_{\text{pl}}) / S \rceil \quad (2)$$

$\lceil x \rceil$ は天井関数、 $n$ はプリアンブルのシンボル数である。従って、パケット長 $T_{\text{pkt}}$  [sec]は次式で与えられる。

$$T_{\text{pkt}} = T_{\text{sym}} \times N_{\text{sym}} \quad (3)$$

無符号化を想定し、送信比率を $Q_{\text{DC}} \in (0, 1]$ とすると、データ伝送速度 $R_{\text{conv}}$  [bps]は以下で与えられる。

$$R_{\text{conv}} = B_{\text{pl}} / T_{\text{pkt}} \quad (4)$$

## 3 提案手法

提案するパケット型インデックス変調では、どの周波数チャネルとどの時間スロットでパケットを送信するかにより情報を送信する(図1)。簡単のため時間スロット長は $T_{\text{slot}} = T_{\text{pkt}}$ とする。周波数チャネル数を $K$ 、時間スロット数を $M$ とすると、周波数・時間スロットの組み合わせにより伝送できるビット数は $\lfloor \log_2(K \times M) \rfloor$ となる。ここで、 $\lfloor x \rfloor$ は床関数である。したがって提案法のデータ伝送速度は次式のようになる。

$$R_{\text{prop}} = (B_{\text{pl}} + \lfloor \log_2(K \times M) \rfloor) / T_{\text{slot}} \quad (5)$$

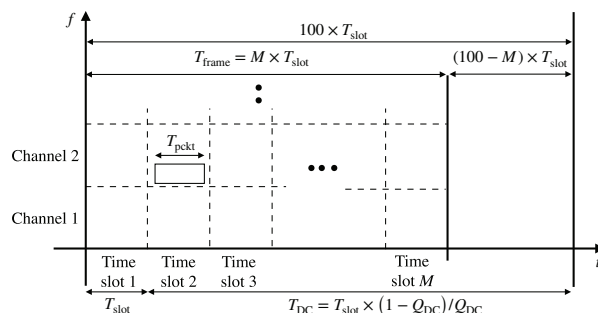


図1 パケットと周波数チャネルと時間スロットの関係

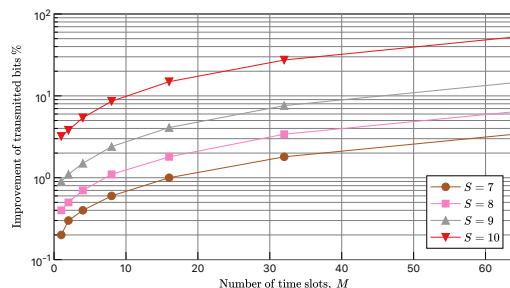


図2 提案手法による送信可能データ量の増加率

## 4 計算機シミュレーション

周波数チャネル数 $K = 8$ 、各チャネルの帯域幅 $W = 125$  [kHz]、 $B_{\text{oh}} = 36$  [bit]、 $n = 8$ とする[2]。また、拡散率 $S \in \{7, 8, 9, 10\}$ に対し、ペイロードサイズ $B_{\text{pl}}$ はそれぞれ $\{1976, 1040, 464, 128\}$  [bit]となる。本節では、1日に送れるデータ量 $D = 86400 \times R \times Q_{\text{DC}}$ を評価する。 $Q_{\text{DC}} = 0.01$ とした時、提案手法により得られる1日に送信可能なデータ量の増加率を時間スロット数 $M$ の関数として図2に示す。提案手法を用いることによって、伝送可能なデータ量を増大できることが分かる。特に、1パケットの時間長 $T_{\text{pkt}}$ が長くなり、送信可能なパケット数に強い制限がかかる高い拡散率 $S$ の時に、より大きな効果が得られている。

## 5 まとめ

本稿では既存のLoRaWAN通信規格を変更せず伝送容量を増大可能なパケット型インデックス変調を提案した。謝辞 本研究開発は総務省SCOPE(受付番号205004001)の委託を受けて行われたものである。

参考文献 [1] L. Vangelista, IEEE Signal Process. Lett., vol.24, no.12, pp.1818-1821, 2017. [2] LoRa Alliance, "LoRaWAN Regional Parameters," Feb. 2020.