

# 複数周波数チャネルを用いる パケット型インデックス変調の実機評価

Experimental Evaluation of Packet-Level Index Modulation Using Multiple Frequency Channels

鶴見康平<sup>1</sup> 鈴木康介<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 Kosuke Suzuki Aoto Kaburaki Koichi Adachi Osamu Takyu Mai Ohta Takeo Fujii

電気通信大学<sup>1</sup>  
The University of Electro-Communications

信州大学<sup>2</sup>  
Shinshu University

福岡大学<sup>3</sup>  
Fukuoka University

## 1 まえがき

著者らは、LPWANの1つであるLoRaWANを対象としてパケット型インデックス変調(PLIM: Packet-Level Index Modulation)を提案した[1]。PLIMでは、各端末が情報ビット系列(PLIMビット系列)に基づきパケットを送信する周波数チャネルおよび時間スロットの組み合わせ(インデックス)を選択し、既存のLoRaWANのパケット伝送に加えて追加でビットを送信することで、システムに大幅な変更を加えることなく伝送ビット数を増大できる。パケットを受信したゲートウェイ(GW)は使用周波数チャネルと送信時間スロットの組み合わせを検出し、送信されたPLIMビットを復調するが、GWと端末の間で生じるクロックドリフトによってGWにおいて正しく端末側の送信時間スロットを推定出来ない可能性がある。そこで筆者らは、文献[2]においてクロックドリフトに起因する送信時間スロット誤検出を避けるための補償法を提案し、商用のLoRaWAN GWであるDragino LG01を用いた実機評価結果について報告した[3]。しかしながら、LG01は1つの周波数チャネルしか送受信に利用できなかったため、本稿では、複数の周波数チャネルでの送受信が可能な商用GWであるLG308にPLIMの受信機能ならびにクロックドリフト補償法を実装して行った実機評価結果を報告する。

## 2 PLIMの概要

各端末は通信開始時に2つの連続するパケットをGWからのACK信号を要求するConfirmedパケットとしてあらかじめ決められた任意の時間スロット及び周波数チャネルで送信することで、GWとの時間同期を確立する。その後、端末は送信したいPLIMビットに基づいて送信周波数チャネルと時間スロットを決定しGWからのACKを要求しないUnconfirmedパケットとして送信する。GWはクロックドリフト推定および補償を行うことで時間スロットを検出し、周波数チャネルと時間スロットからPLIMビットを復調する[2]。

## 3 実験結果

端末とGWにそれぞれIoTセンサモジュールLoRa mini-JPとDragino LG308を用いて屋内実験を行なった(図1)。端末ではLMiCライブラリ[4]、GWではOpenWrtを用いてPLIMの送受信機能を実装した。端末は60[sec]毎に温度センサDHT11から温度データを取得し、PLIMを用いてGWへデータを伝送した。GWでは、クロックドリフトを補償した上で検出した時間ス

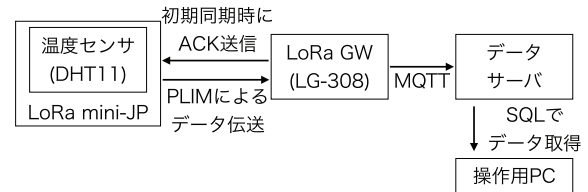


図1 システム構成図

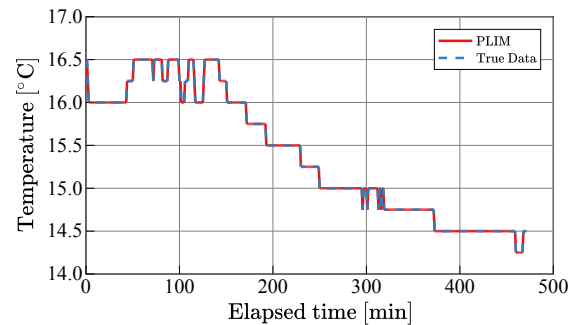


図2 PLIMによる温度データ伝送結果

ロットと周波数チャネルの組み合わせから、PLIMビット系列を復調し、復調したPLIMビットはMQTT通信によりサーバへと転送した。各端末は4個の周波数チャネルと32個の時間スロット(スロット長1[sec])の中から1つを選択してパケットを送信した。このときPLIMによって $\lceil \log_2(4 \times 32) \rceil = 7$ [bit]送信可能となる。今回は観測温度データの整数部分を5[bit]、小数部分を2[bit]としてインデックスに割り当てて、温度データを送信した。PLIMによるデータ伝送が正しく行われたかを確認するためにパケットペイロードにも同じ温度データを格納して送信した。図2に示すように、クロックドリフトの影響を受けるような環境下においてもPLIMによって正しく温度データを伝送できていることが分かる。

## 4 まとめ

本稿では、筆者らが以前提案したパケット型インデックス変調(PLIM)とクロックドリフト補償法をLoRaWAN GWであるDragino LG308に実装し、実機実験により複数の周波数チャネルと時間スロットを用いてインデックスを送信することが可能であることを示した。

謝辞 本研究開発は総務省SCOPE(受付番号JP205004001)の委託を受けて行われたものである。参考文献 [1] K. Adachi, et al., "Packet-Level Index Modulation for LoRaWAN," *IEEE Access*, 2021. [2] 鶴見ら, "パケット型インデックス変調におけるクロックドリフトの推定法および補償法," 信学技報, RCS2021-87, 2021年7月. [3] 安達ら, "パケット型インデックス変調を用いるLoRaWANの実装評価," 信学総大, 2021年3月. [4] Arduino-LMIC library ("MCCI LoRaWAN LMIC Library"), <https://github.com/mcci-catena/arduino-lmic>