

# LoRaWAN マルチホップ通信における 送信制御および同期制御を用いた省電力化の実機評価

Experimental Evaluation of Multi-hop LoRaWAN with Transmission and Synchronization Control

志田 洋斗  
Hiroto Shida

蕪木 碧仁  
Aoto Kaburaki

安達 宏一  
Koichi Adachi

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  
Advanced Wireless & Communication Research Center, The University of Electro-Communications

## 1 まえがき

著者らは、LPWANの1つであるLoRaWANを対象として、マルチホップ通信における送信制御および同期制御を用いた省電力化を実現する手法を提案した[1]。各機器はホップする機器の順番となるインデックスおよびLoRaWANパケットのヘッダに含まれるパケットカウンタに基づくマッピングにより、パケットの送信スロットおよび使用周波数チャンネルを選択する送信制御を行なう。各機器はホップ順のインデックス、使用可能リソース数、とマッピング式のみを事前共有により、受信側は送信側パケット送信時刻および使用周波数チャンネルを推定でき、パケット衝突の回避および受信窓を開き続けることによる不要な電力消費量を削減できる。また筆者らは、廉価なLPWANの端末に発生する機器間の時刻ズレも考慮したパケット受信時の分散的な同期制御も提案し、送受信間での共有リソースの同期ズレを補償する。本稿では、920MHz帯のLoRaモジュールに提案手法を実装して行なった中継機の消費電力量の実機評価結果を報告する。

## 2 提案手法と実装内容

本実装では送信機1台、中継機2台、受信機1台の合計4台の機器を用いたマルチホップ通信を行う。各機器には、EASEL社の920MHz帯無線モジュールES920LR2と評価ボードES920EB[2]を用い、提案手法を実装した。各機器は一定周期のフレーム毎に送信と受信を交互に行なうが、各機器はフレーム内の複数のスロットから $q$ 番目の送受信スロットを1つを選択し、送信あるいは受信処理を行なう。この選択には、予め共有された以下のマッピング式を用いるものとする。

$$q(m_t, D_i^{\text{pcnt}}) = \text{mod}(f_q(m_t, D_i^{\text{pcnt}}), Q) \quad (1)$$

この時、マッピング式には事前に既知の送信端末のインデックス $m_t$ 、フレーム内の時間スロット数 $Q$ 、そしてパケット受信時に取得可能な $D_i^{\text{pcnt}}$ を使用する。これにより受信機側は送信側の送受信リソースの推定ができ、パケット衝突回避、およびパケットの受信スロット以外でのスリープを実現でき、電力消費を削減する。また送受信時、受信待機時、スリープ時それぞれにおける消費電流および電力の測定にはUSBテスターを用いた。

## 3 実験結果

送信機からのパケットを受信し転送を行なう中継機1台の消費電流を測定した結果を図1に示す。フレーム期間は10[sec]、周波数チャンネル数は1つを使用して計測を行なった。横軸の時刻0は送信機の最初のフレーム開始時刻に合わせており、5パケット分の受信・転送処理を終えるまでを計測した。提案手法を“Prop.”、パケット送信時以外は常に受信窓を開いて受信待機をする比較手法を“Conv.”として示す。一般に送受信時にはスリープ時や受信待機時に比べより電流が大きいため、それぞれピークが立っていることがわかる。しかし比較手法(Conv.)はいつパケットが届くかわからないため送受信後に次のパケットの受信待機をする必要があり、使用システムの都合上多少上下するものの、提案と比べ常

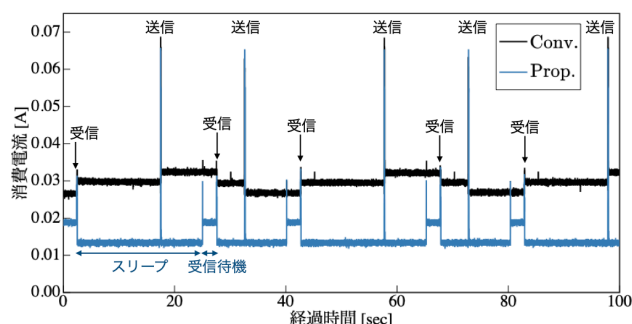


図1: 経過時間に対する消費電流

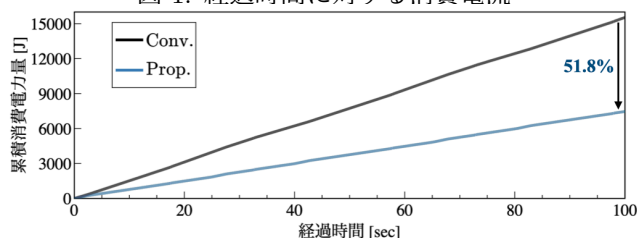


図2: 経過時間に対する累積消費電力量

に高い電流を消費していることがわかる。一方、提案手法(Prop.)では、中継機はいつパケットが到着するかを推定できるため、必要最低限の受信待機の時間でパケットを受信し転送できていることがわかる。図1から受信待機の開始時に消費電流が一時上がり、受信完了後にはすぐにスリープ状態に入ることが確認できる。これにより提案はスリープの時間を長く取ることができていることが分かる。

次に、同じく中継機1台を対象に経過時間に対する累積消費電力量を図2に示す。この時、消費電力量[J]は図1で計測した消費電流と、同じく計測した電源電圧(5.23[V])との積を時間積分することで計算した。どちらの手法も経過時間に対し累積消費電力量は線形に増加するが、提案手法(Prop.)は比較手法(Conv.)に比べ、より緩やかに増加していて5パケット転送終了時で、約51.8%の累積消費電力量を削減できている。これによりLoRaWANなどのバッテリー駆動の中継端末でも、比較手法と比べ約2倍近く長い時間を駆動させ続けることが可能になる。

## 4 まとめ

本稿では、著者らが以前提案したLoRaWANマルチホップ通信における送信制御および同期制御を用いた省電力化の手法をLoRaモジュールに実装し、実機実験により実際に消費電力を抑えつつ通信することが可能であることを示した。

参考文献 [1] 志田洋斗, 蕪木碧仁, 安達宏一, “LoRaWAN マルチホップ通信における送信制御及び同期制御を用いた省電力化に関する検討”, 信学技報, vol. 123, no. 224, RCS2023-130, pp. 13-18, 2023年10月 [2] 株式会社 EASEL, “IoT 製品情報”, <https://ease15.com/service/products-information/documents/modules/>, Accessed: Dec. 27, 2023.