

高集積センサネットワークにおける異種無線を用いた電力効率化の検討

戸澤涼[†] 稲村浩[†] 中村嘉隆[†]

公立はこだて未来大学 システム情報科学部[†]

1. はじめに

無線センサネットワーク (Wireless Sensor Network: WSN) は, Internet of Things (IoT) の発展を支えるネットワーク技術である. センサノードには, 一般にバッテリー駆動という制約があるため省電力化が課題となっている. WSN において省電力で広域カバレッジを特徴とする Low Power, Wide Area (LPWA) 通信規格の一つである LoRaWAN が選択肢として注目されている.

本研究では, WSN 内で複数ノードのグループを自律的に構成し代表がデータを集約し代理送信する手法を基本に遠距離, 近距離において異種通信を使い分けることで, WSN の電力効率化を図る手法を提案する.

2. 関連研究

2.1 LoRaWAN におけるネットワーク効率化のためのノードのグループ構成法と通信制御方式

手柴らが提案する手法[1]は, 送信衝突及び, 消費電力量を抑制しノードのバッテリー寿命を延伸するため, LoRaWAN ゲートウェイとノードの距離, ノード数, 消費電力量をもとにノードのグループを作成し, Group Coordinator と呼ぶノードを経由して通信する. センサノードはネットワーク参加後, 指定されたグループ内のゲートウェイを経由しデータを送信する. 課題としてノード間通信の方法やグループ編成時にシステムにノードの位置を手動で登録しなければならない点が挙げられる. 本研究では, グループ化手法を活かし異種無線を用いた消費電力効率化, 及びノードの情報をを用いて自律的にグループングを行う.

2.2 Power Consumption Analysis of Bluetooth Low Energy Commercial Products and Their Implications for IoT Applications

Eduadora ら は, 2018 年のスマートフォンへの Bluetooth 搭載率が 100%であることを踏まえ, 今後は5G との相互運用が可能になると述べた[2]. 消費電力を分析することで最適な低電力アプリケーションの構築を目的とし, Bluetooth Low Energy (BLE) の送信側 (PD: Peripheral Device), 受信側

(CD: Central Device) それぞれの消費電力の測定値 (表 1) を提示した.

表 1 消費電力 (通信間隔は, 100ms) [2]

種類	A-101 (mW)	Cypress (mW)
PD	0.201	0.423
CD	0.267	0.054

3. 提案手法

3.1 想定する環境

センサデバイスは, 異種無線 (LoRaWAN, BLE) 通信機能を持つことを想定する. LoRaWAN のネットワークは, 3つのコンポーネントからなり, センサノード, ゲートウェイ (GW: Gateway), ネットワーク制御を行うネットワークサーバ (NS: Network Server) で構成されたスター型トポロジである.

3.2 センサノードグループ化の目的と手法

提案手法では, 消費電力の削減, 及びバッテリー残量の平準化の面で消費電力の効率化を図る. 近傍の通信メッセージを代表ノードにて集約し GW ノードまでの長距離伝送の利用を減らすことで省電力化を狙う. 異種無線を用いて, グループ化により代表ノード (GL: Group Leader) がデータを集約する (図 1). 起動時やトポロジ変化後などグループが定義されていない展開時の設定手法と, 稼働中に行われる再構成手法を以下に説明する.

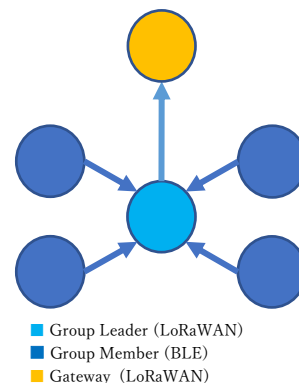


図 1 グループ化のトポロジ

3.2.1 展開時のグループ化アルゴリズム

図 1 のようなトポロジにおいて, センサネットワークが展開される初回起動時にグループを作成する

手法を述べる。GW がセンサノードのトポロジを把握するため、各ノードが周囲のノード情報を探索する。全ノードは起動時に、BLE で自身の情報を発信するとともに、周囲のノード情報を収集し近傍ノードのリストを作成後、GW へ送信する。GW がノード情報を集約後、グループと GL を選出する。GW はノードの固有 ID、及び個々の信号強度を用いて重複ノードのないグループを作成しグループごとに 1 つ GL ノードを選出する。

3.2.2 電力平準化のための自律型再グループ化

グループ化の特徴として、GL はメンバーノード (GM: Group Member) に比べ消費電力が大きい。そのため、GL の入れ替えを行いグループ内の消費電力平準化を図る。GM が GL に、信号強度、通信回数及びセンサデータを送信する。GL は受信時に、バッテリー残量をもとに次の GL を選出したのち、データを集約し GW へ送信する。

3.2.3 グループ化における消費電力モデル式

下記に、図 1 のようなトポロジに於いて、全ノードが LoRaWAN のみを使用する場合 (式 1) と、グループ化により近距離部分は BLE を使用した場合 (式 2) の消費電力を与えるモデル式を示す。ここでは単位時間あたり全ノードが送信すべきデータを保有するものとする。LoRaWAN は、データレート (DR) を七段階で設定可能である。今回は、デフォルトの設定である LoRaWAN (DR2) を実測をもって求める。BLE の値は表 1 の参考値が利用可能である。

$$E = W_{dr2}N \quad (N \geq 2) \quad (1)$$

$$E = W_{dr2} + W_{scan} + (N - 1)W_{adv} \quad (N \geq 2) \quad (2)$$

表 2 モデル式のパラメーター

W_{dr2}	LoRaWAN (DR2) での 1 送信あたりの消費電力量
W_{scan}	BLE Scanner (PD) の消費電力量
W_{adv}	BLE Beacon (CD) の消費電力量
N	グループのノード台数

4. LoRaWAN 利用時の消費電力量の実測

グループ化アルゴリズムの適応点を明らかにするために BLE が LoRa より消費電力において有利になる条件を求める必要がある。下記の実験環境のもと (表 2) 市販の Arduino 互換 LoRaWAN モジュール及び消費電力計を用いて、起動から初回送信、送信、スリープとイベントごとに消費電力を計測した。

表 3 実験環境

GW とセンサノードの距離	3.5km
データレート (LoRaWAN)	2
拡散率 (LoRaWAN)	10

5. 実験結果・考察

実験結果を表に示す。表 1 のデータを参照すると、LoRaWAN の消費電力が BLE の消費電力を大きく上回ることが分かった。

実験の実測値 (表 4) と文献の Cypress の参考値 (表 1) を代入する。結果として 1 送信/分において、提案手法を用いた場合、1 台あたり約 112mW から 89mW の消費電力削減効果が見込める。

表 4 イベントごとの平均時間と平均電力

Event	Time (s)	Power (P)
起動→送信	11	102mW
送信	4.4	116mW
スリープ	None	5.1mW

6. まとめ

本稿では、LoRaWAN を用いた WSN におけるスケラビリティ向上のため、異種無線のグループ化手法を提案した。本手法の実現性確認のために、モデルを立て、評価に必要な消費電力を計測した。結果として、既存手法と提案システムを用いた場合消費電力の観点で有効であることが分かった。

今後の課題として、LoRaWAN は GW への接続台数が増加するとパケット到達率が低下するため、GL の通信タイミングと割り当てる拡散率の検討、グループ化におけるより詳細な消費電力を求めるための BLE のペアリングまでの平均時間等の実測などを行う必要がある。

7. 参考文献

- [1] 手柴瑞基, 湯素華, 小花貞夫: LoRaWAN におけるネットワーク効率化のためのノードのグループ構成法と通信制御方式, 情報処理学会研究報告, Vol.2018-MBL-89, No.13, pp.1~8 (2018)
- [2] Garcia-Espinosa, E., Longoria-Gandara, O., Pegueros-Lepe, I., and Veloz-Guerrero, A.: Power Consumption Analysis of Bluetooth Low Energy Commercial Products and Their Implications for IoT Applications, Electronics, Vol.7, No.12, p.386 (2018)