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

氏名：戸澤涼

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．WSNの用途は幅広く，環境モニタリング（温度・湿度・照度・雨量）等が挙げられる．端末となるセンサノードには，一般に，バッテリ駆動という制約があるためデバイスの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．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）で構成されている．

特徴として，スター型のトポロジや免許不要の周波帯を利用しているためネットワーネットワーク構築が低コストで可能であること等が挙げられる．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．

1. **関連研究**
   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寿命を延伸するため，GW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．通信が可能なクラスBのデバイスを想定し，センサデバイスはネットワークに参加後，指定されたグループ内のGWを経由しデータを送信する．任意のタイミングでグループの再構成を行う．課題としてノード間通信の方法やグループ編成時にネットワークサーバにノードの位置を手動で登録しなければならない点あげられる．そこで本研究では，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用いて自律的にグルーピングを行う．

* 1. **Power Consumption Analysis of Bluetooth Low Energy Commercial Products and Their Implications for IoT Applications**

Eduaedora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，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 |

1. **提案手法**
   1. **想定する環境**

センサデバイスは，異種無線（LoRaWAN，BLE）通信機能を持つモジュールを搭載することを想定する．

* 1. **センサノードグループ化の必要性**

提案手法では，消費電力の削減，及びバッテリ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．管理コストを削減するためバッテリ交換のタイミングは同時にまとめて行える方が良く，ノード間でのバッテリ残量の平準化の実現が望ましい．そのため，異種無線（LoRaWAN，BLE）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.

■ Leader Node (LoRaWAN)

**■** Member Node (BLE)

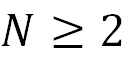
■ Gateway Node (LoRaWAN)

図１ グループ化のトポロジ

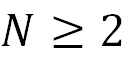
* + 1. **グループ化における消費電力モデル式**

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を使用した場合の消費電力を与える場合 (式２) のモデル式を記載する．LoRaWAN (DR2) は実測をもって求める．BLEの値については，表１の参考値が利用可能である．

**式１　LoRaWANのみの従来手法　()**



**式２　BLEを用いた提案手法　()**



**表２　モデル式のパラメーター**

|  |  |
| --- | --- |
|  | LoRaWAN（DR2）での １送信あたりの消費電力量 |
|  | BLE Scanner（PD）の消費電力量 |
|  | BLE Beacon（CD）の消費電力量 |
|  | グループのノード台数 |

* + 1. **センサネットワーク展開時のグループ化アルゴリズム**

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．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した後，NSへ送信する．GWがノード情報を集約した後，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．

* + 1. **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．

1. **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との距離 | 3.5km |
| データレート（LoRaWAN） | 2 |
| 拡散率（LoRaWAN） | 10 |

1. **実験結果・考察**

実験結果を表に示す．結果と表1より，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．送信時における消費電力をLoRaWANのみと提案手法を用いた場合でモデル式 (式1)を作成した．

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 |

1. **最後に**

本稿では，LoRaWANを用いたWSNにおけるスケー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の通信タイミングや割り当てる拡散率の検討． グループ化において，より詳細な消費電力を求めるためBLEのペアリングまでの平均時間等を実測する必要がある．

1. **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, Vol.2018-MBL-89, No.13, pp.1~8 (2018)

[2] Eduardo Garcia-Espinosa, Omar Longoria-Gandara, Ioseth Pegueros-Lepe, Arturo Veloz-Guerrero.: Power Consumption Analysis of Bluetooth Low Energy Commercial Products and Their Implications for IoT Applications, Electronics, Vol.7, No.12, pp.386 (2018)