

# 鉄道設備状態監視システムにおける 無線センサネットワークのバッテリー寿命予測手法

岩澤永照<sup>†</sup> 羽田明生<sup>†</sup>

鉄道総合技術研究所 信号・情報技術研究部<sup>†</sup>

## 1. はじめに

近年の情報通信技術，センサ技術の急速な発展に伴い，社会の様々な環境に多数のセンサを配置しネットワーク化した，センサネットワークに関する研究開発がさかんに行われている。中でも近年注目されているのが，無線通信機能を備えた多数のセンサノードから構成される無線センサネットワーク（WSN）である[1]。その適用範囲は多岐に広がり，鉄道分野においても見落とし防止や経年変化の把握のために WSN による状態監視に関する研究が行われている[2]。

鉄道現場における WSN では，固定電源から電力供給することが必ずしも容易ではないため，センサノードはバッテリー駆動であることが一般的である。経年変化の把握を目的とした WSN は長期運用が前提となるため，センサノードのバッテリーの枯渇という問題が発生し，バッテリー交換が必要となる。しかしながら，鉄道現場におけるバッテリー交換には多額の費用が必要となるため，WSN の長期運用を効率化するためには適切なバッテリー交換戦略を策定することが求められる。また，バッテリー交換戦略を策定するためには，各センサノードのバッテリー寿命を適切に把握・予測する必要がある。一方，各センサノードのバッテリーの電力負荷は，動的に変動する設置環境やルーティングプロトコルなどの影響を受けるため，動的にバッテリー寿命を予測することが重要な課題となる。

通常，動的にバッテリー寿命を予測するためには，経路情報を取得する必要があるが，経路情報の常時取得はトラヒックを増大させてしまい，ネットワーク全体の電力負荷を増大させてしまう。そこで，本研究では，バッテリー寿命予測に必要な電力負荷をできる限り抑えるために，各センサノードにおいて一定期間に送信した総パケット数情報を用いたバッテリー寿命予測手法に

ついて考察する。

## 2. 諸定義

本研究で用いる用語について定義を行う。

**センサノード**：バッテリー駆動であり，センサ機能と無線機能と計算機能を備えているものとする。また，必ずしもセンシングする必要はなく，データを転送するだけの中継ノードとして運用することも可能であるものとする。

**ゲートウェイ**：AC 電源駆動であり，センサノードからの情報を集約するものとする。

**ノード**：センサノードとゲートウェイを区別しない場合は，これらをノードと呼ぶものとする。

**エッジ**：ノード間の通信路をエッジと呼び，エッジは有向辺で表され，始点から終点にデータを転送できることを示すものとする。

**パス**：終点がゲートウェイで，その他は全てセンサノードであるノード列で，このノード列に含まれる全ての隣接ノードにエッジが存在する場合，このノード列をパスと呼ぶものとする。

## 3. 問題設定

本研究における無線センサネットワークでは，センサノードとゲートウェイからなるネットワークを想定する。また，パスに沿ってデータを送信する場合，パケットロスやループは生じないものとする。対象とするネットワークの構成例を図1に示す。図1において，ノード A は，ノード B とノード C にデータを送信できることを示している。

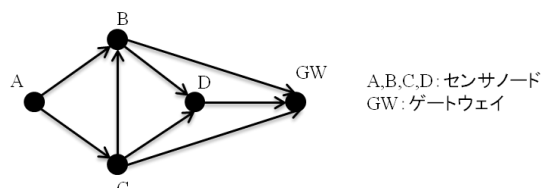


図1：ネットワークの構成例

バッテリー枯渇などの原因によりセンサノード

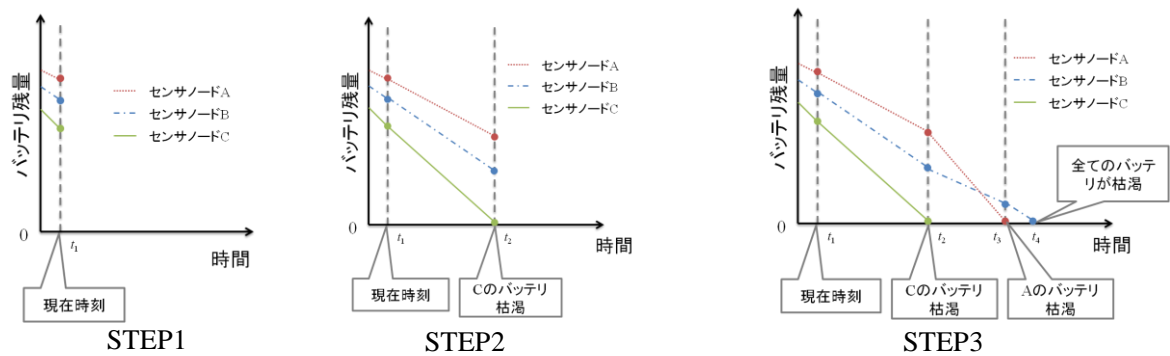


図2：バッテリー寿命予測

の機能が停止すると、ネットワークトポロジが変化する。また、ネットワークトポロジの変化は、各ノードにおける電力負荷に影響を与える。例えば、図1においてノードAがノードBとノードCにデータを送信している場合、ノードBが停止すると、これまでノードBを経由していたデータについてもノードCを経由することになるため、ノードCの電力負荷が増大する。

通常、センサノードから送信されるパケットには経路情報が含まれておらず、アドホックなネットワークにおいてはどのセンサノードに電力負荷が集中しているのかを推測するのは難しい。一方、既述のように、経路情報の常時取得はネットワーク全体の電力負荷を増大させてしまう。そこで本研究では、各センサノードにおいて、一定期間に送信したパケット数をカウントし、この情報を利用してバッテリー枯渇によるセンサノード停止の影響を考慮した各センサノードのバッテリー寿命を予測する手法を提案する。

#### 4. 提案手法

本稿では、バッテリー寿命予測手法について、以下に概要を述べ、詳細は省略する。

最初に、各センサノードにおいて一定期間に送信した各センサノードのパケット数から各エッジのパケットフロー量を推定する。次に、その推定量に基づき、各センサノードの使用電力を見積もる。その使用電力からバッテリー寿命を予測する。バッテリー寿命予測の手順については後述する。

まず、パケットフロー量を推定するための、入出力情報と制約条件について述べる。

入力：

- ・ ノード集合
- ・ エッジ集合
- ・ 各センサノードにおける一定期間の送信パケット数
- ・ 各センサノードにおける一定期間のセンシングデータ数

制約条件：

- ・ すべてのセンサノードにおいて、一定期間のセンシングデータ数と受信パケットの和は送信パケット数に等しい。

出力：

- ・ 各エッジのパケットフロー量

次に、バッテリー寿命予測の手順について述べる。

まず、各センサノードにおけるパケット送信数を取得し、現在時刻における各センサノードのバッテリー残量を推定する(図2\_STEP1)。次に、前述の各エッジのパケットフロー量に基づき、各センサノードの使用電力を推定し、最初にバッテリーが枯渇するセンサノードおよびその時刻とその時刻における他のセンサノードのバッテリー残量を推定する(図2\_STEP2)。ここで、バッテリーが枯渇したセンサノードを除去したネットワークにおける各エッジのパケットフロー量を算出する。この操作を全てのセンサノードのバッテリーが枯渇するまで繰り返す(図2\_STEP3)。

#### 5. まとめ

長期運用が想定される鉄道現場の設備状態監視では、センサノードのバッテリー枯渇が問題となるため、効率的なバッテリー交換戦略が求められる。そこで本研究では、バッテリー交換戦略策定に必要なバッテリー寿命を推定する手法を提案した。今後は提案手法の精度向上に関する検討と共に、提案手法を組み込んだシステムの開発を進めていきたい。

参考文献

- [1] I.F. Akyildiz et al., "Wireless sensor networks: a survey," *Computer Networks*, Vol. 38, No.4, pp. 393-422, 2002.
- [2] K. Chebrolu et al., "BriMon: A Sensor Network System for Railway Bridge Monitoring," in Proc. 6<sup>th</sup> *International conference on Mobile Systems*, Jun., pp. 2-14, 2008.