

## ABS-2-10

## ノードの交換が容易なセンサネットワークに関する考察

## Discussions on Sustainable Sensor Networks with Easy Node Exchangeability

湯浅雄一 萬代雅希 渡辺尚  
Yuichi Yuasa Masaki Bandai Takashi Watanabe

静岡大学情報学部  
Faculty of Informatics, Shizuoka University

## 1. はじめに

近年、環境観測等への応用を目的としたセンサネットワークが各所で研究されている[1]。センサノード[2]はバッテリー駆動であり、バッテリーが枯渇すればノードの交換が必要となる。また、過酷な環境条件による劣化や新型デバイスが開発された場合にもノードの交換が必要となる。本研究では、センサネットワークを長期的に運用するために、交換を容易にするセンサネットワークの構築方法を提案し、考察する。

## 2. 関連研究

従来の研究では、センサノードのバッテリー制約を重要な問題と考え、ノードの消費電力を削減する手法が検討されている。ネットワーク寿命を延長するために、ネットワーク全体として消費電力を均一化する手法が主流である。つまり、センサノードは一度設置されるとバッテリーが尽きるまで使用され、その後はネットワーク全体のノードを設置し直すことになる。

本研究では、センサネットワークの部分的なノード群のバッテリーを使いいきり、交換対象を限定することで交換を容易にし、連続稼動を可能にする方法を検討する。

## 3. 提案方式

## 3-1. MAC プロトコル

最初にセンサノードを設置する際に各センサをいくつかのクラスに分類する。以下は2クラス(A,B)の例である。まず、クラスAのセンサノード群が省電力化を図ったスケジューリング方式(S-MAC[3]等)によるデータ送受信を行う。クラスBは非常に長いsleep期間とし、active状態時にクラスAのバッテリー状況等を観測する。クラスAのセンサノード群の交換が必要になると、クラスBがクラスAの代わりに稼動状態になる。そして、クラスAのセンサノード群を交換し、クラスBのバッテリー状況等を観測させる。この方式では、センサネットワークの連続稼動は可能である。ただし、交換対象がネットワーク全体に散在するクラスAのノードとなる。

## 3-2. ルーティング方式

提案方式の概念図を図1に示す。センサネットワークを地理的範囲に基づいてゾーンに分割する。まず、シンクまでゾーンAを経由するようにルーティングを行う。ゾーンAを主中継領域と呼ぶ。センサノードは自身の観測情報の送信と他ノードの情報中継を行う。これにより、ゾーンAの電力が他のゾーンより先に枯渇するため、交換、再配置する。次にバッテリー残量が最も少ないゾーンを、主中継領域とし、ルーティングを行う。図1では、時刻 $t_2$ よりゾ

ンBが主中継領域となる。なお、シンクから近いセンサノードのバッテリーが先に枯渇する状態を防ぐ方策として、データ集約方式を検討する。

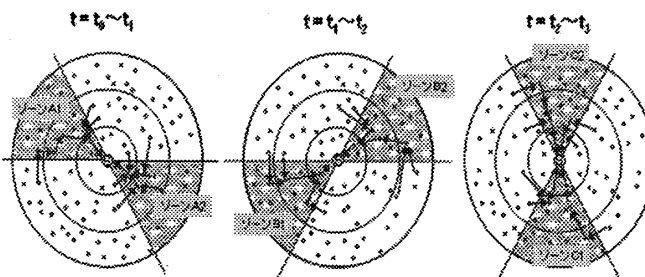


図1: 送信経路を指定するルーティング

## 3-3. シンク移動による方式

シンクから指示を出せる場合には、先に電力を消費すべき領域をシンクが指定する。また、シンクに近いノード群は多くのトラフィックを中継することが多い。シンクが移動できる場合、図2のように電力消費の激しい領域を局所化することができる。

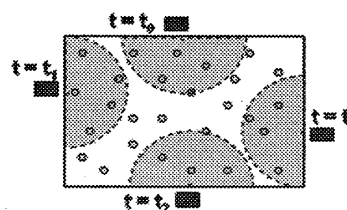


図2: シンク移動による方式

## 4. 基礎評価

計算機シミュレーションによる基礎評価を行った。今回は、基礎評価として3-2のルーティング方式を実装した。

ルーティング方式を実装するにあたって、センサノードの配置は図3のような評価環境を想定した。各センサノードは間隔を50mとし、6×6の格子型配置とした。点線で囲まれた3つのゾーンをA,B,Cと定義する。各ゾーンともシンクに最も近いノードがシンクと通信できるものとする。表1は評価パラメータである。送信半径は110m。バッテリー量の初期値を1000。バッテリーは、1回の送信につき2(中継する場合も同様)、受信は1を消費するものとする。各センサノードの観測情報の送信はポアソン過程に従うものとする。

各センサノードは自身のゾーンIDを持っている。そして、1ホップで送信可能な同じゾーンと隣接ゾーンのセンサノードのゾーンIDとノードIDを知っているものとする。さらに同じゾーンIDのノードのみを経由する場合のシン

## 2005年電子情報通信学会総合大会

クまでのホップ数を知っている。送信経路は、主中継領域の ID を指定し、各ノードが自身のゾーン ID と比較し、隣接ゾーンの中で主中継領域に近い方のゾーンの中で通信可能なノードを選んで送信する。主中継領域ではホップ数の小さいセンサノードをランダムに選んで送信するものとする。

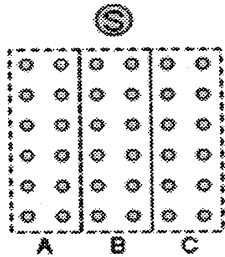


図 3: 評価環境

表 1: 評価パラメータ

ノード	6×6 格子配置 (間隔 50m)
通信範囲	110m
バッテリー量	1000
バッテリー消費	送信: 2 受信: 1
データ	ポアソン発生

基礎評価として、3つのゾーン(A,B,C)の中の1つを1番最初的主中継領域としてシンクまで送信し、各ゾーンの平均バッテリー残量を比較する。また、各ゾーンをさらに3つに分割し、ネットワーク全体を9つのゾーンに分割し、平均バッテリー残量の比率も比較する。このゾーンを細分ゾーンと呼ぶ。センサノードの交換必要時の目安として、ゾーン全体の平均バッテリー残量が10分の1となった時とし、交換必要時の細分ゾーンのバッテリー残量比率を求めた。比率は、9つの細分ゾーンの中で最も平均バッテリー残量が少ない細分ゾーンの平均バッテリー残量を1として比較する。

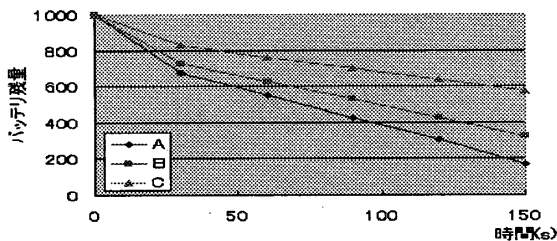


図 4.1: 一番最初的主中継領域が A の場合のゾーン全体の平均バッテリー残量の変化

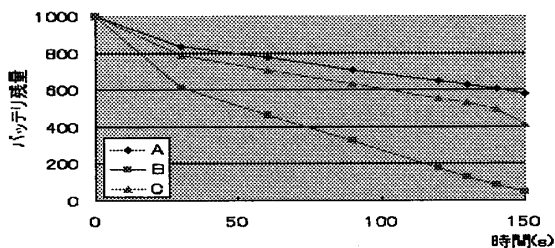


図 4.2: 一番最初的主中継領域が B の場合のゾーン全体の平均バッテリー残量の変化

2	5	10	12	2	10	11	5	3
1	4	10	12	1	10	10	5	1
2	5	10	12	2	10	11	6	1

図 5: 交換必要時の細分ゾーンの平均バッテリー残量比率  
 左: 1番最初的主中継領域をゾーン A とした場合  
 中: 1番最初的主中継領域をゾーン B とした場合  
 右: 1番最初的主中継領域をゾーン C とした場合

図 4.1, 4.2 より、主中継領域に基づいたルーティングを行うことで、各ゾーンの消費電力を偏らせることができた。また、主中継領域が A の場合は、交換必要時となる 150 秒の時の各ゾーンの平均バッテリー残量比率が A:B:C = 1:2:3 となっていることがわかる。これは、データの中継に伴っていると考えられる。C の場合は、A と C を入れ替えた結果とほぼ同じになる。B の場合は、データの中継を B だけするため、他のゾーンに比べて極端に平均バッテリー残量が減少している。図 5 より、各ゾーン内の細分ゾーンでも、平均バッテリー残量の比率に極端な差はない。各ゾーンの中で真ん中の細分ゾーンの比率が低い結果は、隣接ゾーンに送信する際、通信可能範囲に入るセンサノードが他の細分ゾーンより多いためと考えられる。

これらより、ルーティング方式では交換対象が地理的範囲に限定され、センサノードの交換が容易なネットワークの構築に有効であるといえる。また、交換が可能であることは、省電力化の制約も緩和できると考えられる。さらに、ゾーンをシンクに対して縦に分割することで、交換中にネットワークが分断される状態にもならず、長期的連続稼動にも有効であるといえる。

### 5. アプリケーション

土木工学の分野において、橋の橋脚等にセンサノードを埋め込み、橋脚内の構造疲労等による状態を監視できる技術が検討されている[4]。また、医療等の分野においては、瞬断をも許さない連続稼動が要求されることもある。環境観測の目的でセンサノードを自然界に撒くことは、環境汚染を引き起こすことも考えられる。

本研究では、センサネットワークの部分的なノード群を交換可能にするため、橋や建物に埋め込まれ、交換が容易にできない環境や連続稼動が必要な環境、センサノードを交換することを前提としているため、自然環境での適用に多くの利点を持つセンサネットワークが構築できると考えられる。

### 6. おわりに

本研究では、センサノードの交換が容易なセンサネットワークの構築について、MAC 方式やルーティング方式等から検討した。今回、その中のルーティング方式で基礎評価を行った。交換が必要となるセンサノードが地理的範囲で分割したゾーンで包括でき、その有効性を示した。今後、MAC 方式等での検討や交換を繰り返し行いながらの連続稼動方法、省電力化を図っている従来研究との電力消費の違いを検討する。

#### 参考文献

- [1] Ian F. Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramaniam, Erdal Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," Proc. IEEE Communications Magazine, Aug 2002.
- [2] <http://www.analog.com>
- [3] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks," IEEE INFOCOM 2002.
- [4] New bridge in Greece is big and tough? and smart, too, IEEE Spectrum, pp.16-17, July 2004.