

再充電機能を有する無線センサ端末群からのセンシング情報収集機構

○池田 光佑*¹ 中川 真吾*¹
宇谷 明秀*²

キーワード：無線センサネットワーク 再充電 長期間運用

要旨

ユビキタス情報化社会の実現の手段の一つとして、無線センサネットワークが注目されている。無線センサネットワークでは、数百から数千ものセンサノードを観測領域内に設置し、そのセンシング情報をシンクノードまで転送することで大規模領域の状態観測を実現する。無線センサネットワークでは大きく2種類に分けて考えることができる。有害物質などの異常を検出した特定のセンサノードのみの情報を収集する異常値検出型無線センサネットワークと、放射線量などの環境観測に用いられるネットワークを構成する全センサノードから定期的にその測定データを収集するモニタリング型無線センサネットワークである。東日本大震災以降、モニタリング型無線センサネットワークへの関心が益々高まっている。しかし、各センサ端末のバッテリー駆動だけでは観測期間に限界が生じる。そのため、本研究では各センサ端末にソーラー充電機能を組み込み、それに適応させた方式を提案する。また提案方式の有効性を評価実験を通して検証する。

1. はじめに

近年、無線通信技術の発展に伴い、無線通信能力を有する小型センサノードが開発され、これら無線センサノードを用いて構成される無線センサネットワークが注目を浴びている[1,2]。無線センサネットワークは、数百から数千ものセンサを用いてネットワークを構成し、センサノードにおいて観測された情報(一般的に温度、光、音など)をセンサノード間の無線通信によってシンクノードに集めることで、大規模領域の環境観測を実現する。無線センサネットワークでは大きく2種類に分けて考えることができる。有害物質などの異常を検出した特定のセンサノードのみの情報を収集する異常値検出型無線センサネットワークと、放射線量の測定などの環境観測に用いられるネットワークを構成する全センサノードから定期的にその測定データを収集するモニタリング型無線センサネットワークである。東日本大震災以降、モニタリング型無線センサネットワークへの関心が益々高まっている。モニタリング型の無線センサネットワークでは、ネットワークを構成する全ノードから定期的にその測定データを収集するため、既往の異常値検出型のデータ収集方式[3]では、その長期間運用を実現することが難しい。本研究ではモニタリング型

無線センサネットワークの有効運用期間の延長を目的としたデータ収集機構を提案し、シミュレーション実験を通してその有効性を検証する。

本論文の構成は以下の通りである。まず2章では異常値検出型のデータ収集方式である自律的負荷分散データ転送方式の概要と詳細な説明を行う。次に3章で電力回復機能を組み込んだ提案方式を詳述する。4章ではシミュレーション実験による評価の結果を紹介し、既往の方式との比較を通して提案方式の有効性を示す。最後に5章で本論文のまとめ、及び今後の展望を述べる。

2. 自律的負荷分散データ転送方式

文献[3]の方式について概説する。この方式は、「無線センサネットワークの利用環境」を「局所近傍での構成要素の相互作用のみからシステム全体の適応的調整が創発的に実現されるシステム環境」いわゆる「複雑系」と捉えることで考案された自律的負荷分散データ転送方式である。この方式は宛先指定のデータ転送方式ではない。文献[2]の方式において、各ノードの中継先としての価値はホップカウントと残余電力によって決定されるメトリック値(本稿ではこの値を接続評価値と呼ぶ)によって評価される。各ノードは残余電力を考慮することによって更新されるこの接続評価値を頼りにデータを転送する。この繰り返しによって、結果的にいずれかのシンクに到達する。

2. 1 データ収集環境の構築

各シンクノードは自身への価値と呼ぶ、固有の接続評価値を有する。初期状態において、各シンクノードはこの自身への価値を含むデータをネットワーク全体にフラッシングする。個々のノードはデータを受信することで各シンクノードの自身への価値とホップカウントを知り、これらの情報をもとに接続評価値を導出する。

あるノード(i)の初期状態における接続評価値導出手順を以下に示す。各シンクノード($j=1, \dots, S$)に対する評価値 $[v_{ij}(0)]$ を次式によって算出する。

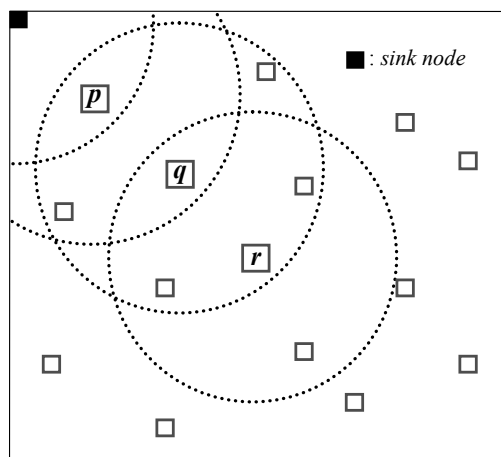
$$v_{ij}(0) = v_{0j} \times dr^{hops_{ij}} \quad (j=1, \dots, S) \quad (1)$$

ここで、 $v_{0j}(j=1, \dots, S)$ はシンクノード(j)が有する自身への価値、 $hops_{ij}(j=1, \dots, S)$ はノード(i)のシンクノード(j)に対するホップカウント、パラメータ(dr)はホップに伴う

評価値の減衰率 ($0 < dr < 1$) を表す. 提案方式では式(1)によって算出された評価値の中の最大値 [$\max v_{ij}(0)$] を初期状態におけるノード (i) の接続評価値 [$v_i(0)$] とする. なお, この接続評価値 [$v_i(0)$] に関しては次式が成立する.

$$v_i(0) = vm_i(0) \times dr \quad (2)$$

ここで, $vm_i(0)$ は初期状態におけるノード (i) の隣接ノード群内の最大接続評価値を表す. 初期状態において, 個々ノードは式(1)に基づき書く隣接ノードの接続評価値を導出し, これらの値を自身の経路テーブルの所定のフィールドに格納する. 各ノードは隣接ノード (ID) とその中継先としての価値を表す1つの接続評価値の組のみで構成される経路テーブルを構築する.



node <i>p</i> routing table		
Next Hop		
Sink node	node <i>q</i>	...
100	25	...

node <i>q</i> routing table		
Next Hop		
node <i>p</i>	node <i>r</i>	...
50	12.5	...

node <i>r</i> routing table		
Next Hop		
node <i>q</i>
25

図1 データ収集環境の構築

図1は, 各シンクノードが有する自身への価値を ($v_0=$) 100, ホップに伴う減衰率を ($dr=$) 0.5とした場合の接続評価値の散布例である. 各ノードにおいて, 適当な時間間隔をとって, シンクノードが有する「自身への価値」が減衰しながら周囲のノードに効率的に拡散する. シンクノード付近のノードは遠方に位置するノードよりも高い接続評価値を獲得することになる.

2. 2 データ転送と経路テーブル更新

各ノードにおけるデータパケットの転送とそれに伴う接続評価値の更新について述べる. 自律的負荷分散データ転送方式ではデータパケットの転送に際し, 隣接ノードのうち接続評価値が最大のノードを選択してデータパケットを転送するものとする. ただし, 接続評価値が最大のノードが複数存在する場合は, その中からランダムに転送先ノードを決定する. また, 各ノードの接続評価値は, ノードの残余電力を考慮して更新される.

自律適応的な負荷分散データ転送を実現するために, データの転送に際し, 各ノードは次式によって更新される自身の接続評価値の最新値をデータに加えて創出する. 転送元ノードを (l) として, 接続評価値の更新値算出式を以下に示す.

$$v_l(t) = vm_l(t) \times dr \times \frac{E_l'(t)}{E} \quad (3)$$

ここで, $vm_l(t)$ はデータ転送時 (t) におけるノード (l) の経路テーブル内の最大接続評価値, $E_l'(t)$ はデータ転送時のノード (l) の残余電力, E は各ノードのバッテリー容量を表す.

接続評価値が最大の隣接ノードを転送先として送出されたデータは, 隣接する全ノードに傍受され, 転送元ノードの接続評価値の更新値を自身の経路テーブルに格納し, 転送元ノードの接続評価値を更新する.

この自律的負荷分散データ転送方式において, 接続評価値が最大のノードを宛先として送出されたデータパケットは, 隣接する全てのノードにおいて傍受される. データ転送元ノードの残余電力を考慮した接続評価値の更新値を含むこのデータパケットを傍受した各隣接ノードでは, 接続評価値の更新値を経路テーブルに格納し, データ転送元ノードの接続評価値を更新する.

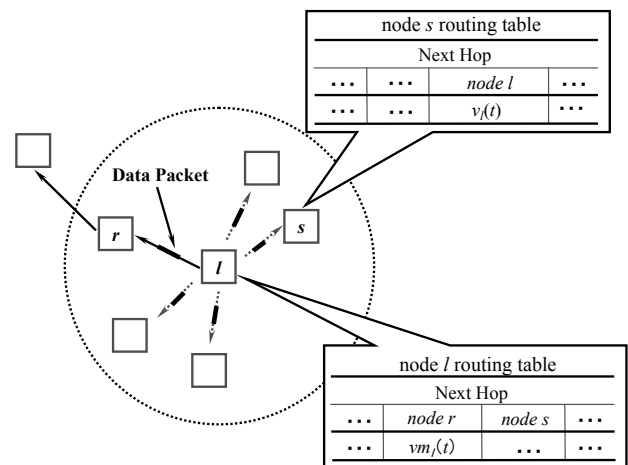


図2 データパケットの転送に伴う接続評価値の更新

図2は接続評価値が最大のノードを宛先とするデータパ

ケットの転送とそれに伴う接続評価値の更新の様子である。この図の例において、ノード(l)は自身の経路テーブルを参照し、接続評価値が最大のノード(r)を宛先としてデータパケットを送出する。このデータパケットを傍受したノード(l)の各隣接ノードでは、式(3)によって算出された接続評価値の更新値 v_l を経路テーブル内のNext Hop $node(l)$ のフィールドに格納する。

2. 3 自律的負荷分散データ転送方式の優位性

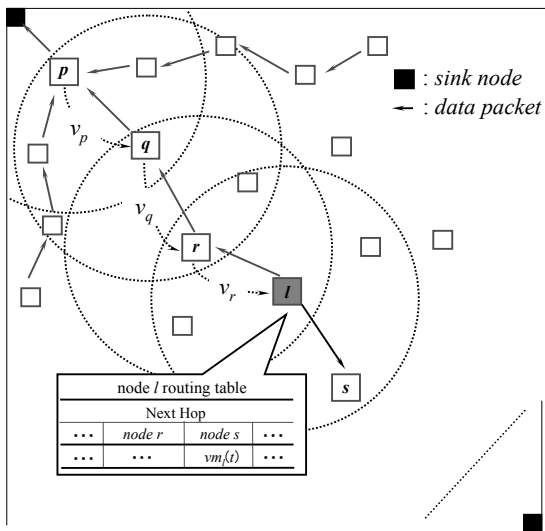


図3 データパケットの転送

自律的負荷分散データ転送方式は「局所近傍における構成要素の相互作用のみからシステム全体の適応的調整が創発的に実現される複雑系」の概念に着想を得て考案されたデータ転送方式である。図3はこの方式におけるデータ転送の例である。この例において、ノード(s)はデータ転送開始時には接続評価値が最大のノード(r)を宛先としてデータパケットを送出している。しかし、データ転送を繰り返している間に、負荷集中ノードであるノード(p)を含むデータ転送ノードの残余電力を考慮したフェロモンの更新値がノード(s)に伝わってくる。この図は、接続評価値の更新値の伝播によってノード(s)の経路テーブルが書き換えられ、最大接続評価値のノードはノード(l)に変わることによって、データ転送先がノード(l)に自律的にスイッチングされることを表している。

自律的負荷分散データ転送方式ではノードの残余電力を考慮した上記の接続評価値の更新処理が導入されているため、接続評価値が最大のノードを選択し続けても、データ転送経路が固定化される心配はない。それ以上に、電力消費が進み離脱しそうなノードを積極的に避けるように転送先を決定することができるため、確率に変換しその確率に応じて次ノードを選択する方式を導入しなくても、頑健性は十分担保され、特定のノードへの負荷集中も回避

される。

3. 提案方式

自律的負荷分散データ転送方式では、図3のように特定のノードのみが測定データをシンクノードに収集する状況を想定した場合、複数の経路、複数のシンクノードを使った自律適応的な負荷分散データ転送が実現し、制御通信負荷の軽減と負荷集中ノード問題を改善することができる。しかし、自立的負荷分散データ転送方式では、電力が回復する場合のことが考慮されていない。特定のノードの電力容量が無くなり離脱した場合、各隣接ノードの評価値は0になり、離脱ノードへ向けてデータが送信されることはなくなる。しかし電力が回復し、データ送信機能を有したとしても、各隣接ノードから改めてデータ転送されることがなくネットワークに復帰することができない。本研究では自律的負荷分散データ転送方式に、離脱したノードにLife check messageを送信させ再度ネットワークに接続させる。

3. 1 Life check message

Life check messageは離脱ノードがデータ送信可能電力になるまで電力回復された際、隣接ノードのみに送信される。送信される情報は式(3)で算出された接続評価値である。Life check messageを受け取った各隣接ノードは、自身の経路テーブルに格納し、転送元ノードの接続評価値を更新し、離脱ノードはネットワークに復帰する。

4. シミュレーション実験

全センサノードの測定データを定期的にシンクノードで収集する状況を想定した。実験の設定値を表1に示す。本実験では図4のように2つのシンクノードを観測領域の角に配置した。電力回復量はSensing data sizeに対してX%とし、4パターン比較した。

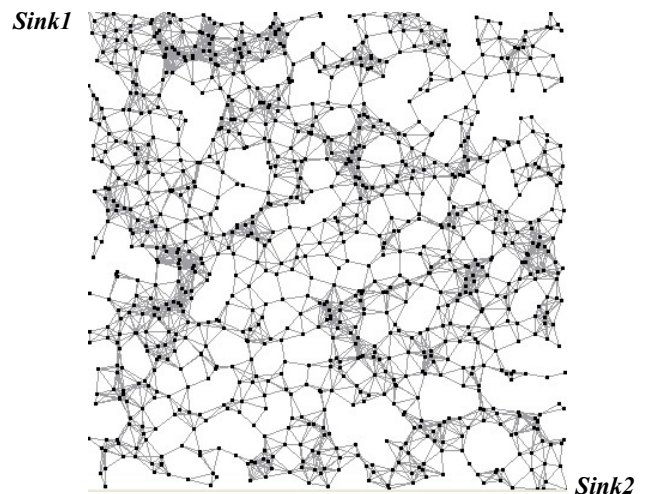


図4 実験環境

表1 実験の設定値

Simulation size	2,400m × 2,400m
The number of sensor nodes	1,000
Range of radio wave	150m
The number of sinks	2
Power restoration	0,10,30,50%

4. 1 実験結果及び考察

データ転送10000回付近の経路図を図5, 図6に示す. 図中の太線で描かれた各ノード間のリンクは, 残電力量が10%を下回った状態を示す. 図5は電力回復なしの場合, 図6は電力回復量10%の場合である. 図5より, 電力回復なしの場合ではシンクノードまでの経路が構築されずデータ転送が完了していない. また自律的負荷分散データ転送方式の特徴により, シンクノードにたどり着けなかったデータは各ノード間をさまようことになり, 全体的に電力が消費されている. 図6より, 電力回復環境下においてもデータ転送が正常に行われていることが確認できる.

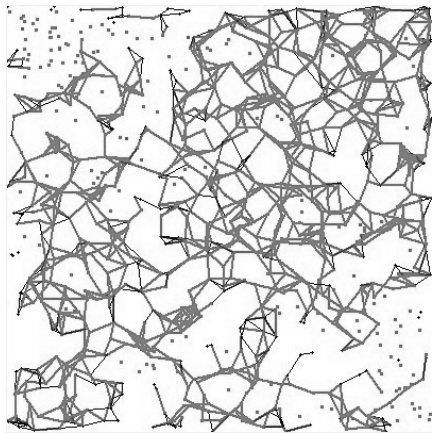


図5 電力回復なしの経路図

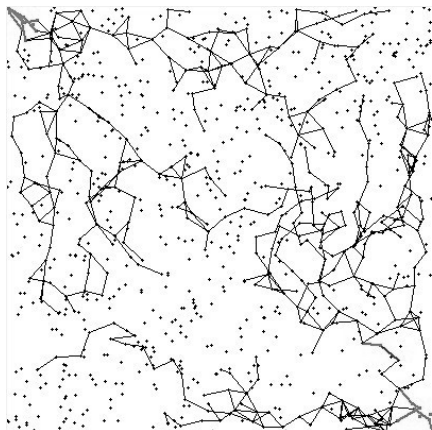


図6 電力回復10%の経路図

各電力回復量における配送率を図7に示す. 図7より, 電力回復が行われる場合では, その電力回復量に応じて配送率に変化している. 本シミュレーション環境においては, Sensing data sizeに対して50%の電力回復量を有すれば配送率100%を維持できる. 自律的負荷分散データ転送方式では, 残電力量が多いノードから経路に選ばれ, データ転送が行われるたびに新しい経路が作られる. そのため電力回復量がSensing data sizeよりも下回っていたとしても, 負荷が分散し高い配送率を維持できたと考えられる.

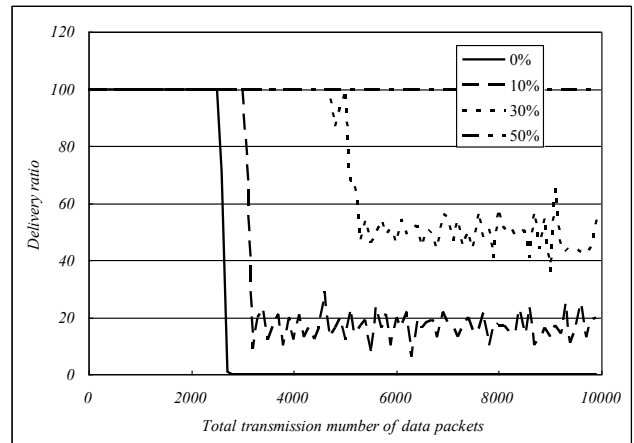


図7 配送率

5. おわりに

本研究では, 自律的負荷分散データ転送方式を電力回復が行われる環境に適応させ, シミュレーション結果を示した. 提案ではLife check messageを取り入れ, 効果を検証した. 今後は様々な実験環境でのシミュレーション, Life check messageを送信するタイミングを変化させた場合の実験を行う予定である.

[参考文献]

- 1) I. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci : Wireless sensor networks: A survey, Computer Networks Journal (Elsevier), Vol. 38, No. 4, pp. 393-422, 2002.
- 2) R. Rajagopalan and P. K. Varshney, Data aggregation techniques in sensor networks: A survey, IEEE Communications Surveys and Tutorials, vol. 8, pp. 48-63, 2006.
- 3) 宇谷明秀, 山本尚生: 複数シンク無線センサネットワークにおける自律的負荷分散データ転送方式, 信学論(D), vol. J93-D, no. 6, pp. 1056-1060, 2010.

*1 東京都市大学工学研究科 博士前期課程

*2 東京都市大学 准教授 博士(工学)