

# 複数シンク無線センサネットワークにおける 効率性と負荷分散性を考慮したデータ収集機構

織戸 英佑<sup>†</sup> 宇谷 明秀<sup>‡</sup> 山本 尚生<sup>‡</sup>

武蔵工業大学大学院工学研究科<sup>†</sup> 武蔵工業大学知識工学部<sup>‡</sup>

## 1. はじめに

自然環境観測, 居住空間や工場の監視や制御のための手段として無線センサネットワーク (Wireless Sensor Networks; WSN) が注目されている. この WSN の長期間運用を実現するには, 経路制御やデータ収集の効率性だけでなく, 各ノードの通信処理負荷の分散性を有する通信方式 (またはデータ収集機構) が必要となる. 近年, これらの要件を満たす方式として, Ant-based Routing algorithms が見直され再評価されてきている [1], [2]. しかし, WSN の長期間運用における問題点の一つである「特定のノードへの負荷集中問題」を積極的に軽減する方式ではない. 本稿では負荷集中ノードの負荷を適応的に軽減し, WSN の長期間運用を実現するデータ収集機構を提案する.

## 2. Ant-based Routing algorithms

Ant-based Routing algorithms は, 蓄積型と評価値型の 2 つに大別することができる.

### 2. 1 蓄積型の経路制御方式

WSN に対して効果的に用いることができる蓄積型の最新方式として, 文献 [1] の方式を挙げることができる. 本稿では, この最新方式を Modified Uniform Ant Algorithm (MUAA) と呼ぶ.

各ノードは, 確率経路テーブルを有し, 確率的にデータ転送先を決定する. 各シンクノードは, 各ノードの経路テーブルを更新するために, ネットワーク内をランダムに移動する制御メッセージ (Control Messages; CM) を定期的に出す. 各ノードの経路テーブルは次式によって更新される.

$$\Delta p = \frac{w}{f(c)} (w > 0) \quad (1)$$

$$p_j = \begin{cases} \frac{p_j + \Delta p}{1 + \Delta p}, & \text{if } j = l \\ \frac{p_j}{1 + \Delta p}, & \text{if } j \neq l \quad j \in \text{neighbor of } k \end{cases} \quad (2)$$

これは, ノード  $k$  がその次ノード候補  $j$  からの CM を受信した場合の確率更新式である. ここで  $f(c)$  は, CM が通過した経路のコスト ( $c$ ) に関する単調増加関数であり,  $w$  は学習率である.

MUAA はこの枠組みにおいて, 1) CM の TTL 多段階化,

2) CM の効率の移動, 3) データ転送確率更新式の見直し の 3 方策を導入した方式である.

### 2. 2 評価値型の経路制御方式

評価値型の最新方式として, 我々の提案した文献 [2] の方式を概観する. この方式は, CM (アリ) 間で情報を共有し, 効率的に経路の学習を行う方式である. 蓄積型の方式と比べて, 各ノードの経路制御負荷の大幅な低減が実現している. 本稿では, この方式を Advanced Ant-based Routing algorithms (AAR) と呼ぶ.

各ノードはシンクノード (DN $_i$ ) と次ノード候補 (NH $_j$ ), 及びそれらのメトリクスとなる接続評価値  $v_{ij}$  で構成される経路テーブルをもつ. 各シンクノードは, 各ノードの経路テーブルを更新するために, ノード ID と「自身への価値」からなる CM を, ランダムに選択した隣接ノードに定期的に出す. CM を受信したノードでは, この「自身への価値」にホップによる減衰率を乗じた値を経路テーブルに格納する. 以下, これと同様な処理を繰り返すことになるが, AAR における CM はその周遊過程で別の CM によってもたらされた経路評価値をも含めた各ノードにおける (CM 処理時の) 最新の価値を伝えていく. よって, MUAA と比較して, より少ない CM 数, より短い CM 周遊期間で, 各シンクノードへのデータ転送効率を向上させることができる. 各ノードの負荷は大幅に軽減される.

## 3. 提案方式

評価値型の最新方式である AAR はその適用領域を拡大して行く上で本質的な優位性を有している. しかし, WSN の長期間運用における問題点の一つである負荷集中ノード問題を積極的に軽減する方式ではない. 各ノードの負荷を分散させる積極的な機能があれば, WSN のさらなる長寿命化が実現する. 複数シンク WSN においては, アドレスを用いてある 1 つのシンクノードを指定してデータを転送する必要がなく, データは複数のシンクノードのいずれかで収集できれば良い. 提案方式はこの前提に立って考案した方式であり, 複数シンク WSN において顕著な効果が期待できる新しいデータ転送方式である.

### 3. 1 データ収集環境の構築

初期状態において各シンクノードは自身の ID と「自身への価値」からなる Pheromone Message (PM) をローカルブロードキャストする. この PM を受信した各ノードでは以下の処理を行い, 新たな PM をローカルブロードキャストする.

- 1) PM を受信したあるノード  $l$  では, まず経路テーブル内の転送元のフィールドに, 受信したフェロモン値を格納する.
- 2) その後, ノード  $l$  は PM をローカルブロードキャストする直前に, 経路テーブル内のフェロモン値の最大値  $v_{max}$  を採取し, ノード  $l$  自身のフェロモン値  $v_l$  を

A load-balanced data gathering scheme for wireless sensor networks with multiple sinks

<sup>†</sup>Eisuke ORITO, Graduate School of Engineering, Musashi Institute of Technology

<sup>‡</sup>Akihide UTANI and Hisao YAMAMOTO, Faculty of Knowledge Engineering, Musashi Institute of Technology

$$v_l = v_{max} \times dr_{hop} \quad (0 \leq dr_{hop} \leq 1) \quad (3)$$

によって算出する。ここで、 $dr_{hop}$ はホップに伴うフェロモン値の減衰率を表す。そして、ノードID( $l$ )とこの $v_l$ からなる新たなPMをローカルブロードキャストする。

### 3. 2 データ転送とそれに伴うフェロモン値の更新

ノードの残余電力を考慮した負荷分散データ転送を実現するために、提案方式において、各ノードはセンシングデータの転送時、次式によって算出したフェロモンの更新値をセンシングデータとともにデータパケットに加えて送出する。

$$v_l = v_{max} \times dr_{hop} \times dr_{lec} \quad (0 \leq dr_{hop} \leq 1) \quad (4)$$

$$dr_{lec} = \frac{E'_l}{E} \quad (5)$$

上式はあるノード $l$ のフェロモン更新式である。ここで、 $dr_{lec}$ はノード $l$ の残余電力を考慮したフェロモンの減衰率であり、 $E'_l$ はノード $l$ の残余電力、 $E$ は各ノードの総電力容量を表す。提案方式において、フェロモン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フェロモン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、フェロモン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フェロモン値を更新する。図1はフェロモン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フェロモン値の更新例である。

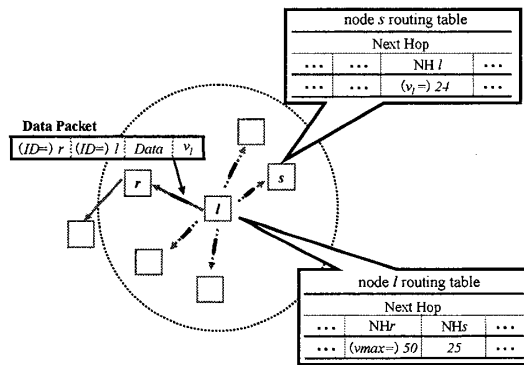


図1 データ転送とそれに伴うフェロモン値の更新

### 4. シミュレーション実験

既往の方式との比較を考慮して、以下の実験設定で提案方式の有効性を評価した。

表1 シミュレーションの設定値

| Simulation size            | 2,400 m × 2,400 m |
|----------------------------|-------------------|
| The number of sensor nodes | 1,000             |
| Range of radio wave        | 150 m             |
| The number of sink nodes   | 2                 |

提案方式において使用された経路を図2に示す。左図がデータ転送1~300回、右図が1~2,000回で使用された経路である。転送経路、及び送信先シンクノードが自律的にスイッチングされている様子が確認できる。

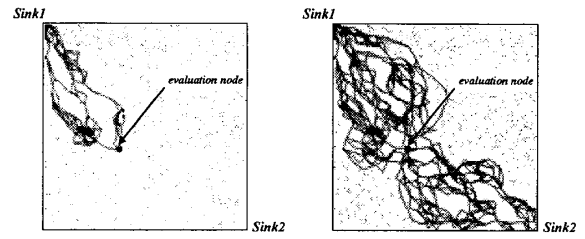


図2 提案方式において使用された経路

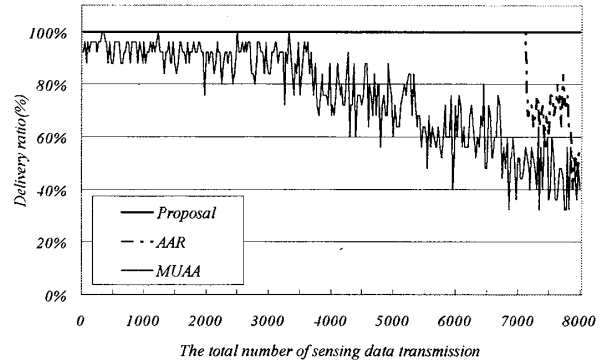


図3 配送率の推移

図3は、ランダムに選んだ計20個の評価ノードから計8,000回データを送信した場合の配送率の推移である。このケースは提案方式の効果が最も発揮され難い状況での実験結果である。この実験において、既往の方式では計20個の評価ノードのうち、半数がSink1、残り半数がSink2を宛先としてデータパケットを送信している。しかし、実際の利用場面では送信先シンクノードが半々に分かれるという状況は稀である。この稀で、かつ提案方式の効果が発揮され難い状況においても、既往の方式と比較した提案方式の優位性を確認できた。提案方式はWSNの利用状況に依らず、その長期間運用において有効な方式であると言える。

### 5. おわりに

本稿では、無線センサネットワークの長期間運用を実現する方式を提案した。この提案方式は、フェロモンのみを頼りに自律的な負荷分散データ転送を行う全く新しい方式であり、シミュレーション実験を通してその有効性を検証した。シミュレーション実験では、既往の方式と比較して、長期間運用の観点からの優位性を実証した。今後の展望としては、各シンクノードが有する「自身への価値」をシンクノードごとに別々の値に調整する方策の提案や通信形態が変化するような場合において効果的に機能する方式として発展させることなどを考えている。

### 参考文献

- [1] Y. Ohtaki, N. Wakamiya, M. Murata, and M. Imase : Scalable and efficient ant-based routing algorithm for ad-hoc networks, IEICE Trans. Commun., vol.E89-B, no.4, pp.1231-1238, 2006.
- [2] A. Utani, E. Orito, A. Kumamoto, and H. Yamamoto : An advanced ant-based routing algorithm for large scale mobile ad-hoc sensor networks, Trans. SICE, vol.44, no.4, pp.351-360, 2008.