

複数シンク無線センサネットワークのための Pheromone-Oriented Routing プロトコル

大島 輝之[†] 織戸 英佑[†] 宇谷 明秀[‡] 山本 尚生[‡]

武蔵工業大学大学院工学研究科[†] 武蔵工業大学知識工学部[‡]

1. はじめに

無線センサネットワーク(WSN)の長期間運用を実現するためには、経路制御の効率性だけでなく、電力消費や故障によるノードの離脱やそれに伴う追加といったネットワークの構成変化への適応性をも有する経路制御方式(and/or 情報収集方式)が必要となる。これらの要件に適応する方式として、アリの採餌行動に基づく経路制御方式(Ant-based Routing algorithms; AR)が見直され再評価されてきている。我々は既往の研究において、ARに着想を得て発展させた経路制御方式である Advanced AR(AAR)を提案した[1]。この AAR は従来方式に比べて、ノードの通信処理負荷を抑制し、ネットワークの構成変化への適応能力をも有する方式である。しかし、WSN 運用における問題点の一つである特定のノードに負荷が集中してしまう問題(これをボトルネックノード問題と呼ぶ)を(積極的に)軽減する方式ではない。本稿では、このボトルネックノード問題に対処するための方式として、Pheromone-Oriented Routing Protocol(PORP)を提案する。

2. WSN のための AR (Ant-based Routing algorithm)

AR の基本的枠組みである Uniform Ant Algorithm(UAA)を基に、大規模 WSN への適用のために改良・発展させた方式が提案されている[2]。本稿では、この改良方式を Modified UAA(MUAA)と呼ぶ。

MUAA は、UAA に対し、周遊する制御メッセージ(Control Messages; CM)の TTL 多段階化、及び CM の効率的移動、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。この MUAA は、UAA と比べれば経路制御の効率を向上しているが、UAA と同様、次ノード候補のメンバーを固定した確率更新(相対的な価値の更新)であることに変わりはないため、ノードの追加などによってネットワークの構成が変化する場合への適応性は改善されていない。

3. AAR (Advanced Ant-based Routing algorithm)

AAR はノードの通信処理負荷の抑制のみならず、ネットワークの構成変化への適応性をも有する経路制御方式である。各ノードは、目的ノード(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持つ。

AAR において、CM が各ノードにもたらす情報は既往の方式のようにある特定の目的ノードからの経路コストではない。CM はその周遊過程で、滞在したノードが有する各目的ノードへの接続評価値のうちから、最大のものを

v_{max_i} を採取し、移動先ノードにこの値を伝える。CM を受信したノードでは、これにホップによる減衰率 dr_{hop} を乗じた値を経路テーブルに格納する。この単純な処理の繰り返しで経路テーブルは更新され、既往の方式の問題点が改善される。ここで、この v_{max_i} は(過去において)別の CM によってもたらされた接続評価値をも含めた、各ノードにおける CM 処理時の最新の価値である。CM は自身がどのノードから送出されたかに関わらず、別の CM(送出元目的ノードが異なっても良い)が残したより価値の高い経路情報を共有して経路テーブルの更新を効率的に行う。よって、MUAA に比べて、より少ない CM 数、より短い CM 周遊期間で、各目的ノードに対するデータ転送効率を向上させることができる。ノードの通信処理負荷は軽減される。データ転送時にはこの接続評価値を用いた2通りの次ノード選択方式が考えられる。最大接続評価値を有するノードを選択する方式(Method1)と、各次ノードの中継先としての価値を、接続評価値を基に確率変換し、その確率に応じて次ノードを選択する方式(Method2)である。AR の利点が頑健性や柔軟性にあることを踏まえれば Method2 が望まれる。しかし、この確率はデータ転送時に必要なものであり、MUAA のように CM を受信する度にその時点でのデータ転送確率を更新する必要はない。また、AAR では MUAA のように次ノード候補のメンバーを固定した相対的な価値の更新を行わないため、次ノード候補群に変化が生じて経路テーブルの更新を最初からやり直す必要がない。よって、やり直しを繰り返すことに起因する経路制御の効率低下やデータ転送効率の悪化もない。

AAR はアリの採餌行動に立脚した方式に求められている柔軟性を向上させ、適用範囲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 運用における問題点の一つであるボトルネックノード問題を(積極的に)軽減する方式ではない。

4. 提案方式

本稿では、各ノードの負荷分散機能を有し、さらに複数のシンクノードの中から負荷状態を考慮して適当なシンクノードへデータを転送する自律的な負荷分散制御を実現する PORP を提案する。実際の利用場面においてシンクノードは複数設置されることが想定される。PORP はこのような複数シンク WSN において顕著な効果が期待できる新しい経路制御方式である。

4.1 CM による経路テーブルの更新

AAR の場合と同様、CM は経路情報を共有しながらノード間を移動し、各ノードの経路テーブルを効率良く更新する。加えて PORP では、各ノードの処理負荷を考慮し、負荷に応じて接続評価値を減衰させることで、特定のノードへの負荷の集中を軽減する機能を導入する。また、本研究で対象とする複数シンク WSN では、データ

Pheromone-Oriented Routing protocol for wireless sensor networks with multiple sinks

[†]Teruyuki OSHIMA and Eisuke ORITO, Graduate School of Engineering, Musashi Institute of Technology

[‡]Akihito UTANI and Hisao YAMAMOTO, Faculty of Knowledge Engineering, Musashi Institute of Technology

を収集するシンクノードを特定する必要がなく、データ毎に収集先シンクノードが異なっても良いという前提に立ち、シンクノード毎の接続評価値の更新を行わない。

PORP における各ノードの CM 処理手順を示す。Fig.1 はその説明図である。

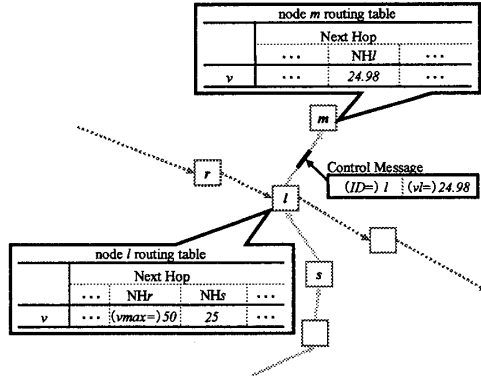


Fig.1 An example of routing table renewal in PORP

- 1) CM 滞在中のあるノード l では (CM を転送する前に)、経路テーブルの接続評価値の中から最大値 v_{max} を探索し、自身の値 (接続評価値) v_l を

$$v_l = v_{max} \times dr_{hop} \times dr_{lec} \quad (dr_{lec} \ll dr_{hop}) \quad (2)$$

$$dr_{lec} = \frac{E_l'}{E} \quad (3)$$

によって算出する。そして、この値とノード ID (l) からなる CM をランダムに選択した隣接ノードに転送する。ここで、 dr_{hop} は 1 ホップの移動に伴う減衰 (ホップ依存の減衰) 率であり、 dr_{lec} は CM の転送によって消費された電力を考慮した接続評価値の減衰率である。また、 E は各ノードの総電力容量、 E_l' はノード l の電力残量である。

- 2) この CM を受信したノード m では、次ノード候補 l の接続評価値を更新する (CM によってもたらされた値で上書きする)。

4. 2 データ転送時の処理

PORP では、各ノードのセンシングデータ転送時の処理として、次ノードの選択の他に、データ転送 (中継) ノードの接続評価値減衰処理を行う。PORP では、各ノードの負荷を分散させるために、次式によってデータ転送ノードの接続評価値を減衰させる。

$$v_j \leftarrow v_j \times dr_{jec} \quad (4)$$

これは、あるノードが隣接状態にある次ノード j にデータを転送した場合の値減衰式である。この減衰によって、消費電力に応じて負荷を分散させる (データ転送先を切り換える) ことが可能となる。ここで、 dr_{jec} はデータ転送によって消費された電力を考慮した接続評価値減衰率であり、この減衰率の算出は式 (3) に従う。

5. シミュレーション実験

5. 1 シミュレーション設定

広範囲に設置された数多くのセンサノードで構成される大規模 WSN において、異常値を計測した特定のセンサノードが、そのセンシングデータを送信する状況を想定した。シミュレーションの設定値を Table1 に示す。実験領域内のノード配置はランダムとし、領域の角に 2 つのシンクノードを設置した。

Table1 Conditions setting in simulation

Simulation size	4,000 m × 4,000 m
Sensor nodes	1,000
Range of radio wave	250 m
Sink nodes	2

5. 2 結果及び考察

シミュレーションに際し、本実験では固定ノードで構成される WSN を想定して、 $dr_t=1.0$ (時間経過による接続評価値の減衰は行わない) とした。ホップに伴う減衰率は文献 [1] と同様に $dr_{hop}=0.5$ とした。Sink2 より Sink1 に近い中央付近のセンサノード (評価ノード) が異常値を計測し、このノードから定期的にデータが送信される状況を想定したシミュレーション結果を示す。

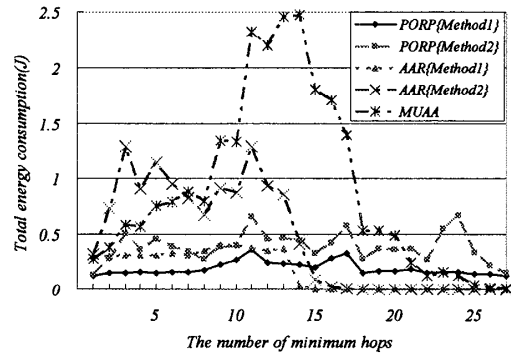


Fig.2 Total energy consumption vs. distance

Fig.2 は CM を総ホップ数 15,000 周遊させた後、評価ノードから定期的にセンシングデータを TTL200 で計 500 回送信した際の各ノードの (500 回のデータ転送に関する) 総消費電力量を、Sink1 からの最短ホップ数が等しいノード毎に集計したグラフである。ここで、MUAA と AAR においては、距離の近い (ホップ数の短い) 方のシンクノードである Sink1 へデータを転送している。Fig.2 より、PORP は消費電力を抑え、更に Sink1 だけでなく、Sink2 へもデータを転送している様子が窺える。各ノードの負荷 (データ転送に伴う電力消費量) も考慮に入れた接続評価値によってバランス良く転送経路、送信先シンクノードを選択し、負荷を分散しながらデータを送信している。

6. まとめ

本稿では、各ノードの消費電力に基づいた負荷分散機能を有し、さらに複数のシンクノードの中から負荷状態を考慮して適当なシンクノードへデータを転送する自律的な負荷分散制御を実現する Phormone-Oriented Routing Protocol を提案し、シミュレーション実験を通してその負荷分散効果 (長期間運用の観点からの優位性) を実証した。今後の課題としては、複数のノードが同時時間帯にデータを送信してくる場合における評価、また様々な通信形態の多様性に対する提案方式の高度化などを考えている。

文献

- [1] 熊本, 織戸, 宇谷, 山本: 大規模センサネットワークのための Ant-Based Routing アルゴリズムの高度化, 電子情報通信学会, 信学技法, vol.107, no.293, pp.51-56, 2007.
- [2] 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.