

無線センサネットワーク長期間運用のための 制御メッセージの効率的周遊法

織戸 英佑[†] 熊本 紋子[†] 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

自然環境観測や災害時の避難誘導などのアプリケーションを実現(または支援)するための手段として、無線センサネットワーク(Wireless Sensor Networks; WSN)への期待が高まっている。WSNでは電源容量などのリソースに制約のある無線センサによってネットワークが構成されることが前提となるため、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、ネットワークトポロジの変化への適応性や規模の拡大への拡張性をも有する経路制御方式が必要となる。本研究では、このような要件を満たす方式として、アリの採餌行動を基にした経路制御方式(Ant-based Routing algorithms; AR)[1]に注目した。これは大規模 WSN を長期間運用することを目的とした経路制御方式であり、ネットワークトポロジの変化への対処も考慮されている。しかし、ノードの新規参入(追加)や移動によってトポロジが変化する場合への適応性に欠け、制御通信量(アリの周遊頻度)に関しても改善が必要であると考えられる。本稿では、大規模 WSN への適用を前提とした新しい経路制御方式を提案する。

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

2.1 基本方式

アリの採餌行動に基づく経路制御の基本的な枠組みとして、Unifirm Ant Algorithm(UAA)[2]を挙げることができる。各ノードは確率的にデータ転送先を選択する。各目的ノード(Destination Node; DN) i は、各ノードの経路テーブルを更新するために、ノード間を移動する制御メッセージ(Control Messages; CM)を定期的に送出する。CMの到来によって各ノードのデータ転送確率は次式で更新される。

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

これは、あるノード k が、その次ノード候補(Next Hop; NH) i から CM を受信した場合の確率更新式である。ここで、 Δp は CM が通過した経路のコスト(例えばホップ数)を考慮した確率更新量である。

2.2 改良方式

先進的な方式として文献[1]がある。これは基本的な枠組みとしての UAA を発展させた方式であり、本稿ではこの方式を Modified UAA(MUAA)と呼ぶ。

MUAA は、UAA に対し、周遊する CM の TTL 多段階化、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。TTL の多段階化は、ネットワークの構成変化への適応性を改善させるための方策である。TTL を多段階化することで、ネットワーク全体での CM 総処理数を増やすことなく、目的ノードの近傍ノード(の経路テーブル)を頻繁に更新することができる。これにより、目的ノードの近傍ノードでは、ノードの離脱やそれによる通信状態の変化をより反映した経路テーブルができる。しかし、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、ノードの追加や移動によって新しいノードが参入する場合への適応性は改善されない。CM の効率的移動とデータ転送確率更新式の見直しは、CM の周遊効率を向上させるための方策であり、UAA と比較すれば効果がある。しかし、電源容量などのリソースに制約のあるノード群で構成される WSN への適用を前提とした場合、さらなる CM 周遊効率の向上が期待される。

3. 提案方式

既往の方式(UAA, MUAA)の問題点を改善する新しい動的経路制御方式を提案する。本稿ではこの提案方式を Advanced Ant-based Routing algorithm(AAR)と呼ぶ。

3.1 AARにおける各ノードの経路テーブル

各ノードの経路テーブルは各目的ノード(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。Table1はその一例である。

提案方式において、各ノードのこれらの接続評価値は時間経過に応じて

$$v_{ij}(t+1) = v_{ij}(t) \times dr_i \quad (0 < dr_i < 1) \quad (2)$$

によって一定の割合で減衰する。ここで、 t は時刻、 dr_i は時間経過に伴う減衰率である。この減衰は、CM の到来によって更新された接続評価値はネットワークの構成変化によって、時間の経過とともにその確信度が低下することを反映している。

Table1 An example of AAR routing table

		Next Hop				
		NH1	NH2	NH3	NH4	NH5
Destination	DN1	50	0	(v_{j3})25	0	40
	DN2	0	50	30	10	0

3.2 CMによる経路テーブルの更新

周遊する CM によって、各ノードの接続評価値が更新される。各ノードでの CM 処理手順を以下に示す。

- 1) CM 滞在中のあるノード i では(CM を転送する前に)、経路テーブル内の接続評価値の中から目的ノード毎の最大値 $vmax_i$ を検索し、この $vmax_i$ とノード ID(i)

An efficient routing algorithm for large-scale mobile ad-hoc sensor networks

[†]Eisuke ORITO and Ayako KUMAMOTO, Graduate School of Engineering, Musashi Institute of Technology

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

からなる CM をランダムに選択した次ノードに転送する。

- 2) この CM を受信したノード m ではこの v_{max_i} の値から、目的ノード i に対する次ノード候補 l の評価値を $v_{il} = v_{max_i} \times dr_{hop}$ ($0 < dr_{hop} < 1$) (3)

によって算出し、経路テーブルにこの v_{il} を格納する。ここで dr_{hop} はホップに伴う価値の減衰(ホップ依存の減衰)率である。

CM の周遊過程で、各ノードは以上の 1), 2) の処理を繰り返しながら次ノード候補群の接続評価値を更新する。これにより、各目的ノードが保持している自身の価値 V_{O_i} が減衰しながら周囲のノードに効率良く伝播していく。目的ノードの近傍ノードは遠くに位置するノードよりも、より高い接続評価値を獲得することになる。

3. 3 データ転送時の次ノード選択方式

センシングデータを転送する際の次ノード選択に関して、AAR では以下の 2 通りの選択方式が考えられる。

方式 1) 次ノード候補のうち、最大接続評価値を有するノードを選択して転送する。

方式 2) 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して転送する。

方式 2 の接続評価値を基にした確率への変換は

$$P_j = \frac{v_j}{\sum_{i \in \text{neighbor of } k} v_i} \quad (4)$$

によって行える。これは、あるノード k が、データ転送時に次ノード j を選択する確率である。どちらの方式を採用するかに関しては、ネットワークトポロジの変化や CM の周遊状況、各ノードの電力残量などを考慮して決定することになる。

4. シミュレーション実験

4. 1 シミュレーション設定

実験環境として、広範囲に設置された固定センサノードと低速で移動する自律移動ロボットから、その環境状態の情報(センシング情報)を収集して監視を行う状況(大規模 WSN)を想定した。シミュレーション設定を Table2 に示す。実験領域内のノードの初期配置はランダムとした。また、領域の角にシンクノード(これを目的ノードとする)を配置し、無線リンクで構成されたネットワークによって、各ノードから各目的ノードにデータを送信する状況を想定した。

Table2 Conditions setting in simulation

Simulation size	4550m × 4550m
The number of nodes	1024
The range of radio wave	250m
The number of destination nodes	1 or 2

4. 2 シミュレーション結果及び考察

シミュレーションに際し、既往の方式におけるパラメータ等の設定は、既往の研究で用いられ、しかも事前の調査で良好な結果であった文献[1]の設定(値)を採用した。AAR のパラメータ設定は次の通りである。AAR における dr_i や dr_{hop} は、ネットワークの構成変化や CM の転送頻度などを考慮して調整可能なパラメータである。本実験では、固定センサノードと低速で移動する自律ロボットで

構成される WSN を想定していることを反映して、移動ノードの時間減衰率は $dr_i=0.9$ 、固定ノードは $dr_i=1$ とした。ホップに伴う減衰率は $dr_{hop}=0.5$ としてシミュレーションを行った。

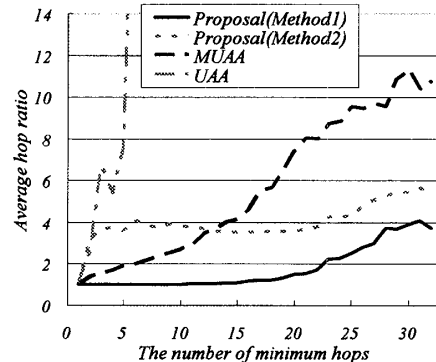


Fig.1 Average hop ratio vs. distance

Fig.1はCM総ホップ数10000時における(シンクノードへの)最短ホップ数が同じノード毎の平均ホップ数比である。MUAAに比べ、提案方式ではシンクノードから遠くに位置するノードからのデータ転送効率は大きく改善している。しかし、提案方式の方式 2 の場合、シンクノードの近傍ノードに関してはMUAAより劣っている。これはTILの多段階化によって、MUAAではシンクノードの近傍ノードの経路テーブルが頻繁に更新されているためである。しかし、その代償として、シンクノードの近傍ノードに過度な負荷(CMの転送処理負荷)を与える結果になっている。

5. まとめ

本稿では、電源容量などのリソースに制約のあるノード群によって構成される大規模無線センサネットワークへの適用を前提とした新しい動的経路制御方式を提案した。提案方式は、ネットワークの構成が変化する場合への拡張性をも考慮に入れた経路テーブルの新しい更新法(揮発性の接続評価値更新法)であり、シミュレーション実験を通して、その有効性を確認した。

提案方式において、制御メッセージは経路情報共有を共有しながら、各ノードの経路テーブルをプロアクティブに更新する。よって、既往の方式のように、制御メッセージを送出するノードを特定する(目的ノードからの送りに限定する)必要がない。本稿では、既往の方式と条件を揃えて(主に経路制御の効率性を比較するために)、制御メッセージ送出ノードを目的ノードに限定したが、提案方式にはさらなる拡張性、発展性を期待することができる。例えば移動ノードや追加散布されたノードが経路を確認するための制御メッセージを送出して自身の周囲の経路情報のみを更新(局所修復)したり、通信形態の変化に応じて適応的に制御メッセージを用いたりすることが容易に行える。今後のさらなる発展が期待できる。

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] D.Subramanian, P.Druschel, and J.Chen : Ants and reinforcement learning: A case study in routing in dynamic networks, Technical Report TR96-259, Rice University, 1998.