

センサネットワークにおけるスケーラビリティを考慮した クラスタ間マルチホップネットワークの構成

後藤 隼[†] 鈴木 和久^{††} 横田 裕介^{†††} 大久保 英嗣^{†††}

[†] 立命館大学理工学部 ^{††} 立命館大学大学院理工学研究科 ^{†††} 立命館大学情報理工学部

1 はじめに

センサネットワークにおけるクラスタリング技術は、負荷分散や送信電力制御により、ネットワーク全体の消費電力を削減するのに有効な手法として研究されており、これまでに、LEACH [1] や HEED [2], CoP [3], UCS [4] などが提案されている。しかしながら、これら従来のクラスタリング手法では、シンクノードがすべてのセンサノードの電波到達範囲内に存在するような、比較的小規模なネットワークを想定していたり [1][2], シンクノードの数や位置が固定的 [3][4] であったりと、ネットワークのスケーラビリティの面での制約が多い。そこで本稿では、これらの制約を受けない、スケーラビリティに優れた自律的なクラスタ間マルチホップネットワークを構成する手法を提案する。ここで、シンクノードとは、センサネットワークのゲートウェイとなる存在で、ネットワーク内のセンサノードからセンシングデータを集約し、外部システムに提供する。

2 既存技術

クラスタリング技術の課題として、クラスタヘッドの選出方法がある。クラスタヘッドは、負荷を分散させるためにクラスタサイズが均一になるように選出しなければならない。また、クラスタヘッドは、センシングデータの集約やルーティングを行うために負荷が大きく、交代制で行う必要がある。さらに、クラスタヘッド間でマルチホップ通信を行うには、クラスタヘッド間が常に通信可能であるように選出しなければならない。そして各センサノードは、自律的に自らがクラスタヘッドとなるか否かを判断しなければならない。これらクラスタリング技術の難しさは、局所的な情報しか持たない各センサノードが、ネットワーク全体にとって最適な状況を自律的に判断することが困難であることに起因している。そのため既存技術では、クラスタヘッドやシンクノードの位置や数、全センサノード数、観測対象の面積などの広域的な情報をあらかじめ指定しておくことにより、消費電力を抑えられる最適なクラスタを形成している。しかしながら、固定的である広域的な情報を与えるため、ノードの追加や削除、観測対象の拡大、シンクノードの追加などといった、ネットワークのスケーラビリティを犠牲にしているという問題がある。

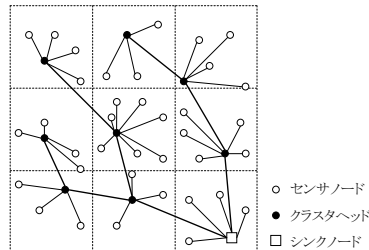


図1 提案手法のイメージ

3 提案手法

3.1 目的

本研究では、消費電力を極力抑えつつも、固定的である広域的な情報を用いずにクラスタリングを行い、スケーラビリティのある柔軟なセンサネットワークを構成することを目的とする。提案手法の実現により、利用者は、センサノードに対する観測対象に合わせた最適化を行う必要がなくなり、センサノードの電源を入れ観測対象に配置するだけで、クラスタリングを伴うセンサネットワークを構築することができる。

3.2 概要

提案手法では、センサノードは、GPS 等の位置検出機能を備えていることを前提としている。はじめに、観測対象をセンサノード自身の位置情報と、電波到達範囲に基づき隣接格子同士が通信可能となる大きさの仮想的な格子に分割する。1つの格子を1つのクラスタとすることにより、クラスタ間の通信を保証することができ、クラスタヘッド間のマルチホップ通信による広域なネットワークを構築することができる。また、クラスタサイズを均一にすることができるため、クラスタヘッドでの負荷を分散することができる。提案手法のイメージを図1に示す。

クラスタ内のセンサノードは、交代でクラスタヘッドを担当する。クラスタヘッドとなったセンサノードは、クラスタのゲートウェイとなり、クラスタ内のセンサノードからのデータの集約およびシンクノードまでのルーティングを担当する。クラスタヘッド以外のセンサノードは葉ノードとなり、センシングデータのクラスタヘッドへの送信のみを行う。これらにより、静的なクラスタを単にルーティングを行うことができるため、センサノードの移動・参加・離脱など、動的に変化するクラスタ内の状況の影響を受けずに、クラスタ間マルチホップ通信を実現することができる。

格子のサイズは、電波到達範囲および格子間の通信自由度により決定する。格子間の通信自由度による格子サイズの違いを図2に示す。 R はセンサノードの最大電波到達範囲であり、 r は格子の一片の長さである。自由度4の場合、上、下、左、右に隣接するクラスタが電波到達範囲に収まるようにクラスタのサイズを決定す

Scalable Clustered Multihop Network in Sensor Networks

Junji Goto[†], Kazuhisa Suzuki^{††}, Yusuke Yokota^{†††} and Eiji Okubo^{†††}

[†] College of Science and Engineering, Ritsumeikan University

^{††} Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University

^{†††} College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

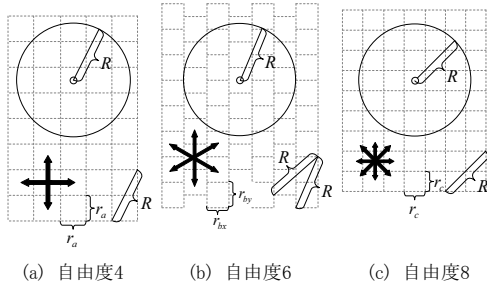


図2 格子間の通信自由度による格子サイズの違い

る。この場合、図2(a)の右下に示すように、クラスタ間でもっとも離れている距離を電波到達範囲としてクラスタサイズを決定する。図2より、格子間での通信自由度が高ければ高いほど、格子のサイズは小さくなる。ことがわかる。自由度4, 自由度6, 自由度8のそれぞれの格子のサイズを $r_a, (r_{bx}, r_{by}), r_c$ とすると、これらは、

$$r_a = R\sqrt{\frac{1}{5}}, (r_{bx} = R\sqrt{\frac{7}{55}}, r_{by} = R\sqrt{\frac{12}{55}}) r_c = R\sqrt{\frac{1}{8}}$$

となる。また、自由度4, 自由度6, 自由度8のそれぞれの格子の面積を S_a, S_b, S_c とすると、これらはおよそ $S_a : S_b : S_c = 10 : 8 : 6$ となる。自由度が高いほど目的クラスタまでの通信経路が最短距離となる経路が選択可能となる。しかし、クラスタ数が増えるため負荷の大きいクラスタヘッドの数、シンクノードまでのホップ数も増える。また、クラスタサイズが小さすぎるとクラスタ内にセンサノードが存在しなくなる可能性も考えられる。

各センサノードは、自身の絶対座標 (x, y) をクラスタサイズで割ることにより、自身の所属するクラスタID (X, Y) を計算する。ID= i のセンサノードの絶対座標を (x_i, y_i) とすると、このセンサノードの所属するクラスタID (X, Y) は、 $X = \left\lfloor \frac{x_i}{r_x} \right\rfloor, Y = \left\lfloor \frac{y_i}{r_y} \right\rfloor$ となる。ここで、 $\lfloor x \rfloor$ は x を越えない最大の整数を表す。

3.3 アルゴリズム

3.3.1 新規参入

センサノードがネットワークに新規参入する場合、はじめに、自身の所属するクラスタ内にクラスタヘッドが存在するか否かを確認するために、DiscoveryHeadメッセージをブロードキャストする。このとき、クラスタ内の通信が、他クラスタへ影響を及ぼさないように、クラスタIDを符号として、CDMA方式で通信を行う。クラスタヘッドが存在する場合、クラスタヘッドはクラスタ内の全センサノードにChangeHeadメッセージをマルチキャストし、クラスタヘッドを交代する。一定時間経過してもChangeHeadメッセージを受信しない場合、クラスタヘッドが存在しないとみなし、初期クラスタ形成処理を行う。

3.3.2 初期クラスタ形成

初期クラスタ形成処理では、はじめに、各センサノードが、自身の情報をNodeInfoメッセージとして、CDMA方式でブロードキャストする。NodeInfoメッセージを受信したセンサノードは、その情報をNodeInfoTableに追加する。一定時間経過後、各センサノードは、NodeInfoTableを参照し、残余電力のもっとも多いセンサノードをクラスタヘッドとする。

クラスタ内のセンサノードは、通信の衝突を回避するためTDMA方式で通信を行う。そのため、クラスタヘッドとなったセンサノードは、所属するセンサノードに対しTDMAスケジューリングを行い、その結果を各センサノードに通知する。以後、各センサノードは、TDMAスケジュールに従い、センシングデータをクラスタヘッドに送信し、クラスタヘッドは、データを集約後、シンクノードへのルーティングを行い、隣接クラスタに転送する。

一定時間経過後、クラスタヘッドは、ChangeHeadメッセージを所属する各センサノードにマルチキャストし、クラスタヘッドの交代処理を行う。

3.3.3 クラスタヘッド交代

ChangeHeadメッセージを受信したセンサノードは、自身の現在の位置、残余電力等の情報をNodeInfoメッセージとしてクラスタヘッドに送信する。クラスタヘッドは、各センサノードからのNodeInfoメッセージを集約し、NodeInfoTableを作成する。その後、作成したNodeInfoTableを所属する各センサノードにマルチキャストする。各センサノードは、受信したNodeInfoTableを参照し残余電力のもっとも多いセンサノードを新クラスタヘッドとする。旧クラスタヘッドは、新クラスタヘッドに、シンクノードの位置などのクラスタヘッド情報を送信する。

3.3.4 ルーティング

クラスタヘッドとなったセンサノードは、シンクノード情報テーブルを参照し、最も近いシンクノードへのベクトルを元に、次ホップを決定する。隣接クラスタヘッドから集約されたセンシングデータを受信した場合、決定した次ホップ先の隣接クラスタへ転送する。シンクノード情報テーブルに要素がない場合、隣接クラスタヘッドにSinkInfoRequestメッセージを送信する。SinkInfoRequestメッセージを受け取ったクラスタヘッドは、所持するシンクノード情報テーブルを要求先へ送信する。

4 評価方法

提案手法の定量的評価を行うため、シミュレータを実装した。比較対象は、クラスタリングを行わないマルチホップ通信であり、ルーティングプロトコルとして、DSR, AODVを採用する。評価対象として、観測経過時間に対する生存しているセンサノードの数およびその分布を予定している。

定性的評価としては、スケーラビリティの各項目に対する可否を、既存クラスタリング技術と比較することを予定している。

5 おわりに

本稿では、位置情報という、自ら検出可能な広域的情報のみを用いてクラスタを形成することにより、観測対象範囲や全センサノード数、シンクノード数といった固定的で広域的な情報に頼ることなく、センサノード・シンクノードの追加・削除・移動、観測対象の拡大などに対応する、スケーラビリティの良い、クラスタ化されたマルチホップネットワークを構成する手法について述べた。今後は、シミュレーションを行い、既存技術との比較、評価を行う予定である。

参考文献

- [1] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks, in Proceedings of the 33rd International Conference on System Sciences (HICSS '00), January 2000.
- [2] Ossama Younis, Sonia Fahmy, HEED: A Hybrid, Energy-Efficient, Distributed Clustering Approach for Ad-hoc Sensor Networks, IEEE Transactions on Mobile Computing, Vol. 3, No. 4, pp. 366-379, October 2004.
- [3] A. A. Papadopoulos and J. A. McCann, Connectionless probabilistic (CoP) routing: an efficient protocol for mobile wireless ad-hoc sensor networks, in Proceedings of the 24th International Performance Computing and Communications Conference (IPCCC 2006), (Phoenix, Arizona), pp. 73-77, Apr. 2005.
- [4] S. Soro and W. B. Heinzelman, Prolonging the lifetime of wireless sensor networks via unequal clustering, in Proceedings of the 19th IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS 2005), Apr. 2005.