

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改良

窪田 裕樹[†] 横田 裕介[†] 大久保 英嗣[†][†]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無線通信処理の低消費電力化手法の1つに、クラスタリング技術がある。これは、主に地理的に近接しているセンサノード同士でクラスタを形成し、そのうちの1つが代表してクラスタ内のセンサノードからデータを収集、圧縮、転送を行うことにより、電力消費を抑える技術である。

クラスタリング技術では、大域的な情報に基づいて事前に電力消費を抑える上で最適なクラスタを形成することが一般的である。事前に最適化を行うため、シンクノードやセンサノードの移動および追加、観測対象の拡大や縮小が困難であり、スケーラビリティを犠牲にしているという問題点がある。

このような問題を解決するため、我々はこれまでに Scalable Clustered Multihop (SCM) [1] と呼ぶ手法を提案してきた。SCMは、位置情報のみを用いて自律的に観測対象を静的なクラスタに分割し、クラスタ間のマルチホップネットワークを構成する手法である。この手法により、事前の最適化をすることなく、スケーラビリティの高いクラスタリングを伴うネットワークが利用できる。しかし、電力消費の不均一性、ルーティングの不安定さ、通信時の無駄な電力消費などの課題も残されている。

本稿では、既存のSCMに対して、クラスタヘッド選出手法の変更、ルーティングアルゴリズムの改善、通信時の電波出力制御による省電力化の3点を改良することによって、より安定して長期間動作する通信方法を実現する。

2 クラスタリングによる省電力化

2.1 LEACH

代表的なクラスタリング技術の1つにLEACH[2]がある。LEACHは、ネットワーク内の各センサノードの電力負荷を分散し、均一に電力を消費するように考えられたクラスタリング技術である。負荷の大きいクラスタヘッドを、ラウンドと呼ばれる一定の時間間隔毎に交代することにより負荷分散を実現している。

クラスタヘッドの選出は、各センサノードで自律的に行われる。クラスタヘッドに選出された回数が最小のセンサノードは乱数を発生させ、その値がある閾値以下であればクラスタヘッドとなる。閾値はセンサノード数により増減し、ネットワーク内のセンサノード数

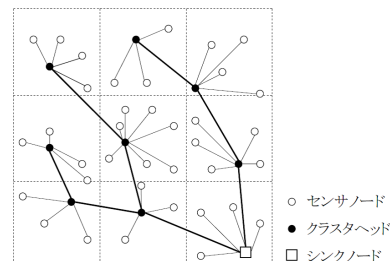


図1 SCMの動作例

から求めた、最適なクラスタヘッドの割合だけクラスタヘッドを選出する。クラスタヘッドでないセンサノードは、通信コストが最も小さいクラスタヘッドのクラスタメンバとなる。

LEACHの欠点としては、観測対象がシンクノードから2ホップの範囲内に限られること、センサノードの数に合わせて最適なクラスタヘッドの割合を求める必要があること、全てのセンサノードの電力資源や電力消費量が等しい必要があることなどが挙げられる。

2.2 Scalable Clustered Multihop

SCMは、利用者による事前の最適化を必要としない、スケーラビリティのあるクラスタ間マルチホップネットワークを構築する手法である。これにより、利用者は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。

SCMでは、センサノードの電波到達範囲と通信自由度に基づき、観測対象を仮想的な格子状に分割する。通信自由度は1つのクラスタが通信可能な隣接クラスタの数であり、通信自由度が大きくなると格子のサイズは小さくなっていく。1つの格子を1つのクラスタとし、クラスタヘッドがクラスタ間のマルチホップ通信を行うことで、広域なネットワークを構築することが可能である。SCMの動作例を図1に示す。

クラスタヘッドはクラスタ間マルチホップ通信のために、隣接クラスタのクラスタヘッドから、シンクノードまでのホップ数と合計送信距離の情報を収集する。各クラスタヘッドがそれが最小となるクラスタヘッドを親とすることで、シンクノードを根とするクラスタヘッドの木構造を構築する。クラスタメンバは、クラスタヘッドからの時刻同期パケットを受信できなかったとき、クラスタヘッドの電力が枯渇したとして再びクラスタヘッドの選出を行う。

SCMの課題としては、クラスタヘッドは電力が枯渇するまで変わらないため、電力消費に偏りが生じるこ

Improvement of the Scalable Cluster-based Multihop Networking Scheme for Wireless Sensor Networks

Yuki Kubota[†], Yusuke Yokota[†], Eiji Okubo[†]

[†]College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan Univ.

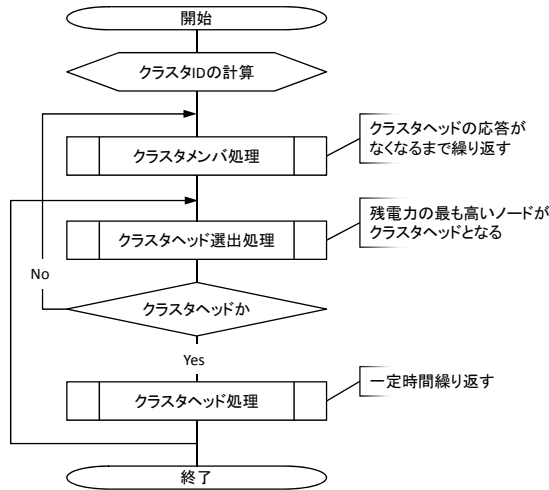


図 2 改良型 SCM のアルゴリズム

と、通信の衝突によって隣接クラスタヘッドの探索に失敗し、適当でないルーティングが行われるため、ネットワークポロジが安定しない場合があること、さらに、通信時の送信出力制御による省電力化を行っていないことなどが挙げられる。

3 SCMの改良

本研究ではSCMに対し、クラスタヘッド選出手法の変更、ルーティングアルゴリズムの改善、通信時の電波出力制御による省電力化の3点の改良を行った。改良型SCMのアルゴリズムを図2に示す。前提条件として、既存のSCMと同様に各センサノードは自らの位置情報を検出できるものとする。

3.1 クラスタヘッド選出

電源の入ったセンサノードは、最初にクラスタメンバ処理を行う。各センサノードは、自身の情報をクラスタ内のセンサノードにブロードキャストする。このとき、自身の所属するクラスタ内にクラスタヘッドが存在していれば、そのセンサノードを親として設定する。

自身の所属するクラスタ内にクラスタヘッドが存在しない場合、またはクラスタヘッドからの応答がない場合、クラスタヘッド選出処理を行う。クラスタヘッドは、クラスタ内で残余電力の最も高いノードが担当し、クラスタ内のセンサデータの収集・転送を行う。クラスタヘッドはクラスタ内のセンサノードに対して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ことで通信の衝突を回避する。一定時間クラスタヘッド処理を行った後、クラスタヘッドは、クラスタヘッドの交代処理を行う。

既存のSCMは、クラスタヘッド選出にノード間の距離のみを用い、クラスタヘッドの交代は行わなかった。これを改良し、電力負荷分散を図ることによって、生存ノード数を増加させることができると考えられる。

3.2 ルーティング

クラスタヘッドは、シンクノードを根とする木構造を構築することでマルチホップ通信を行う。親クラス

タヘッドの選出は、隣接クラスタからホップ数と基地局までの合計送信距離を取得し、それが最小であるクラスタヘッドを親とする。このとき、従来の手法では通信の衝突の発生により、自身よりも基地局への距離が大きいセンサノードを親としてしまうことがあった。これを改善するため、隣接クラスタヘッド探索周期にランダムな時間を加えた上で、探索も複数回行うことで最適な親クラスタヘッドを発見する確率を上げる。

隣接クラスタヘッドの再探索は、自身からシンクノードまでのホップ数より、隣接クラスタヘッドからシンクノードまでのホップ数が大きいときに行う。センサノードの枯渇により最短ホップ数が変化する可能性も考慮し、一定回数探索に失敗した場合は、自身よりシンクノードまでのホップ数が大きい隣接クラスタヘッドも親ノードとする。

3.3 電波出力制御

送信時の電波出力を抑えることで消費電力を減少させる。ノード間通信においてはノード間距離から、クラスタ内ブロードキャスト通信においてはクラスタサイズから出力値を計算し、電波出力の調整を行う。

4 評価方法

シミュレーションにより、提案手法の定量的な評価を行う。比較する手法は、提案するSCMと既存のSCM、そして電力負荷分散を行わない提案手法の3つである。3つ目を比較対象に含める理由は、生存ノード数が少なくてもネットワークが生存していればよいという要求も考慮したためである。

評価項目は、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、観測経過時間に対するシンクノードと通信可能なセンサノードの数、そして単位時間あたりのセンサノードの平均電力消費量の3つである。

5 おわりに

本稿では、位置情報のみを用いて自律的にクラスタを形成し、センサノードの移動や追加、観測対象の拡大などに対応する、スケーラビリティがある、クラスタ化されたマルチホップネットワークの改良について述べた。

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] 後藤 隼式, 鈴来 和久, 横田 裕介, 大久保 英嗣, 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, 情報処理学会 第 69 回全国大会.
- [2] 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.