

## 省電力化を意識したツリー状センサネットワークトポロジの構築手法\*

小野寺 克美<sup>†</sup>川野 亮平<sup>††</sup>宮崎 敏明<sup>††</sup>会津大学大学院コンピュータ理工学研究科<sup>†</sup>会津大学コンピュータ理工学部<sup>††</sup>

## 1 序論

本稿では、ワイヤレスセンサネットワーク (WSN) において、マルチキャストツリーを構築し、配送メッセージの削減と、低電力スケジュールを行うアルゴリズムを提案する。本手法は、センサ端末群を観測地域へ稠密に配置し、データを集約するようなアプリケーションにおいて、Sink ノードを根とする Spanning-tree を形成するアルゴリズムであり、Sink を自律的に選出した後、Sink を根とした全域木を構築し、スケジューリングを行う。これにより、データ集約や、データ配布の効率化を図りつつ、パケット輻輳を低減する。シンクが消失または移動した際には、現在の木構造を出来るだけ保持するように Sink の再選出を行う。提案プロトコルをシミュレーション実験により評価する。

## 2 関連研究

省電力化に着目した WSN におけるトポロジ制御手法として、代表的なものとして以下のものがある。LEACH [1] や HEED [2] は、クラスタを用いてスケジューリングを行う。自律分散的にクラスタヘッド選出し、その役割を持ち回りで担当させることにより、各ノードの電力消費を分散することができるが、基地局へ直接通信できない程に離れたノードについて考慮されておらず、ネットワークの規模は、ノードが互いに通信出来る範囲の中に、全てのノードが収まるものに限られたものとなる。GAF [3] は、あらかじめ各ノードに格納されたノード自身の位置情報と、通信半径を用いることにより、隣接の区画の全てのノードと通信出来る距離が保証された格子状に観測環境を区切り、その区画内で 1 つの活動ノードを選出する方式で、高い省電力性を持つが、実環境での運用において、位置情報と通信半径については常に保証できるものではないため、直接適応することは出来ない。本稿では、これらの制約となりうる要素によって運用を限定されない手法を目指す。

## 3 提案手法

提案手法では、図 1 のようなツリートポロジを用いてネットワークの省電力性を向上させる。ネットワーク内に唯一の Sink ノードが自律的に決定される。そこから、Sink までのホップ数によってレベルが決定され、Sink ノードまでのルーティングの役割を担う。親ノードを選出し、その他のノードは葉ノードとなる。Sink 以外のいずれのノードも自分の上のレベルの親ノード、あるいは Sink にリンクを持ち、最短ホップ数で Sink まで到達できるツリートポロジを形成する。親ノードと葉ノードは、定期的にその役割を初期化し、残電力量の多いものを親としたツリーを作り直すことで、特定の親ノードにのみ通信負荷がかからないように役割交代を行う。

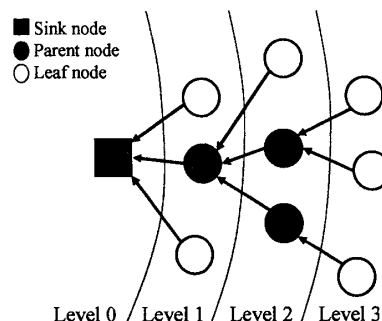


図 1 提案手法によるネットワークトポロジ例

各ノードは、周期的に図 2 の情報を搭載した制御用パケットを送信する。G の値は、存在していた Sink が消失し、次の Sink が立候補した際に 1 加算される。Sink ノードの G は 0 で初期化され、その他の端末では、変数 G が取り得る最大の値に初期化される。Ctotal は、L が 1 だけ大きい隣接ノードの総数 (子供の総数) である。また、Cadopt は、IDparent として自身の ID を搭載しているノードの総数である。すなわち、Cadopt は現在のマルチキャストツリートポロジにおいて自身とリンクを持っている子供の数であり、 $Cadopt \leq Ctotal$  である。

ID	: パケット送信元の ID
IDSink	: 現在所属している Sink の ID
L	: レベル; 現在の Sink からのホップ数
G	: Sink が変更された回数
E	: パケット送信元の残電力量
Cadopt	: パケット送信元の親ノード ID
Ctotal	: パケット送信元の子ノードの総数

図 2 制御用パケットに搭載される情報

## 3.1 Sink ノードの決定

全てのノードは、初期状態において Sink として起動する。すなわち、 $IDSink = ID$  となる。隣接のノードより制御用パケットを受信した際に、以下の場合に相手の Sink を優勢と判断し、自身の Sink を修正する。

- 相手の G がこちらより小さかった場合
- 相手の  $IDSink$  がこちらより小さかった場合
- 相手と同じ Sink であり、且つ相手の L がこちらより小さかった場合

既存の Sink がネットワークから消失した場合、以下の方法でネットワークは自律的に次期 Sink を選出し直す。Sink からの送信されたパケットを一定時間受信しなかった Sink の隣接ノードは、Sink が消失したとみなし、G を 1 増加させ、自身が Sink となるように制御情報を変更し送信を行う。すなわち、Sink の隣接ノード全てがそれぞれ新たな Sink 候補として送信を始めるが、それらの中からまた唯一の Sink へと収束する。所属変更の際に L の値を送信側の L より 1 大きい値に変える。また、ツリー構築の便宜のため、以後の定期的な制御用パケットの送信のタイミングを、Sink に近いノードから制御用パケットを受信した少し後となるように変更する。

\*Energy Conscious Tree Topology Creation for Wireless Sensor Networks

<sup>†</sup>Katsumi Onodera, <sup>††</sup>Ryouhei Kawano, <sup>††</sup>Toshiaki Miyazaki<sup>†</sup> Graduate School of Information Systems, The University of Aizu

### 3.2 マルチキャストツリーの生成

各ノードが自分の親を一つ選択することにより、提案手法によるツリートポロジが形成される。最良の親は、隣接ノードリストに存在するLが自身のLより小さい値のノード群より、残電力量が最大のノードとなる。この変更作業は、定期的な制御用パケットの送信の直前に行われる。

## 4 実験結果

消費電力の評価実験をシミュレータにより行った。各電力消費量については、クロスボー社のMicaZ [4] のスペックに準拠した。ノード配置する領域を450m×350mの平面とし、各ノードの通信半径を25mとした。また、配置するノードの総数Nを、 $N \in \{200, 400, 600, 800, 1000\}$  としてそれぞれの場合を調査した。図3は、トポロジ制御を考慮せずに、定期的なデータ収集を行うネットワークと、提案手法を取り入れることによってネットワーク全体での生存ノード数である。図3より、トポロジを考慮せずにデータ収集を行った場合と比べ、提案手法では、電力の枯渇により停止するまでの時間を延長出来ることが判る。また、ネットワークの密度が大きいきほネットワークの寿命が延びていることが判る。図4と図5は、トポロジの考慮されていない場合と、提案手法を用いた場合での、各ノードの平均子ノード数と、その標準偏差についてのグラフである。このグラフから、通信経路の役割が一つのノードに偏重しないよう役割の分散がなされていて、消費電力量のノード間の格差を低減していることが判る。

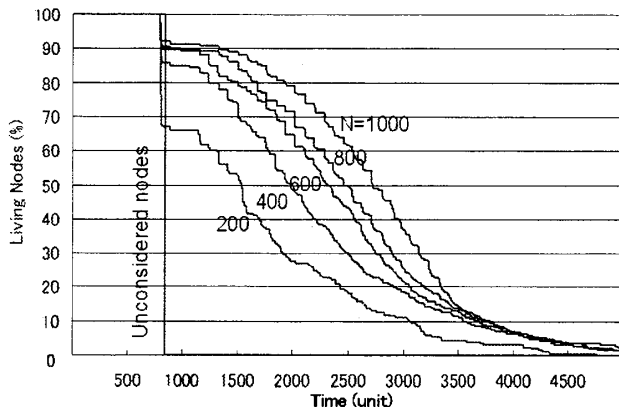


図3 シミュレーション単位時間毎の生存ノード数

## 5 まとめ

本稿では、センサネットワークにおいて、自律的に構築したマルチキャストツリー構造を用いて、低消費電力を実現するトポロジ構築手法を提案した。シミュレーションによる実験結果より、ネットワーク全体の消費電力量の低減が図れることが判った。今後は、実環境での実証実験も視野に入れ、アルゴリズムの更なる改良と、詳細評価を行う。

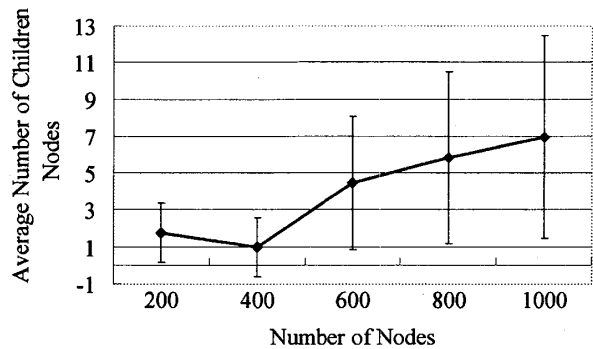


図4 トポロジ制御を施されていないネットワークにおける、各ノードの平均子ノード数と、その標準偏差

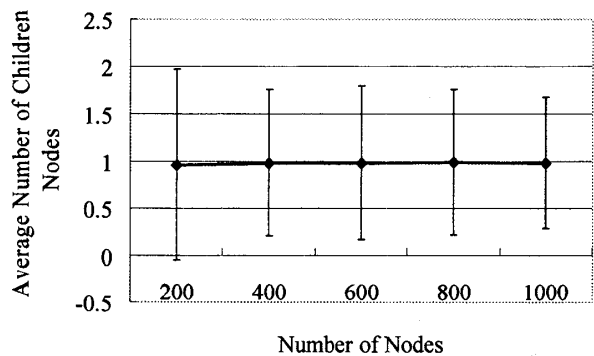


図5 提案手法によるネットワークにおける、各ノードの平均子ノード数と、その標準偏差

## 謝辞

本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金(課題番号:18500060)およびテレコム先端技術研究支援センター(SCAT)研究助成金による。

## 参考文献

- [1] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks," in Proceedings of HICSS-33, pp. 3005–3014, Jan. 2000.
- [2] O. Younis and S. Fahmy, "Distributed Clustering in Ad-hoc Sensor Networks: A Hybrid, Energy-Efficient Approach," in Proceedings of IEEE INFOCOM, vol. 1, pp. 629–640, Mar. 2004.
- [3] X. Xu, J. Heidemann, and D. Estrin, "Geography-informed energy conservation for ad hoc routing," in Proceedings of 7th Int. Conference on Mobile Computing and Networking, pp. 70–84, Italy, 2001.
- [4] MicaZ data sheet, Crossbow. [Online]. Available: [http://www.xbow.com/Products/Product\\_pdf\\_files/Wireless\\_pdf/MICAz\\_Datasheet.pdf](http://www.xbow.com/Products/Product_pdf_files/Wireless_pdf/MICAz_Datasheet.pdf)