

センサネットワークトポロジの部分的再構築方法

高原 資史[†] 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

近年、無線デバイスの小型化や低コスト化にともない、小型のセンサノードの開発や、多数のセンサノードから構成されるセンサネットワークの研究が行われている。従来のセンサネットワークでは、固定ノードのみを用いたセンシング(固定センシング)が主流となっている。しかし、定点センシングでは、拡張性や柔軟性の欠如が問題となる。この問題を解決するために、移動体によって環境情報を取得する移動センシングが注目されている。移動センシングでは、センサネットワークへのノードの動的な参加、離脱、親ノードの変更といった処理が重要となる。また、センサネットワークでは、電力消費量の抑制も重要な課題の一つとなっている。

本研究では、ネットワーク全体での電力消費量を考慮し、ノードの参加、離脱、親ノードの変更といった事象に対し、ノードからのメッセージ送信に基き、部分的にトポロジを再構築する手法を提案する。基地局からネットワーク全体への定期的なルーティングメッセージの送信を抑制するため、パケット総数を削減し、ネットワーク全体での電力消費量の低下が期待できる。

2 提案手法

2.1 概要

本研究では、ノードの参加、離脱、親ノードの変更を、各ノードが送信するメッセージをトリガとして実行する手法を提案する。このとき、ネットワーク全体へ定期的に送信するルーティングメッセージの送信を抑制する。これにより、ネットワーク全体に送信されるパケットの総数を削減し、ネットワーク全体の電力消費量の低下が期待できる。

また、提案手法では、基地局から送信されるクエリに基づき木構造のルーティングトポロジを形成する。木の構築は、経路発見プロセスと経路維持プロセスの2段階に分けて実行する。木の再構築をセンサネットワーク全体ではなく部分的に実行することにより、ネットワーク全体に送信するルーティングメッセージの総数を抑制することができる。

2.2 経路発見プロセス

経路発見プロセスでは、基地局からフラッディングによってクエリメッセージをネットワーク全体へ送信し、各ノードから基地局までの経路を決定する。

基地局は、隣接ノードへクエリメッセージをブロードキャストする。クエリメッセージを受信したノードは、ホップ数を1増加させ、自身の情報を付加し、更にブロードキャストを行う。これを繰り返しネットワーク全体へクエリメッセージのフラッディングを行う。各ノードは、受信したメッセージに付加された情報を隣接ノードテーブルに格納し、一定時間経過後、隣接ノードテーブルを比較し、親ノードを決定する。フラッディングが終了す

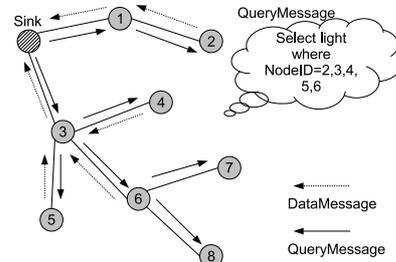


図1 経路発見プロセス

ると、各ノードは、クエリメッセージに対する結果を親ノードへ送信する。また、クエリメッセージに自身や、子孫ノードが関係しない場合は待機状態へと移行する。図1に経路発見プロセスを示す。

2.3 経路維持プロセス

経路発見プロセスが終了すると、経路維持プロセスへと移行する。経路維持プロセスでは、親ノードの変更、ノードの参加、離脱に対する処理を行う。それぞれの処理手順を次に示す(図2, 図3, 図4参照)。

・親ノードの変更

経路維持プロセスを実行中には、電力消費や、通信状態の悪化が発生する。これらにともない、親ノードを最適なノードへ変更する必要が生じる。各ノードは、他ノードが送信するパケットを傍受し、隣接ノードテーブルを更新する。定期的に、隣接ノードテーブルにある情報を比較し、最適な親ノードを選択する。

・新規参加

経路発見プロセスの終了後に、新たにノードが参加した場合、新規ノードは、一定時間隣接ノードの送信しているパケットを傍受し、隣接ノードテーブルを作成する。作成した隣接ノードテーブルから、親ノードを選択し、クエリ要求メッセージを送信する。クエリ要求メッセージを受信した隣接ノードは、新規ノードに保持していたクエリメッセージを送信する。クエリメッセージを受信した新規ノードは、クエリに従いデータ送信を開始しネットワークへ参加する。

・離脱

電力切れや、電波到達範囲外への移動、故障などによって、ノードがネットワークから離脱する場合、それぞれに対応したネットワークからの離脱処理を行う。電力切れや移動のように、事前に離脱を予測可能な場合と、突然の故障などによる予測不可能な場合に分けることができる。予測可能な場合は、ネットワークから離脱するための前処理を行うことが可能である。また、予測不可能な場合も、タイムアウトによって離脱を判断することが可能である。センサネットワークでは、ノードの離脱理由もユーザにとって有益な情報となることが考えられる。

電力切れによる離脱では、残り電力の値が一定値以下、移動による離脱では、一定期間加速の値が一定値以上となった場合に、各ノードは、離脱メッセージを送信する。離脱メッセージを受信した親ノードは、基地局まで離脱メッセージを送信する。また、離脱ノードを親としていたノードは、離脱メッセージを受信すると、親ノード変更の処理を行う。

その他の事前に察知することが難しい故障などによる離脱は、タイムアウトによって離脱を判断する。親ノード

A Method of Partial-Reconfiguration of Sensor Network Topology

Motofumi Takahara[†], 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

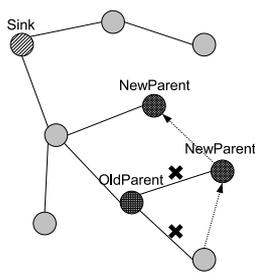


図 2 親ノード変更

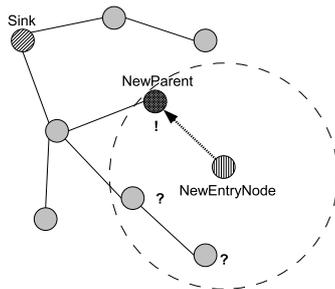


図 3 新規参加

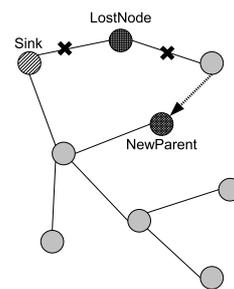


図 4 離脱

ドが故障などで離脱した場合、子ノードは、親ノードの送信するパケットを受信することがなくなるため、各ノードは、離脱したと判断し、親ノード変更の処理を行う。

3 実装

本研究では、Crossbow Technology 社の MOTE と呼ばれる研究開発用の小型端末を使用し実装を行う。MOTE では、TinyOS[1] と呼ばれるセンサノード OS が動作している。TinyOS は、C 言語を拡張した nesC 言語 [3] によって記述されている。nesC は、「*.nc」ファイルという利用するコンポーネント群を結合するコンフィグレーションファイルと、具体的な動作を記述する「*M.nc」ファイルから構成される。

本手法のプロトタイプとして TinyDB[2] と呼ばれる、TinyOS 上で動作するセンサネットワーク問い合わせシステムのネットワーク機能を提供しているコンポーネントを拡張することで、実装を行った。図 5 に TinyDB におけるネットワークコンポーネントのソフトウェア構成を示す。

ネットワークコンポーネントは、いくつかのモジュールから構成されている。本手法を実装するうえで、MultiHopNetworkM, TupleRouterM, MultiHopEnginM, MultiHopLEPSM について拡張を行った。

親ノードの選択処理、隣接ノードテーブル処理を、MultiHopLEPSM に実装した。MultiHopLEPSM では、一定時間毎に実行する TimerTask によって、隣接ノードの接続品質の更新を行う updatetable、親ノードの選択を行う chooseparent を呼出す。また、MultiHopLEPSM では、メッセージを受信するたびに receiveMsg.receive によって、隣接ノードテーブルを更新する。

新規参加ノードは、receiveMsg.receive によって、隣接ノードテーブルを作成し、TimerTask によって親ノードを決定する。次に、MultiHopNetworkM に実装した Network.SendQueryRequest を呼出し、親ノードへ対して、宛先ノード ID、送信元ノード ID を設定した QueryRequestMessage (QRM) を送信する。QRM を受信すると、MultiHopNetworkM の RcvRequestMsg.receive を実行する。QRM の宛先ノード ID が、自身の ID である場合、TupleRouterM の Network.querySub を実行する。Network.querySub では、保持しているクエリを設

定し、MultiHopNetworkM の Send.QueryMsg を呼出し送信する。

次に、離脱処理を MultiHopNetworkM と TupleRouterM に実装した。残り電力が一定値以下、一定期間加速度の値が一定値以上になった場合、MultiHopNetworkM に実装した、Network.SendLostMessage を実行し、LostMessage (LM) を送信する。LM を受信したノードは、RcvLostMsg.receive を実行し、隣接ノードテーブルから離脱ノードを削除する。離脱ノードからの LM を親ノードが受信した場合、基地局まで離脱メッセージを送信する。また、離脱ノードを親としていたノードが、LM を受信した場合、親ノードを変更する。

4 評価方法

本手法の性能評価として、ノードの追加、離脱の際の通信コスト、電力消費量、トポロジ変更までの時間を MOTE を用いて実験し測定する。これらの評価項目について、TinyDB で用いられている SRT (Semantic Routing Tree) [2] による従来の手法との比較を今後行う。

5 おわりに

本稿では、センサネットワークにおけるノードの追加、離脱、また親ノードの変更にもともなうトポロジ変更処理を、ネットワーク全体の電力消費量を考慮し、各ノードからのメッセージ送信によって行う手法について述べた。また、本手法の実装方法、評価方法について述べた。本手法を用いることで、センサネットワークトポロジの再構築を部分的に行い、電力消費を抑え、ノードの離脱理由の判別が可能となる。今後の課題として、SRT 以外のルーティング手法との比較、ノード数を増加させた場合の検証などがあげられる。

参考文献

- [1] Levis, P., Madden, S., Polastre, J., Szewczyk, R., Whitehouse, K., Woo, A., Gay, D., Hill, J., Welsh, M., Brewer, E., and Culler, D., from Ambient Intelligence, W. Weber et al, Ed., TinyOS: "An Operating System for Sensor Networks," <http://bwrc.eecs.berkeley.edu/classes/ee290q/Readings/culler.pdf>
- [2] Madden, S., Franklin, M., Hellerstein, J., and Hong, W., TinyDB: "An Acquisitional Query Processing System for Sensor Networks," ACM Trans. Database Syst. 30, 1, pp. 122-173 (May 2005).
- [3] Gay, D., Levis, P., Behren, R., Welsh, M., Brewer, E., and Culler, D., The nesC Language: "A Holistic Approach to Networked Embedded Systems," In Proceedings of Programming Language Design and Implementation (PLDI) 2003, pp. 1-11, San Diego, CA, June 2003.

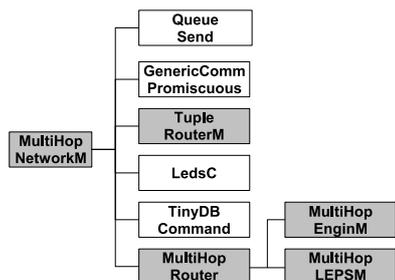


図 5 ネットワークコンポーネントソフトウェア構成