

無人観測のための自律移動型ノードを利用したセンサネットワークシステム

杉井 祐太 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

屋外における環境観測や、建物のモニタリングを行うための手段として、無線センサネットワーク (Wireless Sensor Network; WSN) を用いる方法がある。従来は、主に固定型のセンサノードを用い、人手によって予めノードを適切な場所に配置する方法が用いられてきた。固定ノードを用いた WSN は、センシング範囲の変更や、故障ノードの交換が必要になったとき、これらの作業を再び人手によって行う必要がある。一方で、災害などが発生した場合は、人が立ち入ることが困難な環境での観測を行うことが求められる。このような状況に対応するために、移動型ノードを用いたセンサネットワークを利用する方法が考えられる。自律的に移動可能なノードを利用することで、配置作業や交換作業において、人を危険にさらさずにシステムを運用することができるようになる。

本稿では、人が立ち入ることができないような環境における無人観測を実現するための移動型ノードを用いたセンサネットワークシステムを提案する。本システムでは、運用中に起きるバッテリー切れ、センサ機器の故障、通信障害のトラブルなどに対し、各ノードが自律的に判断を行い、適切な対処を行う。

2 関連研究

これまでも、移動型ノードを用いた WSN に関する様々な研究が行われてきている。例えば、固定ノードで構築した WSN における通信電波強度を移動ノードが観測し、固定ノードの配置、回収、移動などを行うことで、移動ノードが WSN の管理を行うシステム [1] や、固定ノードと自律移動型ノードを組み合わせた WSN において、移動ノードがセンシングデータに基づいて適切な場所へ移動し、効率の良いネットワークを構築するシステム [2]、およびユーザからの要求に適した配置位置へ移動する際に、障害物や同時に移動するノード同士の衝突を考慮し、最小のコストとなるような移動経路を選択するための、経路探索アルゴリズムと問合せ言語の研究 [3] などが挙げられる。

本研究の特徴としては、[1][2] のように固定ノードと移動ノードを組み合わせる WSN を構築するのではなく、自律移動型ノードのみで WSN を構築することで大きな柔軟性を獲得している点、また [3] のようにホストによる集中管理方式ではなく、各ノードが周囲から情報を得て、自律的に判断を行い、対処する分散型システムとして構築する点が挙げられる。

3 提案手法の概要

本システムでは、人が立ち入ることができないような環境における観測を実現するため、システム運用中に発生することが想定される主要なトラブルに対し、自律的に対処するための手段を提供する。主要なトラブル

としては、ノードのバッテリー切れ、ノードが持つセンサ機器の故障、およびノード間の通信障害を想定している。こういったトラブルに対し、ホスト PC 側からの指示や、人手による対処によらず、原則として各ノードが自律的に判断を行うことができるよう、分散システムとしてシステム全体を設計する。このようにすることで、センサデータの送受信以外の通信を削減し、またノードが通信から孤立する状況にあっても対処が可能になる。

以下、主要なトラブルに対する対処の概要を述べる。

3.1 ノードのバッテリー切れ

人が立ち入ることができない環境においてノードがバッテリー切れで停止してしまうことを避けるため、各ノードは定期的に残電圧値とホストまでの距離の確認を行い、バッテリー電圧の低下によりホストまでの移動が困難になる直前に、ノードの交替動作を開始する。まず、ホストに代替ノードの要求を発行し、ホスト付近に待機している予備ノードと役割を交代する。代替ノード到着後、元のノードはホスト付近まで移動し、人手によるバッテリー交換作業、もしくは何らかの手段による自動的なバッテリー充電作業を実施する。作業終了後は、元のノードは予備ノードとしてホスト付近で待機する。

この動作を図 1 に示す。(1)ホストに代替ノードを要求。(2)代替ノードの要求を受け、予備ノードに移動を指示。(3)代替ノードが要求ノードの位置へ移動。(4)代替ノードが到着後、要求ノードはホストへ移動。(5)電池の交換・充電を行う。(6)電力回復後、予備ノードとして待機。以上の手順で、ノードは役割の交代とバッテリー交換・充電動作を完了する。

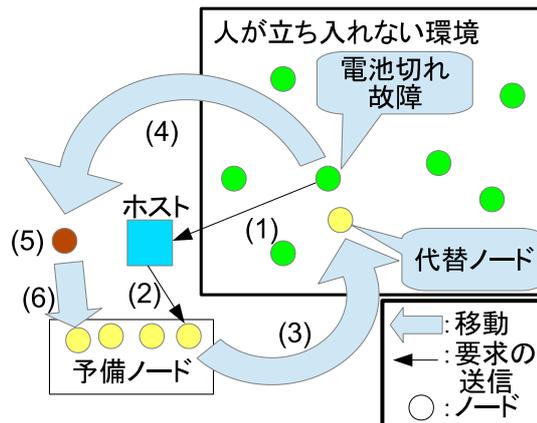


図 1 バッテリー切れおよびセンサ機器故障時の対応

3.2 ノードのセンサ機器故障

ノード上のセンサ機器の故障や、ノードの電圧低下などにより、異常な値を持つセンシングデータを取得する場合があります。このようなデータをホストへ送信することを避けるため、各ノードはセンシングデータを取得すると同時に値のチェックを行い、異常値かどうかの判断を行う。異常値と判断した場合、送信を中止した上で、機器故障の可能性があると判断し、ホスト

A sensor network system using autonomous mobile nodes for unmanned observation
Yuta Sugii Yusuke Yokota Eiji Okubo
College of Information Science and Engineering Ritsumeikan University

に対し代替ノードを要求する。元のノードはホスト付近まで移動したのち、修理等の対処を行う。

この動作はバッテリー切れの場合とほぼ同じものとなる(図1)。(1)センシングデータのチェック結果より、異常値と判断し、ホストに代替ノードを要求。(2)ホストは代替ノードの要求を受け、予備ノードに対し、要求したノードの位置までの移動を指示。(3)代替ノードが要求ノードの位置へ向かう。(4)代替ノードが到着後、要求ノードがホストへ移動。(5)修理・交換等の作業を促す。(6)修復後、予備ノードとして待機。

3.3 ノード間の通信障害

通信経路上の中継ノードにおいて、外的要因などにより、通信モジュールまたは、本体の故障や電源停止などのトラブルが発生し、通信不能となる場合がある。この場合、単に当該ノードのセンシングが不可能になるだけでなく、このノードを経由して通信するノードからのデータも取得できなくなる。予備ノード数に余裕がある場合は、ホスト付近から代替ノードを派遣することで通信経路を元の状態に戻すことが可能である。一方、予備ノード数が少ない場合は、代替ノードを用いずに通信経路を回復することが求められる。このときは、中継ノードの故障が原因で孤立してしまったノード群を移動させ、ホストまでの通信経路を回復させる手段を取る。

4 通信障害への対応

ここでは、3.3節で述べたノード間の通信障害への対処手法の詳細を述べる。ノードの初期配置は、センシングしたい範囲をカバーするとともに、すべてのノードが周囲のノードと通信が可能であり、マルチホップ通信によって全ノードからホストへデータが送信できるよう決定されているものとする。

原則として、この初期配置を変更しないように運用が行われるが、3.3節で述べたように、予備ノードが少ない状況において通信障害が発生した場合は、この初期配置からの変更を最小限におさえるような形で、孤立したノード群が自律的に移動し、ホストとの通信を回復させる。

動作の概要を図2に示す。通信障害発生時は、次の手順で対処を行う。(1)通信不能となった中継ノードが発生し、一部のノード群が通信できず、孤立した。(2)周囲のノードは、通信できなくなったことから、当該中継ノードが通信障害を起こしたと判断する。孤立したノード群、すなわち中継ノードよりもホストから遠い位置に設置されたノード群は自律的に移動を行い、ネットワークポロジを再構築する。基本的に、通信不能となったノードの配置位置に、孤立したノードが移動する。移動候補ノードが複数ある場合は、ホストまでの通信ホップ数がより少ないノードを候補として選ぶ。ホップ数が等しいノードが複数ある場合は、通信不能となったノードまでの距離がより短いノードを候補として選ぶ。1個のノードが移動することによって、これまでそのノードと通信していたノードが通信不能となる場合が考えられる。この場合、全ノードの通信が可能になるまで、再帰的に同様の手順を繰り返す。(3)実際には、全ての移動プランが決定し、最終的な配置位置が確定するまで、実際の移動は行わない。全移動プラン決定後、同時に全てのノードが移動を開始する。

トラブルが発生するたびに上記の手順を繰り返すことで、ネットワーク全体の経路を維持する。

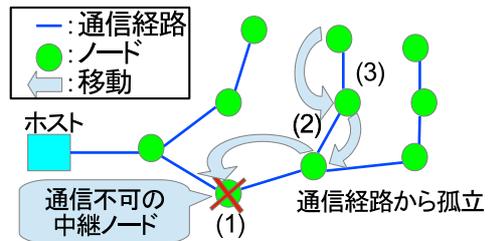


図2 通信障害への対応

5 実装

プロトタイプシステムの実装には、Pololu社のm3pi Robot(以下m3pi)上に通信モジュール(XBee)やセンサを搭載して構成した小型の移動ノードを用いている。各ノードは自身の位置情報を持つ。位置情報はホストを原点とする2次元平面の座標軸で表す。各ノードは自身の移動方向と距離を正確に把握できるものとし、これによって常に正確な位置情報を持つものとする。ネットワークポロジに関する情報や、他ノードの位置情報は、変化があるたびに通信を行い、各ノードが把握する。ネットワークから孤立したかどうかの判断は、定期的にセンシングデータを送信するときに合わせて行う。

現時点では、通信障害への対応手法が正しく実装されたことを確認するための動作試験を実施する予定である。ホストPCと2台のm3piで構築したネットワーク上でマルチホップ通信を行い、中継ノードの電源を意図的に切ったときに、孤立ノードとなるリーフノードが、正しく中継ノードの位置まで移動し、ホストとの通信を再開することを確認する。

6 おわりに

本稿では、無人観測を実現するための移動型ノードを用いたセンサネットワークシステムを提案した。今回は特に通信障害が発生した場合の対処法について詳しく述べた。稼働ノード数が減少した場合でも、初期に設定した観測範囲をできるだけカバーすることが求められるが、現在の手法では、1個のノードに通信障害が発生する度に、末端のノードが移動する可能性があり、このノードが観測していた範囲をカバーできなくなるという課題が残っている。今後は、提案手法を進展させ、より詳細なノード移動プランを生成することによって、観測範囲をできるだけ変えずに通信経路を保持するようにしたい。また、本稿で挙げた主要なトラブルのほかに、ノード移動時の他ノードおよび障害物との衝突など、解決すべき課題があると考えられる。これらの課題を解決する手法を合わせてシステム上に実装し、実機を用いた長期間観測動作実験を行う予定である。

参考文献

- [1] 鈴木剛, 杉崎隆二, 川端邦明, 羽田靖史, 戸辺義人: 移動ロボットによる無線センサネットワークの構築と管理および環境情報の収集, 情報処理学会論文誌, Vol.51, No.4, 1163-1174(Apr.2010)
- [2] 織戸英佑, 宇谷明秀, 山本尚生: 移動ノードを含む無線センサネットワークのための適応的ルーティングアルゴリズム, 電子情報通信学会技術研究報告, COMP, コンピューテーション 108(443), 53-58, 2009-02-23
- [3] 中宮正樹, 寺田務, 西尾章治郎: 移動型センサネットワークにおける複数ノードのための経路探索手法, 情報処理学会論文誌, Vol.50, No.4, 1262-1271(Apr.2009)