

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 13 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2011

課題番号：22700092

研究課題名（和文）モバイルセンサネットワークにおけるプッシュ型放送を用いた  
データ収集・管理方式研究課題名（英文）Data Collection and Management Methods using Push-based Broadcast  
in Mobile Sensor Networks

研究代表者

小川 剛史 (OGAWA TAKEFUMI)

東京大学・情報基盤センター・准教授

研究者番号：60324860

研究成果の概要（和文）：

ノード数が少ない疎なセンサネットワークでは、ノードの通信可能範囲内に他のノードが存在しないため、観測データを基地局へ送信するために、シンクノードと通信できる位置まで移動する必要がある。本研究ではこのような疎なモバイルセンサネットワークにおいて効率的なデータ収集を実現するための(1)センサノードの移動制御方式と(2)データの転送方式に関する研究開発を行った。また、提案方式の有効性をシミュレーション実験によって確認した。

研究成果の概要（英文）：

In mobile sensor networks with a small number of nodes, because nodes' radio communication range does not cover the whole area, every node has to move closer to the data sink to deliver its sensed data. This research proposes (1) mobile sensor control methods using push-based broadcast and (2) data delivery methods in mobile sensor network. Implementing the proposed methods on network simulators, we confirm the effectiveness of the proposed methods.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
22年度	1,500,000	450,000	1,950,000
23年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：情報システム、センサネットワーク、プッシュ型配信

## 1. 研究開始当初の背景

環境モニタリング、動植物の生体調査、建物内のセキュリティ管理などを目的として、センサノード（以下、ノードと呼ぶ）だけでネットワークを構築するセンサネットワークが注目されている。センサネットワークでは、各ノードが取得したセンシ

ングデータをマルチホップ通信により基地局に転送し、収集している。従来は、ノードの位置が固定された環境を想定したものが一般的であったが、広大な領域をセンシングするためには多数のセンサが必要となることや、人が入れない汚染地域などではセンサの設置自体が困難であるという問題が

あった。

近年では、ロボティクス技術を用いてノード自身が移動してセンシングを行ったり、ネットワークを形成したりする移動型センサネットワークが注目を集めている。移動型ノードを用いれば、人が直接センサを設置することが困難な場所であってもセンシングすることができ、さらに広大な領域であっても少数のノードでのセンシングが可能となる。しかし、ノード数に対して観測領域が非常に大きくなると、各ノードの無線通信範囲に他のノードが存在しない状況が発生する。この場合、基地局にセンシングデータを送信するために、各ノードは基地局と通信可能な位置まで移動する必要があり、多大な電力を消費することとなる。また、基地局にセンシングデータを効率よく送信するためには、ノードの故障などを考慮したデータの収集方式が必要となる。

## 2. 研究の目的

本研究では、図1に示すような疎な移動型センサネットワークにおいて、センシングデータを基地局へ収集するためのネットワーク（以下、収集ネットワークと呼ぶ）を構築する際の移動コストを低減する、放送型データ配信を用いたノードの移動制御方式および収集ネットワークにおけるデータの収集方式の確立を目的とする。

## 3. 研究の方法

提案方式を、ネットワークシミュレータである NS2 や C 言語で自作したネットワークシミュレータ上に実装し、定量的に評価した。これらの計算機シミュレーションでは、ノードの故障率などを確率的に与えている。

## 4. 研究成果

### (1) ノードの移動制御方式

プッシュ型放送から得られる基地局とマルチホップ通信を行っているノードの位置に関する情報と、移動中に通信可能となったノードから得られる情報を用いて、各ノードが現在位置から最も近い、基地局へデータを転送できる地点に移動し、一時的なネットワーク（収集ネットワーク）を形成する SR-N (Shortest Route with Negotiation) 方式と、特に移動コストの削減に注目して、収集ネットワークのトポロジをあらかじめ静的に決定する MST (Moving-distance-based Static Topology) 方式を考案した。

SR-N 方式では、ノードが目的地に向かって移動している間に他のノードと通信可能となったとき、目的地情報を交換し、連携して収集ネットワークに参加する。この

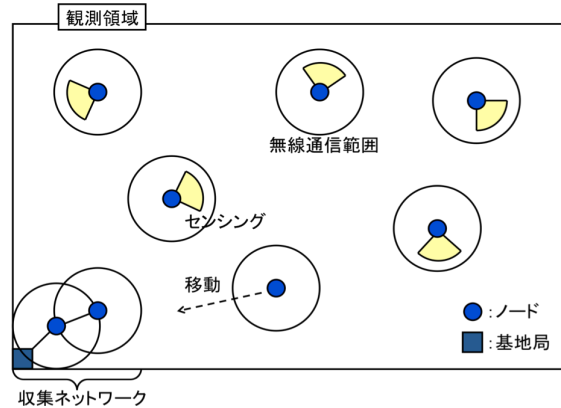


図1 想定環境

際、収集ネットワーク形成時のノード間距離を広げることで、収集ネットワークへ自身が参加する際の移動距離を低減するだけでなく、そのノードの後方から近づいてくる他のノードの移動コストの削減も実現する。ノードが故障すると、そのノードに接続予定だったノードが基地局と通信できなくなるため、目的地に到着しても収集ネットワークに参加できないノードは、再度、放送から得られる情報を基に移動する。また、基地局へのデータ転送が終了したノードは、後から来るノードのデータを中継するためにすべてのノードが収集ネットワークに接続するまで待機する。したがって、ノード故障により収集ネットワークに参加しないノードいるとそのまま待機を続け、センシングに向かわない。本研究での拡張では、各ノードの到着時刻を基地局が予想し、予想時刻を越えてもやってこないノードに関しては故障したと判断して、センシングを継続するようにしている。

MST 方式では、センシング終了後に各ノードがあらかじめ決定した接続位置に向かって移動し、その接続位置で収集ネットワークに参加する。各ノードの接続位置についてはノードを実際に配置する前に基地局の計算機上でシミュレーションし、各ノードには得られた接続位置のみを伝えた後、実際のセンシング地点に配置する。ノードの故障が発生した場合には、収集ネットワークにおいて故障ノードからもっともホップ数が少なくなる末端ノードまでのノードの接続位置をひとつずつずらして収集ネットワークを再構成する。MST 方式では、センシング位置と収集ネットワークでの決まった参加位置を常に往復するため SR-N 方式よりも、ノード故障を正確に検出できる。

提案手法の有効性をシミュレーション実験を行って確認した。図2,3に各方式で構築した収集ネットワークの例を示す。SR-N

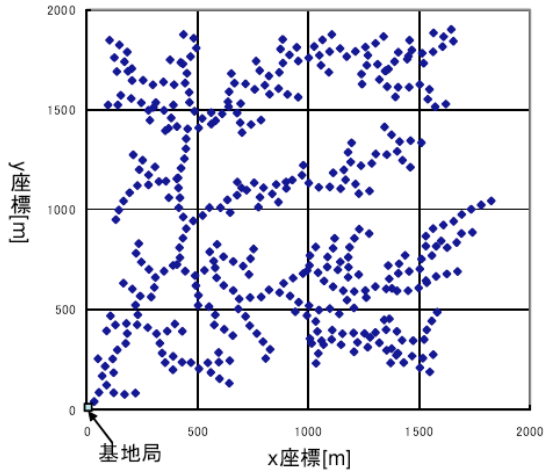


図2 収集ネットワーク (SR-N方式)

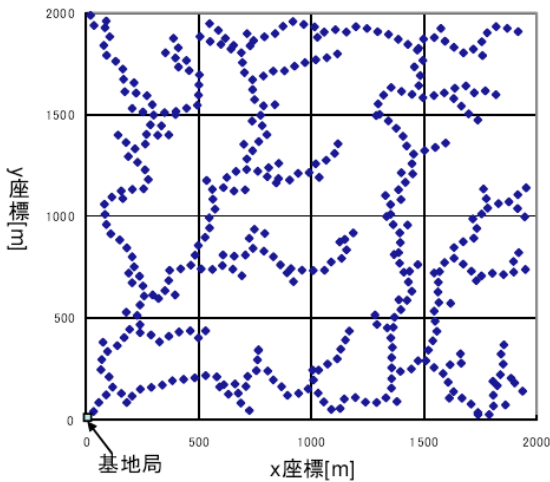


図3 収集ネットワーク (MST方式)

方式は、MST方式と比較して、ノードの移動による消費コストが大きくなるが、高いスループットを実現できることが分かった。一方で、MST方式は、SR-N方式と比較して、ノードの移動による消費コストを大幅に削減できるのに対し、収集ネットワークにおける平均ホップ数が多く、スループットが低くなることを確認した。したがって、環境やその場の状況に応じて両方式を適応的に利用することが有効であることが分かった。

これらの研究成果は、International Journal of Mobile Multimedia に掲載されている。

## (2) データ転送方式

センシングデータを基地局に収集する際

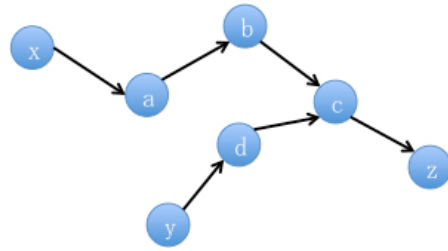


図4 収集ネットワーク

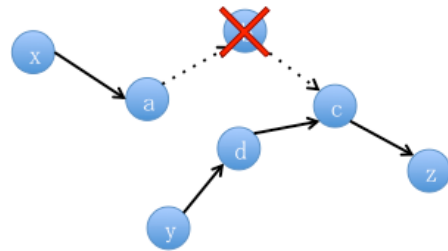


図5 収集ネットワーク (ノードbが故障した場合)

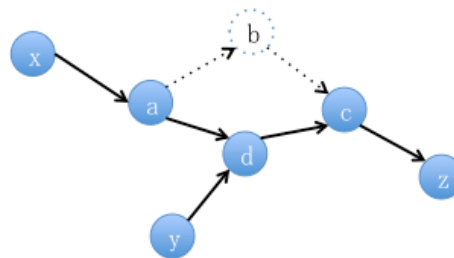


図6 収集ネットワーク (ノードdによる代理転送)

には、複数のノードで形成した一時的なマルチホップのネットワークである収集ネットワークを利用する。一般的にアドホックネットワークなどのマルチホップ通信では、周りの環境によって、正しく通信できず、エラーが発生することが多い。そこで、ノードが集まってきた状況で、あるノードとノードの間での通信が正しく行われなかった場合に、周りのノードが代わりにデータを転送することによって、データの収集効率を低減しない転送手法を考案した。

具体的には、データを基地局に収集する際、これまでデータ転送のために利用していたルートが利用できなくなる可能性がある。一般的に、ノードxからノードzにデータを転送する際、ノードxとノードzが直接電波の届かない場所にある場合には、

その間にいるノードがデータを中継することでノード x、z 間のデータ転送を実現する。例えば、図 4 に示す状況では、ノード x,a,b,c,z とノード y,d,c,z でデータの転送ルートが構成されている。何も問題が発生しなければ、ノード x とノード y はそれぞれのルートでノード z までデータを転送すれば良いが、図 5 に示すように例えばノードに b に問題が発生した場合、ノード x はノード z までデータを転送できなくなってしまう。そこで、提案方式では、ノード a とノード b およびノード c のデータ転送のやりとりをノード d はモニタリングすることが可能なため、ノード a からのデータ転送要求に対してノード b が反応しなければ、ノード b に障害が発生したとしてノード d がノード a からノード c へのデータ転送をリレーすることにした (図 6)。また、同様の方式を用いることにより、データセンターまで転送する際のルートを短縮することも可能になる。

提案手法の有効性を検証するため、シミュレーション実験を行い、性能評価を行った。データパケットの到達率は維持したまま、トラフィックのオーバーヘッドやデータの転送遅延時間を低減できることを確認した。しかし、データをデータセンターへ転送する際に、周辺ノードの通信状況をモニタリングするため、一般的なアドホックネットワークとは異なりセンサネットワークでは消費電力の増加が問題になる。したがって、モニタリング頻度などを考慮した方式が必要であるなど新たな課題も明らかになった。

これらの研究成果は、国内研究会で発表した。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① Takefumi Ogawa, Tatsuya Shinjo, Shinya Kitajima, Takahiro Hara, and Shojiro Nishio: Node Control Methods to Reduce Power Consumption Using Push-Based Broadcast for Mobile Sensor Networks, Journal of Mobile Multimedia, Vol.6, No.2, pp.114-127, Rinton Press, 2010, 査読有.

[学会発表] (計 2 件)

- ① Takefumi Ogawa and Masaya Nakayama: Mobile Sensor Control Using

Push-based Broadcast in Sparse Sensor Network, in Proceedings of the International Symposium on Secure-Life Electronics, Jan. 2012, Tokyo, Japan.

- ② Zilu Liang, Yuzo Taenaka, Takefumi Ogawa, and Yasushi Wakahara: Automatic Route Shortening for Performance Enhancement in Ad Hoc Wireless Networks, 13th Network Software (NWS) Conference, June 2011, Kushiro, Hokkaido, Japan.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

小川 剛史 (OGAWA TAKEFUMI)  
東京大学・情報基盤センター・准教授  
研究者番号: 60324860

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし