

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 12 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23700078

研究課題名(和文)無線センサネットワークにおけるモバイル端末を用いたデータ収集に関する研究

研究課題名(英文)Study on Data Gathering using Mobile Devices in Wireless Sensor Networks

研究代表者

神崎 映光(Kanzaki, Akimitsu)

大阪大学・情報科学研究科・助教

研究者番号：80403038

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円、(間接経費) 990,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、無線センサネットワークにおいて、人が持ち歩くスマートフォンなど、環境内を自由に移動するモバイル端末をデータ収集用端末(モバイルシンク)として利用する場合に、センサデータの収集を高信頼かつ低負荷で実現するためのデータ転送機構について研究を推進した。具体的には、モバイルシンクへのデータ転送を効率的に行うための通信制御手法、およびセンサデータの特性を利用した通信量削減手法をそれぞれ考案した。本研究の成果は国内外の論文誌や学会において積極的に公表し、国際的に著名な国際会議や国際論文誌、さらには書籍のチャプターとして掲載されるなど、国際的に高く評価された。

研究成果の概要(英文)：In this project, we have promoted studies on data forwarding mechanisms which realize sensor data gathering with higher reliability and lower load, considering wireless sensor networks that utilize mobile devices moving freely such as human-carried smart phones as mobile sinks. Specifically, we have proposed communication protocols for realizing efficient data forwarding toward mobile sinks, and traffic reduction methods which make use of characteristics of sensor readings. We have made public our research achievements in journals and conferences. Our research papers include an international journal and some internationally known conferences. Furthermore, a part of our achievements have been published in a book chapter.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・計算機システム・ネットワーク

キーワード：無線センサネットワーク モバイル端末 モバイルシンク データ収集 通信プロトコル

1. 研究開始当初の背景

本研究課題を開始した当時、温度や湿度、気圧などを計測するセンサデバイスを搭載した小型計算機（センサノード、以降「ノード」と表記する）を用いてネットワークを形成する無線センサネットワークに対する注目が高まっていた。特に、移動しながらデータの収集を行うモバイルシンクを用いたデータ収集に関する研究に注目が集まりつつあり、国内外のさまざまな研究機関において活発に研究が行われていた。これらの研究は、データ収集のために移動する特別な端末をモバイルシンクとして導入し、その移動を制御するものや、路線バスをはじめとした移動経路が予め固定されている移動体をモバイルシンクとするものが大半を占めていた。

一方で、当時から広く普及しつつあったスマートフォンを持ち歩く人や、路車間・車々間において無線通信を行う車両など、街中を自由に行き来する移動媒体（モバイル端末）にも無線通信機能が搭載されるようになりつつあった。このようなモバイル端末は環境内に多数存在し、多くのノードと直接通信が可能であるため、モバイルシンクとして利用することで、各ノードが取得したセンサデータを効率的に収集できるものと考えられる。しかし、モバイル端末は自由に移動するため、各モバイルシンクの移動が制御できず、またそれぞれの存在位置を予測することも困難となる。そのため、既存研究で提案されている手法は有効に機能せず、効率の良いセンサデータの収集が実現できなかった。

2. 研究の目的

本研究課題では、移動が制御できず、その存在位置も予測できないモバイルシンクが多数存在する無線センサネットワークにおいて、各ノードが取得したデータを低負荷かつ高信頼で収集する技術の確立を目的とする。この目的を達成するため、下記二つのサブテーマについて研究開発を推進する。

(1) モバイルシンクとの接続状況に基づくデータ転送

モバイル端末を保持する人や車両の移動特性は、時間・場所によって変化するものと考えられる。例えば、日中は商店街において多くの人が往来する一方、夜間は飲食店街に多くの人が集まるなど、時間によって多くのモバイルシンクが存在する場所が変化することが考えられる。この場合、時間・場所によってモバイルシンクと直接通信可能となるノードが変化するものと考えられる。そのため、各ノードが取得したセンサデータを、多くのモバイルシンクと頻繁に直接通信可能であるノードへ転送することで、モバイルシンクへのデータ転送が確実にできる。ここで、各ノードは、時々刻々と変化するモバイルシンクの移動特性を把握できないため、周辺のノードとの協調動作により、モバイルシンクと直接通信可能であるノードに関する情報を共有する必要がある。本サブテーマでは、この情報共有を低負荷なメッセージ交換によって実現し、センサデータの転送を高信頼かつ低遅延で実現する方法について研究を推進する。

シンクと直接通信可能であるノードに関する情報を共有する必要がある。本サブテーマでは、この情報共有を低負荷なメッセージ交換によって実現し、センサデータの転送を高信頼かつ低遅延で実現する方法について研究を推進する。

(2) センサデータの特性を考慮したデータ転送の効率化

一般にセンサデータは、近隣において観測された温度が類似した値を示すなど、時間的・空間的に相関性があることが知られている。この特性を利用することで、他のデータから予測可能なデータの収集を抑制でき、これにより、通信量の削減によるデータ収集のさらなる効率化が期待できる。本サブテーマでは、データの時間的・空間的な相関性を利用し、各ノードが取得したセンサデータの収集効率をさらに向上させる方法について研究を推進する。

3. 研究の方法

本研究課題では、モバイル端末を用いたセンサデータ収集を効率的に行うことを目的とし、2章で示した二つのサブテーマに分けて研究を推進する。具体的には、サブテーマ(1)において、各センサノードとモバイルシンクとの接続状況に関する情報を低負荷な処理により共有する方法、および共有した情報を用いて高信頼なデータ転送を実現する方法を考案する。サブテーマ(2)については、センサデータの時間的・空間的な相関性に基づき、データ収集に要する通信量を削減する手法を考案する。それぞれのサブテーマで考案した手法（提案手法）は、シミュレーション実験による動作確認および性能評価により、その有用性を検証する。

4. 研究成果

本研究課題では、3章で述べた方法により、各サブテーマについて効率的な手法を考案し、当初の目的であった低負荷かつ高信頼なセンサデータの収集を実現した。

以下、各サブテーマにおける提案手法について概説する。さらに、研究成果の国内外における公表活動について述べる。

(1) モバイルシンクとの接続状況に基づくデータ転送

環境内を自由に移動するモバイル端末をモバイルシンクとして利用する場合、モバイルシンクと直接通信可能なノードに関する情報共有を低負荷で実現し、この情報を用いて適切なデータ転送を行う必要がある。

これらを実現するため、各ノードがモバイルシンクとどの程度直接通信が可能かを示す指標である接続状況を規定し、この情報に基づいてデータの転送を行う手法を考案した。

① 接続状況

提案手法では、各ノードにおけるモバイル

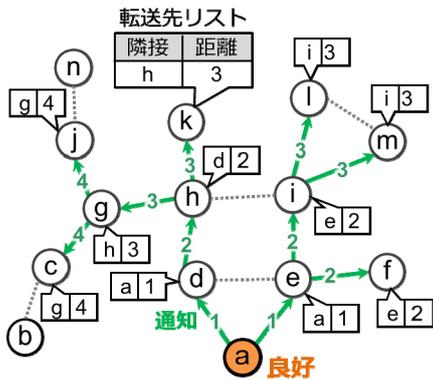


図 1：通知型による接続状況情報の共有（通知範囲 4 ホップの場合）

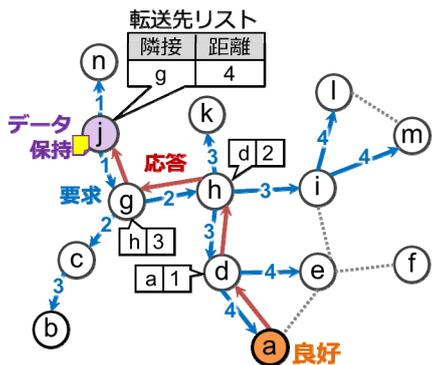


図 2：要求型による接続状況情報の共有（要求範囲 4 ホップの場合）

シンクとの接続状況として、モバイルシンクが定期的に発信する存在通知（ビーコン）の受信頻度を用いる。具体的には、ある一定期間内にビーコンを受信した回数が予め定められた閾値を上回る場合、そのノードにおける接続状況が良好であるものとする。すなわち、接続状況が良好なセンサノードは、いずれかのモバイルシンクと頻繁に直接通信可能となる。

② 接続状況情報の共有

各ノードは、周辺のノードにおける接続状況を、転送先リストと呼ばれる情報を保持することで管理する。転送先リストには、どの隣接ノードから接続状況情報を受信したか、および接続状況が良好なノードまでの通信距離（ホップ数）に関する情報を格納する。

接続状況情報の共有方法としては、接続状況が良好であると判断したノードが積極的に周辺ノードに通知を行う方法（通知型）、転送すべきデータを保持しているノードが周辺ノードに接続状況が良好か問い合わせる方法（要求型）、およびこれら二つを統合した方法（統合型）の三つを考案した。通知型の方法では、各ノードが定期的に自身の接続状況を確認し、良好であると判断した場合、予め設定された通知範囲内に通知を伝播させる（図 1 の矢印）。これを受信した各ノードは、通知を送信した隣接ノード、および接続状況が良好であるノードまでの距離（ホップ数）を、自身の転送先リストに格納する（図

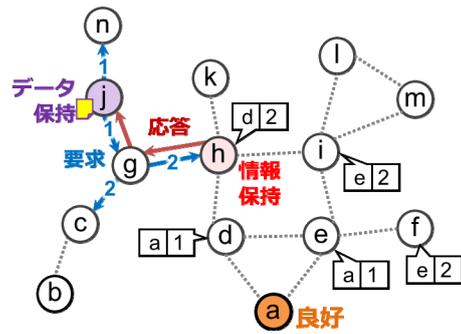


図 3：統合型による接続状況情報の共有（通知範囲および要求範囲がともに 2 ホップの場合）

1 の吹出し)。一方、要求型の方法では、転送すべきデータを保持し、転送先リストに情報を保持していないノードが、予め設定された要求範囲内に接続状況を問い合わせる。これを受信したノードは、自身の接続状況を確認し、良好であると判断した場合、問合せの発行元に応答を返す（図 2 の矢印）。応答を受信したノードは、通知型で通知を受信した場合と同様、自身の転送先リストに情報を格納する（図 2 の吹出し）。最後に統合型の方法では、データを保持しているノードからの問合せに対し、接続状況が良好なノードだけでなく、転送先リスト内に情報を持つノードも応答を返す（図 3）。また、問合せを受信したノードが、一時的に問合せに関する情報を保持しておき、他の隣接ノードから通知や応答を受信した場合、問合せの発行元に応答を返す。これらの動作により、通知および要求範囲を小さく設定しても、データを保持するノードに接続状況情報を伝播でき、情報共有のための負荷を小さく抑えることができる。

③ データの転送

上記の手順により転送先リスト内に情報を保持しているノードは、センサデータを取得した際、まず取得したデータの複製を k 個作成する。次に、自身の転送先リストを参照し、複数の隣接ノードが格納されている場合は、ホップ数の小さいものから順に最大 k 個のノードにセンサデータを転送する。このように、データの複製を複数作成し、複数のノードに転送することで、モバイルシンクの移動特性が変化する環境においても、モバイルシンクへのデータ転送が確実に行われる。

(2) センサデータの特性を考慮したデータ転送の効率化

センサデータの時間的・空間的な相関性に基づいた通信量削減を実現するためには、各ノードにおいて、自身のデータが他のデータから予測可能（冗長である）かどうか自律的に判断する必要がある。

研究代表者らは、これを実現するため、各ノードが、自身が過去に発信したデータ値、および隣接ノードから傍受したデータ値を用いることで、自身が観測したデータ値の冗

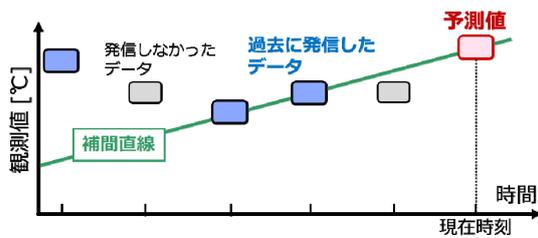


図 4：時系列補間処理

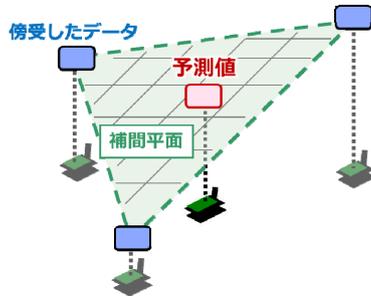


図 5：空間的補間処理

長性を判断する手法を考案していた。ここでは、上記を拡張し、時間的・空間的な相関性の傾向を各ノードが自律的に判断し、通信量をより効果的に削減する手法を考案した。さらに、モバイル端末によって構築されるアドホックネットワークを用いてデータを基地局に収集する際、データ値の空間的な相関性を利用し、通信量を削減する手法を考案した。

① データ値の時間的・空間的相関性の傾向を考慮した通信量削減

これまでに考案した手法では、各ノードが、自身が過去に発信した最近二つのデータを用いた時系列補間処理 (図 4)、あるいは隣接ノードから傍受したデータを用いた空間的補間処理 (図 5) により、自身のデータ値の予測値を算出する。この予測値と、自身が実際に観測したデータ値との差異が、予め設定された許容誤差の範囲内であれば、自身のデータが冗長であると判断し、発信を停止する。

提案手法では、各ノードがデータを発信するか否かの判定を行う際、上記の補間処理のうちどちらを用いるかを自律的に判断する。具体的には、各ノードがデータ収集のタイミングごとに上記二つの処理を行い、過去 t_{pre} 回の収集において自身のデータが時間的・空間的に冗長であったかどうかを記録する。自身のデータを発信するか否かの判定を行う際、過去 t_{pre} 回に冗長であったと判定された回数に基づき、空間的に冗長であると判定されやすい場合は空間的補間処理、そうでない場合は時系列補間処理を用いる。これにより、データ値の時間的・空間的特性の傾向に応じて、より通信量の削減が期待される補間処理を各ノードが自律的に選択でき、ネットワーク全体の通信量を削減できる。

② モバイル端末を利用したデータ収集時における空間的相関性を利用した通信量削減

モバイル端末によって構築されるアドホックネットワークを用いてデータを収集す

る場合、データに空間的な相関性がある環境では、地理的に近い位置で取得したデータは同じ値を示す可能性が高い。このようなデータは、収集の過程で一つのデータに集約することで、基地局へのデータ収集に要する通信量を削減できる。提案手法では、基地局までの通信経路上において、隣接するモバイル端末間で同じデータ値を観測している場合、そのデータを集約することで、通信量の削減を実現する。また、時間の経過に伴うデータ値の地理的分布の変化にも対応するため、通信経路上で隣接するモバイル端末間でのデータ値が同じとなるよう、通信経路の切替えを動的に行う。これにより、より多くのデータを集約し、基地局までのデータ収集に要する通信量の大幅な削減を実現する。

(3) 研究成果の公表

本研究課題の成果は、計算機科学分野および通信分野で著名な大型国際会議である COMPSAC や AINA、モバイル分野で権威のある国際会議 MDM をはじめとして、国内外の数多くの会議において公表している。また、国際論文誌 International Journal of Advanced Computer Science に成果の一部が掲載され、さらに国際的に著名な出版社である Springer 社から出版される書籍にも成果の一部が掲載されることが決定している。

これらにより、本研究課題の成果を国内外に広く周知できた。

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. Akimitsu Kanzaki, Yasuhiro Nose, Takahiro Hara, Shojiro Nishio: Dynamic Route Construction Based on Measured Characteristics of Radio Propagation in Wireless Sensor Networks, International Journal of Advanced Computer Science, 査読有, Vol. 2, No. 3, pp. 85-98, 2012.
<http://www.ijpg.org/index.php/IJACSC/article/view/204>

[学会発表] (計 13 件)

1. Kazuya Matsuo, Keisuke Goto, Akimitsu Kanzaki, Takahiro Hara, Shojiro Nishio: Overhearing-Based Efficient Boundary Detection in Dense Mobile Wireless Sensor Networks, International Conference on Mobile Data Management, 2014 年 7 月 (発表決定), University of Queensland (Brisbane, Australia).
2. Takeshi Yoshimura, Kazuya Matsuo, Akimitsu Kanzaki, Shojiro Nishio: Integration of Push-Based and Pull-Based Connectivity Status Sharing for Efficient Data Forwarding

Toward Mobile Sinks in Wireless Sensor Networks, International Conference on Advanced Information Networking and Applications, 2014 年 5 月 15 日, University of Victoria (Victoria, Canada).

3. Kazuya Matsuo, Keisuke Goto, Akimitsu Kanzaki, Takahiro Hara, Shojiro Nishio: Agent Redeployment and Missing Data Regathering in Mobile Wireless Sensor Networks, International Computer Software & Applications Conference, 2013 年 7 月 23 日, 京都テルサ (京都府京都市) .
4. Kazuya Matsuo, Keisuke Goto, Akimitsu Kanzaki, Takahiro Hara, Shojiro Nishio: Data Gathering Considering Geographical Distribution of Data Values in Dense Mobile Wireless Sensor Networks, International Conference on Advanced Information Networking and Applications, 2013 年 3 月 28 日, Catalonia Barcelona Plaza (Barcelona, Spain).
5. Akimitsu Kanzaki, Ayana Yamamoto, Takahiro Hara, Shojiro Nishio: Data Forwarding Method Based on Status on Connection with Multiple Mobile Sinks in Wireless Sensor Networks, International Conference on Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications, 2012 年 11 月, University of Victoria (Victoria, Canada).
6. Shinya Kondo, Akimitsu Kanzaki, Takahiro Hara, Shojiro Nishio: Energy-Efficient Data Gathering Using Traffic Reduction Based on Change in Data Characteristics in Wireless Sensor Networks, International Conference on Network-Based Information Systems, 2012 年 9 月 27 日, La Trobe University (Melbourne, Australia).

[図書] (計 1 件)

1. Kazuya Matsuo, Keisuke Goto, Akimitsu Kanzaki, Takahiro Hara, Shojiro Nishio, Springer-Verlag, Book Chapter: Data Aggregation and Forwarding Route Control for Efficient Data Gathering in Dense Mobile Wireless Networks: Modelling and Processing for Next Generation Big Data Technologies and Applications, 2014, 掲載確定, 32

6. 研究組織

(1) 研究代表者

神崎 映光 (KANZAKI, Akimitsu)

大阪大学・大学院情報科学研究科・助教

研究者番号：80403038