

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 30 日現在

機関番号：24403

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500097

研究課題名(和文)大規模センサネットワークにおけるポテンシャル場に基づいたルーティング方式

研究課題名(英文)Routing method based on a potential field in large-scale wireless sensor networks

研究代表者

菅野 正嗣 (SUGANO, Masashi)

大阪府立大学・総合リハビリテーション学部・教授

研究者番号：80290386

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円、(間接経費) 960,000円

研究成果の概要(和文)：大規模なセンサネットワークにおいて、ルーティングなどの制御を集中的に行うことは不可能であるため、局所的な情報に基づいた自己組織的な制御手法が提案されている。しかしながら、自己組織的な制御のみでは、ネットワーク全体の動作を望ましい方向に制御できるという保証はない。そこで本研究では、複数のシンクノードで構成される大規模なセンサネットワークにおいて、シンクノードのポテンシャル値を外部から制御することで、センサノードが自己組織的にポテンシャル値のみでルーティングを実現する方法が有効であることをシミュレーションによって示す。さらにこのアーキテクチャをスマートメータリングシステムに適用する。

研究成果の概要(英文)：In large-scale wireless sensor networks, since it is impossible to control the whole system intensively, a self-organized control technique based on local information is proposed. However, there is no guarantee that operation of the whole network is controllable only by self-organized control in the desirable direction. In this study, we propose a control technique for the potential value of sink nodes by from the outside in a large-scale sensor network that consists of multiple sink nodes. Simulation experiments shows that the way a sensor node realizes routing only with a potential value in self-organization is effective. Furthermore, we showed that this architecture is applied to smart metering systems.

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：センサネットワーク ポテンシャルルーティング 自己組織型制御 アドホックネットワーク スマートメータ 負荷分散 シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

多数のセンサで構成される大規模なセンサネットワークにおいては、システム全体に対して集中的な制御を行うことは不可能であり、システムの構成要素が局所的な情報に基づいて自己の動作を決定する自己組織化制御を用いた手法が研究されてきた。しかしながら、完全な自己組織化制御に基づき動作するネットワークでは、ネットワークの規模が非常に大きくなったときに、ネットワーク全体の望ましい動作を管理することができないという問題があった。

2. 研究の目的

そこで本研究では、大規模なセンサネットワークにおいて、管理型自己組織化制御に基づくポテンシャルルーティングを提案する。管理型自己組織化制御では、自己組織的に動作するノードの一部を集中制御などの方法で管理することで、自己組織化制御によって生ずる意図しない方向へのシステムの動作の遷移を防ぐ。対象とするセンサネットワークは、ある程度の密度で配置され、マルチホップ無線メッシュネットワークを構成する。このような構成のセンサネットワークは、センサネットワークだけではなく、各家庭に配置されたスマートメータによって構成されるネットワークにも適用することができる。

3. 研究の方法

本研究で提案するポテンシャルルーティングの概念図を図1に示す。このシステムでは複数のシンクノードがあり、シンクノードのポテンシャル値によって、各センサのポテンシャル値が決定される。ネットワーク内のパケットは、隣接するセンサのポテンシャル値によってルーティングが行われる。すなわち、シンクノードのポテンシャル値を低くすることで、より小さなポテンシャルに向かってパケットは転送されていく。システム全体を外部からモニタリングすることで、シンクノードのポテンシャルを制御し、負荷分散やネットワークの長寿命化を目指す。

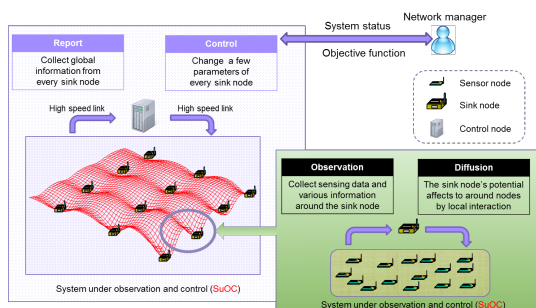


図 1: 管理型自己組織化制御に基づくポテンシャルルーティング

4. 研究成果

(1) 対象とするセンサネットワークとして、受信端末駆動型の MAC プロトコルである IRDT (Intermittent Receiver Driven Transmission)方式を適用し、シミュレーションプログラムを作成することで、シミュレーションによる性能評価を行った。まず、マルチシンクを想定したシミュレーション評価により、シンクノードの分布に偏りがある場合も負荷を均一化できることを示す。さらに、センサノードの中継負荷を分散することで最も負荷の高いセンサノードの消費電力を抑制し、ネットワーク寿命を 138%延長できることを示した。

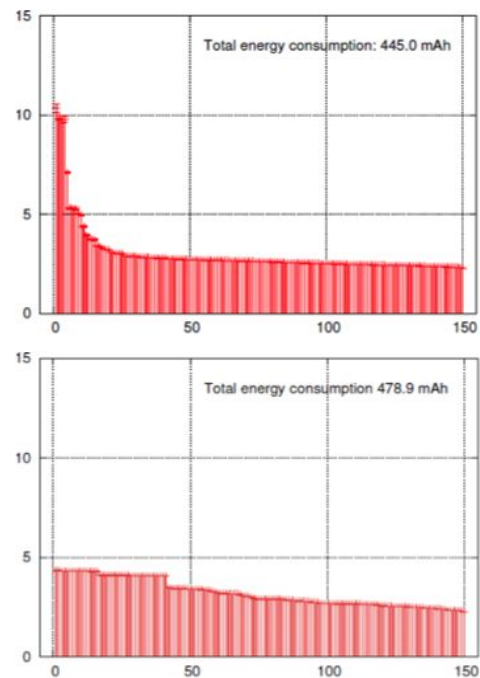


図 2: 管理型自己組織化制御によるセンサノードの消費電力の差 (上: 制御無し、下: 制御有り)

(2) センサネットワークにおいては、センシングしたデータをシンクノードに届けるための、センサノードからシンクノードに対しての上り方向の通信を実現する手法は数多く存在する。一方で、シンクノードから特定の位置に存在するセンサノードに対してクエリや特別な命令を送るという下り方向の通信に対する要求があるが、センサネットワークのための多くのルーティング手法は、下り方向の通信に適用することができない。そこで本研究では、ポテンシャルルーティングを用いて、シンクノードからセンサノードへの下り方向のルーティングを実現する手法を提案し、その有効性を計算機シミュレーションによって評価した。提案する方式では、マルチシンク無線センサネットワークを対象として、それぞれのシンクノードごとにポテンシャル場を構築し、複数のポテンシャル値の組み合わせを用いることによって各セ

ンサノードを識別し、任意のノードへの到達を実現することを目指した。シミュレーションにより、パケット損失率が0.1以下の条件下で、データの到達率が90%以上であることを示した。

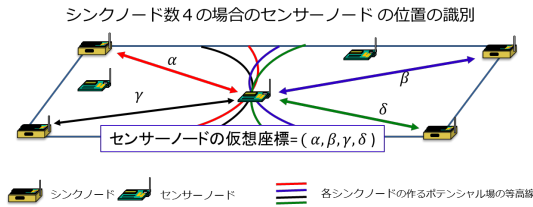


図 3: ポテンシャルルーティングによる下り方向通信の実現

(3) 本研究で対象としているセンサネットワークが採用している IRDT (Intermittent Receiver-driven Data Transmission) 方式は、低頻度でパケットが発生するアドホックネットワークにおいて長期間の運用を目指して設計されたプロトコルである。IRDT 方式では、各ノードが非同期的に自身の ID を周囲に送信し、送信側ノードがそれを受信することで通信を開始する。IRDT 方式では、隠れ端末の関係にある複数のノードが送信データを保持している場合には制御パケットの衝突が発生し、この衝突が連続的に繰り返されることが性能を劣化させる要因となっている。そこで本研究では、IRDT 方式における制御パケットの連続衝突を回避し性能を向上させるための手法として、バックオフ・確率的な再送・ポーリングの3種類を適用し、シミュレーションによる比較評価を行った。その結果、既存の IRDT 方式ではパケット収集率が40%程度しか得られなかった条件下でも、90%まで向上できることを示した。

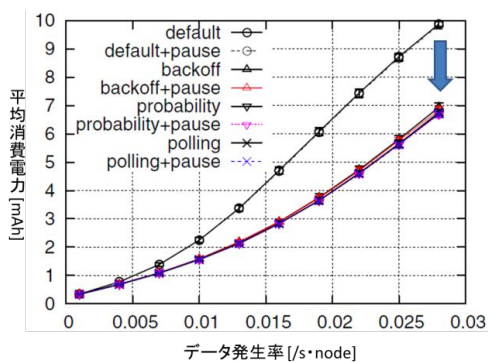


図 4: シンクノードの制御による消費電力の抑制効果

(4) 受信端末始動型の IRDT 方式によってネットワーク全体の平均消費電力は抑制できるが、ノード間の消費電力の差異は依然として存在する。そのため、消費電力が最も大きなノードの残余電力が枯渇することによ

てネットワークの寿命が決定される。したがって、残余電力の平均化を実現することができれば、ネットワーク寿命を延ばすことが期待できる。そこで本研究では、受信側ノードが周期的に送信する ID パケットに自己の残余電力情報を付加することによって、近隣のノードの残余電力の状況を取得し、その情報を利用することにより、残余電力の平均化を実現する制御方式を提案した。さらに、制御パラメータの最適値を解析的に導出する方法についても検討を行い、ネットワーク寿命に最も大きな影響を与えるパラメータ設定値を求める手法を示した。

残余電力を均等化する手法により寿命を延長

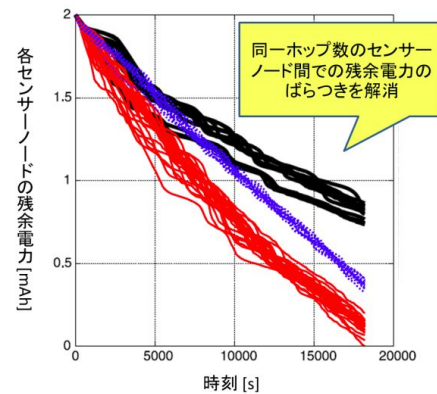


図 5: センサノードの残余電力の均等化によるネットワーク寿命の延長効果

(5) ポテンシャルルーティングによって、センシングしたデータをシンクノードに収集するという基本構成は、各家庭に設置したスマートメータの計測値を収集するスマートメータリングシステムにそのまま適用することが可能である。マンションのような集合住宅にスマートメータリングシステムを導入した場合には、一般的にノードの配置密度が高いため、隣接ノードが非常に多いネットワークトポロジーを形成する。このような状況においてシンクノードからのホップ数のみに基づいたルーティングを行なうと、ホップ数が同じノードであっても、位置によって負荷や伝送能力が大きく異なり、ネットワーク寿命の短縮や性能劣化の要因となる。そこで本研究では、トポロジーに基づいたルーティングと間欠周期の制御により上記の問題を解決する手法を提案する。シミュレーション評価の結果、既存手法に対しネットワーク寿命を約53%延長し、平均遅延時間を約21%削減できることが明らかになった。

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5件)

Shinya Toyonaga, Daichi Kominami, Masashi Sugano, Masayuki Murata, Potential-based routing for supporting robust any-to-any communication in wireless sensor networks, EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 査読有, Vol. 2013, 2013, DOI:10.1186/1687-1499-2013-278
Daichi Kominami, Masashi Sugano, Masayuki Murata, Takaaki Hatauchi, Controlled potential-based routing for large-scale wireless sensor networks, ACM Transactions on Sensor Networks, 査読有, Vol. 10, No. 1, 2013, DOI:10.1145/2529920
Masashi Sugano, Taichi Shimizu, Naoki Wakamiya, Evaluation of data collection capability in a large-scale smart metering system based on receiver-driven multihop communication, Journal of Advances in Computer Networks, 査読有, Vol. 1, No. 4, 310-314, 2013, DOI: 10.7763/JACN.2013.V1.62
Daichi Kominami, Masashi Sugano, Masayuki Murata, Takaaki Hatauchi, Robust and resilient data collection protocols for multihop wireless sensor networks, IEICE Transactions on Communications, 査読有, Vol. E95-B, No. 9, 2740-2750, 2012, DOI: 10.1587/transcom.E95.B.2740
Chuluunsuren Damdinsuren, Daichi Kominami, Masashi Sugano, Masayuki Murata, Takaaki Hatauchi, Lifetime extension based on residual energy for receiver-driven multi-hop wireless network, Cluster Computing, 査読有, Vol. 16, Issue 3, 469-480, 2013, DOI: 10.1007/s10586-012-0212-0

[学会発表](計8件)

Masashi Sugano, Combining sender- and receiver-driven MAC protocols for a large-scale metering system based on potential routing, The 10th International Conference & Expo on Emerging Technologies for a Smarter World (CEWIT2013), 査読有, 2013年10月21日, ロングアイランド・米国
清水太一, 菅野正嗣, 若宮直紀, 受信端末駆動型通信方式に基づいた大規模スマートメータリングシステムにおけるデータ収集のための手法の提案と評価, 電子情報通信学会アドホックネットワーク研

究会, 2013年3月14日, 東京
Damdinsuren Chuluunsuren, Daichi Kominami, Masashi Sugano, Masayuki Murata, Takaaki Hatauchi, Load balancing techniques for extending smart metering system lifetime, 2012 IEEE Region 10 Conference (TENCON 2012), Nov. 2012年11月19日, セブ・フィリピン

Shinya Toyonaga, Daichi Kominami, Masashi Sugano, Masayuki Murata, Potential-based downstream routing for wireless sensor networks, The 7th International Conference on Systems and Networks Communications (ICSNC 2012), 2012年11月18日, リスボン・ポルトガル

Tadashi Hayamizu, Daichi Kominami, Masashi Sugano, Masayuki Murata, Takaaki Hatauchi, Performance improvement by collision avoidance of control packets in receiver-driven multihop wireless mesh networks, The 9th IEEE International Conference on Mobile Ad hoc and Sensor Systems (MASS 2012), 2012年10月8日, ラスベガス・米国

豊永慎也, 小南大智, 菅野正嗣, 村田正幸, 島内孝明, 無線センサネットワークにおけるポテンシャルルーティングに基づく下り方向通信手法の提案と評価, 電子情報通信学会アドホックネットワーク研究会, 2012年5月17日, 豊橋
ダムディンスレン・チョルーンスレン, 小南大智, 菅野正嗣, 村田正幸, 島内孝明, スマートメータリングシステムにおける長寿命化のための負荷分散手法, 電子情報通信学会情報ネットワーク研究会, 2012年3月8日, 宮崎

Daichi Kominami, Masashi Sugano, Masayuki Murata, Takaaki Hatauchi, Controlled potential-based routing for large-scale wireless sensor networks, The 14th ACM International Conference on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM 2011), 2011年10月31日, マイアミビーチ・米国

6. 研究組織

(1) 研究代表者

菅野 正嗣 (SUGANO Masashi)

大阪府立大学・総合リハビリテーション学部・教授

研究者番号: 80290386