

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 9 日現在

機関番号：62615

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23700096

研究課題名(和文) 対象追跡システムのための無線センサーネットワーク感度調整に関する研究

研究課題名(英文) Configuring Resolution of Wireless Sensor Network for Target Tracking System

研究代表者

鄭 顕志 (Tei, Kenji)

国立情報学研究所・アーキテクチャ科学研究系・助教

研究者番号：40434295

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、無線センサネットワークを用いた対象追跡システムのためのセンサモデルを提案した。無線センサネットワークには厳しい資源制約があるため、ネットワークを長期に維持するには、対象追跡システムは期待される感度を満たしつつ、通信量を低減することが求められる。しかし、感度と通信量は一般にトレードオフであり、期待されるより高い感度で観測を行うと不必要に通信量が増大してしまう。そこで、本研究では、システム全体に期待される感度を最小限度で満たすことを目的とし、ネットワークを構成する各ノードの観測感度をソフトウェアによって調整可能とするセンサモデルとその調整手法を提案した。

研究成果の概要(英文)：We proposed sensor models for target tracking systems in wireless sensor networks. Target tracking systems should maintain required resolutions while keeping low resource consumptions to maintain long network lifetime due to severe resource limitations. However, usually there is a tradeoff between resolutions and network traffic. Network traffic will be heavy to maintain high resolution. Main goal of this research is to reduce unnecessary traffic to maintain required resolutions, and we proposed a sensor model, which enables software to configure resolutions of sensor nodes, and configuration algorithms for the sensor model to reduce unnecessary traffic to maintain required resolutions.

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：無線センサーネットワーク 対象追跡システム

## 1. 研究開始当初の背景

センサノードと呼ばれる、センサを搭載した複数の小型コンピュータ間の無線通信によって構築された無線センサネットワーク(Wireless Sensor Network:WSN)技術の発展により、GPSが利用できない屋内においても対象の移動軌跡を観測する対象追跡システムを容易に構築できるようになっていた。

WSNを用いた対象追跡システムでは、距離センサを備えたセンサノードを環境内に配置し、一定時間毎の観測データを収集するシステムは、この観測データを解析することで時間毎の対象位置を推定し、対象の移動軌跡を得ることができる。

WSNを用いた対象追跡システムでは、通信量と観測感度の調整が課題となる。センサノードはバッテリー駆動しており、稼働時間に制限があるため、センサノードからの観測データ収集によって生じる通信量を低減する必要がある。一方で、対象追跡システムは、観測感度に関する要求も満たすことが求められる。観測感度と通信量はトレードオフの関係にある。例えば、高い感度を求める場合、各ノードは観測データの変化に対して敏感になり、データ送信の頻度が上がる。従って、WSNを用いた対象追跡システムは、要求された感度を最小限で満たすことで通信量を抑えることが求められる。

## 2. 研究の目的

本研究では、感度に関する要求を満たしつつ通信量を最小限に抑えるために、アプリケーションが要求する感度を最小限度で満たすようシステムの感度を調整可能とすることを目標とした。本研究は、感度をソフトウェアによって調整可能とするセンサモデルとその調整手法を提案した。具体的には、期間内に(1)(2)(3)を実施した。

### (1) 感度を調整可能なセンサモデルの構築

システム全体の感度を調整するためには、まずノード毎の感度が調節可能でなければならない。そこで、従来ハードウェアによって決められていた感度を、ソフトウェアによって調整可能とするセンサモデルを提案した。

### (2) センサモデルの静的設定

システム全体を期待される感度に調整するためには、各ノードの感度を注意深く設定しなければならない。全ノードのセンサモデル設定を同一に設定した場合、ノード配置によって各地域で感度にばらつきが出てしまうため、ノードの配置状況に応じて各ノードのセンサモデル設定を適切に決定する必要がある。そこで、ノードの配置に応じて各ノードのセンサモデル設定を適切に調整するアルゴリズムを提案した。

### (3) センサモデルの動的設定

(2)では、ネットワーク構成が変更とならない

静的な環境を対象としていたが、WSNではノードが運用時に追加・削除されることにより、構成が変化しうる。特に、ノードの追加・削除は対象追跡システムの感度に影響を与えるため、運用時に感度の再設定を行う必要がある。そこで、ネットワーク内のノードの追加・削除を検知し、各ノードのセンサモデル設定を動的に変更する手法を提案した。

## 3. 研究の方法

### (1) 感度を調整可能なセンサモデルの構築

各ノードの感度を調整可能とするセンサモデルを提案する。各ノードは距離センサの観測値に対し、ソフトウェアによってフィルタをかけた値をノードの観測値として利用する。具体的には、可変な整数  $N$  を用いて、 $N-1$  個の閾値を設定し、センサの観測値を  $N$  値に写像する。この  $N$  の値が大きくなると、閾値の数が増え、ノードは観測値の変化をより敏感に検知するようになり、最大で距離センサの感度と同等となる。逆に、 $N$  の値を小さくすることで、ノードは観測値の変化に対して鈍くなり、ノードの感度をソフトウェアによって抑えることができる。

$N$  の増減が感度に与える影響が不均一であると、感度の調整が難しくなる。距離センサが検知する観測値と、対象の距離との関係は線形ではなく、単純な閾値設定では影響が不均一になる。

そこで、距離センサと対象の距離との特性から  $N$  の値に対して感度が線形に変化するような閾値の設定手法を構築する。

### (2) センサモデルの静的設定手法の提案

通信量と感度を最適化するためのセンサモデル設定手法を提案する。具体的には、まず、本設定問題を線形計画問題として定式化する。通信量と感度を統合した目的関数を定義し、目的関数を最大化するセンサモデル設定手法を発見するソルバを提案する。

センサモデル設定問題を全ノードのセンサモデル設定に対する組み合わせを評価する必要があるため、組み合わせ爆発を起こすため、計算量を低減するためメタヒューリスティクスの適用を検討する。

### (3) センサモデルの動的設定手法

ノードの追加・削除に応じてシステム運用時に各センサノードの設定を再調整する手法を提案する。

本研究では、(1)で提案した静的設定手法を実行時に行うことで実行時の再設定を行う。定期的にWSNの状態を観測し、現在の設定よりよい割り当てを発見した場合、各センサノードのセンサモデルを再設定する。

しかしながら、頻繁なセンサモデル再設定は高い感度を保てる一方で、再設定のオーバーヘッドが生じる。従って、目的関数の値が一定以上変化した場合のみ再設定を行う再設定手法を提案する。

#### 4. 研究成果

##### (1) 感度を調整可能なセンサモデル

各ノードの感度をソフトウェアによって調整可能な N-ary センサモデルを提案した. 図 1, 図 2 は, N の設定を変更した場合の通信量, 感度の変化をそれぞれ表している. これらの図が示すように N の値を増減することで, 各ノードの通信量と感度を変更可能とすることができるようになった.

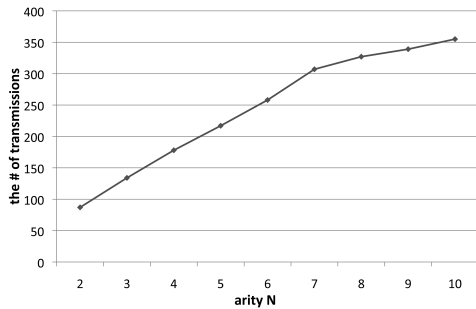


図 1. N の増加に対する通信量の変化

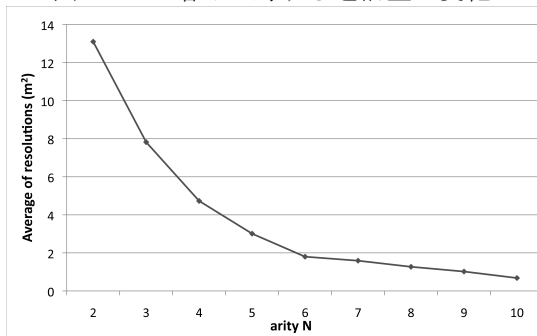


図 2. N の増加に対する感度の変化

##### (2) センサモデルの静的設定手法

通信量と感度を最適化するためのセンサモデル設定手法を線形計画問題として定式化した. この問題は NP 困難な問題であり, 最適な設定の算出には膨大な時間がかかる. 例えば 32 ノードの最適解を算出するためには, 数十時間を要する. そこで, 焼きなまし法を適用することで, 準最適解を現実的な時間で発見可能とした. 提案手法では, 最適解との差が 20%未満の準最適解を数十秒で算出することができるようになった. 従って, 現実的な規模の数十ノードのセンサネットワークに対して十分現実的な時間で準最適設定を行うことが可能となった.

##### (3) センサモデルの動的設定手法

センサモデルを動的に再設定することで, センサノードの削除に起因する感度の劣化を防ぐ. 図 3 に動的再設定による感度への効果を示す. 緑色の波線は実行時に再設定を行わない静的設定を, 青色の破線は目的関数の値が向上するたびに再設定を行う動的設定を, 赤色の実線は一定値以上の変化があるときのみ再設定を行う動的設定の結果を表している. 再設定を行わない場合, ノードの削除により対象追跡システム全体としての感

度は急速に劣化していくが動的再設定を行うことで劣化を抑えることができることが確認できる. 再設定を高頻度で行うと高い感度を保つことができるが, 一方で再設定のためのオーバーヘッドが増大する. 目的関数の一定値以上の変化を再設定のトリガとすることで感度の劣化を抑えつつ再設定のオーバーヘッドも抑えることが可能となる.

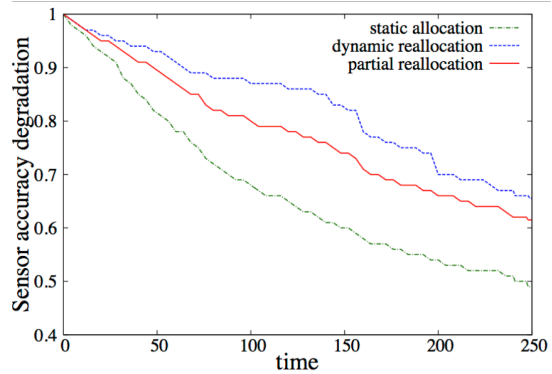


図 3. 動的再設定による感度への効果

本研究ではこれらの成果を適用した体調追跡システムを開発し, 国立情報学研究所内のスマートルーム EdubaseSpace や, オランダグローニンゲン大学内のスマートビルディング内で設置, 運用を行い, その有効性を評価し, 実用的な感度・通信量で運用できることを確認した.

#### 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 4 件)

1. 清水 遼, 鄭 顕志, 深澤 良彰, 本位田 真一: 無線センサネットワークにおけるデータ品質改善の為の開発プロセス, 電子情報通信学会論文誌, 査読有, J97-D(3), pp. 473-487, 2014 年 3 月  
[http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=j97-d\\_3\\_473](http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=j97-d_3_473)
2. Valentina Baljak, Kenji Tei, and Shinichi Honiden: Faults in Sensory Readings: Classification and Model Learning, Sensors & Transducers Journal, 査読有, vol. 18, pp. 177-187, 2013 年 1 月,  
[http://www.sensorsportal.com/HTML/DI GEST/P\\_SI\\_304.htm](http://www.sensorsportal.com/HTML/DI GEST/P_SI_304.htm)
3. Valentina Baljak, Marius Tudor Benea, Amal El Fallah Seghrouchni, Cédric Herpson, Shinichi Honiden, Thi Thuy Nga Nguyen, Andrei Olaru, Ryo Shimizu, Kenji Tei, Susumu Toriumi: S-CLAIM: An Agent-based Programming Language for AmI, A Smart-Room Case Study, Procedia Computer Science, 査読有, vol. 10, pp. 30-37, 2012 年,  
DOI: 10.1016/j.procs.2012.06.008

4. 鄭 顕志, 中里 彦俊, 深澤 良彰, 本位田 真一: 無線センサネットワークにおける対象追跡の分解能を調整可能なセンサモデル, 電子情報通信学会論文誌, 査読有, J94-B(10), pp. 1351-1362 2011年10月, [http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=j94-b\\_10\\_1351&category=B&year=2011&lang=J&abst=](http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=j94-b_10_1351&category=B&year=2011&lang=J&abst=)

[学会発表] (計 9 件)

1. Ehsan Ullah Warriach, and Kenji Tei: Fault Detection in Wireless Sensor Networks: A Machine Learning Approach, the 10th IEEE International Conference on Embedded Software and Systems (ICCESS13), 査読有, pp. 758-765, 2013年12月3-5日, Sydney, Australia
2. Tuan Anh Nguyen, Doina Bucur, Marco Aiello, and Kenji Tei: Applying Time Series Analysis and Neighbourhood Voting in a Decentralised Approach for Fault Detection and Classification in WSNs, the 4th International Symposium on Information and Communication Technology (SoICT2013), 査読有, pp. 234-241, 2013年12月4-5日, Danang, Vietnam
3. Valentina Baljak, Kenji Tei, and Shinichi Honiden: Fault Classification and Model Learning from Sensory Readings Framework for Fault Tolerance in Wireless Sensor Networks, IEEE Eighth International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (IEEE ISSNIP 2013), 査読有, pp. 408-413, 2013年4月2-5日, Melbourne, Australia
4. Ehsan Ullah Warriach, Kenji Tei, and Marco Aiello: A Machine Learning Approach for Identifying and Classifying Faults in Wireless Sensor Networks, the 10th IEEE/IFIP International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing (EUC12), 査読有, pp. 618-625, 2012年12月5-7日, Paphos, Cyprus
5. Ehsan Warriach, Kenji Tei, Tuan Anh Nguyen, Marco Aiello: A Hybrid Fault Detection Approach for Context-aware Wireless Sensor Networks, the 9th IEEE International Conference on Mobile Ad hoc and Sensor Systems (IEEE MASS2012), 査読有, pp. 281-289, 2012年10月8-11日, Las Vegas, USA
6. Valentina Baljak, Kenji Tei, and Shinichi Honiden: Classification of Faults in Sensor Readings with Statistical Pattern Recognition, The Sixth International Conference on

Sensor Technologies and Applications (SENSORCOMM 2012), 査読有, pp. 270-276, 2012年8月19-24日, Rome, Italy

7. Ryo Shimizu, Kenji Tei, Yoshiaki Fukazawa and Shinichi Honiden: Case Studies on the Development of Wireless Sensor Network Applications using Multiple Abstraction Levels, Third International Workshop on Software Engineering for Sensor Network Applications (SESENA), 査読有, pp. 22-28, 2012年6月2日, Zurich, Switzerland
8. Themistoklis Bourdenas, Kenji Tei, Shinichi Honiden and Morris Sloman: Autonomic Role and Mission Allocation Framework for Wireless Sensor Networks, Fifth IEEE International Conference on Self-Adaptive and Self-Organizing Systems (SASO'11), 査読有, pp. 61-70, 2011年10月3-7日, Ann Arbor, USA
9. Ryo Shimizu, Kenji Tei, Yoshiaki Fukazawa, Shinichi Honiden: Model Driven Development for Rapid Prototyping and Optimization of Wireless Sensor Network Applications, 2nd International Workshop on Software Engineering for Sensor Network Applications (SESENA11), 査読有, pp. 31-36, 2011年5月22日, Honolulu, USA

[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]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鄭 顕志 (TEI, Kenji)

国立情報学研究所・アーキテクチャ科学研究系・助教

研究者番号: 40434295

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし