

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25年 3月 31日現在

機関番号：33903

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2012

課題番号：20300027

研究課題名（和文） フィードバックセンシングネットワーク

研究課題名（英文） Feedback sensing network

研究代表者

水野 忠則（MIZUNO TADANORI）

愛知工業大学・情報科学部・教授

研究者番号：80252162

研究成果の概要（和文）：本研究では、技術革新の急速な変化に追従可能で、サービス向上やシステムの変更に柔軟に対応するためのフィードバックループを実現可能なフィードバックセンシングネットワークの実現を目指した。フィードバックセンシングネットワークは、(a)アクティブマイニング、(b)サービス最適マイザ、(c)ネットワーク最適マイザ、(d)動的ネットワーク構成、(e)ローカライゼーション、(f)センサアプリケーションによって構築される。各サブテーマについて研究を進め、基礎的な仕組みを実現できた。

研究成果の概要（英文）：We proposed a feedback sensing network which enables closed-feedback loop control for following a rapid change of ICT innovation. The feedback sensing network is consisted of 6 components: (a) active mining, (b) service optimizer, (c) network optimizer, (d) dynamic network configuration, (e) localization, and (f) sensor application. The fundamental structure was developed and evaluated through several simulations and experiments.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2009年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2010年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2011年度	3,300,000	990,000	4,290,000
2012年度	3,200,000	960,000	4,160,000
総計	14,200,000	4,260,000	18,460,000

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，ソフトウェア更新，ローカライゼーション，フィードバック，アクティブマイニング

1. 研究開始当初の背景

HSDPA(High Speed Downlink Packet Access)等による高速移動通信のサービス開始、SmartDust や μ チップに代表される超小型の通信機能つき情報処理機器の登場など、ユーザが移動しながら遍在するコンピュータを活用して情報処理を行うユビキタスコンピューティング環境実現の基盤が整いつつある。ユビキタスコンピューティング環境を構成する要素としては、(i)

個人の持ち歩くコンピュータ(PDA、腕時計、メガネ型コンピュータなど)やセンサなど、(ii)自動車など乗り物に付随するコンピュータ、(iii)家庭内や都市、オフィス、公共施設などに遍在するコンピュータ、センサ、ホットスポットなどが挙げられ、これらの構成要素を活用することで、ユーザの意図や状況に応じた様々なサービスを展開することが期待されている。

これまで、センサネットワークの構築や、得ら

れた様々なセンサ情報からユーザモデリングを行う研究など、ユビキタスコンピューティングに関する研究が広く活発に行われてきた。しかし、得られた情報をどのようにサービス向上やネットワーク環境の改善につなげ、システム全体を常に化する周囲状況や環境に応じて効率的・効果的に順応させていくかという検討はなされていない。つまり、センサネットワークの構築技術やユーザモデリングだけでなく、サービスの運用とそのサービスを改善するために、システムにどのような改良が必要かを明らかにし、実現に役立つ情報をシステムへ提供可能な**フィードバックループ**を実現する技術が必要となる。

2. 研究の目的

本研究では、技術革新の急速な変化に追従可能で、サービス向上やシステムの変更に柔軟に対応するためのフィードバックループを実現可能な**フィードバックセンシングネットワークの実現**を目指す。フィードバックセンシングネットワークによって構築されたシステムは、様々な機器やセンサ、ユーザなどから得られる情報を利用してマイニング(クラスタリング, 分類)を行い、そこから頻出するパターンを発見することで、様々なセンサなどから得られる情報の意味自体が分からなくても、次に発生しうる状況を推測したサービスを提供することができる。また、サービス提供用アプリケーションや、センサネットワークを実現する通信プロトコル、位置情報を自動取得するためのローカライゼーションプロトコルなどのソフトウェアをリアルタイムに更新可能な制御ミドルウェアによってフィードバックセンシングネットワークを形成するため、システム構築後でもフィードバックループを適用することができ、提供サービスの再構築を柔軟に繰り返すことで、変革の激しいIT技術の更新可能なライフタイムの長いシステムを構築できると考える。

3. 研究の方法

本研究では、これまでネットワーク技術者のみで研究を遂行してきたアクティブモバイルセンシングネットワークの研究を進展させ、構築されたシステムへフィードバックループを適用可能としている。更に、新たにデータベース技術者を共同研究者として加え、マイニングを利用することで知的ユビキタスセンシングネットワーク(図1)の創設と展開を目指すこととした。

知的ユビキタスセンシングネットワークは、センシング、マイニング、フィードバックループという特徴を持つ。ここで、センシングとは、センサで入力した情報を処理し、自律的に動作する概念である。知的ユビキタスセンシングネットワークによって構築されたシステムは、センシングネットワーク上の様々なセンサなどから得られる情報の意味自体を理解することなくマイニングによって頻出パターンを分析し、その結果を入力として次に発生しうる状況や行動パターン(利用者モデ

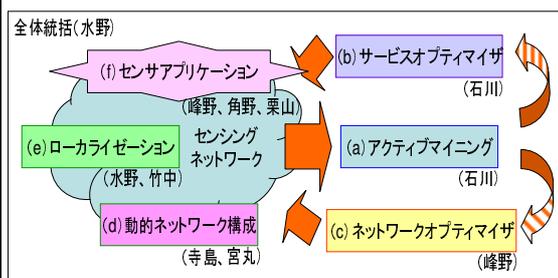


図1. 知的ユビキタスセンシング

ネットワーク

ル)を推測することができる。その結果、システムの提供サービスの最適化を行うことができるだけでなく、サービス提供用アプリケーションやセンサネットワークを実現する通信プロトコル、位置情報を自動取得するためのローカライゼーションプロトコルといったセンシングネットワーク環境そのものもリアルタイムに柔軟に再構築可能なフィードバックループを実現できる。

本研究では、これまでネットワーク技術者のみで研究を遂行してきたアクティブモバイルセンシングネットワークの研究を進展させ、構築されたシステムへフィードバックループを適用可能としている。更に、新たにデータベース技術者を共同研究者として加え、マイニングを利用することにより、フィードバックセンシングネットワークの実現を目指した。

4. 研究成果

フィードバックセンシングネットワークを実現する図1に示す6つの要素について、研究成果概要を以下にまとめる。

(a) アクティブマイニング

知的ユビキタスセンシングネットワークを最適化するのに先立っては、ネットワークから得られた情報から頻出するパターンを発見する必要がある。すなわち様々なセンサやコンピュータによって形成されるセンシングネットワークから得られた情報から、利用者もしくは対象物ごとの軌道を抽出する。次にそれらを共通する区間に分割し、隣り合う区間での遷移確率(頻度)を求める。頻出する軌跡は相関ルールなどの形式で、区間の連続からなる頻出パターンとして出力する。さらに類似した頻出パターンをそれらの間の類似性に基づいてクラスタリングして、より高次の利用者および対象物の状況・行動パターン(利用者モデル)を発見する。

このとき軌道同士の類似性チェックを効率的に行う必要がある。これまで行われてきた一次元データに対する技術だけでは十分ではなく、実用的な規模のデータに対しては、二次元または三次元空間上での軌道の高次元インデックスを構

築する必要があり、これについては静止位置情報のために考えだされてきたR-treeなどの高次元インデックスをベースにすることで軌道に適用できる方法を研究した。また、ネットワークから得られた情報から頻出するパターンを分析し、利用者や対象物ごとの軌道を抽出する手法を検討した。

(b) サービスオブティマイザ

サービスオブティマイザでは、アクティブマイニングにより得られた頻出パターンに基づいて、新しい利用者もしくは対象物が現れた場合には利用者モデルとの類似性から利用者および対象物ごとの最適なサービスの推薦を行い、利用者および対象物にとってのサービスを最適化する必要がある。そのために、連続する二次元または三次元の頻出パターンを利用者や対象物の側から見た推奨案内（推薦軌跡）に変換することを考える。さらに複数の推奨案内と、現在の利用者および対象物の類似性をアクティブマイニングで構築した軌道インデックスを用いて効率的にチェックする。そして最も類似度の高い推奨案内を利用者に提供できるようにした。

サービスオブティマイザでは、最適化を行う際に利用する最適性の尺度（目的関数）そのものを考案する必要がある。そのために利用者の時間的な短縮度やサービスに対する満足度などの指標を考慮した最適化尺度を、Webサイトのアクセス履歴マイニングに基づいてページを推薦するシステムで開発してきた指標を拡張することによって研究した。

また、センサから得られる時系列データをセグメントに分割し、多段階のクラスタリングにより得られた頻出パターンからなる利用者モデルを構築する方式を実現した。新規利用者が現れた際に適切なサービスの一環として行動予測を行う方式と可視化システムとの連携を実現し、リアルタイムに行動予測ができるようになり、様々な応用分野への展開可能性を確認できた。実験により良好な精度で予測ができることが示された。

(c) ネットワークオブティマイザ

ネットワークオブティマイザでは、類似した頻出パターンをクラスタリングしアクティブマイニングによって分析された利用者モデルをベースに、センシングネットワークの制御を管理する。ICタグノードや無線ノードといった様々なセンサを効果的に利用可能なセンシングネットワークを構築する必要があり、特にセンシングネットワークを構成するデバイスやコンピュータは、動的ネ

ットワーク構成、ローカライゼーション、センサアプリケーションという3つの機能を持つ。利用者モデルに従って、各機能を適切な状態、必要な情報を提供可能なように更新するための制御を行うことで、センシングネットワーク全体の消費電力の削減を実現したり、効率の良い配送や部分更新のみならず、特定の条件もしくは特定エリアのデバイスのみ更新するといった柔軟な更新や、さらにマイニングパターンを利用したネットワーク最適化を実現する方法を検討した。

特に、類似した頻出パターンをクラスタリングして得られた利用者モデルをベースに、センシングネットワークの制御を管理する方式を実現した。利用者モデルに従って、各機能を適切な状態、必要な情報を提供可能なように制御するために、特定の時間条件もしくは特定のエリアのデバイスのみを対象とする可視化システムを実現し、その有効性を確認した。また、これまで開発した可視化システムで機能と速度面での実用化を目指した。特定の条件もしくは特定のエリアのデバイスのみ制御し、マイニングパターンを利用したシステムの最適化についても検討した。

(d) 動的ネットワーク構成

センシングネットワークは知的ユビキタスセンシングネットワークのインフラストラクチャーである。センシングネットワークを形成するデバイスやコンピュータ（センサノード）は、その一台一台に専用の機能制御ソフトウェアが動作している。メンテナンスやソフトウェア開発、柔軟な機能更新のように、ソフトウェアの仕様変更が生じる場合は、これらセンサノード上のソフトウェアを簡単に更新する必要がある。

センサノードのソフトウェア更新で最も古典的な手法はセンサノードにケーブルを接続し、一台ずつ有線でソフトウェアを書き込むものであるが、大量のノードを対象とした更新には不向きである。そこで大量のノード更新が容易に可能な更新手法を研究した。

センシングネットワークにおけるセンサノード上のソフトウェアを簡単に更新するために、無線マルチホップ通信を用いて効率的な配送や更新を可能とする手法を研究した。特に無線通信を使った更新では、メッセージ衝突による更新の信頼性低下、更新に伴う電力消費の節約、効率的なソフトウェア配送、更新ターゲットの選択が重要となると共に、利用者の利便性の向上が必要である。そのため、近隣ノード内で送信代表者を決

定することで近隣ノード間で発生するメッセージ衝突を避ける手法、ソフトウェア更新や通信に関係しないノードを適切にスケジューリングしてスリープ状態に移行させる消費電力削減手法、配送するソフトウェアをセグメントと呼ばれる単位に分割して管理し高効率な配送や部分更新を可能とする手法を検討した。とりわけ広域情報共有を目的とした大規模センシングネットワークを対象とし、複数基地局を用いてソフトウェア更新性能を向上させる手法を研究した。複数基地局の配置という観点からソフトウェア更新性能の検討を行い、特に幾何学問題を応用した **Packing** 手法を提案しネットワークシュミレーションでその効果を詳細に分析し発表した。実際のセンサノード上への実装方法を詳細検討した。また、ソフトウェア更新手法を調査して課題を整理した内容は査読付国際会議、査読付論文誌に採択された。

(e) ローカライゼーション

ワイヤレスセンサに代表される無線 IC タグなどは、従来の有線のものに比べて自由に配置できるが、その位置情報を利用することで様々な応用が可能となる。そのため、位置を特定するローカライゼーションの機能が必要となるが、本サブテーマでは、測位と通信を融合させた通信プロトコルの研究を行った。

通信プロトコル内の処理でセンサノードの測位を実現し、ノードの空間位置を把握可能な通信プロトコルの実現を目指した。これまで、ローカライゼーションは高精度な手法に関する研究が主流であったが、センシングネットワークの形成のためには、通信プロトコルとの融合と親和性が重要となる。そこで、センサノードの物理的な位置を測位するためのレイヤを新たに定義した通信プロトコルを開発した。通信プロトコルにローカライゼーションを組み込むことで、通信と測位を同時に実行する通信プロトコルとなる。

まず、無線マルチホップネットワークにおけるローカライゼーション技術として整理し発表した。その後、ローカライゼーションに関して、既存の無線マルチホップ通信方式とローカライゼーションの各処理手順の融合し、手順や新たに必要な機能を通信プロトコルのレイヤ機能を最適化した。特に、異なるローカライゼーションプロトコルと通信プロトコルの融合による効果を、共有ノードの数や位置関係をベースにシミュレーションによって詳細評価し、共有ノ

ードが最低3点あれば位置推定できること、並びに実装によって異なるセンサネットワークにおける RSSI が利用可能かを分析した。ローカライゼーションの各処理手順の融合を検討した結果、ネットワーク層(NWK)、メディアアクセス制御層(MAC)、物理層(PHY)で通信と測位を融合する機能を実現するための課題を解決することで実現可能である見通しを得た。具体的には、PHY 層で実現される測距方式には IEEE 802.15.4 WPAN の UWB 代替物理層として IEEE 802.15.4a で標準化された測距方式 TW-TOA を想定することで通信と測距が実現可能となる。また、MAC 層では、既存のデータ交換のためのメディアアクセス制御だけでなく、測距を目的としたときのデータの測位精度を保証するためのメディアアクセス制御を課題として検討した。その結果、できるだけ見通しの保証された測距情報を利用して位置推定を実現するように複数ノードが協調的にメディアアクセス割り当てを行うことで測位精度を向上させられることが示された。異なるローカライゼーションプロトコルと通信プロトコルの融合による効果を詳細評価した結果は査読付国際ジャーナルへ採択された。

(f) センサアプリケーション

現在研究されているアプリケーションの多くは、センサノードの種類や配置、データの解釈に関して、単独の目的のために最適化がなされているが、より実際的なユビキタス社会を想定するならば単一のセンサノードに対して複数の異なるアプリケーションが適用されるといった状況も考慮すべきである。このような状況においては、単一のセンサノードが異なる目的のための異なる要求に答える必要が生じるが、センサノードの資源性を考慮するならば、これらのことはセンサノードとは切り離された場所で柔軟に対処されるべきである。

単独の目的のために最適化されたセンサを流用し、より実際的なユビキタス社会を想定した研究を実施した。具体的には、スマートフォン等に標準で搭載されることの多くなった方位センサを用い、ユーザが利用したい情報家電へ携帯端末を向けることで情報家電を選択し接続する技術の研究開発を進め論文誌に採択された。また、より実際的なユビキタス社会を想定した制御を実現可能とする手法の研究を進めた。

その他、センシングネットワーク上で提供されるセンサアプリケーションとして、センサから得られる環境情報を利

用したアプリケーションは数多く考えられるが、特に重要なものとして環境情報の可視化並びに監視、地理情報に基づくナビゲーション、環境情報に基づくオートメーションの三種が考えられる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 10 件)

1. 安部恵一, 水野忠則, 峰野博史, “周期的センシングアプリケーション向け省電力型無線センサノードの開発,” 情報処理学会論文誌(トランザクション), コンシューマ・デバイス&システム(CDS), 査読有, Vol.2, No.1, 2012, pp.48-57.
2. 大木浩武, 峰野博史, 森信一郎, 水野忠則, 携帯端末に搭載された方位センサを用いた周辺機器選択手法の検討, 情報処理学会論文誌コンシューマ・デバイス&システム, 査読有, Vol.1, No.1, 2011, pp.22-27
3. 峰野博史, 松尾廣伸, 黒木秀和, 荻野司, 長谷川孝博, 静岡大学環境負荷モニタリングシステムの開発と導入, 電子情報通信学会論文誌, 査読有, Vol. J94-B, No. 7, 2011, pp.780-792
4. Hiroshi Mineno, Kazuyoshi Soga, Tomoya Takenaka, Yoshiaki Terashima, Tadanori Mizuno, Integrated Protocol for Optimized Link State Routing and Localization: OLSR-L, Journal of Simulation Modelling Practice and Theory (SIMPAT19), 査読有, pp.1711-1722 2010
5. Tomoya Takenaka, Hiroshi Mineno, Tadanori Mizuno, Proposal and Implementation of Coordinate Integrations in Heterogeneous Network Protocols, International Journal of Informatics Society (IJIS), 査読有, Vol.2, No.1, 2010, pp.14-22
6. Aoi Hashizume, Hiroshi Mineno, Tadanori Mizuno, Base Station Placement for Effective Data Dissemination in Sensor Networks, 情報処理学会論文誌, 査読有, Vol.51, No.3, 2010, pp.753-760
7. Tomoya Takenaka, Hiroshi Mineno, and Tadanori Mizuno, A Design on Integrated Protocol for Communications and Positioning, International Journal of Informatics Society, 査読有, Vol.1 No.2, 2009, pp.19-26
8. Huifang Chen, Hiroshi Mineno, Tadanori Mizuno, Adaptive Data Aggregation Scheme in Clustered Wireless Sensor Networks, Computer Communications Published by Elsevier B. V., 査読有, Vol.31,

Issue 15, 2008, pp.3579-3585

9. Hiroshi Mineno, Takuya Miyamaru, Yoshiaki Terashima, Yuichi Tokunaga, Tadanori Mizuno, Evaluation of Local Pipelining for Reprogramming Wireless Sensor Networks, International Journal of Informatics Society, 査読有, Vol.1, No.1, 2009, pp.44-51
[学会発表] (計 23 件)
1. Xingang He, Tadanori Mizuno, Hiroshi Mineno, “A Study on Highly Accurate Appliances Control System Using Wireless Sensor Networks,” The 1st International Workshop on Smart Technologies for Energy, Information and Communication (IW-STEIC2012), 2012年10月18日 (Sendai, Japan).
2. Aoi Hashizume, Tadanori Mizuno, and Hiroshi Mineno: Energy Efficient Data Sending Scheme in Smart Power Strip Sensor Networks, The 1st IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE2012), pp.744-747, 2012年10月5日 (幕張) .
3. Hiroshi Ishikawa, Social media analytics in the age of big data, Intl. Conf. on Global Research and Education (Inter-Academia 2012), 2012年8月27日, Ramada Plaza Budapest Hotel, (Budapest, Hungary) 【招待講演】
4. 江田政聡, 賀新剛, 横山昌平, 福田直樹, 峰野博史, 石川博, 赤外線センサを用いた在席推定に基づく証明制御手法の提案, 第4回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIMフォーラム2012), 2012年3月5日, シェイクホテル舞子ビラ神戸 (神戸市)
5. 中根傑, 江田政聡, 横山昌平, 福田直樹, 峰野博史, 石川博, WebSocketを用いた大規模センサデータストリームの可視化システムの開発, 第4回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIMフォーラム2012), 2012年3月5日, シェイクホテル舞子ビラ神戸 (神戸市)
6. Xingang He, Hiroshi Mineno, Tadanori Mizuno, A Study on Office Environmental Control System Using Wireless Sensor Network, The 5th International Workshop on Informatics (IWIN2011), 2011年9月19日, Ca' Foscari University of Venice (Venezia, Italy)

7. 竹中友哉, 峰野博史, 水野忠則, 無線マルチホップネットワークにおけるローカライゼーション技術について, 情報処理学会研究報告-コンシューマ・デバイス&システム (CDS), 2011年9月5日, 三菱情報総研 (神奈川県鎌倉市)
 8. 江田政聡, 中根傑, 横山昌平, 福田直樹, 峰野博史, 石川博, センサルームにおける赤外線センサを用いた人の移動・在籍状況の推定と利用, 第3回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM Forum 2011), 2011年2月28日, ラフォーレ修善寺 (伊豆市)
 9. Aoi Hashizume, Hiroshi Mineno, Tadanori Mizuno, A Survey of Reprogramming Systems in Wireless Sensor Networks, The 4th International Workshop on Informatics (IWIN2010), 2010年9月14日, Royal British Hotel (Edinburgh, Scotland, UK)
 10. Aoi Hashizume, Hiroshi Mineno, Tadanori Mizuno, An Implementation of Reprogramming Scheme for Wireless Sensor Networks, The 14th International Conference on Knowledge-Based & Intelligent Information & Engineering Systems (KES2010), 2010年9月10日, Cardiff University (Cardiff, Wales, UK)
 11. 中根傑, 横山昌平, 福田直樹, 峰野博史, 石川博, Tiled Displayを用いた大規模センシングデータの可視化システム, 電子情報通信学会データ工学研究会 (DE) 2010, 2010年6月28日, 名古屋大学 (名古屋市)
 12. Kazuyoshi Soga, Tomoya Takenaka, Yoshiaki Terashima, Hiroshi Mineno, Tadanori Mizuno, OLSR-L: Optimized Link State Routing and Localization, 2010 International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems, 2010年2月, Krakow, Poland
 13. Aoi Hashizume, Hiroshi Mineno, Tadanori Mizuno, Multi-base Station Placement for Wireless Reprogramming in Sensor Networks, 13th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems (KES2009), 2009年9月, Santiago, Chile
 14. Tomoya Takenaka, Hiroshi Mineno, Tadanori Mizuno, Proposal and Implementation of Coordinate Integrations for Heterogeneous Network Protocols, International Workshop on Informatics (IWIN 2009), 2009年9月, Hawaii, U. S. A.
 15. Aoi Hashizume, Hiroshi Mineno, and Tadanori Mizuno, Segmented Data Dissemination for Reprogramming Multi-Base Station Sensor Networks, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO 2009), 2009年7月, 大分県
 16. Tomoya Takenaka, Hiroshi Mineno, Tadanori Mizuno, A Study on Integrated Protocol for Communications and Positioning, International Workshop on Informatics (IWIN 2008), 2008年9月, pp. 17-23, Wien, Austria
 17. 橋詰葵, 峰野博史, 水野忠則, 複数基地局構成のセンサネットワークにおけるソフトウェア配送手法, 電子情報通信学会USN研, 2008年10月, pp. 57-62, 沖縄
 18. 橋詰葵, 宮丸卓也, 峰野博史, 寺島美昭, 徳永雄一, 水野忠則, パイプラインングを用いたWSNにおけるソフトウェア配送の効率化, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2008) シンポジウム, 2008年7月, pp. 451-457, 北海道 [図書] (計 2 件)
 1. Aoi Hashizume, Hiroshi Mineno, Tadanori Mizuno, Springer Berlin Heidelberg, Innovations in Intelligent Machines - 2, Studies in Computational Intelligence Volume 376, 2012年9月 (pp 241-249)
 2. 石川博・新美 礼彦・白石 陽・横山 昌平, 共立出版, データマイニングと集合知 - 基礎から Web, ソーシャルメディアまで -, 2012年7月, 256 ページ
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
水野 忠則 (MIZUNO TADANORI)
愛知工業大学・情報科学部・教授
研究者番号: 80252162
 - (2) 研究分担者
峰野博史 (MINENO HIROSHI)
静岡大学・情報学部・准教授
研究者番号: 40359740
石川博 (ISHIKAWA HIROSHI)
静岡大学・情報学部・教授
研究者番号: 60326014