

環境認知型超高効率無線センサネットワークの研究開発 (135003005)

Research and Development for Highly Efficient Environment Aware Wireless Sensor Networks

研究代表者

藤井 威生 電気通信大学

Takeo Fujii The University of Electro-Communications

研究分担者

田久 修[†] 太田 真衣^{††}

Osamu Takyu[†] Mai Ohta^{††}

[†]信州大学 ^{††}福岡大学

[†]Shinshu University ^{††}Fukuoka University

研究期間 平成 25 年度～平成 27 年度

概要

本研究開発は、「環境認知型超高効率無線センサネットワーク」を実現するため、センサ情報適応による高効率センサネットワーク技術の研究開発、無線環境適応による周波数共用センサネットワーク技術の研究開発、環境統合認知による超高効率センサネットワークの統合技術の研究開発を進める。本技術が既存の無線通信技術とは大きく異なり極めて新しい通信技術であることを鑑み、本課題では基盤技術の確立から、実用化に向け有効性を検証する試作機開発にいたるまで、新しい無線センサネットワークの誕生に必要な一連の研究開発を進める。

1. まえがき

スマートインフラなど社会基盤を情報通信技術により高度化した安心・安全で快適な社会を創生する試みとして、多数のセンサ情報を活用した無線センサネットワークに注目が集まっている。そのため、様々な無線センサネットワークのアプリケーションが登場し、その要求条件も多様化している。しかし、既存の無線規格は広い要求条件にフレキシブルに対応できる適応性に欠けている。一方、センサネットワークが活用する無線周波数帯は、ISM バンドとして知られる 2.4GHz 帯や特定小電力無線として 920MHz 帯が利用されているが、これらの帯域は別の無線システムとの共用帯域となっており、十分な無線資源が準備されているとは言えない。そこで、センサノードが対応可能な周波数帯域にフレキシブル性を与え、無線資源全体を俯瞰したうえで、当該無線センサネットワークに適する帯域を決定し、二次システムとして運用することは、センサネットワークにとどまらない無線システム全体の電波資源拡大に深く寄与することが可能となる。

本研究開発では、センサ情報と既存無線システム帯域の無線資源という二つの環境に適応し、無線資源の有効利用を図る無線センサネットワークの設計規範として、「環境認知型超高効率無線センサネットワーク」を確立する研究開発を実施した。

2. 研究開発内容及び成果

本研究開発では、センサ情報に適応する要素技術開発（課題 1）、無線環境に適応する要素技術開発（課題 2）を進め、要素技術を包含するセンサ情報と無線資源の二つの環境を水平統合する新たなセンサネットワークの開発（課題 3）を進めた。

課題 1：センサ情報適応による高効率センサネットワーク技術の研究開発

センサ情報への幅広い適応を実現するため、無線物理量変換方式によるセンサネットワーク技術を開発した。本方式では、センサ結果を直接周波数などの無線物理量に変換して、センサ結果の全体像を一度に認識することを可能にした。さらに、周波数ホッピングによる拡散効果を取り入

れることで既存の無線規格である ZigBee と比較して、2 倍以上の周波数利用効率が達成している。多数センサとの通信に不可欠な同期補償技術として、周波数資源の状態を学習しながら同期補償用の制御信号を送信するチャンネルを動的に切り替える方法を確立した。

課題 2：無線環境適応による周波数共用センサネットワーク技術の研究開発

異種無線システムとの周波数共用を可能にするため、多種多様なシステムの混在環境においても共存システムを識別する手法の確立やクラスタ化による空間分割法とクラスタヘッドの電力制御を利用した周波数共有法の確立およびその性能特性を評価した。無線環境データベースを活用し、無線ネットワークの相互トポロジと相互干渉状況を把握し、活用することでネットワーク全体の性能が改善することを示した。

課題 3：環境統合認知による超高効率センサネットワーク技術の研究開発

研究開発ターゲットの全体像を組み立て、システム設計と統合システムコンセプトの提案を進めた。

最初に本研究の位置づけを明確化するため、国内外の 300 を超えるセンサネットワークシステムについての実施事例を調査し、アプリケーションの要求条件として遅延、精度、頻度、連続駆動日数などの項目、無線通信システムの要求条件として伝送レート、通信距離、周波数共用などの項目を設定し、その相関関係を明らかにした。そして、無線システムへの要求を達成する課題を抽出した。

次に抽出した課題を元に、必要とされる機能のアーキテクチャ設計を行い、環境統合認知によるセンサネットワークのシステムコンセプトをまとめた。ここでは、特に周辺の無線環境を把握してデータベース化する階層型スペクトラムデータベース技術を軸に、センサネットワークの要求に応じて周波数や方式を管理するスペクトラムマネージャを備える。ここでまとめた階層型スペクトラムデータベースの全体構想を図 A に示す。このコンセプトを核に、センサネットワークに限らず無線システム全般の超効率化を最終目標として、統合システム全体を設計した。

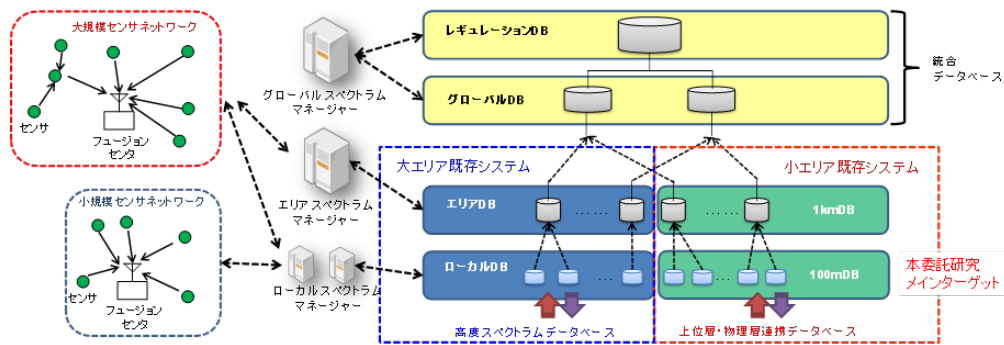


図 A スペクトラムデータベースを中心とした統合システムコンセプト

統合センサネットワークシステムの総合評価として、MAC連携データベース情報とセンサ情報の要求性能を水平統合し、センサネットワーク方式および利用周波数を決定するスペクトラムマネージャを実装し、統合実験を実施した。振動センサとスイッチセンサ情報の集約を行うため、鉄道模型の線路に振動センサ、踏切にスイッチセンサを取り付け、信号処理ボード Arduino を介して複数センサ情報を中継する PC へ送り、最終的に無線回線を介してフュージョンセンタにセンサ情報を集約する構成とした。統合システムに実装されている通信方式は独自に開発した無線物理量変換方式、ZigBee 方式、920MHz 無線センサの三種類であり、920MHz 無線センサを制御チャネル、無線物理量変換方式を振動センサ、ZigBee を踏切センサに割り当てることで、センサ情報に最適化したセンサ情報を集約するものとした。集約局となるフュージョンセンタにはスペクトラムデータベースも備えている。これにより、2.4GHz 帯のチャンネル占有率に関する無線環境情報をサーバで統計化できる。本システムは、1 台の受信機に対して最大 20 台の送信機が情報を伝送可能なシステムとなっており、リアルタイムで環境に適応した情報集約が可能となることを確認した。実験の様子は図 B に示す。



図 B 開発した統合センサネットワークシステムと屋内測定実験の様子

3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

本研究開発課題は、センサ情報と無線環境を認知した超高速無線センサネットワークの構築に関する研究を行ったものであり、情報源の持つ振る舞いと、無線環境の持つ振る舞い双方を鑑みて無線ネットワークを設計する思想であり、今後の無線通信および周波数の運用の高度化に貢献できる基盤技術が確立できたと考えている。このような環境適合型の無線ネットワークは IoT 時代を迎えた今、更なる進化が必要なものと考え、ビッグデータとの連携や利用周波数帯域の拡張に適応した新たな研究開発につながるものと考え、継続的に研究を進めている状況である。一

方、本研究開発で基盤技術を確立した無線物理量変換はバイタルセンサネットワークへの応用に関して、企業との共同研究に向けた動きも進んでいる。今回の研究開発で実施したような基礎的なネットワークから応用的なネットワークへの拡張フェーズに入っており、近いうちの実用化を目指した検討を行いたいと考えている。

4. むすび

センサ情報と無線資源環境を水平統合する「環境認知型超高速無線センサネットワーク」を開発し、実機による統合実験から、多様化するアプリケーションの要求条件に柔軟に対応できる新たなセンサネットワークを確立した。

【誌上发表リスト】

- [1]Tomomi Endou, Shunta Ssakai, Takeo Fujii, "Information Gathering for Wireless Sensor Networks with Information Converting to Wireless Physical Parameters", IEICE Trans. on Commun., vol.E98-B no.6 pp984-995 (2015年6月)
- [2]Ryo Myoenzono, Osamu Takyu, Keiichiro Shirai, Takeo Fujii, Mai Ohta, Fumihito Sasamori and Shiro Handa, "Data Tracking and Effect of Frequency Offset to Simultaneous Collecting Method for Wireless Sensor Networks", International Journal of Distributed Sensor Networks vol.2015 10pages (2015年8月)
- [3]Osamu Takyu, Takayuki Yamakita, Takeo Fujii, Mai Ohta, Fumihito Sasamori, and Shiro Handa, "Optimization of Learning Time for Learning-assisted Rendezvous Channel in Cognitive Radio System", IEICE Trans. on Commun., vol.E98-B no.2 pp360-369 (2015年2月)

【申請特許リスト】

- [1]柿沼幸治、高木俊輔、中山敦喜、坂井駿太、藤井威生、フュージョンセンタ一括キャリアセンス情報収集法、日本国、特願 2015-031518、2015年2月22日
- [2]藤井威生、遠藤朋実、無線センサネットワークシステム、日本国、2014年1月15日、特願 2014-005422
- [3]田久修、折内皆人、白井啓一郎、藤井威生、笹森文仁、半田志郎、無線通信における端末識別方法及び端末識別装置、特願 2015-164540、日本国、2015年8月24日

【受賞リスト】

- [1]電子情報通信学会通信ソサイエティ論文賞 (Information Gathering for Wireless Sensor Networks with Information Converting to Wireless Physical Parameters)2016年5月
- [2]坂井駿太、IEEE IC-NIDC2014 Best Paper Award、2014年9月21日
- [3]太田真衣、電子情報通信学会 学術奨励賞、2014年3月19日