

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 5 日現在

機関番号：17102
研究種目：挑戦的萌芽研究
研究期間：2015～2016
課題番号：15K12021
研究課題名(和文)無線LAN環境下で頑健に動作するセンサネットワーク向け高速データ収集プロトコル

研究課題名(英文)High-speed data collection protocol for sensor networks with robust under wireless LAN environment

研究代表者
福田 晃 (Fukuda, Akira)

九州大学・システム情報科学研究所・教授

研究者番号：80165282

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：本課題では、(1)無線LAN信号をセンサノード上で検出する技術の開発、(2)センサノードを用いた無線LANアクセスポイント使用チャネル推定技術の開発、(3)センサノードを用いて通信中に無線LANからの干渉状況を推定する技術の開発を行った。具体的には、異種無線間の信号検出技術を開発してセンサノード上で無線LANに関するさまざまな情報を収集する技術を確立した。これらを用いてセンサノード間で通信中に周囲に存在する無線LAN機器からの干渉を推定し、干渉を回避する手法を提案した。本課題は挑戦的なものであり多くの追加課題が生じたため、当初計画を変更して当初目的に向けた基盤技術を開発した。

研究成果の概要(英文)：In this project, we developed (1) cross-technology signal detection method to detect WiFi signals on sensor node, (2) WiFi AP operating channel estimation method using sensor node, and (3) WiFi interference detection scheme during ZigBee communication. Using the cross-technology signal detection scheme, we extracted information on WiFi APs around sensor nodes including distance and traffic. We also presented a WiFi interference avoidance scheme based on the collected AP information. This project is tackling challenging tasks and faces many new challenges. We therefore changed our research plan and developed fundamental techniques for our final goal.

研究分野：情報ネットワーク

キーワード：センサーネットワーク センサデータ収集 マルチチャネル

1. 研究開始当初の背景

IoT (Internet of Things) や CPS (Cyber Physical Systems) の実現に向けてセンサネットワークの重要性が高まっている。このような用途では 1 台のセンサノードの通信範囲内に膨大な数のセンサノードが存在する高密度センサネットワークの構築が想定されている。一般に、センサノードは通信速度が 250 kbps である ZigBee (IEEE 802.15.4) モジュールを用いたマルチホップ通信を行うため、高密度センサネットワークでのデータ収集は通信負荷が大きく、通信容量不足が大きな問題となる。

このような問題に対し、PIP や MODESA など、複数のチャネルを用いて同時に通信を行うマルチチャネル高速データ収集プロトコルが報告されている。しかしながら、ZigBee と同じ周波数帯を用いる他の無線機器との干渉を考慮すると使用できるチャネルの数が制限される。特に、屋内環境に広く普及している無線 LAN と干渉しない ZigBee チャネルは 1 つしか存在しないため、無線 LAN 環境下でこれらのマルチチャネルデータ収集プロトコルを利用することは難しい。

2. 研究の目的

本研究の目的は、IoT や CPS において必要となる「高密度センサネットワーク」の実現に向けて、屋内など無線 LAN の広く普及した環境下において膨大な数のセンサノードから高速にセンサデータを収集するプロトコルを確立することである。これに向け、センサノードが自律的に通信チャネルを変更するデータ収集プロトコルを提案する。シンクノードにおいて膨大なセンサノードのチャネルを全て掌握することは難しいため、1) 自律的チャネル変更に対してロバストなデータ収集制御通信、2) センサノードにおける無線 LAN 通信状況のモニタリングという 2 つの課題に挑戦することで提案プロトコルを実現し、実証評価によって提案プロトコルの有効性を明らかにする。

3. 研究の方法

本研究の目標は、無線 LAN 環境下で膨大なセンサノードから高速にデータを収集することである。これに向け、本研究ではセンサノードが自律的に通信チャネルを変更することで無線 LAN との干渉を回避するマルチチャネルデータ収集プロトコルを提案する。具体的には以下の課題の解決を目指す。

1) 自律的チャネル変更に対してロバストなデータ収集制御通信

自律的にチャネルを変更する膨大な数のセンサノードのチャネルを、データを収集するシンクノードにおいて全て把握することは非常に困難である。このため、チャネルが変更されても影響を受けない形でシンクノードがデータ収集の指示を行う通信方式を

確立することを目指す。

2) センサノードにおける無線 LAN 通信状況のモニタリング

センサノードが搭載する ZigBee モジュールでは無線 LAN (IEEE 802.11) の信号を受信することはできない。センサノードでの自律的なチャネル変更に向けて、各無線 LAN チャネルの通信量をセンサノードで取得する手法を確立することを目指す。

4. 研究成果

本研究課題で得た成果は以下の通りである。

(1) 無線 LAN 信号をセンサノード上で検出する技術の開発

センサネットワークにおいては同じ 2.4GHz 帯を用いる無線 LAN からの干渉が大きな問題となる。そこで、干渉源となる無線 LAN 信号をセンサノードを用いて検出する技術の開発を行った。具体的な成果は以下の通りである。

- 無線 LAN AP が送信するビーコン信号を検出する技術を開発した。ビーコン信号は AP が周期的に送信している信号である。センサノードで利用されている ZigBee (IEEE 802.15.4) モジュールには無線信号があるかないかを判定するための RSS (Received Signal Strength: 受信信号強度) 測定機能が備えられているため、これを利用して周期的なビーコン信号を検出する。具体的には図 1 に示すようにセンサノードで取得した RSS をビーコン信号の周期で折り返すことによってビーコン信号を検出できる。

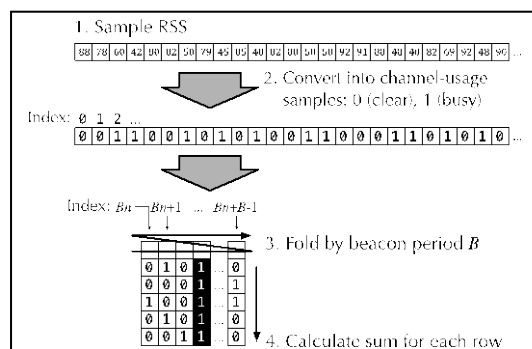


図 1: ビーコン信号検出の原理

- 無線 LAN AP 検出技術を利用し、無線 LAN AP の信号強度 (RSS: Received Signal Strength) を測定する技術を開発した。検出した AP 信号のうち精度低下につながる部分を除去した上で RSS を測定する。評価実験によって平均誤差 1.26dB で RSS を測定できることを確認した。これにより、影響が大きくなる近接した AP が存在するのかどうかを判定することができる。

(2) センサノードを用いた無線 LAN AP 使

用チャンネル推定技術の開発

無線 LAN のチャンネル幅は ZigBee に比べて広帯域であり、1 つの無線 LAN チャンネルは 4 つの ZigBee チャンネルと重なっている。このため、前述の (1) の成果だけでは周囲に存在する近接した AP を正確に検出することができない。この課題を解決するため、センサノードを用いて周囲の無線 LAN AP の動作チャンネルを推定する技術を開発した。具体的な成果は以下の通りである。

- 無線 LAN AP の信号が 4 つの ZigBee チャンネル上で検出できることを利用して無線 LAN AP の動作チャンネルを推定する技術を開発した。現実環境ではセンサノードの周囲に複数台の AP が設置されていることが予想されるため、検出したビーコンが送信されているタイミング情報と検出したチャンネル情報を利用して検出結果を AP 毎にグループ化して各 AP の動作チャンネルを推定する。
- 実環境において 8 台の AP を設置し、センサノードを用いて各 AP の動作チャンネルを推定する評価実験を行った (図 2)。その結果、F 値 0.80 という高い精度で AP の動作チャンネルを推定できることを確認した。

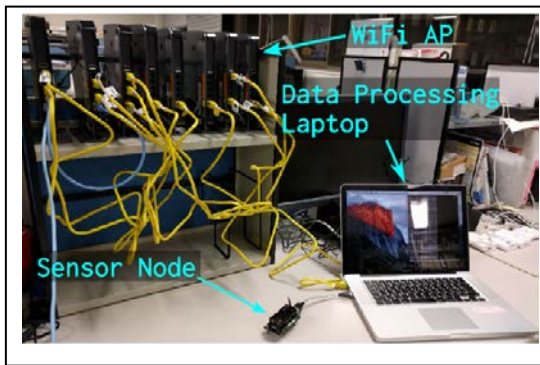


図 2: 無線 LAN AP 使用チャンネル推定技術評価実験の様子

(3) センサノードを用いて通信中に無線 LAN からの干渉状況を推定する技術の開発

上記 (1), (2) を用いれば無線 LAN の AP を動作チャンネルを認識しながら検出できるが、これらを行うためにはセンサノードの通信を一時的に中断する必要がある。このため、センサノード間での通信を中断せずに無線 LAN の干渉状況を推定する技術を開発した。具体的な成果は以下の通りである。

- センサノードの通信中に無線 LAN からの干渉が起きた場合、センサノードの通信成功率が低下する。これを利用して、センサノードがチャンネルを切り替えながら通信を行う間の通信成功率を取得し、そのチャンネル間での相関を計算することで通信が行われている無線 LAN チャンネルを特定する技術を開発した。
- 実環境で評価実験を行い、実際に通信が行われている AP と通信がほとんど行わ

れていない AP がある中で通信が行われて干渉が起きているチャンネルを検出できることを確認した。図 3 はこの様子を示している。図で相関値が高いところは無線 LAN の干渉が起きている ZigBee チャンネルである。マルチチャンネル通信において通信成功率を取得しながら干渉有無を測定し、通信が行われている無線 LAN AP を検出できることが確認できた。

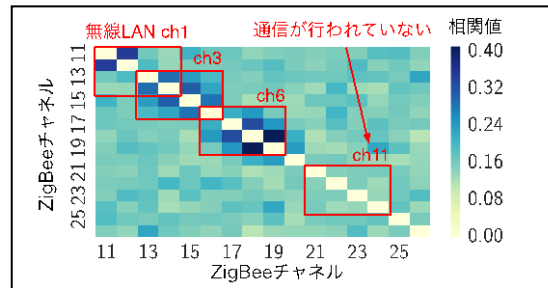


図 3: センサノードの通信成功率のチャンネル間相関を用いた無線 LAN 干渉検出

本研究は挑戦的なものであり、研究開発実施に対して多くの課題に直面したため当初計画を変更しての実施となった。このため新たな通信プロトコル全体の設計までは終了できなかったが、研究目的に向けた要素技術を構築できたとと言える。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計: 11 件)

1. 石田繁巳, 三村晃平, 劉嵩, 田頭茂明, 福田晃: 路側設置マイクロフォンによる車両カウントシステム, 情報処理学会 論文誌, Vol. 58, No. 1, pp. 89-98, 2017. (特選論文に選定)
2. 石田繁巳, 泉幸作, 國廣陽介, 田頭茂明, 福田晃: WiFi AP を用いたセンサ測位に向けた WiFi AP 動作チャンネル推定手法, 情報処理学会 論文誌, Vol. 58, No. 1, pp. 225-236, 2017.
3. Shigemi Ishida, Kousaku Izumi, Takahiro Yamamoto, Shigeaki Tagashira, and Akira Fukuda: Initial Evaluation of ZigLoc: Anchor-Free Sensor Localization System using WiFi Fingerprints, Proc. ACM HotMobile (The 18th International Workshop on Mobile Computing Systems and Applications), 2017.
4. Shigemi Ishida, Kohei Mimura, Song Liu, Shigeaki Tagashira, and Akira Fukuda: Design of Simple Vehicle Counter using Sidewalk Microphones, ITS European Congress, 10 pages, 2016.
5. Shigemi Ishida, Yoko Takashima, Shigeaki Tagashira, and Akira Fukuda: Proposal of Separate Channel Fingerprinting Using Bluetooth Low Energy, Proc. the 5th IIAI Int.

- Congress on Advanced Applied Informatics (IAAI AAI 2016), Special Session ESKM, pp.230-233, 2016. (**The Honorable Mention Award**)
6. Shigemi Ishida, Yosuke Kunihiro, Kousaku Izumi, Shigeaki Tagashira, and Akira Fukuda : Design of WiFi-AP Operating Channel Estimation Scheme for Sensor Node, Proc. 2016 Ninth Int. Conf. on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU 2016) , pp.13-18, 2016. (**Best Paper Award**).
 7. Jumpei Kajimura , Shigemi Ishida , Shigeaki Tagashira, and Akira Fukuda : Design of Distributed Calculation Scheme using Network Address Translation for Ad-hoc Wireless Positioning Network, Proc. the 11th Int. Workshop on Information Search, Integration, and Personalization 2016.
 8. Shigemi Ishida, Shigeaki Tagashira, Yutaka Arakawa, and Akira Fukuda : On-Demand Indoor Location-based Service using Ad-Hoc Wireless Positioning Network, Proc. the 12th IEEE Int. Conf. on Embedded Software and Systems (IEEE ICSS 2015), pp.1005-1013, 2015.
 9. Shigemi Ishida, Kousaku Izumi, Shigeaki Tagashira, and Akira Fukuda: WiFi AP-RSS Monitoring using Sensor Nodes toward Anchor-Free Sensor Localization, Proc. 2015 IEEE 82nd Vehicular Technology Conference: VTC2015-Fall, pp.1-5, 2015.
 10. Shigemi Ishida, Shigeaki Tagashira, and Akira Fukuda : AP-Assisted CTS-Blocking for WiFi-ZigBee Coexistence, Proc. the Third Int. Symp. on Computing and Networking (CANDAR) , pp.110-114, 2015.
 11. Kousaku Izumi , Shigemi Ishida , Shigeaki Tagashira, and Akira Fukuda : Design of WiFi AP-RSS Monitoring System using Sensor Nodes, Proc. the Third Int. Symp. on Computing and Networking (CANDAR' 15), pp.115-121, 2015.
- [学会発表] (計 : 12件)
1. 泉幸作, 山本貴宏, 石田繁巳, 田頭茂明, 福田晃 : 基準ノード不要のセンサ測位システム ZigLoc の設計, 電子情報通信学会モバイルネットワークとアプリケーション (MoNA) 研究会, 信学技報, Vol.116, No. 508, MoNA2016-44, pp.275-280, 2017.
 2. 山本貴宏, 石田繁巳, 田頭茂明, 福田晃 : WiFi 干渉緩和システム ZigSwitch に向けた ZigBee チャンネル相関性の初期的評価, 電子情報通信学会総合大会, 通信講演論文集 1, p.505, 2017.
 3. 石田繁巳, 泉幸作, 國廣陽介, 田頭茂明, 福田晃 : WiFi AP を用いたセンサノード測位に向けた WiFi 送信チャンネル推定手法の設計, 情報処理学会マルチメディア, 分岐, 協調とモバイルシンポジウム (DICOMO 2016), pp.1741-1747, 2016. (**最優秀論文賞, 優秀プレゼンテーション賞受賞**)
 4. 石田繁巳, 梶村 順平, 田頭茂明, 福田晃 : アドホック測位ネットワークにおけるアドレス変換を用いた負荷分散手法の初期的評価, 信学会モバイルネットワークとアプリケーション研究会 (MoNA), 信学技報 , Vol.116, No.171, MoNA2016-13, pp.35-40, 2016.
 5. Kohei Mimura, Song Liu, Shigemi Ishida, Shigeaki Tagashira, and Akira Fukuda : 路側設置マイクロフォンを用いた車両カウントシステムの設計と初期的評価 (Design and initial evaluation of vehicle counting system using road-side microphone array), 電子情報通信学会技術研究報告, 知的環境とセンサネットワーク研究会 (ASN), 115(437), pp.111-116, 2016.
 6. Song Liu, Shigemi Ishida, Shigeaki Tagashira, and Akira Fukuda : **【奨励講演】** Enhanced Sound Mapping for Successive Vehicle Detection in Acoustic Vehicle Count System, 信学会ネットワークシステム研究会 (NS 研究会), Vol.116, No.256, pp.1-6, 2016.
 7. Song Liu, Shigemi Ishida, Kohei Mimura, Shigeaki Tagashira, and Akira Fukuda : Initial Evaluation of Acoustic Vehicle Count System utilizing Dynamic Time Warping, 2016 年電子情報通信学会総合大会 , BS-3-44, 2016. (**Distinguished presenter's Award**)
 8. 石田繁巳, 劉嵩, 三村晃平, 田頭茂明, 福田晃 : Dynamic Time Warping を用いた路側設置マイクロフォンによる車両カウントシステムの設計と初期的評価, 情報処理学会 第 64 回高度交通システムとスマートコミュニティ研究発表会 (ITS 研究会) Vol.2016-ITS-64, No.6, pp.1-6, 2016. (**優秀論文賞**)
 9. 泉幸作, 石田繁巳, 田頭茂明, 福田晃 : WiFi AP を用いたセンサノード測位に向けた RSS 観測手法, 情報処理学会 DICOMO2015 シンポジウム, pp. 843 - 848, 2015. (**優秀論文賞, ヤングリサーチャ賞受賞**)
 10. Kousaku Izumi, Shigemi Ishida, Shigeaki Tagashira, and Akira Fukuda : Proposal of instant sensor localization system using WiFi Aps, 信学会 知的環境とセンサネットワーク研究会 (ASN) , Singapore-Japan Joint Workshop on Ambient Intelligence and Sensor Networks, 2015.
 11. Naoyuki Hashimoto , Kousaku Izumi ,

Shigemi Ishida, Shigeaki Tagashira, and Akira Fukuda : Proposal of coarse localization method for anchor-free sensor localization using WiFi Aps, 信学会 知的環境とセンサネットワーク研究会 (ASN), Singapore-Japan Joint Workshop on Ambient Intelligence and Sensor Networks, 2015.

12. Kohei Mimura, Song Liu, Shigemi Ishida, Shigeaki Tagashira, and Akira Fukuda : Proposal of simple and accurate vehicle counting system using road-side microphone array, 信学会 知的環境とセンサネットワーク研究会 (ASN), Singapore-Japan Joint Workshop on Ambient Intelligence and Sensor Networks, 2015.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

福田晃 (FUKUDA, Akira)

九州大学・大学院システム情報科学研究
院・教授

研究者番号 : 80165282

(2) 研究分担者

石田繁巳 (ISHIDA, Shigemi)

九州大学・大学院システム情報科学研
究院・助教

研究者番号 : 10724388