

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 6 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2017

課題番号：16K16048

研究課題名(和文) センサノードを置くだけで測位可能な屋内センサ測位システムの研究

研究課題名(英文) Development of Anchor-Free Indoor Sensor Localization System

研究代表者

石田 繁巳 (Ishida, Shigemi)

九州大学・システム情報科学研究院・助教

研究者番号：10724388

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、センサを置いただけでその位置を推定するセンサ測位システムを実現することを目的としている。GPSの使えない屋内においてセンサの位置を取得する場合に向け、位置の分かっている基準ノードを用いた測位システムが開発されているが膨大な数のセンサを測位する場合には多数の基準ノードが必要となる。そこで本研究では既設のWiFi APを基準ノードとして用いる測位システムを開発した。センサノードとWiFiは通信の互換性がないため、通信規格の異なる信号を検出する技術を新たに開発することで提案する測位システムを実現した。

研究成果の概要(英文)：This research aims to develop an indoor localization without newly deployed reference nodes by utilizing WiFi APs as reference nodes. Literature reported many indoor sensor localization systems, which require reference nodes. When we localize huge number of sensors, we face reference deployment problem. We therefore developed a sensor localization system that uses WiFi APs installed in the environment as reference nodes. Sensor nodes are equipped with ZigBee (IEEE 802.15.4) modules that cannot demodulate WiFi (IEEE 802.11) signals. We therefore developed a cross-technology signal detection method that detects periodic beacon signals sent from WiFi APs.

研究分野：無線センサネットワーク

キーワード：無線センサネットワーク センサ測位システム 異種無線間通信

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。一般に、センサネットワークは実空間の情報取得に用いられるためセンサノード設置時にセンサノードの位置を計測する。このとき、GPS (Global Positioning System) の利用できない屋内においては手動での計測が必要なため屋内センサノードの測位は大きな手間となる。このような問題に対し、位置の分かっている測位基準ノードを設置して他のセンサノードを測位するセンサ測位技術の研究が行われてきた。しかしながら、測位基準ノード数を減らすと測位精度が低下するため、測位基準ノード数の削減には限界がある。特に、BEMS (Building Energy Management System) やターゲットトラッキングなどに向けた大規模センサネットワークの場合には実用的な精度を得るために多数の測位基準ノードが必要となり、測位基準ノードの測位が大きな問題となる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、屋内センサネットワーク構築時に必要となるセンサノード測位に向けて、センサノードを置くだけで測位ができる屋内センサ測位システムを実現することである。これに向け、屋内環境にすでに設置されている WiFi AP (無線 LAN アクセスポイント) を測位基準ノードとして用いるセンサノード測位システムを提案する。センサノードの無線モジュールでは WiFi 信号を受信できないため、1) センサノードによる WiFi AP 信号強度の測定、2) WiFi AP 送信チャネルの推定とチャネル特性差の吸収、3) WiFi 測位システムのフィンガープリントを用いたセンサ測位という課題に挑戦することで提案測位システムを実現し、実証評価によって提案測位技術の有効性を明らかにする。

3. 研究の方法

本研究の目的の実現に向けて、以下の3つの課題の解決を目指す。

1) センサノードによる WiFi AP RSS の測定

測位に向けては周囲にある WiFi AP 毎に信号強度を測定する必要がある。しかしながら、センサノードは ZigBee (IEEE 802.15.4) モジュールを具備しており、無線規格が異なる WiFi (IEEE 802.11) の信号を受信することは不可能である。そこで、WiFi と ZigBee の多くのチャンネルが重なっている点に着目し、単一の WiFi AP の信号をセンサノード上で抽出して信号強度を測定する。

2) WiFi AP 送信チャネルの推定とチャネル特性差の吸収

1 つの ZigBee チャンネルは最大で 4 つの WiFi チャンネルと重なっているため、WiFi AP の信号を観測した ZigBee チャンネルだけでは WiFi AP のチャンネルを決定できない。また、

屋内環境では周波数選択性フェージング (周波数によって電波伝搬ロス特性が大きく異なる現象) が発生し、特定の ZigBee チャンネルだけ信号強度が著しく低下する場合がある。本研究では、1 台の WiFi AP について複数の ZigBee チャンネルで信号強度を測定することで WiFi AP の送信チャネルを推定するとともにチャネル特性差を吸収する技術を確立する。

3) WiFi 測位システムのフィンガープリントを用いたセンサ測位

WiFi AP の位置が既知である場合、センサノードで各 AP の信号強度を取得できれば多辺測量法などによってセンサノードの位置を計算できる。しかしながら、現実環境では複数の所有者がそれぞれ WiFi AP を設置しているため、それら全ての AP の位置を掌握することは困難である。本研究では、WiFi 測位におけるフィンガープリンティングでは WiFi AP の位置を取得する必要がないことに着目し、WiFi 測位システムで収集されたフィンガープリントデータを用いてセンサノードを測位する技術を確立する。

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) センサノードによる WiFi AP 信号強度の測定手法

センサノードは ZigBee (IEEE 802.15.4) モジュールを具備しており、WiFi (IEEE 802.11) とは無線規格が異なるために WiFi の無線信号を受信することはできない。そこで、無線規格の違いを超えて WiFi AP のビーコン信号をセンサノードで検出してその RSS (受信信号強度) を測定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。

- 同じ 2.4 GHz 帯の通信規格であるという特徴を活かし、WiFi AP が送信するビーコン信号を検出してその RSS を測定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。センサノードの ZigBee モジュールには観測しているチャンネルの無線信号の RSS を測定する機能が備えられている。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

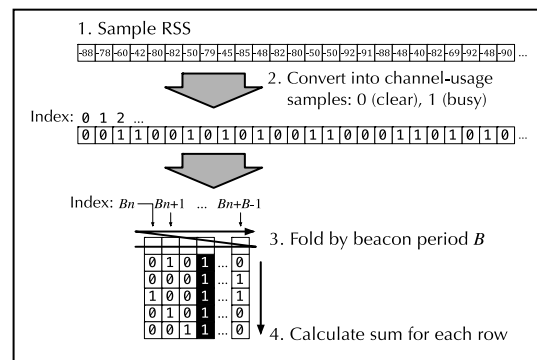


図 1 WiFi ビーコン信号検出の原理

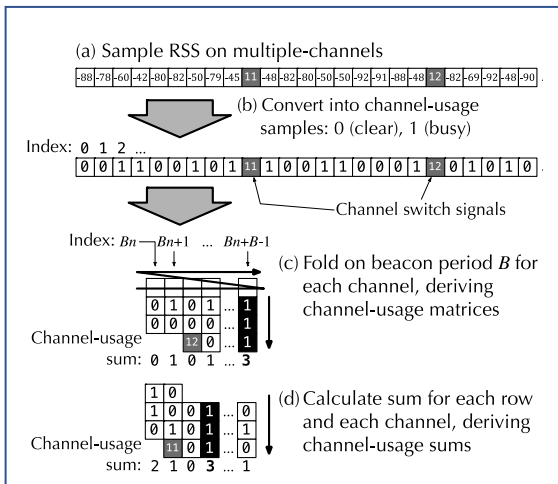


図 2 マルチチャンネル AP 検出の概要

で折り返すことによってビーコン信号を検出できる。

- 検出した AP 信号に対応する RSS サンプルの平均を算出することで AP 信号の RSS を測定できる。実際には全ての RSS サンプルの平均を取ると誤差が大きくなることから簡素なフィルタリング処理を適用した後で RSS サンプルの平均化を行う。評価実験を行い、平均誤差 1.26dB で AP の RSS を測定できることを確認した。

(2) WiFi AP 送信チャンネルの推定

WiFi の 1 つのチャンネルは 4 つの ZigBee チャンネルと重なっており、同一の AP の信号を 4 つの ZigBee チャンネルで検出するとそれぞれ異なる RSS が観測される。

センサノードで測定した AP の RSS は、センサノードのチャンネルと WiFi AP のチャンネルによって異なる値となる。AP の RSS を正確に測定するためには ZigBee のチャンネルを WiFi AP のチャンネルに合わせて適切に切り替えた上で RSS を測定する必要がある。多くの WiFi AP は通信エラーを削減するために自動的に動作チャンネルを切り替えるため、周囲に存在する AP の動作チャンネルをあらかじめセンサノードに記憶させておくことは難しい。そこでセンサノードのみを用いて AP の動作チャンネルを認識する技術を開発した。具体的な成果は以下の通りである。

- センサノードで ZigBee チャンネルを切り替えながら AP を検出するマルチチャンネル AP 検出技術を開発した。図 2 に示すようにチャンネルを切り替えながら (1) で開発した WiFi AP 検出技術を適用して複数の ZigBee チャンネルで AP を検出する。
- マルチチャンネル AP 検出技術を用いて WiFi AP の動作チャンネルを推定する技術を開発した。図 3 に示すように、複数の ZigBee チャンネルで検出した AP の情報を (ZigBee チャンネル) - (ビーコン送信タイミング) という 2 次元空間にマッピングしてクラスタリング手法を適用することで AP 毎に分離する。各 AP が検出された ZigBee チャンネルの組み合わせから AP の

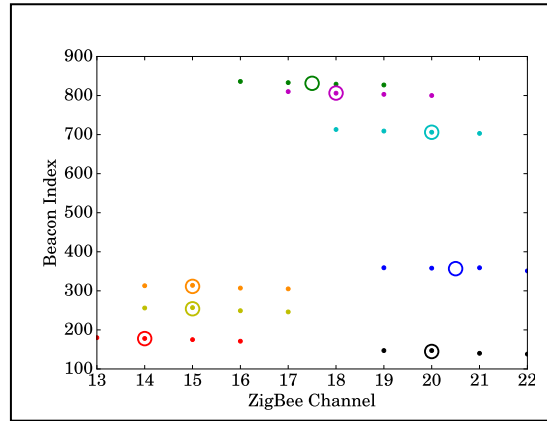


図 3 (ZigBee チャンネル) - (ビーコン送信タイミング) 空間にマッピングされた検出 AP 情報による AP 分離の例

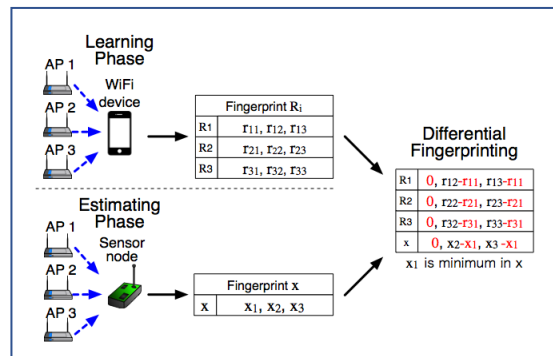


図 4 差分 ZigLoc の概要

動作チャンネルを推定する。実証評価を行い、F 値 0.80 で AP の動作チャンネルを推定できることを確認した。

(3) WiFi 測位システムで収集されたフィンガープリントを用いたセンサ測位

WiFi AP を用いてセンサノードの測位を行う場合、自身が管理していない WiFi AP を用いる場合には WiFi AP の正確な位置を特定することができない。そこで WiFi AP の RSS を用いてフィンガープリント法による測位を行うセンサ測位システム ZigLoc を開発した。具体的な成果は以下の通りである。

- フィンガープリントの収集は高いコストを要することから、ZigLoc では WiFi 測位システムで収集された WiFi フィンガープリントを用いてセンサノードの測位を行う。WiFi 端末で収集した WiFi AP の RSS のベクトルであるフィンガープリント R_i を測位対象エリア内の各所で収集してデータベースを構築し、センサノードで測定したフィンガープリント x ともっとも近い R_i を探索することで測位を行う。実証評価によって ZigLoc の測位精度が 7.40m となることを確認した。
- ZigLoc の精度向上に向けて、AP の RSS の差分を用いて測位を行う差分フィンガープリント法を用いた差分 ZigLoc を開発した。測位精度が低下する原因の 1 つは、WiFi と ZigBee は使用する帯域幅が異なるために生じる RSS オフセットである。

これを除去するため、図 4 に示すように差分 ZigLoc では検出した WiFi AP の RSS のうちもっとも小さい RSS を基準として RSS の AP 間での差分を計算し、この情報をフィンガープリントとして再近傍探索を行うことで測位を行う。実証評価によって差分 ZigLoc を用いることで ZigLoc に比べて測位精度を約 26%向上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 10 件)

1. 石田 繁巳, 田頭 茂明, 荒川 豊, 福田 晃, “オンデマンド屋内位置情報サービスに向けた分散測位型アドホック測位ネットワーク”, 電子情報通信学会論文誌, vol.J101-B, no.5, pp.357-371, May 2018.
2. J. Kajimura, S. Ishida, S. Tagashira, and A. Fukuda, “Design of distributed calculation scheme using network address translation for ad-hoc wireless positioning network”, Information Search, Integration, and Personalization (ISIP), Communications in Computer and Information Science (CCIS), vol.760, pp.33-48, Oct 2017.
3. T. Yamamoto, S. Ishida, K. Izumi, S. Tagashira, and A. Fukuda, “Accuracy Improvement in Sensor Localization System utilizing Heterogeneous Wireless Technologies”, The Tenth International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU), pp.26-31, Toyama Japan, Oct 2017.
4. 山本 貴宏, 泉 幸作, 石田 繁巳, 田頭 茂明, 福田 晃, “センサ測位システム ZigLoc の精度向上に向けた差分フィンガープリント法の設計”, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOMO 2017), pp.1607-1613, Jun 2017.
5. S. Ishida, Y. Takashima, S. Tagashira, and A. Fukuda, “Design and Initial Evaluation of Bluetooth Low Energy Separate Channel Fingerprinting”, New Trends in E-Service and Smart Computing, Studies in Computational Intelligence, vol.742, Springer, T. Matsuo et al. (eds), pp.19-33, Jan 2018.
6. S. Ishida, K. Izumi, T. Yamamoto, S. Tagashira, and A. Fukuda, “Initial Evaluation of ZigLoc: Anchor-Free Sensor Localization System using WiFi Fingerprints”, The 18th ACM International Workshop on Mobile

Computing Systems and Applications (HotMobile 2017), Sonoma, CA, Feb 2017.

7. 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, Jan 2017.
8. S. Ishida, Y. Kunihiro, K. Izumi, S. Tagashira, and A. Fukuda, “Design of WiFi-AP Operating Channel Estimation Scheme for Sensor Node”, The Ninth International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU), pp.13-18, Kaiserslautern, Germany, Oct 2016. **(Best Paper Award)**
9. S. Ishida, Y. Takashima, S. Tagashira, and A. Fukuda, “Proposal of Separate Channel Fingerprinting Using Bluetooth Low Energy”, IIAI International Congress on Advanced Applied Informatics (AAI), ESKM, pp.230-233, Kumamoto, Japan, Jul 2016. **(Honorable Mention Award)**
10. 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, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOMO 2016), pp.1741-1747, Jul 2016. **(最優秀論文賞, 優秀プレゼンテーション賞)**

[学会発表] (計 3 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”, 電子情報通信学会技術研究報告, モバイルネットワークとアプリケーション研究会, MoNA2016-44, Mar 2017.
2. 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”, 電子情報通信学会技術研究報告, モバイルネットワークとアプリケーション研究会, MoNA2016-13, Aug 2016.
3. 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, B-15-16, Mar 2017.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

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