

令和元年5月23日現在

機関番号：21201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01246

研究課題名(和文) IoT技術を用いた生産物流向け位置情報システム

研究課題名(英文) IoT-based positioning system for manufacturing and logistics

研究代表者

岡本 東 (Okamoto, Azuma)

岩手県立大学・ソフトウェア情報学部・准教授

研究者番号：10305310

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：生産・物流を対象として、IoT (Internet of Things) 技術を用いた人・物の位置・状態を収集・利用する位置情報システム構築した。大別して、測位手法・デバイス・情報システムの3つの開発が含まれる。1) BLE (Bluetooth Low Energy) ビーコンを用いた測位手法の生産・物流現場での有効性の確認、電波送受信機器の配置の検討、および周波数差を利用した精度向上に関する理論構築。2) センサ・プロセッサなどの組合せによる生産・物流のための位置情報システム構築に適したIoTデバイスであるスマートタグの開発。3) 結果の提示方法に関する検討、情報システムの設計・構築。

研究成果の学術的意義や社会的意義

電波の距離による減衰を用いた測位は古くから提案されているが、実際には反射や遮蔽などにより、特に屋内では実現が困難であった。しかし、これらを克服する技術開発を行い、安価な機器で比較的高精度な屋内測位を可能とした。これらの知見を元に、生産・物流現場における人・物の測位に適したIoTデバイスであるスマートタグを開発した。このデバイスからは、センサの値を取得するだけでなく、プロセッサで処理した結果である位置や動作を得ることができ、これを用いたセンサネットワークを構築することで、工場全体の見える化やスマートファクトリの実現が可能になる。結果として、製造業全体の競争力向上にも寄与すると考えられる。

研究成果の概要(英文)：A location information system has been developed to collect and use location and state of people and goods using IoT (Internet of Things) technology for manufacturing and logistics. The activities are as follows:

1) Confirmation of effectiveness of positioning method using BLE (Bluetooth Low Energy) beacon in manufacturing and logistics field, examinations of placement of radio wave transmitting and receiving devices, and accuracy improvement using multiple frequency channels. 2) Development of a smart tag that is an IoT device suitable for the construction of a location information system for manufacturing and logistics by combination of sensors and processors. 3) Study on presentation method of data from devices, design and construction of information system.

研究分野：数理最適化

キーワード：Internet of Things 屋内測位 Bluetooth Low Energy スマートタグ

様式 C-19, F-19-1, Z-19, CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 各種センサを内蔵したスマートフォン・タブレットや無線通信機器は既にコモディティ化しており、これらを用いた測位技術も確立しつつある。また、最近 10 年ほどで急速に発達したユビキタスセンサーネットワークの要素技術と、近年登場した IoT (Internet of Things) 向けプロセッサとの組合せによって幅広い応用が可能になった。

(2) 生産・物流現場において IoT が普及したことにより、様々なデータのデジタル化が行われ蓄積されつつある。さらに機械学習で解析・可視化されることにより、インテリジェンス化やスマート化への変革を引き起こし、イノベーションを創出することが期待されている¹⁾。しかしながら、現状における IoT の導入事例は、機械設備やロボット等の固定されたモノを対象としたセンシング技術による工程改善が多い。

2. 研究の目的

(1) 生産・物流現場における BLE (Bluetooth Low Energy) を用いた測位のための電波発信機器・受信機器の配置を検討する。これまでに開発した測位手法²⁾は、屋内歩行者ナビゲーションが主な用途であり、通常の建造物の部屋や通路へ BLE ビーコンを配置し、携帯端末を持った利用者の位置を推定するものであった。これは対象 (人) が携帯端末を持つことにより、受信機器としての機能の他に、ナビゲーションに必要なディスプレイ・通信機能、他の測位手法に必要なセンサなどが人側に集約されるため合理的である。しかし、生産・物流現場における移動する物の測位の際、測位対象側にディスプレイ等は不要である。一般に、発信機器は消費電力が小さく、発信間隔を長く調整しても良い場合には、さらに小さくすることも可能である。一方、受信機器はいつ発信されるかわからない電波に対して常に待機が必要であり消費電力を小さくすることが難しく、これらの特性を考慮する必要がある。

(2) 生産・物流現場における物の移動は、目的地へ移動し続ける傾向にある歩行者ナビゲーションとは異なる。このため、用途に適した測位精度向上のための手法を開発する。

(3) 送受信機器やセンサおよび IoT 向けプロセッサなどを組合せることにより、単なるセンサ情報の集積ではなく、より生産・物流のためシステム構築に適した測位のためのデバイスを作成する。これらの機器の組合せによって、人・物の位置や状態を収集する位置情報システム構築する。また、位置情報をリアルタイムで把握するだけでなく、分析した結果を示すことにより、工場全体の見える化やスマートファクトリの実現を目指す。

3. 研究の方法

(1) 施設に固定する機器と、移動体 (人・物) に付与する機器の組合せについての検討を行う。まず、BLE を用いた測位の誤差について原因を明らかにする。また、測位対象に BLE ビーコンを付けた場合に起こり得る問題点について明らかにする。その上で組合せについて検討を行う。

(2) BLE において用いられる周波数帯は、2.4GHz 付近であり、いくつかのチャンネルに別れている。これらの特性を調査し、単純な受信信号強度の大小だけでなく、チャンネル毎の受信信号強度を用いた測位精度の向上の手法を検討する。

(3) IoT 向けプロセッサを用いて、測位等に関するアルゴリズムを組み込み、センサから得られた値を処理した上で出力する省電力のデバイス (スマートタグ) を開発する。開発したデバイスおよびデバイスから受け取った情報を集約するサーバ側のソフトウェアを位置情報システムとしてまとめる。また、集約された位置情報の提示方法についても検討し、実装する。

4. 研究成果

(1) BLE の受信信号強度を用いた測距およびその組合せによる測位において、誤差の要因となる点について調査および検討を行った。主に、周辺環境 (床・天井・壁の反射、壁や柱による遮蔽)、BLE ビーコン・端末の仕様や個体差、アドバタイジングのチャンネル切替えなどがあった。また、BLE ビーコンの配置数と測位精度についての調査も行った。近傍に BLE ビーコンを多数配置した場合、輻輳による問題が発生していると考えられる。密集配置した BLE ビーコンの個数と、送信に対して受信 (RSSI の測定) ができた割合 (受信率) を実測した。1 個の場合は多くの端末で受信率が 90% 以上、一部の取りこぼしのある端末でも 80% 以上であった。しかし、40 個を 1 箇所にとまとめて置いた場合、受信率は 60~25% 程度となった。ただし、受信機の性能に起因すると考えられる差異も大きい。

本研究における測位では、歩行者ナビゲーション測位より以下の点が容易になると考えられる。まず、端末の種類を揃えることができ、揃っていない場合にも事前に校正を行うことができる。このため、RSSI から距離 (理論値) への換算も比較的容易になり、精度向上に貢献すると考えられる。また、必ずしも位置情報をリアルタイムに伝える必要がない。このため、過去のデータを用いた統計処理や推定を行っていた箇所を、後のデータも含めて行うことができ精度が向

上すると考えられる。一方、以下の点を考慮する必要があると考えられる。まず、物品に対する測位をどのような単位で行うかを事前に決める必要がある。歩行者測位は1人が単位であることが自明であるが、物品の場合は個々の品とするか、ケースなどのまとまった単位とするか、などの選択肢がある。また、歩行者測位の場合、移動しながら取得したRSSIを統計処理することによって、反射波の影響を減らすことができたが、物品の場合は長時間静止する場合もあり得る。

総合すると以下の3つの受発信機配置が、本測位における有力な候補となる。1) 歩行者ナビゲーションと同様に基準位置に送信機を配置し、測位対象に受信機を付与する。測位対象が多い場合、その数だけ受信機が必要であるため、高コストになる問題がある。精度の問題は、受信機に付属する加速度センサなどを用いて改善できる。2) これまでとは逆に、基準位置へ受信機を配置し、測位対象に送信機を付与する。移動が広範囲になる場合、受信機の数が増加し高コストになる。また、測位対象が密集する場合、輻輳の問題がある。一方、測位対象があまり頻繁に移動しないのであれば、送信間隔を長くとることができ、輻輳を減少させることができる。また、基準位置に固定した受信機への常時給電が可能である。3) 物品には送信機・人員には受信機を付与する。一般に、人員には動きがあるため、静止した物品の測位位置補正に利用することができる。また、基準位置に固定した受信機への給電は前項同様であり、人員が持つ受信機は作業終了時に給電のためのドックに戻すなどの手順を定めれば工数はあまり増えない。そのままの実装では、基準位置に送信機・受信機の両方が必要であるため、基準位置か人員の持つ携帯端末を送受信両方で利用するなどの工夫が必要である。また、物品の集中による輻輳の問題については前項と同様である。

(2) マルチパスフェージングや個体差をある程度無視できる距離推定手法を提案した。具体的には、周波数の異なる複数の受信信号強度から、直接波のみの受信電力を推定し、自由空間モデルから距離を求める手法である。これは、BLEのアダプタイジングで用いられるChannel Index 37 (2,402 MHz), 38 (2,426 MHz), 39 (2,480 MHz) の3つの周波数帯を利用している。大地反射のみ(2波モデル)の理論上の受信信号強度は図1のようになる。これらを受信した際に、相乗平均(対数であるdB単位の値をそのまま相加平均したもの)、相加平均、提案手法の3つの方法で直接波のみの受信電力を推定した結果が図2である。この結果から、目的とする直接波のみの理論値との差のRMS (root mean square) 値は、提案手法(4.32)・相加平均(4.63)・相乗平均(6.14)の順であり、提案手法が有効であると言える。直接波の信号強度の推定精度が距離の推定精度に影響する。しかし、導出の過程で距離のパラメータがあるが、その値は正しいものとは言えず、適当な近似値が得られたに過ぎない。また、提案手法は計算量が大きいことや、反射波が多数の場合のモデルにおいては課題が残る。

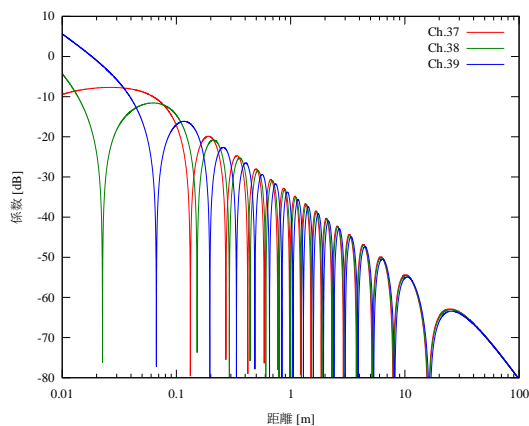


図1 2波モデルにおける受信信号強度

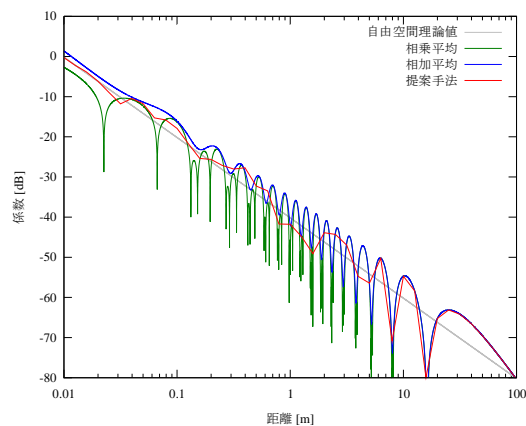


図2 直接波の受信信号強度の推定結果

(3) センサネットワークと既存の生産システムの間を工程制御層、工場システム層、ビジネスシステム層の3階層に整理した。工程制御層では、仕掛け品や作業者に付けたスマートタグからBLEでブロードキャストする情報に基づき、ショップフロア内のセンサネットワークを構築する。スマートタグのID情報と紐づけられた製品・設計情報を用いてロボット、マシニングセンタ、AGVや作業者のウェアラブル機器と連携をする。すなわち、読み込み作業なしで近接しているモノや人を判別する近接検知型の測位により、柔軟な生産システム設計や変種変量生産が可能な生産ラインの構築を目指す。工程制御層では、ゲートウェイ周辺にあるスマートタグ情報を収集し、ゲートウェイ間で相互にメッシュ機能を用いてリアルタイムに情報交換を行う工場システム層のセンサネットワークを構築する。MES (Manufacturing Execution System) 等と連携することにより工程管理に活用し、自由度の高いレイアウトでの作業を可能とする。そのため、ゲートウェイにエリア判定型の測位技術導入し、周辺のモノや人の動きや状態を把握可能とする。ビジネスシステム層ではスマートタグからの位置情報やセンシングデータをゲートウェイ経由でクラウドサービス上に収集する。リアルタイム情報のみでなく履歴情報を蓄

積し、ERP（Enterprise Resource Planning）等と連携することでトレーサビリティや生産管理に活用する。

また、これらを実現するために必要なスマートタグを設計しプロトタイプ（図3）を開発した。これは、センシング機能、通信機能、測位機能、省電力機能を備える。センシング機能は、加速度、ジャイロ、磁気、環境光、温度、湿度、近接等のコモディティ化している各種センサを搭載し、必要に応じてセンシングする機能を有する。また、センシングデータを機械学習で、動作分析するなどの処理を可能とする。プロトタイプでは、STmicro 社製の加速度、ジャイロ、温度センサを搭載した。また、スマートタグ内で動作状態（人間の歩行状態やモノの移動の有無）を判別する機能を持つ。通信機能は、センシング機能で取得したデータをクラウド上に送信する。IoTでは大量のデバイスの通信が発生する一方で、1件あたりのデータは少量であるため高速通信である必要性は少ない。プロトタイプでは、屋内利用を想定しBLEを用いる。ロケーションタグからのブロードキャスト通信を受信すると共に、センシング機能で取得した各種センサデータ、動作状態および近接判定結果をブロードキャスト送信する。BLEは、屋内環境では50m以上の通信距離を持ち、ゲートウェイやウェアラブルデバイスで受信可能となる。発信間隔は、300ms以上でファームウェアに設定ができる。測位機能は、スマートタグのファームウェアに提案する受信信号強度を用いた測位プログラムを実装する。省電力機能は、高精度モードや歩行時のみの動作モード等、5つのモードを選択できるものとした。CR2032型のボタン電池で、理論上は約3日（高精度モード）から約350日（静止時アクティブモード）の継続利用が可能となる。

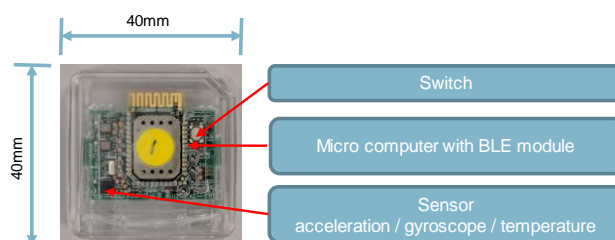


図3 スマートタグのプロトタイプ

<引用文献>

- [1] 一般社団法人日本機械工業連合会：「平成29年度IoT・AI時代のものづくりと人の役割変化への対応調査研究」、IoT・AI時代のものづくり人材調査専門部会報告書、2018
- [2] 古舘達也，堀川三好，工藤大希，岡本東：Bluetooth Low Energy ビーコンを用いた屋内位置測位に関する研究，第14回情報科学技術フォーラム講演論文集第4分冊，pp.311-312，2015

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計0件）

〔学会発表〕（計17件）

- ① T. Furudate, M. Horikawa, D. Kudou and A. Okamoto : Study of Indoor Positioning Method Using Bluetooth Low Energy Beacon, *International Congress on Logistics and SCM Systems 2016, ICLS Proceeding 2016*, pp.15-24, 2016/7
- ② D. Kudou, M. Horikawa, T. Furudate and A. Okamoto : Indoor Positioning Method Using Proximity Bluetooth Low-Energy Beacon, *The 17th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference (APIEMS2016)*, 2016/12
- ③ 岡本東，古舘達也，工藤大希，堀川三好：生産設備における屋内測位のためのBLE送受信機配置，情報処理学会東北支部研究報告，Vol.2016，No.6，B2-3，2017/02
- ④ M. Horikawa, D. Kudo, A. Okamoto, Y. Murata : Indoor Positioning Method for Internet of Moving Things, *Proceedings of 47th International Conference on Computers & Industrial Engineering*, 2017/10
- ⑤ D. Kudo, M. Horikawa, A. Okamoto : Hybrid Indoor Positioning Method Using Both BLE and PDR, *Proceedings of 18th Asia Pacific Industrial Engineering and Management System Conference*, B6-20, 2017/12
- ⑥ M. Daimon, A. Okamoto, M. Horikawa : Hybrid Air Navigation System for Unmanned Aerial Vehicles using a BLE Beacon, *Proceedings of 18th Asia Pacific Industrial Engineering and Management System Conference*, A5-21, 2017/12
- ⑦ 大門雅尚，堀川三好，岡本東：BLEビーコンを用いたマルチコプターのハイブリッド型航法システム，情報処理学会第83回MBL研究会，2017-83 No.21，2017/6
- ⑧ 堀川三好，工藤大希，岡本東：移動するものを対象としたIoT向け測位手法の提案，日本ロジスティクスシステム学会第20回全国大会予稿集，pp.31-34，2017/7
- ⑨ 工藤大希，堀川三好，岡本東：Bluetooth Low Energy ビーコンを用いたIoT向け屋内測位

- 手法に関する研究, 第 16 回情報科学技術フォーラム講演論文集第 4 分冊, pp. 33-36, 2017/9
- ⑩ 堀川三好, 工藤大希, 岡本東, 村田嘉利: 移動するモノを対象とした Internet of Things の提案, 日本経営工学会 2017 年秋季大会予稿集, pp.144-145, 2017/11
 - ⑪ 工藤大希, 堀川三好, 岡本東: Bluetooth Low Energy ビーコンを用いた生産・物流向け屋内測位手法の提案, 情報処理学会第 80 回全国大会要旨 (3), pp.43-44,2018/3
 - ⑫ 大門雅尚, 岡本東, 堀川三好: Bluetooth Low Energy を用いた受信信号強度によるマルチコプター誘導手法, 情報処理学会第 80 回全国大会要旨 (3), pp.161-162,2018/3
 - ⑬ 堀川三好, 岡本東, 村田嘉利: Internet of Things 向けスマートタグの提案, 情報処理学会 第 144 回情報システムと社会環境研究会, 2018-IS-144(1), pp.1-7, 2018/5
 - ⑭ 岡本東, 堀川三好: Bluetooth Low Energy ビーコンによる屋内測位のための測距精度向上, 情報処理学会第 87 回 MBL 研究会, 2018-MBL-87 No.8, pp.1-6, 2018/5
 - ⑮ M. Horikawa, A. Okamoto, Y. Murata: Smart tag for Internet of Things, *Proceedings of 48th International Conference on Computers & Industrial Engineering*, 2018/12
 - ⑯ 堀川三好, 中田恵史, 岡本東, 三浦淳, 菅原雄介: 生産・物流を対象としたスマートタグによるセンサネットワーク構築, 日本経営工学会 2019 年春季大会予稿集, pp.132-133, 2019/3
 - ⑰ 大門雅尚, 岡本東, 堀川三好: Bluetooth Low Energy の受信信号強度を用いたマルチコプターの自律航法, 情報処理学会第 81 回全国大会要旨 (3), pp.287-288, 2019/3

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年:
国内外の別:

○取得状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年:
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: 堀川 三好
ローマ字氏名: HORIKAWA, Mitsuyoshi
所属研究機関名: 岩手県立大学
部局名: ソフトウェア情報学部
職名: 准教授
研究者番号 (8 桁): 40337473

(2) 研究協力者

研究協力者氏名:
ローマ字氏名:

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。