

マイコンとビーコンを用いた屋内における人流計測を目的とする 位置推定システムの構築

大阪工業大学 情報科学部 荒木英夫

Indoor positioning system for measuring a flow of people

Osaka Institute of Technology Hideo Araki

1 結論

現在、図1に示すように様々な状況に適応した位置検出の方法が提案され実現されている。この中で屋外の位置検出では上空を周回する人工衛星から発信される電波を受信して現在位置を測位する Global Positioning System (GPS)を用いることができる。これは航空機の誘導 [1] や自動車のナビゲーション・自動運転 [2]、山岳地帯などでの位置確認 [3] だけでなく、建物の状態をモニタリングや [4]、基準点同士の距離が変化することを検出して地震時地盤ひずみと地震被害との関係の研究などにも用いられている [5]。しかし、屋内において位置を検出する場合は建屋内などでは受信できる GPS の電波強度が低いためにが使えず、他の方法を検討する必要がある。これまでも GPS 信号を屋内用に拡張した Indoor Messaging System(IMES)と呼ばれるシステムを用いた屋内位置検出や [6] や、無線通信に用いる Wi-Fi の電波信号を用いた歩行者の測位方法 [7] などが提案され

実現されている。しかし、IMES は GPS を拡張した専用の受信装置が必要になり、Wi-Fi の電波信号を用いた場合は精度が低くなるといった問題がある。そこで、Radio Frequency Identifier (RFID)を用いた測位などが提案されている [8] がこの場合はユーザが端末装置のリーダ部分を RFID タグに近づける必要がある。そこで、Bluetooth 信号を用いた Beacon 信号を受信することにより RFID とは異なり離れた状態でも測位が可能で、Wi-Fi を用いるよりも精度が高い測位が提案されている [9]。

我々は、この Bluetooth beacon により実現した測位システムを用いて、屋内における人流計測を行うシステムを構築した。これを利用することにより例えば作業者の動きを調べることが可能となりこの情報を利用することで作業の効率化を図ることができる。また避難訓練時の避難誘導と人の動きを測定することにより避難時のボトルネックとなる場所を発見して効率的な避難経路の検討が可能になる。

本稿では、まず我々が想定している人流計測の目的について説明を行う。そして提案する手法について、手作業の組み立て工程に携わる作業者の動作を調べた例と、大学における避難誘導の動きについて調べた例を示し、人流計測を行うための技術的な解説を行う。そして、今後改善が必要と思われる技術的な問題について説明する。

2 人流計測の目的と提案システムの特徴

我々が人流計測を行う目的として、以下のよう

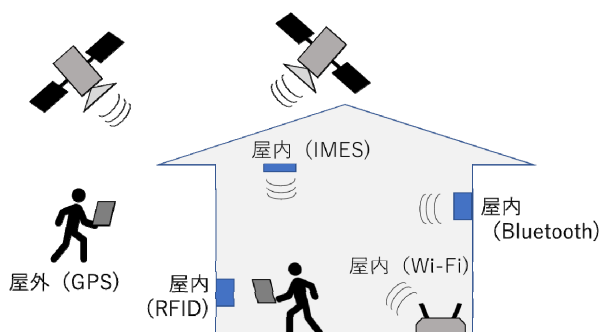


図1 位置検出の各種方法

な3つのテーマをあげている。

1. 作業者の動線確認と作業効率性の評価
2. 避難時におけるボトルネックの顕在化
3. 屋外イベントにおける人流計測と誘導

この中で、1と2に関してはいわゆる屋内位置検出であり、3は屋外での位置検出である。これらの一般的な検出手法として1章で参考文献と共に示した多くの方法が利用できる。しかし本稿で対象とする問題解決に必要なのは、他の多くの研究のように対象者の正確な位置を検出することだけでなく、個人や集団の動き（流れ）を検出することである。そして先に示したテーマの多くは、対象者があらかじめ想定可能な動線の上を移動すると仮定できる。このことから、想定される動線上に適切な測定点を設定し、その測定点間の移動を検出することができれば、他の手法よりリーズナブルでテーマに適した精度を持った検出ができると考えた。

最初に測定点と対象者の位置関係の測定についてであるが、これまで述べたいくつかの方法が適用可能である。ここでは Bluetooth Beacon を用いて検出を行うこととした。これの利点は、Bluetooth Low Energy (BLE) に対応した Tag とよばれる発振器が小型で扱いやすく、比較的安価であるため数十個の単位で対象者に配布して同時に測定することが可能であるためである。図2に今回 Tag として用いた Aplix 社製 BLE 対応ビーコン “MyBeacon® ペンダント型 (MB002 Ac-SR2)” を示す。このビーコンはコイン型電池を用いており小型である。また、Tag の代わりに



図2 実験に用いた Aplix 社製 Bluetooth Beacon : MyBeacon® ペンダント型 (MB002 Ac-SR2)

いわゆるスマートフォンと呼ばれる個人が保有する携帯型端末を用いることも検討したが、運用の際にアプリケーションのインストールが必要なことや、端末の電波性能等に左右されることを考えると安定した運用のためには専用のデバイスを用いる方が良いと考えた。

次に、Tag が発信した電波を受信する方法について検討を行った。一般的な携帯端末でも受信可能であるが、先ほどの Tag を選択した理由と同じく、安定して運用を行うためにマイコンを用いた受信とログを記録する装置を作成した。図3に受信に用いたマイコン (Raspberry Pi Zero W) を示す。このマイコンには電源が投入されると自動的に Bluetooth Beacon の信号を受信し、時刻と受信した Tag の ID をローカルストレージに記録するプログラムを実装してある。現在はローカルストレージに記録されたデータの回収に手間が必要であるが今後は Wi-Fi 等のネットワークを用いてデータをリアルタイムに回収することも検討を行っている。

収集された各地点でのログデータは必要に応じて対象者ごとのデータに分割し、対象者に移動情報として抽出することが出来る。これらの処理をふまえて提案システムでは以下のような情報の収集が可能となった。

- ① 各地点での混雑状況とその変化の検出
- ② 対象者の各地点間の移動の検出
- ③ 複数の対象者の移動とその関連の検出



図3 Tag からの電波を受信するために用いたマイコン Raspberry Pi Zero W が入ったモジュール

本章では提案システムの評価を行った実験について述べる。

3 評価実験

3.1 作業者の移動

本節では、少量多品種な製品の組み立てを行う作業者の組み立て工程について動きの検出を行った。測定の方法として、作業者のポケットにビーコンを入れて業務を行ってもらい、その動きを観測した。ここで作業者は部品棚から部品を取り、組み立てた後、出荷検査を行う場所に製品を運ぶといった工程を行っている。また、それ以外に管理者もおり、管理者は作業場全体を移動している。図4に作業場の見取り図を示す。丸の中に書かれた数字の場所にビーコンの電波を受信するマイコンを配置しログの記録を行った。マイコン内部に記録されたログの一部を表1に示した。ここに示されたように受信されたビーコンのIDが時刻と対応して保存されている。

次に、表2に作業者ごとに集計を行った例を示した。このように、一か所にいた場合でも複数のマイコンによりデータが記録されていることがわかる。ここで業務の改善を念頭に置くと、このシステムで観測したい内容は何分ごとに作業者がどの点からどの点に移動したかである。そこで、秒の単位で同じ時刻で複数のマイコンで受信された場合は最も多くの受信をしたマイコンの近くにいると推定し、データの取捨選択を行った。これに

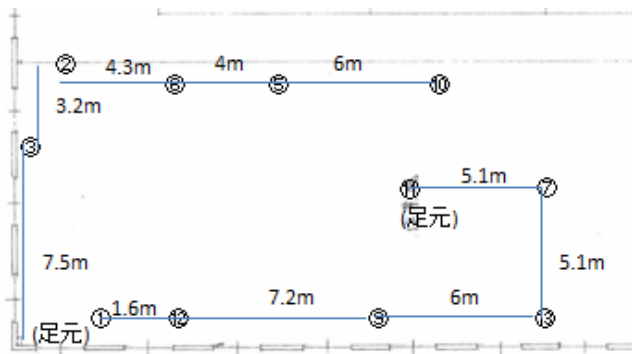


図4 評価実験を行った作業場の見取り図。丸の数字がデータ受信用のマイコンが置かれた場所

より、作業者がどの程度どの場所に留まって作業を行っているかの実態が観測できると考える。そして、このデータを用いて動画を作成して評価をすることにより作業者が担当業務を行っている様子が観測できることがわかった。図5に動画のスクリーンショットを示す。

表1 マイコンに記録された対象者の記録(一部)

時刻	マイコン	ビーコン	電波強度 (dBm)
12:25:20	1	3	-93
12:25:20	1	2	-99
12:25:20	1	3	-86
12:25:21	1	3	-98
12:25:21	1	3	-93
12:25:21	1	2	-96

表2 対象者ごとに集計されたデータ(一部)

時刻	マイコン	電波強度 (dBm)
12:53:38	7	-99
12:53:39	10	-97
12:53:39	5	-94
12:53:39	5	-96
12:53:40	2	-94

3.2 避難訓練を実施した際の集団の移動

次に本節では、3.1節と同様のシステムを用いて、大学内で行われた避難訓練を測定した結果について示す。まず大学で行われた避難訓練について評価を行う理由は、避難ではそれに要した時間が重要であり、さらに移動する人数が多いためボトルネックが発生することが予想され、これにより通常の移動と比較してさらに時間を要する。そこで本実験では避難誘導を行う教員がビーコンを

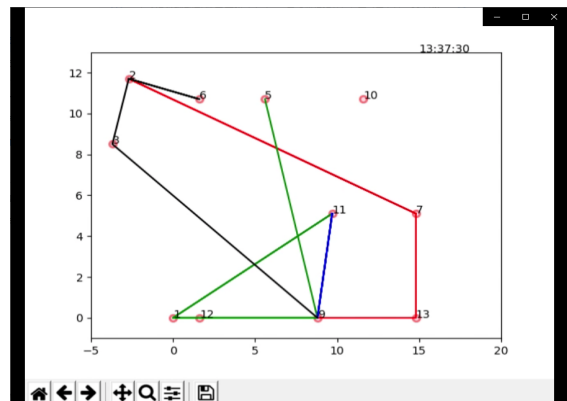


図5 記録されたデータを用いて評価用に作成した動画のスクリーンショット

持った状態で学生の誘導を行い、次の項目について評価を行うこととした。

- ① 全体の避難完了に要した時間
- ② 経路ごとに避難に要する時間の違い
- ③ 移動速度が極端に遅くなる場所の発見

観測結果を表3に示す。ここで、避難訓練では最初に状況の説明などの待機があるため実際に避難を開始したのは12:52:00からである。その後、最終確認を行った教員が12:57:40に1Fに到着したことから、避難開始から校舎外に出るまでは約6分程度要したことが分かった。今回は②と③について特に発見できなかったが、センサを屋外や出入口に重点的に配置することにより観測できるのではないかと考える。

表3 避難に要した時間の測定結果

時刻	イベント
12:30:00	避難訓練開始
12:32:30	状況確認開始
12:52:00	5F,6F 避難開始
12:53:00	6F 第1G 誘導 1F 到着
12:55:00	5F 第1,2G 1F 到着
12:56:10	6F 第2G 1F 到着
12:57:40	最終確認の教職員が1F 到着

4 結論

本稿では、次に示した目標を実現するための人流計測システムを構築して実験を行った。

- ① 各地点での混雑状況とその変化の検出
- ② 対象者の各地点間の移動の検出
- ③ 複数の対象者の移動とその関連の検出

このシステム作成と人流計測の評価実験を行ったことで、業務の改善やより迅速な避難が可能な移動方法の検討が可能であることを示した。

今後の課題としては、リアルタイムでの人流状態の評価と、観測点の間などで作業を行った場合などの検出を可能することを目指す。

参考文献

[1] 辻井利昭, 藤原健, 久保田鉄也, ”航空プログラム ニュース”,

https://www.aero.jaxa.jp/topics/magazine/pdf/APGnews_no024.pdf pp.2-5No.24(2012)
(2020年11月5日アクセス)

- [2] 大前 学, 橋本 尚久, 藤岡 健彦, 清水 浩, “RTK-GPS を用いた自動車の自動運転”, 計測と制御, 2005, 44 巻, 4 号, p. 266-269, 公開日 2009/11/26
- [3] 金杉 洋, 松原 剛, 柴崎 亮介, 杉田 暁, 福井 弘道, “登山実態の把握へ向けた登山者行動計測手法の検討”, GIS-理論と応用, 2017, 25 巻, 2 号, p. 57-62, 公開日 2019/12/31
- [4] 吉田 昭仁, 田村 幸雄, 石橋 外史, “GPS を用いた建物の変位応答測定および健全性モニタリング”, 日本建築学会構造系論文集, 2003, 68 巻, 571 号, p. 39-44, 公開日 2017/02/08
- [5] 神山 眞, 小出 英夫, 沢田 康次, 秋田 宏, 千葉 則行, “GPS 観測による地震時地盤ひずみと地震被害との関係”, 日本地震工学会論文集, 2015, 15 巻, 7 号, p. 7_428-7_443, 公開日 2015/12/25
- [6] 川口 貴正, 藤井 健二郎, 谷川原 誠, 久保信明, “IMES を用いたスマートフォン向け屋内測位システムの開発”, 電気学会論文誌C (電子・情報・システム部門誌), 2018, 138 巻, 3 号, p. 193-203, 公開日 2018/03/01
- [7] 沢田健介, 花田雄一, 森信一郎, ”Wi-Fi ビーコンと歩行者自律航法を使用する屋内歩行者測位技術”, 情報処理学会研究報告. ITS, [高度交通システム], 一般社団法人情報処理学会 (2014-11-13) 2014 巻, 27 号, pp. 1-10
- [8] 椎尾 一郎, ”RFID を利用したユーザ位置検出システム”, 情報処理学会研究報告. HI, ヒューマンインタフェース研究会報告 一般社団法人情報処理学会 (2000-05-12) 巻, 88 号, pp. 45-50
- [9] 古舘達也, 堀川三好, 橋本和幸, 工藤大希, 岡本東, ”Bluetooth Low Energy ビーコンを用いた歩行者測位手法の提案”, 第 15 回情報科学技術フォーラム予稿集 (FIT2016), 第 4 分冊 pp. 249-250