

複数の屋内位置情報システムの比較実験とその情報基盤

A Comparative Experiment and Information Infrastructure for Performance Evaluation of Various Indoor Positioning Systems

○五十嵐 雄哉^{*1}, 山崎 元明^{*1}, 白石 理人^{*1}
Yuya Igarashi^{*1}, Motoaki Yamazaki^{*1} and Michihito Shiraishi^{*1}

^{*1} 清水建設株式会社 技術研究所
Institute of Technology, Shimizu Corporation.

キーワード : 位置情報システム; モニタリング; BLE; Wi-Fi; LiDAR; RFID
Keywords: Positioning System; Monitoring; Bluetooth LE; Wi-Fi; LiDAR; RFID.

1. はじめに

情報機器の位置情報を取得し、ナビゲーションやセキュリティ、モニタリングなどの様々な用途に活用する位置情報システムが一般的なものとなった。屋外空間での測位手法は GPS をはじめとした衛星測位がデファクトスタンダードとなっており、多くのスマートフォンなどの情報機器に標準機能として搭載されている。一方で、屋内や地下空間では測位衛星からの信号が届かないため、多様な測位手法が開発されており、標準的な技術は登場していない。

施設に位置情報システムを導入するために多様な測位手法から適切なものを選択したい場合、目的に応じた精度が得られるか、は重要な判断指標のひとつである。新たな屋内測位手法が開発され、学術的な文献、もしくは製品やソリューションとして発表される場合、開発者自身がその精度を評価した結果が性能指標として公開されることが一般的である。しかし、実際の施設にシステムを適用する際には、開発時の評価環境とは条件が異なるため、指標通りの精度が得られることは少なく、同一施設内でも場所によって得られる精度にはバラツキがある。また、複数の位置情報システムの精度を、異なる条件で評価された性能指標のみで比較することは困難である。

本研究では、施設内で利用者の位置情報を取得する屋内位置情報システムの導入時に、目的に応じた測位手法を選択するケーススタディとして、複数の異なる測位手法の位置情報システムを同時に使用し比較する実験を行い、それぞれの測位手法の性能や特徴を明らかにした。その結果、得られる位置情報の表現形式や情報の取得頻度がシステムにより多様なことや、基盤となる屋内地図がシステムごとに整備されることなど、各システムの独自性が高く比較評価が困難であるという課題から、異なる位置情報を分析評価するための情報基盤の必要性が明

らかになった。本報告ではこの情報基盤に求められる機能について考察する。

2. 屋内測位手法の概要

屋内測位手法は、利用者が持つ機器（以下、利用者デバイス）と建物に設置する機器（以下、インフラ機器）の両者を必要とする手法と、利用者デバイスのみを必要とする手法、インフラ機器のみを必要とする手法とに分類できる。

本章では、上記の各分類の代表的な屋内測位手法について、その概要と特徴を説明する。

2.1. 利用者デバイスとインフラ機器の両者を必要とする測位手法

利用者デバイスとインフラ機器の両者を必要とする測位手法としては、RFID、Bluetooth、Wi-Fi、UWBなどの電波を用いるもの、および光や音波を用いるものがこれに該当し、利用者デバイスとインフラ機器のいずれかが発信側、もう一方が受信側となる。この場合の位置特定方法は電波などの通信方法の種類によらず、以下のものがある。

・セル ID 方式

発信側と受信側、それぞれの機器 ID の組合せにより測位する方式。インフラ機器側の検知範囲もしくは到達範囲を「セル」と定義し、セル内に利用者端末が存在する場合に、その利用者の位置情報とする。

・多点測位方式

利用者端末とインフラ機器の距離を推定する情報から、利用者端末の位置を推定する方式。3 カ所以上の距離関係が分かれば 2 次元的な位置情報が得られる。距離推定

の手段としては、受信電波強度（RSSI）が用いられることが多いが、電波と距離の関係は絶対的なものではなく、障害物や人体の水分の影響で反射や減衰が起こるために、測位精度が安定しづらいことが課題である。通信にかかる時間や時間差を用いる技術（TOA, TDOA, RTT）により、精度の高い距離推定ができるが、この場合は機器側の正確な時刻同期が必要となることが課題である。

・AOA(Angle of arrival)方式

信号の到達角度を用いた測位方式。三次元的に到来方向が分かる場合、2以上のセンサの情報の組合せで位置を推定することが可能である。高い測位精度が期待できる反面、信号の到来情報を取得できる高額なセンサを相当数設置する必要があることが課題である。

・フィンガープリント方式

フィンガープリントとは、測位対象内の特定の位置で、得られる信号の種類とその強度の組合せをあらかじめ観測した電波マップである。観測された電波情報が、どのフィンガープリントと近いかを判断することで測位が可能になる。建物側の電波環境への影響を排除した形で測位できるため、前述の三点測位よりも高精度な測位が期待できるが、事前測定が必要であることが課題である。

2.2. 利用者デバイスのみを必要とする測位手法

インフラ機器を必要としない測位手法としては、建物環境の情報を活用する地磁気センサを用いた手法と、利用者デバイスのセンサを活用する PDR がある。

・地磁気センサによる測位

建物で使われる鉄骨は磁気を帯びており、残留磁場の傾向はほとんど経時変化しない性質を持つ。スマートフォンに搭載された地磁気センサを用い、前述したフィンガープリント方式と同様、事前に測定した建物内の地磁気環境マップと照合することで測位する。

・PDR (Pedestrian Dead Reckoning 歩行者自律航法)

スマートフォンに標準的に搭載された、ジャイロセンサや加速度センサなどを用いることで利用者の移動距離や方向転換などの移動軌跡を得る測位手法。得られる情報は初期位置からの相対的な位置情報となるため、絶対位置を得るためには、単独ではなく他の測位手法と併用することが必須となる。

2.3. インフラ機器のみを必要とする測位手法

利用者端末を必要としない測位手法としては、カメラを用いる手法と、センサを用いる手法がある。

・カメラ画像（映像）による測位

建物側に設置されたカメラで撮影された画像を元に、利用者を識別する技術と画像内の位置から場所を推定する技術を組み合わせる測位手法。利用者を特定するためにはさらに顔認証などの技術を組み合わせる必要がある。複数の技術の組合せであり課題も多いが、近年では AI 技術などの進展により、精度が向上しつつある。

・センサによる測位

インフラ機器として設置されたセンサを用いて、利用者を検出する測位手法。赤外線などを用いた人感センサなどの安価なセンサを用いた技術と、ToF、LiDAR などの測域センサを用いて高精度な位置情報を特定できる技術がある。いずれも、利用者の特定のためには他技術との組み合わせが必要となることが課題である。

このように、屋内測位には多様な方式があり、それぞれ異なる特徴や課題がある。個々の手法の課題をカバーするために複数の手法を組み合わせたシステムも数多く存在する。導入する屋内位置情報システムを選択する際には、システム性能に加えて必要な測位機器や利用者負担などを考慮して、総合的に判断する必要がある。

3. 位置情報システムの比較実験

前章で示した通り、屋内位置情報システムの誤差要因は測位手法によって様々であり、比較したい場合は実際の施設での検証を必要とする。本研究では、このケーススタディとして、実際の執務空間で複数の屋内位置情報システムの比較評価を行う実験を実施した。

3.1. 実験対象とした測位手法

本実験で対象とした4つの測位手法を Table.1 に示す。

Table 1. Positioning Methods for the Experiment

	測位手法	利用者デバイス	インフラ機器
(1)	Bluetooth LE (RSSI 3点測量)	汎用スマートフォン	汎用 BLE ビーコン
(2)	Bluetooth LE (AoA)	専用バッジ	専用受信機 (ロケータ)
(3)	LiDAR	なし	LiDAR センサ
(4)	セミアクティブ RFID	RFID タグ	LF アンテナ +RF リーダー

(1) Bluetooth LE (RSSI 3点測量)

インフラ機器として汎用の Bluetooth LE (以下、BLE) ビーコンを設置し、利用者デバイスとして測位用のアプリケーションをインストールした汎用スマートフォンを

用いる。アプリケーションでは複数の BLE ビーコンからの信号を受信し、受信電波強度(RSSI)値を元に位置を推定する。本システムは商用サービス化済の技術である¹⁾。

(2) Bluetooth LE (AoA)

インフラ機器として BLE 信号の到来角度を取得可能な専用受信機 (ロケータ) を設置し、利用者端末である BLE 信号を発するバッジからの信号の到来角度により 3 次元的位置を推定する。本システムは商用サービス化済の技術である²⁾。

(3) LiDAR

インフラ機器として複数の LiDAR センサを設置し、予め取得した空間形状との差分により利用者の形状を推定し、その位置を測定する。本システム単独で利用者の識別はできない。本システムは開発中の技術である。

(4) セミアクティブ RFID

インフラ機器として LF 信号を発するアンテナを敷設し、利用者が携帯する RFID タグが受信した LF 波 ID と自身の ID を合わせて発信する。本システムは、著者らが設備制御を目的に開発した技術である³⁾。

3.2. 実験環境

本実験は面積約 270 m²の執務環境を対象とした。各測位システムのインフラ機器の設置位置をプロットした対象空間の平面図を Figure. 1 に示す。

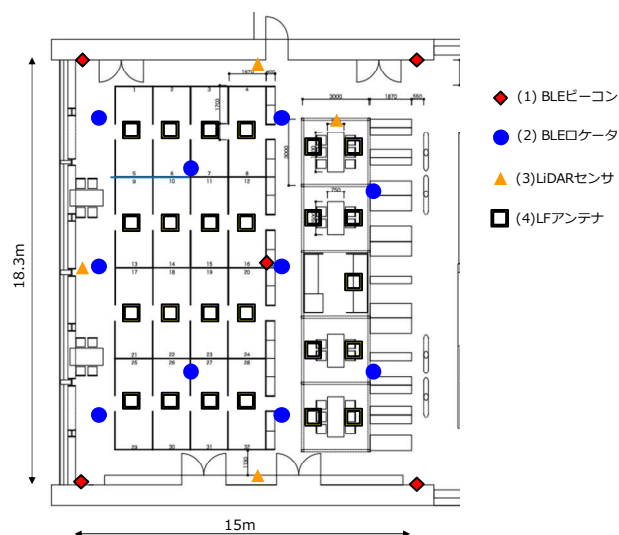


Figure 1. Setting Position of the Indoor Positioning System

3.3. 実験方法

屋内位置情報システムは、その用途により、利用者が特定の場所に静止した位置を必要とする場合と、利用者の移動中の位置を必要とする場合がある。本実験では、

この両者を想定し、「静止測定」と「移動測定」の 2 種の実験を行った。

静止測定では 3 分間同じ座席に着席した被験者、移動測定では秒速 0.5m と秒速 1.0m の 2 種類の歩行速度で移動した被験者の位置情報を各システムで測定する。同時に、実験の状況を撮影した映像を元に被験者の位置座標を平面上にプロットしたものを「正解データ」とし、これと比較することで各測位手法の精度評価を行う。静止測定の計測地点および移動測定の経路を Figure.2 に示す。

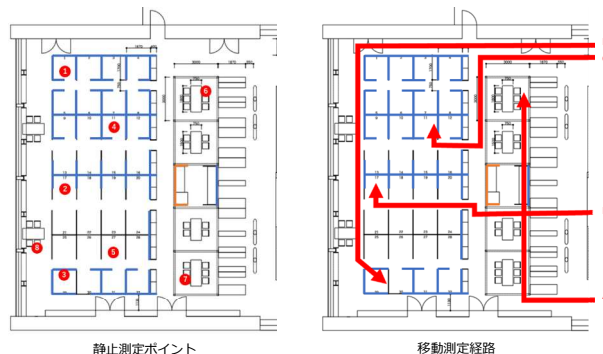


Figure.2 Measurement Points and Measurement Courses

3.4. 実験結果

各測位手法で得られた位置情報の精度評価方法について以下に示す。

(1) Bluetooth LE (RSSI 3 点測量)

本システムでは、タイムスタンプと緯度、経度の座標情報の組で位置情報を得ることができる。位置情報の取得頻度は約 1 秒である。得られた情報を XY の座標系に変換し、画像で得た正解データからの誤差をメートル単位で算出した。

(2) Bluetooth LE (AoA)

本システムでは、独自に設定した XY 座標値として位置情報を得ることができる。位置情報の取得頻度は基本的に 1 秒毎であるが、データが取得できないタイミングのログは保存されない。このため、本実験では、取得されない時間は、取得できた最後のログの場所にいるものとし「正解データ」からの誤差をメートル単位で算出した。

(3) LiDAR

本システムでは、LiDAR センサから得られる 3 次元の点群データを元に一定の大きさのまとまりを利用者と推定し、その座標情報を利用者位置情報とした。位置情報が取得できる場合は毎秒 8~10 個のデータが得られ、前後のフレーム情報から同じ利用者の点群であると判断で

きた場合は同一の ID が割り当てられるが、データが欠損した場合には同一の利用者に対して別の ID が割り当てられる。本手法では個人識別ができないため、取得できた位置情報のみを対象に「正解データ」からの誤差をメートル単位で算出した。

(4) セミアクティブ RFID

本システムは他のシステムと異なり、得られる位置情報が LF アンテナ単位、即ちどのアンテナエリアにいるかで表現される。このため、性能評価の指標としては、どの程度「正解データ」と同じエリアにいたか、という「正解率」で表現した。なお、本システムでは位置情報の取得間隔が 10 秒毎となるため、移動計測時に正しく測位することは困難である。

メートル単位で誤差表現が可能な測位手法(1)~(3)について、「正解データ」との誤差を Table.2 に示す（測定ポイントおよび移動経路については Figure.2 に表記）。

Table2. Comparison of the Positioning Error, (1)~(3)

測位手法	測定ポイント 移動経路	手法(1)	手法(2)	手法(3)
静止測定	1	3.88 m	1.55 m	2.04 m
	2	5.86 m	1.52 m	0.85 m
	3	1.74 m	0.84 m	0.98 m
	4	5.28 m	0.81 m	1.22 m
	5	3.40 m	0.42 m	1.11 m
	6	7.53 m	3.22 m	1.47 m
	7	4.95 m	1.21 m	1.46 m
	8	8.21 m	1.49 m	2.55 m
		平均	5.10 m	1.38 m
移動測定 (0.5m/s)	A	5.75 m	3.30 m	2.34 m
	B	5.11 m	1.51 m	1.67 m
	C	4.41 m	2.04 m	2.55 m
	D	4.42 m	2.66 m	1.96 m
		平均	4.92 m	2.38 m
移動測定 (1.0m/s)	A	7.29 m	4.76 m	1.98 m
	B	6.26 m	1.20 m	1.02 m
	C	7.14 m	1.75 m	3.17 m
	D	6.33 m	5.35 m	1.23 m
		平均	6.76 m	3.27 m

手法(1)については、実験環境とした執務室がパーティションの多い環境であったことと、ビーコンの数を最小限としたために、あまり良い精度が得られなかったが、手法(2)、手法(3)については、特に静止測定で良い精度が得られた。手法(2)と手法(3)の移動測定の結果を比較した際に手法(2)の精度が若干劣るように見えるが、これは、手法(2)ではデータ取得できなかった時間の結果を取得できた最終ログの結果としたためである。実際のシステ

ム導入時には、欠損データの補完処理の必要性に応じて、測位精度の評価方法が変わることを考慮する必要がある。

次に、位置情報の表現形式が異なる場合の比較評価のケーススタディとして、座標で位置情報が示される手法(1)と、エリアで位置情報が示される手法(4)の比較を行った。手法(1)で得られる位置情報を手法(4)で用いたエリア区分に合わせて変換し、「正解データ」から求めた「正しいエリア」にいたかどうかの「正解率」のデータとし、両者を比較した。比較対象としたエリア区分と、比較した結果を Figure.3 に示す。

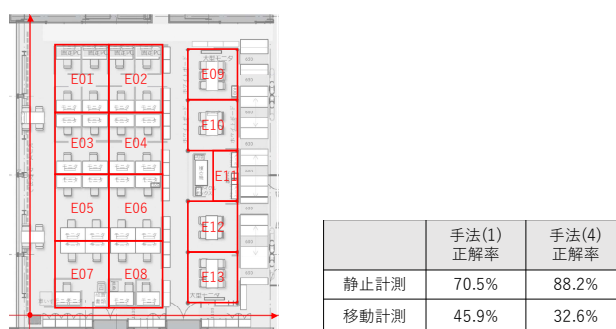


Figure.3 Comparison of the Pinpointing Precision, (1)&(4)

3.5. 考察とまとめ

本実験では、同一環境で同時に複数の測位手法を用いる実験を行い性能の比較を行ったが、測位手法ごとに位置情報の表現形式が異なるために比較が困難であるという課題が明らかになった。複数の測位手法で得られる位置情報を分析評価するため、以下の機能を備えた情報基盤が必要である。

- ・ 原点座標の位置や座標方向を統一した屋内地図基盤
- ・ 座標で表現される位置情報とエリアで表現される位置情報を相互変換する機能
- ・ 緯度・経度座標からの変換機能
- ・ 位置情報が得られる頻度が異なる場合に比較分析するための補完機能

【謝辞】

本研究の実験にあたり、NTT ソフトウェアイノベーションセンター様にご協力いただきました。ここに記し謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 株式会社ゼンリンデータコム, 屋内動態管理システム, http://www.zenrin-datacom.net/business/indoor_tracking (参照 2019-10-01)
- 2) 株式会社富士通, 富士通ユビキタスウェア, <https://www.fujitsu.com/jp/solutions/innovative/iot/uware/> (参照 2019-10-01)
- 3) 五十嵐雄哉, 貞清一浩, 山田哲弥. “スマートワークプレイス構築のための位置情報システムの開発.” 清水建設研究報告 90 (2013), pp. 113-118.