

実用化に向かう屋内測位技術の現状とその応用

～ 屋内でのスマートなナビゲーション技術を目指して ～

NPO 法人位置情報サービス研究機構 代表理事
名古屋大学 未来社会創造機構 教授 河口 信夫



「スマートステーションなごや（総務省 SCOPE 予算の支援）」での名古屋駅地下街でのデータ収集の様子

GPS などの衛星測位技術は、カーナビやスマートフォンなどで広く利用されつつあるが、電波が届きにくい屋内では利用できない。屋内でのナビゲーションを実現するために、屋内でも利用可能な測位技術が求められており、多様な技術が登場しつつある。本稿では主な技術を紹介すると共に、各地で進んでいる実証実験を簡単に紹介する。また、応用サービスの可能性についても述べる。

はじめに

大規模な複合駅やショッピングモール、地下街などでは、迷路のように道が入り組んでおり、慣れている場所であっても自分の位置を見失うことや、目的地への経路がわからないことがある。屋内でも、GPS のような測位技術が存在すれば、カーナビのように、歩行者のために店舗などへの道案内が可能になる。さらに、ユーザの属性や目的に応じて、高齢者向けの案内や、車椅子向けの案内、購入したい物品や受けたいサービスを入力するだけで、適切な目的地提案がされるような、スマートな案内システムの実現も期待できる。

本稿では、まず、近年登場している様々な屋内測位技術について概観し、その後、それらを使って各地で行われている実証実験について紹介する。また、屋内位置測位の応用として、特に名古屋大学と NPO 法人位置情報サービス研究機構が、総務省の SCOPE（戦略的情報通信研究開発推進事業）という予算の支援を受けて実施している「スマートステーションなごや」プロジェクトの紹介を行う。

様々な屋内測位技術

屋内測位技術には、専用の端末や環境側の設備を必要とする技術と、環境側の設備が不要で、汎用のスマートフォンでも利用可能な技術も存在する。ここでは、それらを区別して紹介する。専用の端末や環境側の設備を用いれば、精度良く測位が実現できるが、設備のためのコストが必要であり、また、専用端末では一般の利用者を対象とすることは難しい。そのため、最近では、一般のスマートフォンに搭載されているセンサを活用して、可能な限りの測位精度を出す手法が期待されている。また、単独の測位手法では十分な精度が得られないため、複数の測位手法を組み合わせたハイブリッドな測位手法が登場している。以下では、単独の測位手法を説明した後に、ハイブリッドな手法についても述べる。単独の測位メディアについては、表1にまとめてある。

■ 環境側に設備を必要とする手法

◆ 無線 LAN

公衆無線 LAN 基地局が広く設置され、ホットスポッ

表1 測位屋内技術のメディア毎の比較

測位メディア	測位技術	測位精度	環境設置	専用端末	単独利用
無線 LAN	ID 型	10~200m	環境依存	不要	○
	電波強度	3~20m			
BLE	ID 型	5~20m	必要	不要	○
	電波強度	3~5m			
UWB	距離計測	2~30cm	必要	必要	○
IMES	ID 型	3~10m	必要	現在は必要	○
非可聴音	ID 型	5~30m	必要	不要	○
	距離計測	3cm~3m			
PDR	相対移動	-	不要	不要	×
磁気	環境モデル	-	不要	不要	×
気圧	変位検知	-	不要	不要	×

トとして利用できるようになりつつある。無線 LAN 基地局は、それぞれ固有の 48 ビットの ID (BSSID) を有している。この ID に基地局の位置を紐づければ、無線 LAN 基地局からの電波を受信しただけで、端末の位置が推定できる。電波強度を用いて複数の基地局からの距離を計算して位置を推定する手法や、電波強度の空間的な分布を事前に測定し、電波環境のモデルを構築して位置を推定する手法 [1-3] などが存在する。既設の通信用の基地局を流用することが可能であるため、環境側の設備を設置する費用は考慮しなくて良い場合もある。

◆ BLE (Bluetooth Low Energy)

Bluetooth は、そもそもは携帯電話のヘッドセットをワイヤレスで接続するための技術から始まり、マウスやキーボードといったさまざまな周辺機器の接続も可能にしている。Bluetooth4.0 で導入された BLE (Bluetooth Low Energy) は、デバイス発見のための通信チャンネルを 3 チャンネルに抑えることにより、発見までの時間を抑えており、また省電力化により、ボタン電池でも数ヶ月、乾電池で数年も利用できる。BLE デバイスにも、無線 LAN 基地局と同様に ID があるため、これを用いて測位が可能になる。また、OS 側の対応も、BLE が注目されている理由である。Apple は iOS7 以降で、iBeacon と呼ばれる規格を導入した。iBeacon は、アダプタイズに特化した小型の BLE デバイスで、低価格で導入が可能である。iOS 端末が iBeacon の電波を受信すると、対応するソフトウェアの起動や、様々なイベント通知を行うことが可能であるため、ネット上活動と、実店舗を結びつける O2O (Online to Offline) を実現するデバイスとして注目されている。

◆ UWB (Ultra Wide Band)

UWB は、数 GHz といった非常に高い周波数帯で、500MHz 以上の帯域幅を利用する高速通信技術であるが、同時に測位も実現できる。環境側に複数のアンテナ

を設置し、端末とアンテナ間の距離を、電波の到達時間から推定することにより測位を行う。専用の端末が必要となるが、測位精度が良く、工場や倉庫など商業用途での利用が期待されている。

◆ IMES (Indoor Messaging System)

IMES は、GPS と同じ電波を用い、屋内に設置された送信機からの位置情報を利用する技術である。送信機には、衛星では使われていない PRN 番号 (172 ~ 183) を用いており、GPS 受信機と同じハードウェアで測位が可能となる。2018 年に実運用を目指す準天頂衛星の地上補完システムとして検討されている。ID によって位置を定める方式であり、精度は 10m 程度にとどまる。しかし、現時点で利用できる GPS 端末はそのまま利用できず、ファームウェア等の変更が必要になる。

◆ 非可聴音

人には聞こえない音波を発する発信機を設置し、音波に ID を埋め込んで発信を行うことにより、ID を受信した端末が、ID にヒモづけられた位置を用いて測位を行う手法である。ビーコン的に利用する場合と、音波の到達時間を比較して、距離を計測し、測位を行う手法がある。

■ 環境側設備を必要としない手法

◆ 歩行者自律測位

(PDR: Pedestrian Dead Reckoning)

PDR は、加速度センサと角速度センサを用いて、移動軌跡を推定する手法である。高精度な IMU (Inertial Measurement Unit) を使えば、相対的に十分な精度が得られるが、スマートホンなどに搭載されている安価な加速度センサや角速度センサでは、高い精度が得られない。そこで、加速度センサから歩行状態 (歩数など) や移動速度を推定し、角速度センサで移動方向を推定し、これらを統合して移動軌跡の推定を行う。初期位置と方向を与えても、移動距離が伸びるにしたがって、誤差が累積されるため、単純に測位精度を示すことはできない。

◆ 磁気

多くの建物の中には、構造物としての鉄骨や什器が帯磁しているため、地磁気とは異なる環境磁場を形成している場所がある。磁場は連続的に変化するため、類似した磁場が存在する場所は、それほど多くはない。そこで、事前に環境磁場を計測しておき、現在の位置における 3 軸磁気センサでの計測値と比較することにより、位置を推定することができる。最近のスマートホンには、ほぼ磁気センサが搭載されているため、特

別な端末なしに利用できる。また、ある程度磁気と比較する範囲を限定すれば測位が可能であるため、単独では利用できないが、他の手法との併用により測位精度向上に寄与できる。

■ 気圧

階段やエレベータ、エスカレータでの上下移動を検知することは屋内測位においても重要であるが、エレベータは金属に囲まれた密室であり、階段やエスカレータには吹き抜け等がある場合が多く、無線 LAN や BLE などの電波を用いた技術は適用が難しい。一方、上下移動によって気圧は必ず変化するため、気圧の変動によって上下の移動距離を推定できる。しかし、絶対値は天候によって変化するため、相対的な変化を測定できるだけである。そのため、単独では利用できないが、他の手法との併用により、測位精度向上に寄与できる。

■ ハイブリッド測位

ここまで挙げてきた屋内測位技術は、単独で利用するだけでなく、他の手法と融合して、より高い精度を得ることができる。たとえば、PDR や磁気、気圧といった、環境に機器を設置不要な手法は、無線 LAN や BLE などの ID を利用する手法とあわせることによって、絶対測位が可能になる。これをハイブリッド測位と呼ぶ。ハイブリッド測位の手法は様々で、どの測位メディアを選択し、どのように統合するか、といった点に違いがあり、それが結果として測位精度の違いとなる。現在は、研究者や企業から多数の手法が提案されている段階であり、測位手法のベンチマーク手法なども求められている。我々の研究室では、無線 LAN 測位と加速度センサ、ジャイロセンサ、地磁気センサをカルマンフィルタにより融合して、経路推定を行う手法 [5] を確立している。

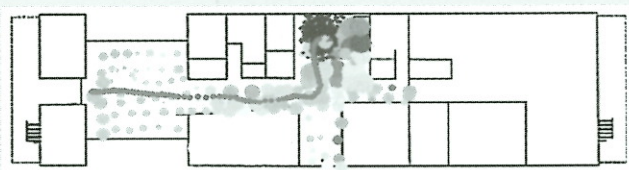


図1 磁気を用いたハイブリッド屋内測位の様子 [5]

各地ではじまっている実証実験

屋内測位技術は、絶対的に優れた測位メディアが存在しておらず、それぞれに利点・欠点があり、また、環境や設置した設備に依存して測位精度が決まるため、実環境での運用試験が欠かせない。2014年から2015年にかけては、多くの屋内測位の実証実験が行われているので、ここで簡単に紹介する。

■ 総務省 G空間シティ構築事業（都市災害時の地下街等閉鎖空間における情報伝達の実証事業）立命館大学（代表：西尾信彦）事業名「被災に伴い制限された通信環境下における、地下空間を含む情報伝達・避難誘導支援の実現」

この事業では、2015年3月までに大阪、東京、名古屋の3大都市において、地下街の防災を目的として、無線 LAN、BLE による屋内測位技術を用い、防災サービスを提供する。大阪うめだ地下街では、無線 LAN 基地局等が搭載されたデバイスを G 空間誘導灯として設置して位置情報サービスと人流解析を行っており、名古屋のセントラルパークでは、250 個の BLE を設置して、利用者に位置情報サービスを提供している。

■ 国土交通省「東京駅周辺高精度測位プロジェクト」

2020 年に開催されるオリンピックやパラリンピックにおいて、外国人などに最適な案内を実現することを目的に、東京駅周辺のシームレス屋内外測位や、外国人向けのナビゲーションなどの検討を進めている。2015年1月には、11の実験協力団体が東京駅で屋内測位の実証実験を行った。これは同じ場所で複数の屋内測位技術を実施した実験としては世界最大規模であろう。

■ 位置情報サービス研究機構 Lisra・名古屋大学「スマートステーションなごや」

NPO 法人位置情報サービス研究機構と、名古屋大学河口研究室では、名古屋駅の地下街を対象としたスマートな位置情報サービスの実現を目指している。屋内測位技術としては、無線 LAN、PDR、磁気の高ブリッドを用いている。また、屋内空間構造とナビゲーションについては、IndoorGML を用い、音声ナビゲーション用の拡張を行っている。また、次節で解説する次世代のナビゲーションを実現しようとしている。

次世代のナビゲーションを目指して

従来のナビゲーションは、スマートホンなどの画面に屋内の地図と経路を表示して行われている。地下街や駅では、地図を眺めながらの移動は決して安全ではなく、周囲の店舗などの状況を見ていないため、偶発的な消費行動にもつながりにくい。そこで我々は、ランドマークの視認性に着目した音声のみでのナビゲーションを実現する。具体的には「左手に見える赤い自販機の手前で右に曲がってください」といった屋内歩行者向けの音声ナビを実現する [6,7]。これにより、

周囲を眺めながらの移動が可能になり、安全性の向上と同時に、消費行動の活性化にもつながることを期待している。また、ナビゲーションの登録においては行き先の目的地ではなく「目的志向」の仕組みを導入する。駅の利用者は特定の店舗に行きたい場合だけでなく「小腹がすいたので何か食べたい」「電車待ちの時間を有意義に過ごしたい」「本が買いたい」といった目的を有していることがある。これらの目的や希望を入力すると、システムが推薦する複数の目的地への経路を移動時間別に提示するナビゲーションを実現する。利用者は複数の選択肢から自分に最も適切な経路や目的地を選択できるようになる。また、利用者が旅客なのか、通勤客なのか、高齢者や障がい者なのか、喫煙か嫌煙か、といった個人の属性情報に加え、これまで何をしてきたのか、どのような移動をしたのか、といった行動履歴に基づいた情報推薦を行う仕組みを検討している。我々はすでに「App.Locky」[8]と呼ぶシステムで、ユーザ状況に依存したサービス推薦の実現可能性を確認している。この枠組みを拡張し、ユーザアンケートも活用しながら、屋内位置や時間帯、行動履歴のマッチング手法を検討し、個人に適切な情報推薦手法の実現を目指す。ユーザがこれまで利用した店舗や閲覧した情報の履歴を用い、提供する情報のキュレーションを行うと同時に、他のユーザの動向を用いた協調フィルタリングも実現する。具体的には「この店舗で天むすを購入された方は、この店舗で手羽先を購入されています」「喫煙スペースがここにあります」といった推薦が可能になる。

まとめ

本稿では、近年急速に実用化に進んでいる屋内測位技術と、各地で行われている実証実験、そして我々が進めている「スマートステーションなごや」における

スマートな案内の仕組みを紹介した。屋内地図の整備はまだまだ発展途上であるが、大規模なショッピングモールや、駅、デパートなどで、目的指向のナビゲーションが実現されれば、利用者にとっても店舗にとっても大きなメリットが生まれる。NPO 法人位置情報サービス研究機構では、積極的に屋内測位技術に関する勉強会やシンポジウムを開催し、また、実際に実証実験に参加して、情報の共有を進めている。屋内位置情報サービスに関するステークホルダーは多岐にわたるため、ぜひ、多くの方々の知見を共有したいと考えている。また、ホームページ [9] を通じて、会員向けの情報共有を進めている。この分野に興味のある方は、ぜひ入会することをお勧めする。

参考文献

- [1] 伊藤, 吉田, 河口, “無線 LAN を用いた広域な位置情報システムに関する検討”, 情報処理学会論文誌, Vol.47, No.12, pp.3124-3136(2006).
- [2] 梶, 河口, “indoor.Locky: UGC を利用した無線 LAN 屋内位置情報基盤”, 情報処理学会論文誌, Vol.52, No.12, pp.3263-3273(2011).
- [3] 藤田, 梶, 河口, “Gaussian Mixture Model を用いた無線 LAN 位置推定手法”, 情報処理学会論文誌, Vol.52, No.3, pp.1069-1081(2011).
- [4] Nobuo Kawaguchi, et al. “HASC Challenge: Gathering Large Scale Human Activity Corpus for the Real-World Activity Understandings, Proceedings of the 2nd Augmented Human International Conference (AH2011), 27-1-5(2011).
- [5] 坂, 梶, 河口, “装着型センサの姿勢推定に基づく移動軌跡の可視化”, 情報処理学会第 75 回全国大会 (2012).
- [6] Shota Watanabe, Katsuhiko Kaji, Nobuo Kawaguchi, “A Proposal of Landmark-conscious Voice Navigation”, The Sixth Int. Conf. on Mobile Computing and Ubiquitous Networking(ICMU 2012), pp.56-61(2012).
- [7] 渡邊, 梶, 河口, “ランドマークの視認性に基づく歩行者向け音声ナビゲーションの提案”, DICO2012 シンポジウム, pp.1897-1903(2012).
- [8] 矢野, 梶, 河口, “App.Locky: コンテキスト依存型サービス推薦を目的としたユーザ状況収集プラットフォーム”, 情報処理学会論文誌, Vol.52, No.12, pp.3274-3288(2011).
- [9] <http://lisra.jp>, NPO 法人位置情報サービス研究機構ホームページ

NEWS

名古屋大学河口研究室は、位置情報サービスや、行動認識システムなどのユビキタスシステムだけでなく、高度なコミュニケーションに関する研究など、多様な研究開発を推進しています。また、NPO 法人位置情報サービス研究機構を設立し、大学で開発された位置情報サービスに関する技術を社会に普及させることを目指しています。さらに「オープンデータ東海」や「Code for Nagoya」といった、市民とテクノロジーを結ぶコミュニティの中心的な組織として活動しています。



名古屋大学河口研究室のメンバー