

携帯端末を使った環境センシングによる 自己位置推定についての一考察

梅澤猛¹ 大澤範高¹

概要: スマートフォンやタブレットには多くのセンサが標準装備されており, それらを活用して端末周辺の環境情報をセンシングすることができる。周囲の環境情報を元に, 自己位置を推定することで, 屋内移動の支援に必要な大まかな位置情報を得ることができると考えられる。自律移動ロボットをはじめ, 環境センシングにより自己位置推定を行おうとする例は多数あるが, mm~cm 単位での細粒度推定を目指すものが多く, 粒度を粗くすることによって, 高精度な推定手法を比較的手軽に実現できないかを検討したい。現状の携帯端末に標準的に搭載されているセンサについて, それぞれから得られるデータ種別とその特徴に基づいて, 自己位置推定に使用する環境情報としての適正を検討する。

A Study for Localization Method by Environmental Sensing using Mobile Devices

TAKESHI UMEZAWA¹ NORITAKA OSAWA¹

1. はじめに

現在, 屋外で目的地に移動する際には, スマートフォンやタブレットなどの携帯端末を用いて, 地図上に表示された現在位置を頼りに移動することが一般的であり, 地図上の現在位置表示の推移から移動方向が間違っていないかを判断することができる。こうした端末上の歩行者ナビゲーションアプリでは, GPS (Global Positioning System) や Wi-Fi, 携帯基地局から得られる情報を組み合わせることで端末の位置推定が行われ, ユーザは移動しながら地図上の現在地表示を確認して容易に目的地に到達することができる。

屋内環境においても, 大型の商業施設内の移動, 大学キャンパスやホテルにおける学術会議開催など, 不慣れた場所で目的地の場所へ到達したいという要望は多い。しかし, 屋内においては, 建物による電波遮蔽のために, 前述した屋外における位置推定手法の中で最も高精度な情報を得られる GPS が使用できない。Wi-Fi や携帯基地局, そのほかの無線電波を用いる位置推定は, GPS を使用する場合と比較して精度が低く, 広範囲を対象とした位置推定を行う屋外環境においては要求される制度が比較的低くとも有用な場面もあるが, 限られた範囲を移動する屋内環境においては十分ではない。屋内環境における GPS とも言える IMES[1] (Indoor Messaging System) などの取り組みもあるが, 高精度な測位が可能である反面, インフラ整備にコストが掛かるため, 商業施設などの収益性が見込まれる対象

でないとして設置するのは難しいと考えられる。とりわけ, 学術会議やオープンキャンパスなどは一時的な催しであり, そのためだけにインフラ整備を行うことは現実的でない。従って, 環境側のインフラ整備を必要としない測位手法が求められる。

そこで, 本研究では屋内環境において, 外部インフラに頼らずに, 携帯端末のみで自己位置推定を行う手法について検討する。端末に搭載された各種のセンサを用いて周囲の環境情報を測定し, 屋内での移動支援に活用可能な水準での位置推定を目指す。

2. 屋内移動の支援に必要な要件

本研究で対象とする屋内移動は, 図1に示すような建物内の移動を想定する。図1では, 階下の部屋 A にいたユーザが, 階上の部屋 B へ移動する様子を示している。ユーザは部屋 A から出て, 廊下を進み, 階段を上って, 再び廊下を進み, 部屋 B へと至る。このとき, 部屋 A から部屋 B までユーザを誘導する場合には, 1) 現在位置が部屋 A であること, 2) 部屋 A を出たこと, 3) 廊下でのおおよその位置 (直線部分/角の部分/階段前), 4) 階段にいること, 5) 部屋 B に入ったこと, それぞれを識別する情報が必要となる。移動に目的を限定する場合, 部屋の中でどの位置にいるのか, 廊下幅の中央付近か端かなどのような細粒度での位置は必要なく, 室内/廊下/階段などの大まかな位置情報が得られれば十分である。

¹ 千葉大学大学院融合科学研究科
Chiba University Graduate School of Advanced Integration Science

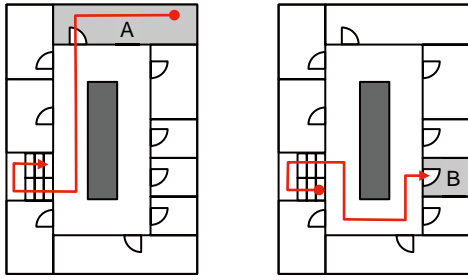


図 1 屋内での移動例

Figure 1 User movement under indoor environment.

このとき、大域的な情報として対象となる環境内マップ（建物の見取図など）は既知であり、移動目標である部屋 B の位置および任意の地点から部屋 B までの経路については別途与えられるものとする。

3. 携帯端末による環境センシング

スマートフォンやタブレットには多くのセンサが標準装備されており、それらを活用して端末周辺の環境情報を取得することができる。周囲の環境情報を元に、自己位置を推定することで、屋内移動の支援に必要な大まかな位置情報を得ることができると考えられる。自律移動ロボットをはじめ、環境センシングにより自己位置推定を行おうとする例は多数あるが、mm~cm 単位での細粒度推定を目指すものが多い。屋内移動支援に目的を限定した場合、位置推定の粒度は比較的粗いもので構わないことから、外部インフラに頼らずに携帯端末のみで高精度な位置推定を実現できないかを検討する。なお、ここでいう外部インフラとは、位置推定の目的で新規に設置する機材、システムを指すものとする。従って、もともと環境内に設置されている無線アクセスポイント等から発せられる電波など、活用できるものについては位置推定の材料とみなす。現状の携帯端末に標準的に搭載されているセンサについて、それぞれから得られるデータ種別とその特徴について述べる。

3.1 Wi-Fi 電波

Wi-Fi 基地局から発せられる電波強度を利用すれば、位置推定が可能である。屋外環境においても GPS と併用されている測位法ではあるが、数 10m 単位での推定誤差が出る場合もあり、単独では屋内利用には適さないと考えられる。また、建物内に近接して多数の基地局が設置されている場合、測定場所による差異が出にくく推定精度の低下要因となる。

反面、大学キャンパスやオフィスビルのようにコンクリート構造の建物においては、壁面や床/天井の遮蔽効果により、階の違いが測定結果に大きく影響するため、現在地

が何階フロアかを推定する手がかりとなることが期待できる。

3.2 Bluetooth

Bluetooth4.0 で追加された低消費電力通信である BLE (Bluetooth Low Energy) により、長期間運用可能な電子タグが登場しており、位置推定のランドマークとして利用することができる。また、環境内に複数の BLE タグを設置することで、位置推定に利用する手法[2],[3]も提案されている。このようなタグ本体は比較的安価であるものの、多数設置するには価格、ID と位置の情報管理の点で導入コストは高くなる。したがって、環境内にくまなく設置するなど単独で位置推定のインフラとして使用するのではなく、部屋の特典など補助的な利用が効果的であると考えられる。

3.3 加速度

携帯端末に内蔵された 3 軸加速度センサをから得られる測定値を元に、ユーザの状態推定を行う試みは多く、さらに時系列処理によって歩行者ユーザのデッドレコニングを実現した例[4]もある。デッドレコニングは本質的に累積誤差の問題があるが、ランドマーク情報との併用による補正や、廊下内での局所的な使用により、屋内での位置推定に効果的に使用できると考えられる。

また、階段の昇降や廊下の歩行、エレベーターの利用など状態推定を行うことで、大まかな位置情報を推定することにも役立つ。

3.4 地磁気

地磁気センサはいわゆる電子コンパスとして動作し、移動時の方角を計測することが可能で、加速度センサと合わせて使用することで進行報告の推定ができる。また、ユーザの向きに合わせて、地図を回転表示することにも役立つ。

また、建物の構造によって歪んだ磁気を計測して位置指紋として位置推定を行う技術[5]も開発されており、利用を検討する価値があると言える。

3.5 画像情報

携帯端末の多くは高解像度のカメラを搭載しており、周辺の画像を取得することが可能である。予め用意した 2 次元マーカを読み取ることによるランドマーク的な用法も可能であるが、ユーザが意図的にマーカに対して端末をかざす必要があり、簡便さに欠ける。ディスプレイを見ている状態の画角で取得できる画像を用いて、部屋/廊下/階段などの大まかな場所の情報を判別できれば、位置推定の助けになると考えられる。また、端末を把持したまま移動する際の取得画像を連続的に処理することで、場所の判別精度を向上させたり、部屋から廊下/廊下から階段といった場所を移ったことを察知したりすることも期待できる。

3.6 音響情報

マイクロフォンにより周辺の音響情報を収集することでも、位置を推定できる。端末外部から発生している音を受動的に測定するパッシブ方式と、端末自体からなんらかの音を発して反響および残響を測定するアクティブ方式が考えられる。パッシブ方式の場合には、エレベーターや自動ドアの動作音のほか、階段や廊下を歩く際の足音からも位置推定に有用な情報が得られると期待される。これに加え、アクティブ方式では、端末から音を発して、反響・残響を調べることで部屋の内外の区別など大まかな場所を推定できると期待される。

4. 場所の推定

4.1 位置指紋による推定

任意の地点で測定されたセンサ値の組み合わせを、その地点固有の特徴量（位置指紋）として捉えることで、環境内のどの地点かをピンスポットで特定することが期待できる。ただし、位置指紋法で正確な場所推定を行うためには、予め環境内で網羅的な環境情報収集を行いデータベース化しておくこと、推定したい粒度に対して測定される位置指紋が区別可能なように適切に分布していることなど満たすべき要件が存在する。

4.2 学習による場所属性推定

地点を一意に特定する位置指紋とは異なり、測定されたセンサ値を機械学習にかけることで、分類的に場所を推定することもできる。例えば、画像情報や音響情報を元に学習器によって、部屋／廊下／階段／エレベーターといった場所属性ごとに分類することができれば、前状態と環境内マップの情報と合わせて自己位置を推定することができる。

場所属性の推定は、位置指紋法と比較すると単独では地点を一意に特定できないという欠点があるが、一方で環境情報のデータベースが存在しない場所であっても位置推定が可能であるという利点がある。

5. 自己位置推定

実際の位置推定は、1) 環境センシングによって得られたデータをもとに現在地点を推定し、2) それまでに推定した結果の時間推移を検証して建物・施設の実際の構造情報と合致するかを検証することによって行われる。

5.1 環境情報の組み合わせ

センサから得られた測定値を組み合わせることで、その時点の自己位置を推定することができる。例えば、加速度から推定されるユーザの状態が階段の昇降中である、カメ

ラから得られる画像に階段が写っている、マイクロフォンから得られる靴音の音響情報が階段昇降時のモデルと一致する、などの状況からはそれぞれ現在位置が階段であることが推定できる。単独でも階段を昇降している状況は推定できるが、複数のデータを合わせて判定することでより高精度な推定が可能となる。

同時に取得した複数のデータ間で推定結果が一致しない場合もあり得るが、機械学習手法を適用して十分な学習フェーズを経しておくことで、単独のセンサデータでの推定よりも精度を高めることが期待できる。

5.2 時系列モデル

移動中に自己位置の推定を連続に行い、その結果を時系列で捉えることにより、過去の推定結果の再検証ができる。例えば、3階から階段を降りて2階に到達したと推定した後で、4階でしか観測されないBLE信号を補足した場合やカメラ画像が4階廊下の特徴を捉えた場合は、「階段を降りた」という推定が誤りで「階段を上がった」という推定が正しかったという可能性がある。屋内を物理的に移動する以上、ユーザの位置推移は建物の構造によって制限を受けるので、論理的に起こり得ない遷移はどこかに推定ミスを含むものと考えられる。この時、環境情報から得られる「現在4階にいる」という状態と、時系列から推定される「2階に到達した」という状態のどちらが高い確度かを比較して最新の推定結果とする。さらに移動と推定を重ねることで、「4階」であるか、やはり2階であったかどちらかの確度が高まることになる。

また、過去の推定結果が誤りであった場合には、該当する推定結果を修正することで、そのときの測定結果に対する出力を誤学習することを避ける。時系列モデルによって結果を検証し、矛盾を解消するように修正を行うことで、推定結果の安定化を図る。

6. おわりに

本研究では、屋内環境での移動支援のために、現在普及しているスマートフォンやタブレットなどの携帯端末に搭載されたセンサを活用して自己位置を推定する手法について検討を行った。GPSの利用が困難な屋内において、専用の設備を使うことなく移動支援を可能とするために、候補となるセンサおよび環境情報を挙げた。また、複数種類の環境情報を組み合わせ、時系列で推定結果を検証することで安定した位置推定を行うことを目指す。

今後は、各センサによるサンプルデータ収集を行い、得られたデータセットを用いて、単独での位置推定方法の検討や組み合わせによる推定結果への影響の検証を進める。また、移動しながら推定を繰り返した際の時系列推移についても検討を進め、外部インフラに頼らない携帯端末によ

る自己位置推定手法を目指す。

参考文献

- [1] 村田 正秋, 瀬川 爾朗, 鳥本 秀幸, “IMES の技術動向 —シーMLS三次元測位・航法の新技术—”, 電子情報通信学会誌, Vol.95, No.2, pp.119-124 (2012).
- [2] 石塚 宏紀, 上坂 大輔, 黒川 茂莉, 渡邊 孝文, 村松 茂樹, “BLEシグナルとPDRによるハイブリッド屋内位置測位手法の基礎検討～Open Beacon Field Trial参加における実験結果の共有～”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.114, No.31, pp.133-138 (2014).
- [3] 吾妻 悠太, 梅澤 猛, 大澤 範高, “複数地点で観測した電波強度による位置指紋の相対位置を利用した屋内位置推定”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.115, No.436, pp.1-6 (2016).
- [4] 上坂 大輔, 村松 茂樹, “実世界に広がる装着型センサを用いた行動センシングとその応用: 2. スマートフォンを用いた歩行者デッドレコニング —センサで人の位置が分かる仕組み—”, 情報処理, Vol.54, No.6, pp.570-573 (2013).
- [5] Jessica Leber, “Startup Uses a Smartphone Compass to Track People Indoors”, MIT Technology Review, July 16, <http://www.technologyreview.com/news/428494/startup-uses-a-smartphone-compass-to-track-people-indoors/>, (2012).