

# ユーザが持つ鏡の傾きを利用した屋内位置検出手法

太田あすか<sup>\*†</sup> 的場やすし<sup>‡</sup> 椎尾一郎<sup>†,‡</sup>

<sup>†</sup>お茶の水女子大学大学院 人間文化創成科学研究科 理学専攻 情報科学コース

<sup>‡</sup>お茶の水女子大学 理学部 情報科学科

## 1 はじめに

屋内の公共空間や、家やオフィスなどの生活空間における人の位置情報を取得することにより、位置に関連した情報提示や機器操作が可能になる。このような場所の多くでは、GPS(Global Positioning System)を有効に利用できない。そのため、すでに設定されているWi-FiやBluetooth機器を利用する方法が多数研究されている。また人が持つ加速度センサ・ジャイロセンサを用いて、デッドレコニングや歩数計数を利用する手法も研究されている。これらを組み合わせることで屋内での人の絶対位置を安価に検出可能ではあるが、不安定であったり高精度な位置検出が困難などの問題点がある。

筆者らは、位置座標が既知である1個または2個のマーカを、人が持つ鏡に写し込む操作により、人の位置を検出する手法を提案する。マーカとしては、天井や壁に設置された点光源に近い照明を流用することが可能であり、環境側の整備コストを減らすことができる。鏡には、傾きセンサと両眼視差による像のずれを測定する機構を組み込み、マーカの方向と距離を測定する。これらの機構は安価に実装可能であるため、家電製品リモコンなどに組み込むことが容易である。本論文では、スマートフォン表示面を鏡として用い、その傾きと二重画像のずれから基準マーカとの位置関係を検出するシステムを実装し、精度を評価した。また、鏡、傾きセンサ、Arduinoを用いてBluetooth接続する鏡デバイスの試作も行った。

## 2 関連研究

人が生活する屋内において、Wi-Fi[1]やBluetooth[2]を用いて人位置検出を行う研究が行われている。これらでは、複数の基地局デバイスからの電波を受信し、それぞれの電波の強度などから位置を推定している。この他、加速度センサ、ジャイロセンサ、カメラ、光センサ、超音波センサ、RFIDを用いて位置を推定する手法があり、また、これらを組み合わせたハイブリッドな手法も提案されている。これらの手法の多くでは、屋内環境に

新たにBeaconとして機能するデバイスやタグを設置する必要があり、また人が携帯するデバイスには無線受信機能やカメラなどの搭載が必要である。

## 3 鏡を用いた位置推定

本手法では、図1の様に、ユーザが鏡デバイスを手に持ち、鏡の中央に位置が既知の物体を写し込むことで、屋内位置をシステムに伝える。位置が既知の物体としては、屋内にすでに設置されている照明器具を利用できる。発光体であるため捉えやすく、さらに点光源に近い形状の照明であれば、鏡の位置合わせも容易である。以下、位置をあらかじめ測定した屋内照明を基準照明と呼ぶ。基準照明が写し込まれた状態で、鏡の傾きを3軸加速度センサで取得すれば、基準照明への方向を検出できる。この時、鏡表面にユーザが視線を合わせると、視差により基準照明が二重に見える。この距離を測定することで、基準照明までの距離を推定することができる。

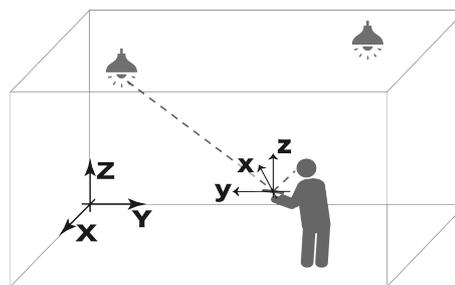


図1 本手法のイメージ図

## 4 スマートフォンによる実装

本手法の有用性を確認するために、スマートフォン(Apple iPhone 7)を用いて鏡デバイスを実装した。スマートフォン画面を黒く表示することで、画面を鏡面として使用でき、発光体の照明であれば鮮明に写し込むことが可能である。

プログラミングにはSwift 5.3.1を用い、内蔵センサによる傾き角度検出にはCore Motionを用いた。この結果、ユーザが基準照明を映し込んだ状態での、スマートフォンから照明への方向を測定することが可能である。さらに、視差により二重に見える基準照明像のずれを測

\* Information Presentation with Indoor user positioning method using the tilt of a hand-held mirror, Asuka Ota and Yasushi Matoba, Itiro Siio from Faculty of Science, Ochanomizu University

定するために、図2に星印で示す基準点と丸印で示す2個の測定用インジケータを表示する。ユーザが基準点を注視しつつ、測定用インジケータの間隔をドラッグ操作で調整して照明像に合わせることで、両眼視差によるずれが測定できる。



図2 スマートフォンの画面

ユーザが、2個の基準照明について、それぞれ鏡への写し込みと、二重像のずれ測定を行えば、ユーザの向きと位置の測定が可能である。

## 5 位置の推定

基準照明までの距離は、視差により求める。すなわち、鏡面上の二重像のずれ、ユーザの瞳孔間距離、ユーザの目からスマートフォンまでの距離から、比例計算により基準照明までの距離を求めることができる。ただし、距離が長くなると、瞳孔間距離と二重像のずれの差が小さくなり、誤差が大きくなる。本手法では、位置推定において基準照明までの距離そのものを使用せず、2個の基準照明までの距離の比を使うことで、個人差や系統的な誤差を極力減らすよう工夫した。

以下では、部屋の座標系を  $(X, Y, Z)$ 、ユーザ座標系を  $(x, y, z)$  とし、 $Z$  軸、 $z$  軸は鉛直方向とし、 $X$ - $Y$  平面、 $x$ - $y$  平面は水平面とする。スマートフォン持ち方が一定であることを仮定すると、スマートフォンの傾きセンサから、ユーザ座標系における反射ベクトルが得られる。2点の基準照明に対する反射ベクトルを部屋座標系に変換すれば、基準照明位置からユーザ位置を計算できる。ここで、水平面 ( $X$ - $Y$  および  $x$ - $y$  平面) においては、部屋座標に対してユーザが未知数  $\varphi$  だけ回転しているとする。照明の座標、反射ベクトル、デバイスと照明間の距離からデバイスの推定座標は、 $\varphi$  を用いた式で表せる。そこで、2個の基準照明にに対して測定を行うことで、 $\varphi$  を求め、デバイスの座標を求めることができる。以上の計算により、人の位置座標のみならず、方向  $\varphi$  も知ることができる。また、操作時の人の方向をあらかじめ決めておく使用方法（たとえばリモコン操作対象機器の方向を向いて操作する）を前提にすれば、1個の基準照明から人位置を推定できる。

## 6 実験

会議室(縦 344cm, 横 503cm, 高さ 332cm)に2個のLED基準照明を設置して、筆者の一人がスマートフォ

ンを操作し、本方式による人位置推定実験を行った。実験に先立ち、2個の基準照明の部屋座標、ユーザの瞳孔間距離を測定した。測定は、4箇所の立ち位置と2つの向きの8パターンについて、それぞれ5回、合計40回の試行を行った。得られたユーザの部屋座標を、実際の位置と比較し、その誤差の絶対値の平均を求めた。その結果、 $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  軸方向の誤差はそれぞれ、14cm、15cm、22cm程度であり、3次元位置の誤差は34cm程度となった。また、視差から求める距離推定の誤差(248cmの距離で35%程度)が比較的大きくなってしまった。視差から求める距離を比として使い、求めた  $X$ 、 $Y$  に対し、そのまま距離として使い、求めた  $Z$  は、その影響を受け、誤差が増えたと考えられる。

## 7 応用例

本方式は、ユーザが立ち止まって位置を確認する操作が必要であるため、ユーザ位置を自動更新しつつ案内するナビゲーションには向いていない。しかし、20cm程度の誤差で2D位置測位が可能であるので、ショッピングモールでの店舗案内などに適している。また、加速度センサ、鏡、二重像のずれ測定の仕組みだけで実装可能なことを生かし、安価な家電用リモコンに組み込むことが可能である。これにより、ユーザの場所に合わせて調整するエアコン、照明、オーディオ機器など、位置を利用した家電操作に応用できる。

## 8 まとめと今後の課題

ユーザが手に持つ鏡に基準照明を映し込むことで、人の位置検出を行う手法を提案し、スマートフォンで実装した。屋内で実験したところ、20-30cm程度の誤差で位置推定可能なことを確認した。

本方式は、鏡と安価なセンサを用いて実装可能であるため、家電リモコンなどに組み込むことが可能である。このことを実証するために、ハーフミラーシートを貼ったアクリル板、6軸加速度・ジャイロセンサ、視差による2重像のずれを測定するLED対、LED間隔をユーザがダイヤルで調整できる機構とロータリーエンコーダ、Bluetooth内蔵マイクロコンピュータ、電池を一体化した専用デバイスの試作を行っている。現状ではスマートフォンによる試作に比べて、位置推定精度が低いため、改良を続ける予定である。

謝辞: 本研究はJSPS科研費JP18K11392の助成を受けたものである。

## 参考文献

- [1] Mohd Nizam Husen and Sukhan Lee. Indoor human localization with orientation using wifi fingerprinting. ICUIMC '14.
- [2] Giorgio Conte, et al. Bluesentinel: A first approach using ibeacon for an energy efficient occupancy detection system. BuildSys '14.