

オムニマイクロフォンアレイを用いた測位システムの検討

菊地 勇然[†] 稲村 浩[†] 中村 嘉隆[†]

公立はこだて未来大学[†]

1 はじめに

近年、スマートフォン等のデバイスの普及に伴い、位置情報サービスが広く利用されている。屋外環境においては、GPSにより位置推定を行うことができるのに対し、屋内環境に関しては、様々な位置推定手法が研究されている。

一方でスマートスピーカーと呼ばれるデバイスの普及が進んでいる。安価なこともあり宅内のみならず、商業施設での利用例がある。スマートスピーカーにはオムニマイクロフォンアレイと呼ばれる、全方向に複数のマイクを配置した部品が使われており、音声処理を行うことで指向性を持たせ、ファースフィールドでの音声認識の精度向上に利用されている。

そこで我々はスマートフォンに内蔵されたセンサを用いて実装することができる歩行者自律航法を、オムニマイクロフォンアレイを用いた測位デバイスにて補正する手法を提案する。

2 関連研究

Wi-FiやBLEビーコンの電波強度を元に三点測位を行う手法やフィンガープリント[1]を用いる手法、スマートフォンのセンサを用いた歩行者自律航法(PDR)[2]といった手法が知られている。しかし、Wi-FiやBLEビーコンを用いた単純な手法では、現実の多様な電波伝搬環境に対して、測位精度の低下の恐れがある。また、フィンガープリントを用いる手法では、事前調査の負担が大きい。歩行者自律航法に関しては、歩幅や回転角の誤差が累積してしまうという問題があり、単体の位置推定手法として高い精度を得るのは難しい。一方、超音波を利用した位置推定に関する研究も多く行われている。音速が電波の伝搬速度より遅いことにより、マルチパスの除去が比較的行きやすいということなどがこの手法のメリットとして挙げられる。超音波を利用した位置推定手法としては一般に逆GPS法[3]が用いられている。しかし、測位の際に常に4か所の受信機を必要とするために受信機の設置位置の複雑化や、設置数の増大、超音波送受信

An Indoor Positioning System Using Omni-Microphone Array
Takenori Kikuchi[†], Hiroshi INAMURA[†], Yoshitaka NAKAMURA[†]
Future University Hakodate[†]

のための専用機材の必要性など、コスト面で問題がある。

3 提案システム

本システムでは、オムニマイクロフォンアレイを用いた測位デバイスを環境中に配置し、歩行者自律航法から得た座標を超音波を用いた信号源距離推定によって補正する。システムの構成は以下のようになっている。

- スマートフォン：歩行者自律航法を用いて得られた座標 $p(x, y)$ を、計算用サーバに送信する。距離推定のために継続的に超音波を送信する。
- 測位デバイス：オムニマイクロフォンアレイにて超音波を受信し、距離を推定した後、計算用サーバへ送信する。本デバイス自身の位置座標を $a(x, y)$ とする。
- 計算用サーバ：スマートフォンと測位デバイスから送信された情報により補正した座標をスマートフォンに送信する。

これらを用いて、以下のような流れで歩行者が保持するスマートフォンの位置を推定する。

- 1.スマートフォンの位置座標を初期化する。
- 2.歩行者は歩行を開始し、歩行者自律航法を用いて自身の位置座標計算を逐次行う。
- 3.図1のように複数の距離を含む補正位置指定ベクトル R のうち、いずれかの距離 r [m] を半径とみなした外周円上に端末が到達したことを測位デバイスで確認したときに、 $a(x, y)$ と $p(x, y)$ を通る直線と r [m] の外周円との交点を補正された新たな座標値として $p(x, y)$ に置き換える。
- 4.歩行者の移動に従って、補正位置指定ベクトルに含まれるいずれかの指定距離による円に接触するごとに3を繰り返す。

次に、補正位置指定ベクトルの具体化のために、信号源距離推定と補正可能最大距離について述べ、本提案システムで用いる歩行者自律航法での誤差の見積もりを行う。

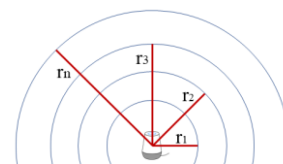


図1 補正位置指定ベクトルに含まれる距離の例

3.1 信号源距離推定と補正可能最大距離

距離を推定するために音圧を用いる。まず実際に音圧と距離の関係を調べるために、ここでは、オムニマイクロフォンアレイから 1, 3, 5, 7, 10, 15, 20m の距離において、スマートフォンから 20kHz の音声を再生し、オムニマイクロフォンアレイを構成する各マイクで録音を行い、20kHz 周辺の音圧を抽出した。各マイクの計測値の平均を音圧の代表値とした。信号源からの距離による音圧の理論値は下の式で求められる。

$$\text{理論値} = (\text{マイクからの距離が 1m の時の音圧}) - \log_{10}(\text{マイクからの距離}) \quad (1)$$

図 1 に理論値と実際に計測した音圧を示す。信号源までの距離が 7m 以内の場合は比較的理論値に近い値であるが、それを越える距離になると減衰が大きくなり、距離が離れるほどその傾向が高くなるのがわかった。そこで、この 7m という距離を補正可能最大距離とし、補正位置指定ベクトルに含まれる最大の値とする。

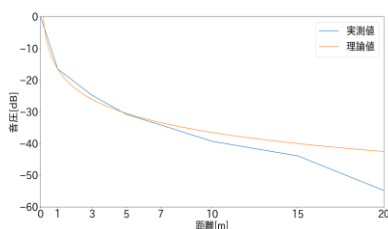


図2 音源からの距離と音圧の実測値と理論値

3.2 歩行者自律航法における累積誤差

歩行者自律航法は、加速度センサ、ジャイロセンサの2つのセンサを用いて歩数、歩幅、進行方向を推定する。歩数と歩幅を求めることで歩行距離を得ることができ、進行方向 θ と合わせることで、歩行開始時を原点としたときの一步毎の位置座標を得ることができる。

$$\text{歩行距離} (d) = \text{歩数} \times \text{歩幅} \quad (2)$$

$$\text{推定位置} (x, y) = (d \cos \theta, d \sin \theta) \quad (3)$$

歩数に関しては、文献[2]を参考にした。3軸加速度センサの計測値を二乗和平方根で合成する。その合成値に閾値を設定し、加速度の合成値が上限の閾値を下から上、下限の閾値を上から下へと2度超えた場合に1歩とカウントする。上限の閾値を $1.1G$ 、下限の閾値を $0.95G$ とした。

歩幅に関しては、文献[4]を参考にした。この論文では、琉球大学の学生を対象に身長と歩幅のデータを取り、この二つのデータから重回帰分析を行うことにより、以下の回帰式を求めた。歩幅を $S[m]$ 、身長を $H[m]$ とする。

$$S = 0.26H + 0.31 \quad (4)$$

進行方向に関しては、時間ごとに得られた角

速度を加算していくことで計算を行った。

この歩行者自律航法を用いて身長が 1.69m の人物が 50m の直進歩行を行った際の距離を推定した。進行方向の累積誤差を表したものが図 2、進行方向に直交する方向の累積誤差を表したものが図 3 である。それぞれの方向で累積誤差が補正可能最大距離である 7m を超えたのは 6 度の試行のうち、1 度のみであるため、多くの場合で補正が可能であると考えられる。

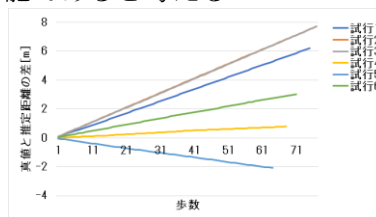


図3 直進歩行時の歩数に対する進行方向の推定距離の累積誤差

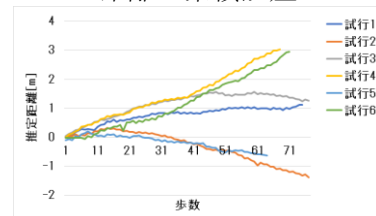


図4 直進歩行時の歩数に対する直交する方向の累積誤差

4 まとめ

本稿では、オムニマイクロフォンアレイによる信号源距離推定を用いて、歩行者自立航法で補助する形での位置推定手法を提案した。50m の直線歩行での累積誤差を示し、信号源距離推定によって補正可能な程度であることまで示した。今後は、歩行者自律航法の累積誤差を信号源距離推定によって補正を行う具体的な評価を行う予定である。

参考文献

- [1] 東和樹, 新井イスマイル. 相互補完型wi-fi・地磁気フィンガープリンティング手法の評価. 情報処理学会論文誌, Vol.58, No.2, pp.384-395, 2017.
- [2] 村田雄哉, 梶克彦, 廣井慧, 河口信夫. 歩行者自律測位における行動センシング知識の利用. マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム2014論文集, pp.1614-1619, 2014.
- [3] 秋山征己, 須永光, 五百蔵重典, 田中博. 超音波センサを用いた広域屋内測位システムの構成と検証実験. 測位航法学会論文誌, Vol.3, No.1, pp.1-8, 2012.
- [4] 翁長謙良, 吉永安俊, 趙廷寧. 身長と歩幅の相関に関する一考察: 学生の歩測の事例から. 琉球大学農学部学術報告, Vol.45, pp.149-155, 1998.