

iBeacon を用いた人体の影響を軽減した位置推定手法の提案

宮崎 喬行^{*†}, 牧田 岳大[‡], 高橋 健一[†], 川村 尚生[†], 菅原 一孔[†]
([†]鳥取大学, [‡]VOYAGE GROUP)

Position Estimation using iBeacon in Consideration of the Human Body

Takayuki Miyazaki^{*†}, Takehiro Makita[‡], Kenichi Takahashi[†], Takao Kawamura[†], and Kazunori Sugahara[†]
([†]Tottori University, [‡]VOYAGE GROUP, Inc.)

1 はじめに

屋内位置推定手法の 1 つに iBeacon 規格のビーコンの電波強度を利用した手法が存在する。iBeacon は低消費電力で長時間稼働できる Bluetooth 規格である BLE(Bluetooth Low Energy)[1] を利用するビーコン規格である。iBeacon は小型であり、低消費電力で長時間の稼働が可能である。また、低価格なため導入コストが抑えられる。しかし、様々な環境条件の影響を受け推定位置の誤差が大きいという問題がある。ビーコンの電波は 2.4Ghz 帯を利用しており、誤差の原因の 1 つとして人体の影響を受けることが分かっている。人体を通過したビーコンの電波は大きく減衰し、推定位置に誤差が生じる。そこで本研究では、直線移動中の人体の影響による推定位置の誤差を軽減する。

2 Centroid 法による位置推定

ビーコンを利用した位置推定手法は Centroid 法や Fingerprinting 法などいくつか提案されている [2]。本システムでは位置推定手法に Centroid 法を利用している。Centroid 法では、複数の点の重みにより重心を求め、その重心を推定位置とする。ビーコンの受信機間の距離を重みとして利用する。ビーコンと受信機間の距離はフリスの伝達公式を用いて計算する。求めた距離 r を重みとみなし、式 (1) により重心 $T(x_t, y_t)$ を計算し位置推定結果とする。 n は設置した受信機の数、 (x_i, y_i) は i 番目の受信機が設置された座標、 r_i は i 番目の受信機からの距離を表す。

$$T(x_t, y_t) = \left(\frac{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{r_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{r_i}}, \frac{\sum_{i=1}^n \frac{y_i}{r_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{r_i}} \right) \quad (1)$$

3 受信機との距離と人体の影響の関係

人体の影響による推定距離の差がビーコンと受信機間の距離によってどのような差が出るかを検証するための実験を行った。実験では、受信機を設置し受信機から 1m~9m のそれぞれの位置で 90 秒ずつ静止し体の向きを反転し 90 秒間静止する実験を 3 回行った。ビーコンは胸の位置に持った。結果の平均値を図 1 に示す。

図 1 を見ると人体の影響を受けた電波から計算した推定距離は人体の影響を受けていない電波から計算した推定距離より遠い距離を推定している。しかし、実際の距離が変化したときの推定距離の変位は人体の影響を受けた電波から計算した推定距離と人体の影響を受けていない電波から計算した推定距離の差より少ない。

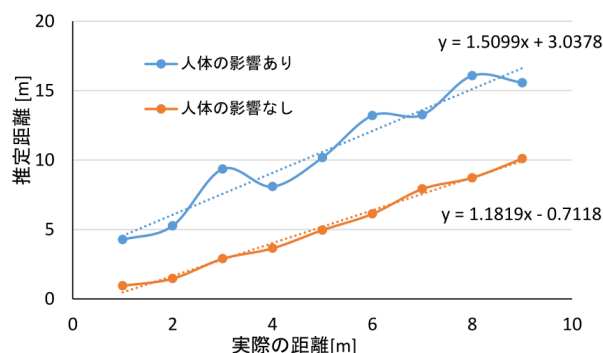


図 1 推定距離の比較

4 提案手法

3 節の実験結果より推定距離の変位は人体の影響を受けにくいということがわかった。そこで、推定距離の変位を用いて人体の影響による誤差を軽減する。

本手法は移動方向推定、移動距離推定の 2 つから構成される。移動方向推定では、直前の推定位置 P_{t-1} からの移動方向を求める。移動距離推定では直前の推定位置 P_{t-1} からの移動距離を求める。現在の推定位置 P_t は、直前の推定位置 P_{t-1} を基準に移動方向推定で推定した方向に移動距離推定で求めた距離分移動した位置と推定する。

4.1 移動方向推定

Centroid 法で求めた過去 3 回 ($t-3$ 時点~ $t-1$ 時点) の推定位置と現在 (t 時点) の推定位置を利用して移動方向を推定する。推定は、過去 3 回と現在の推定位置から近似直線を求め、その傾きを利用して移動方向を判定する。ここで利用している 4 つの推定位置は移動方向推定と移動距離推定から求めた位置ではなく Centroid 法で求めた推定位置である。このため、移動方向推定で利用する推定位置は人体の影響を受けている。しかし、4 つの推定位置が全て人体の影響を受けているため近似直線の傾きには影響しない。このため、移動方向推定においては人体の影響を考慮に入れる必要はない。

4.2 移動距離推定

移動距離推定では、電波強度から求めたビーコンと受信機間の推定距離を利用して直前の推定位置 P_{t-1} からの移動距離を求める。それぞれの受信機で時間 $t-1$ 時点のビーコンと受信機間の推定距離と時間 t 時点のビーコンと受信機間の推定距離の差 (変位) を求める。

このとき、推定距離の変位は、4.1 節の移動方向推定で推定した方向と違う場合がある。そこで、移動方向推定で推定された方向を正しいと仮定し、それぞれの受信機で求めた変位から 4.1 節の移動方向推定で推定された方向と同じ方向に変位している変位のみを抽出する。

抽出した推定距離の変位に重みを付け、重み付けした結果の平均を移動距離とする。重みは、 $t-1$ 時点の受信回数と t 時点の受信回数の合計とする。抽出された推定距離の変位の数を n 、受信機 i の $t-1$ 時点の受信回数と t 時点の受信回数の合計を s_i 、推定距離の変位を Δd とすると、推定移動距離 D は式 (2) で表される。

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta d_i s_i}{\sum_{i=1}^n s_i} \quad (2)$$

このとき、推定位置 P_t は式 (3) で表される。

$$P_t = P_{t-1} + D \quad (3)$$

5 誤差累積の補正

4 節の手法では移動距離の誤差が累積し、推定位置が大きくなる可能性がある。そこで、誤差の累積の影響を軽減するために受信機を通過したことを検知し位置を補正する。受信機の通過の検知は、人体の影響によって電波強度が変化することを利用する方法と過去のデータを利用する方法の 2 つを用いる。

5.1 電波強度の変化による受信機通過検知

人体の影響を受ける電波は、受信機を設置した位置を通過した前後で変化する。この特徴を利用して受信機の通過を検知するために 3 つの条件を設定した。

条件 1 $t-1$ 時点の推定距離の変位と t 時点の推定距離の変位で変位の符号が逆

条件 2 ビーコンと受信機間の推定距離が 1m 以内

条件 3 $t-1$ 時点の推定距離の変位の絶対値より t 時点の推定距離の変位の絶対値が大きい

これらのすべての条件に当てはまる場合に受信機を通過したと判定する。そして、その時の推定位置を受信機が設置されている位置とする。

5.2 過去のデータによる受信機通過検知

5.1 節で受信機の通過を検知できなかった場合は、過去のデータから受信機の通過を検知する。Centroid 法と本手法の推定位置が両方とも受信機を設置している位置を通過し一定時間 (n 秒) 経過しても 5.1 節の検知ができていない場合、受信機の通過を検知できていないと判断する。

受信機の通過が検知できていないと判断された時点から $n \times 2$ 秒前までのデータの中から推定距離の変位の符号が逆となっているものを抽出する。抽出したデータの中から受信機との推定距離が最も近いものを受信機を通過した時であると判定する。

受信機を通過していたと判定されたデータの推定位置 P_{t-n} を受信機が設置されている位置とする (P'_{t-n})。また、 $t-n$ 時点以降の推定位置は、 P'_{t-n} と P_{t-n} の差を加えることで補正する。

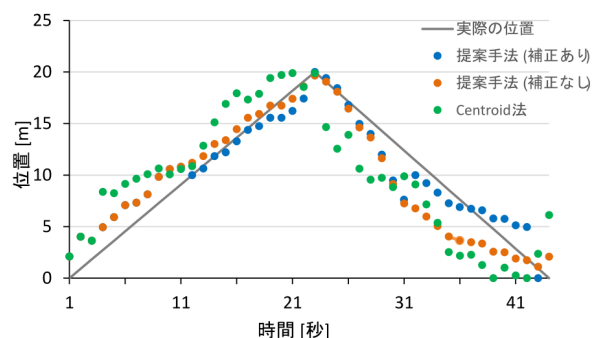


図2 提案手法と Centroid 法の位置推定結果比較

6 実験

本手法により人体の影響を軽減できるかを検証するための実験を行った。実験は、3 つの受信機を 0m 地点、10m 地点、20m 地点に設置し、0m 地点から 20m 地点まで一定の速度で歩き、折り返して 0m 地点まで戻ってきた。ビーコンは胸の位置に持った。Centroid 法の推定位置と提案手法の推定位置をプロットしたものを図 2 に示す。

図 2 を見ると、Centroid 法による推定位置に比べて提案手法による推定位置は実際の位置に近い位置を推定できていることがわかる。ビーコンを胸の位置に持っているときは、進行方向と反対の背中側の電波が人体の影響を受ける。その影響で Centroid 法では人体の影響によって推定位置が実際の位置より前方に推定される。補正を行うことで Centroid 法の推定位置に比べ実際の位置に近い位置を推定できていることがわかる。また、提案手法 (補正あり) では 12 秒と 24 秒で電波強度の変化による受信機の通過が検知され、32 秒で過去のデータを利用した受信機の通過が検知された。実験を 5 回行ったところ、提案手法 (補正あり) は、Centroid 法と比較して平均誤差を 59.3%、提案手法 (補正なし) と比較して 25.2% 軽減できた。

7 おわりに

本研究では、直前の推定位置からの変位を利用することで人体の影響による誤差の軽減を試みた。結果、Centroid 法と比較して人体の影響による誤差を軽減することに成功した。今後の課題として、他のビーコンで実験を行うことや平面に受信機を設置して実験を行うことがあげられる。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP20K12078 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] Bluetooth Specification Core Version 4.2, 2014.
- [2] 藪野 啓介, 新井 イスマイル. 校舎内における BLE 電波強度による屋内測位の性能評価. 情報処理学会第 77 回全国大会講演論文集, pp.301-302, 2105.