

## BLE ビーコンを所持する徘徊高齢者の 移動を考慮した追跡手法の開発

福本 加奈恵<sup>†</sup> 白松 俊<sup>†</sup> 岩田 彰<sup>†</sup> 永井 明彦<sup>‡</sup> クグレ マウリシオ<sup>†</sup>  
名古屋工業大学<sup>†</sup> 筑波大学<sup>‡</sup>

### 1. はじめに

近年、高齢化に伴う認知症患者の増加が社会問題となっている。認知症の症状の一つとして徘徊行動が挙げられる。本研究ではこれまで、Bluetooth Low Energy (BLE) のビーコンを徘徊高齢者に持たせることで見守るシステムを開発し、社会実験を行ってきた[1]。白松らの手法[2]は徘徊高齢者が所持するBLEビーコン(発信機)と探索者が所持するスマートフォン(受信機)は各1つずつという状況を想定している。そのため、探索者が移動するに連れて多地点で電波強度を計測し、事前確率分布に基づいて多地点の計測結果を確率的に統合するというアプローチをとっている。しかし、探索対象の徘徊高齢者が止まっていると仮定しているため、高齢者が移動している場合の探索が困難である。そこで本稿では、パーティクルフィルタを用いて高齢者の移動を考慮した場合の追跡手法を検討する。

### 2. 従来手法

まずは白松ら[1]による従来手法によるビーコンの存在確率の計算方法を説明する。計算のためには、あらかじめRSSI値と距離の関係をあらかじめ計測しておく必要がある。距離  $d[m]$  のときRSSI値  $r[dBm]$  が観測された回数を  $freq(r, d)$  とおくと、RSSI値  $r[dBm]$  のときに距離  $d[m]$  である確率  $p(d|r)$  は、一般的には以下ようになる。

$$p(d|r) = \frac{freq(r, d)}{\sum_a freq(r, d)} \quad (1)$$

ただし、計測回数が十分に大きくできない場合は、平滑化が必要になる。また、確率の積算処理を行う際に、確率ゼロが1箇所でも混じると最終的な確率もゼロになってしまう、ゼロ頻度問題に対処するために、全てに1を足すラプラス平滑化を行った。これらの平滑化を行った場合の確率  $p(d|r)$  は以下のように算出される。

探索者の移動に連れて一定時間間隔  $\Delta t$  ごとに  $m$  回まで計測する地点を  $[q_i]_{i=0,1,2,\dots,m}$  とおき、各計測地点でのRSSI値を  $[r_i]_{i=0,1,2,\dots,m}$ 、計測地点  $q_i$  からグリッド  $(x, y)$  への距離を  $d(q_i, (x, y))$  とおく。グリッド  $(x, y)$  にBLEビーコンが存在する確率  $p((x, y)|[r_i])$  を算出するために、以下の様な確率の積  $g(x, y)$  を考える。

$$g(x, y) = \prod_{i=0}^m \alpha^{m-i} p(d(q_i, (x, y))|r_i) \quad (2)$$

このとき  $\alpha$  は減衰率を表す。グリッド  $(x, y)$  におけるビーコンの存在確率  $p((x, y)|[r_i])$  は  $g(x, y)$  を正規化することにより与えられる。

$$p((x, y)|[r_i]) = \frac{g(x, y)}{\sum_{x,y} g(x, y)} \quad (3)$$

### 3. 提案手法

次に、移動モデルと尤度関数について説明する。パーティクルフィルタを実装するにあたり、尤度関数と移動モデルを設計する必要がある。移動モデルは、等速直線運動を仮定して、ビーコン存在確率の時系列変化を延長する形で定義する。尤度関数は、従来手法で計算したビーコン存在確率と、移動モデルに基づく確率の積で定義する。

移動モデルの定義を説明する。各パーティクルについて状態ベクトルはその位置  $(x, y)$  と各軸方向の速度  $(u, v)$  の4次元で与えられる。パーティクルの移動モデルとして等速直線運動を与えた場合、以下のような行列で表すことができる。

$$\begin{pmatrix} x_{t+1} \\ y_{t+1} \\ u_{t+1} \\ v_{t+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_t \\ y_t \\ u_t \\ v_t \end{pmatrix} \quad (4)$$

ここで、電波強度の観測結果から得られたビーコンの存在確率  $p((x, y)|[r_i])$  を考慮する。そのために最小二乗法を用いて最新の速度ベクトルを推定し、時刻  $t$  のパーティクルの速度ベクトル  $(u_t, v_t)$  を補正する。最新の速度ベクトルの推定について説明する。時刻  $t = i$  の高齢者の移動先を  $(x_i, y_i)$  と表す。対象者が等速直線運動をしていると仮定すると、 $x_t = a_{x,t}t + b_{x,t}$ ,  $y_t = a_{y,t}t + b_{y,t}$  という直線を引くことができる。時刻  $t = i - n$  から  $t = i - 1$  までのビーコンの存在確率の重心  $(x_t, y_t)$  を用いた最小二乗法により、パラメータ  $a_{x,t}, b_{x,t}, a_{y,t}, b_{y,t}$  を決定する。 $a_{x,t}, b_{x,t}$  は  $J = \sum_{j=i-n}^{i-1} (x_j - (a_{x,t}j + b_{x,t}))^2$  を最小化することによ

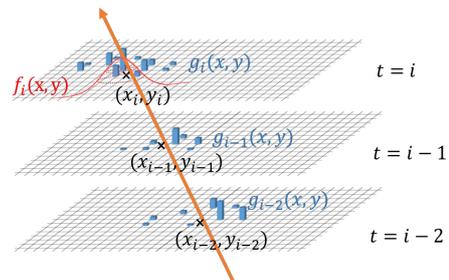


図1：移動モデルと尤度関数

Development of tracking method considering movement of aged wanderers carrying BLE beacon

Fukumoto Kanae<sup>†</sup> Shiramatsu Shun<sup>†</sup> Iwata Akira<sup>†</sup>

Nagai Akihiko<sup>‡</sup> Kugler Mauricio<sup>†</sup>

<sup>†</sup>Nagoya Institute of Technology <sup>‡</sup>University of Tsukuba

って求められる。  $a_{y,t}, b_{y,t}$  も同様に求めることができる。得られた最新の速度ベクトル  $(a_{x,t}, a_{y,t})$  とパーティクルの速度ベクトル  $(u_t, v_t)$  を合成したものを新たに時刻  $t$  のパーティクルの速度とする。つまり、  $(u_t', v_t') = (\beta u_t + (1 - \beta)a_{x,t}, \beta v_t + (1 - \beta)a_{y,t})$  と表すことができ、式(3)は以下のようになる。

$$\begin{pmatrix} x_{t+1} \\ y_{t+1} \\ u_{t+1} \\ v_{t+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & \beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \beta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_t \\ y_t \\ u_t \\ v_t \end{pmatrix} + (1 - \beta) \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ a_{x,t} \\ b_{x,t} \end{pmatrix} \quad (5)$$

次に尤度関数の定義を説明する。時刻  $t = i$  にビーコンが存在すると予測されるグリッド  $(a_{x,t}i + b_{x,t}, a_{y,t}i + b_{y,t})$  を平均ベクトルとしたガウス分布  $f_i(x, y)$  を考える。  $f_i(x, y)$  の標準偏差  $\sigma$  は、直前の位置推定の精度を反映するために、  $g_{i-1}(x, y)$  の分散に比例する値を用いる。尤度関数には  $f_i(x, y)$  と  $g_i(x, y)$  の積を用いる。

#### 4. 位置推定実験

まずは、事前に RSSI 値の頻度分布の計測を行い、  $p(d|r)$  の分布を求めた。計測は、障害物の少ない名古屋工業大学のグラウンドで行った。BLE ビーコンを入れた「見守り袋」をグラウンドでは植木の地上 1.2m 付近に結わえ付け、スマートフォンまでの距離を 2m から 26m まで、2m おきに RSSI 値を 100 回計測した。なお、28m 以降では RSSI 値を取得できなかった。計測結果から計算した  $p(d|r)$  を図 2 に示す。図 2 を見ると、複数の距離でピークを持つ分布になっていることがわかる。これは、ビーコンからの直接波と地面からの反射波で干渉が起きているためであると考えられる。

位置推定実験のためのデータ取得は障害物の少ない鶴舞公園の陸上競技場で行った。ルートは、30m 離れたところから向かい合って出発し、15m 地点ですれ違うルート A、探索者が 10m 前方にいる状態で 40m 歩行するルート B、探索者が 10m 後方にいる状態で 40m 歩行するルート C の 3 つを設定した。また、それぞれのルートで探索者の歩行する経路と、ビーコン所持者の歩行する経路の間隔が 2m と 10m の 2 つを用意した。探索者はスマートフォンを体の前に保持し、徘徊高齢者役はビーコンを首から下げた状態で歩行した。このとき、歩行速度はそれぞれ 1[m/s] とした。スマートフォンによる計測の時間間隔は 1 秒に設定した。尤度の計算に必要な  $p(d|r)$  はグラウンドのものを使用した。また、  $\alpha =$

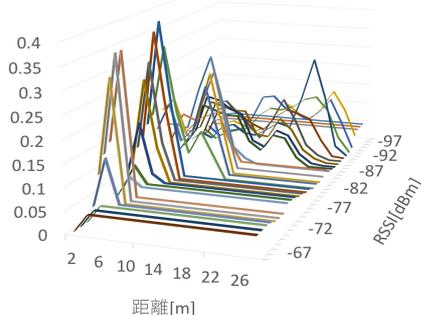


図 2 : 計測結果から計算された  $p(d|r)$  の分布

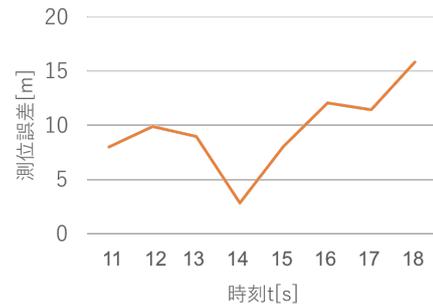


図 3 : 測位誤差

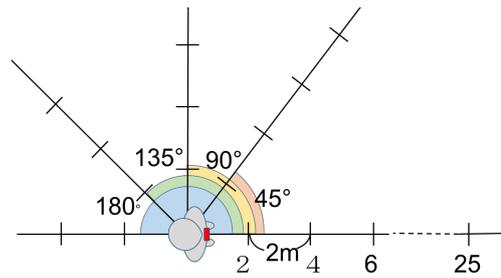


図 4 : 人体遮蔽を考慮した確率モデル

$1, \beta = 0.5$  とした。

ルート A の最接近時 2m の場合、時刻  $t$  が 11[s] から 18[s] の間のみ RSSI 値を取得できた。最接近時 10m の場合は RSSI 値を取得できなかった。これは、ビーコンの出力を 0[dBm] と弱く設定しているためと考えられる。時刻  $t$  が 11[s] から 18[s] の間についてパーティクル座標の重み付き平均(重心)を求め、測位誤差(高齢者役の実際の座標との距離)を算出した結果を図 3 に示す。  $t = 15[s]$  ですれ違った後、測位誤差が大きくなっているのは、人体によってビーコンが遮蔽されたためであると考えられる。また、ルート B、ルート C においても、人体の遮蔽の影響で RSSI 値を取得できなかった。このことから、特に高齢者の人体遮蔽を考慮する必要がある。そこで、図 4 のようにビーコン所持者の前方、横、後方それぞれについて確率モデルを作成する。

#### 5. おわりに

本稿ではパーティクルフィルタを用いた BLE ビーコンの位置推定とその実験結果について述べた。今後は、人体遮蔽を考慮した確率モデルを作成し、追跡精度の向上を目指す。

#### 謝辞

本研究は、総務省 SCOPE 地域 ICT 振興型研究開発、および、JSPS 科研費(25870321)の支援を受けた。

#### 参考文献

- [1]永井 他: BLE センサと国内普及 5,700 万代のスマートフォンと利用した認知症高齢者見守りシステムの提案, 第 54 回日本生体医工学回大会(2015).
- [2]白松 他:徘徊高齢者捜査のための BLE ビーコンの電波強度分布を用いた位置推定手法, IPSJ SJG-ASD.