

## 住居内における複数 LRF による人移動軌跡計測システムの構築

野口 博史<sup>†</sup> 漆畑 亮<sup>†</sup> 佐藤 崇浩<sup>†</sup> 森 武俊<sup>†</sup> 佐藤 知正<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 東京大学 情報理工学系研究科

### 1 はじめに

住居内における行動把握が実現できれば、健康支援やきめ細かな住居内機器の自動化などが実現できると考えられる。その行動把握の手がかりとして、住居内における人位置は重要である。その際、住居内における活動を妨げない意味でも、ウェアラブルセンサでなく、環境側に設置したセンサでの計測が望ましい。店舗における顧客の動線解析ではカメラを用いることが多いが、住居内においてはプライバシーの問題がある。また、光源環境が大きく変化することや隠蔽物品が多いことから難しい。そこで、本研究では、近年着目されてきている、レーザレンジファインダ (以下 LRF) を利用することで人の位置計測するシステムを構築する。具体的には、住居内空間では足ともに遮蔽物が多いことから、腰位置高さに部屋毎に配置した複数 LRF 群から頑健に位置情報を計測する方法を提案する。環境内に設置した LRF からの人追跡については、すでに、駅構内に足首高さに配置した複数 LRF から動線取得 [1] や腰位置高さに配置した複数の LRF から向きも含めた追跡 [2] が実現されている。これらは、開けた場所における人同士の隠蔽を主に問題としており、さらには、胴や足首輪郭のほぼ全周が計測可能な状態を仮定している。しかしながら、実際の住居環境においては、壁や物体による隠蔽も多く、確実な固定も難しいため厳密に高さが一致しない。その場合でも複数 LRF から位置追跡可能な手法も提案する。

### 2 LRF による人位置計測システム

住居内に簡易に持ち込めるためには、LRF 自体がモジュール化されている必要がある。そこで、モジュールとして図 1 左上に示すモジュールを構築した。モジュールは、北陽電機社製 URG-LX04 とアットマークテクノ社製 Armadillo220 を組み合わせたものであり、最大計測距離 5.6m、計測範囲角度 240 度、角度分解能約 0.36 度、計測周期 10Hz である。また、サイズは、約 15cm 四方であり、高さはスぺーサにより任意に変更可能であり、LRF の向きは 45 度刻みで変更可能である。データ取得については、データ量や取得時の確実性から有線 LAN で接続しデータ収集する。モ

ジュールは PoE (Power on Ethernet) により電力供給可能であり、住居内における配線の手間を削減している。また、データ計測用に、住居内のネットワーク上にあるモジュールを自動発見し、計測したデータをオンラインでデータベースへと蓄積するソフトウェアも構築している。分散センサシステムの場合、センサ間の同期が問題になるが、人の移動が住居内では遅いこと、サンプリング周期が比較的遅いこと、住居内の有線 LAN ネットワークによるネットワーク遅延が少ないことなどを考慮し、同期についての特別なメカニズムは用意していない。また、手動で設置位置をキャリブレーションするためのソフトウェア、後に述べる位置計測を行うソフトウェアも構築している。

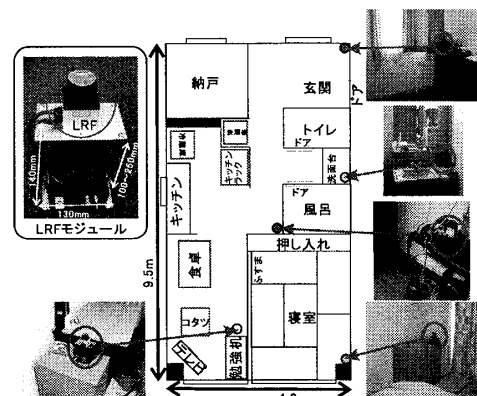


図 1: LRF モジュールと実験住宅のレイアウト

### 3 パーティクルフィルタによる人位置計測

LRF 群による人物追跡 [1][2] では、ベイジアンフィルタの枠組みが用いられることが多い。そこで、本研究でもベイジアンフィルタの一種であるパーティクルフィルタをモデル構築の容易性などから用いる。パーティクルフィルタ自体についての詳細は割愛する。住居内においては、輪郭情報が不十分にしか得られないことから、姿勢情報の取得はあきらめ、状態量としては、2次元上での位置  $\{x_t, y_t\}$  を考える。また、遷移モデルとしては、人の移動のモデリングは難しいため、今回は等速直線運動を仮定した。観測モデルについては、発見した LRF スキャンデータを 2次元に射影した点  $p_i$  への人の輪郭モデルの当てはめなどを行う場合が多いが、今回は、同一高さでなく当てはめが困難であることから、各パーティクルと点群との距離を  $d_i$  としてその距離から以下の式で評価する簡易なもの

Measurement System for Human Trajectory in Home Environment by Multiple Laser Range Finders

<sup>†</sup> Hiroshi Noguchi, Ryo Urushibata, Takahiro Sato, Takeshi Mori and Tomomasa Sato (The University of Tokyo)

した。

$$p(\mathbf{y}_i | \mathbf{x}_i) = \prod_{i=0}^m \exp\left(-\frac{(d_i - R)^2}{\sigma^2}\right)$$

ここで、 $m$  は、前景と判断された距離の数である。 $\sigma$  は分散項であり、経験的に定める。 $R$  は体の中心から体の輪郭への距離であり、胴回りでは、一定ではないが、簡易的に一定と仮定した値を用いる。現状は、15[cm]としている。

以上のモデルを用いたパーティクルフィルタによる追跡処理の流れを図 2 に示す。まず、スキャンデータ毎に背景差分処理、2 次元への射影する。ただし、背景差分だけでは、腰回り高さに LRF を配置するため、テーブル上の物体の移動や扉の開閉を誤検知する問題がある。住居内の家具などはほとんど動かないことに着目し、部屋のグリッドマップを構築し、マップ上の点群を除去することでこの問題に対処する。また、追跡処理を行う場合には、発見・消失の判断が必要であるが、消失については、数フレーム追跡失敗が生じると消失したと判断する。発見処理については、生成した近い点群をひとかたまりにしたセグメントに対して、最小二乗法で円当てはめを行い、その半径値が適切な場合発見とする。また、そのときの円の中心を初期値としてパーティクルを生成し、追跡を開始することにした。また、追跡処理時にもパーティクルの評価前に、明らかに存在しないと思われるパーティクルとして、グリッドマップおよびスキャンの前景情報を利用して不適切なパーティクルの重みを 0 としている。

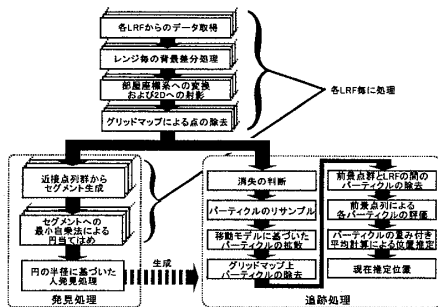


図 2: 人追跡処理フロー

#### 4 人位置追跡実験

LRF モジュールを実住居環境 (図 1) に持ち込んで、人位置計測を行った。図に示すように、住居内の腰位置高さになりそうな物品の上にモジュールは配置している。被験者は、20 代の男性一人暮らしであり、現状、モジュールを止めることなく、約 1 年間データ計測を実現している。

計測したデータの中から典型的な移動軌跡データを利用して、追跡についての評価を行った。実住居内において人の位置を取得するリファレンスをとることが困難であったため、手動で 2 次元に射影した LRF デー

タを見ながら、人位置を手動で入力し、リファレンスデータを作成した。各 LRF のモジュールの位置は、手動でキャリブレーションを行い、グリッドマップはレイアウト図から手動で作成した。利用したフレームは 709 フレームで、人位置を見失ったフレームはなく、追跡時の誤差は 18[cm] であった。胴回りの半径内に収まっていることや、リファレンス生成時の精度を考慮すると十分だと考えられる。

追跡時の様子と全体の移動軌跡について、図 3 に示す。背景のレイアウト図が利用したグリッドマップである。円の部分が人位置と推定された部分である。

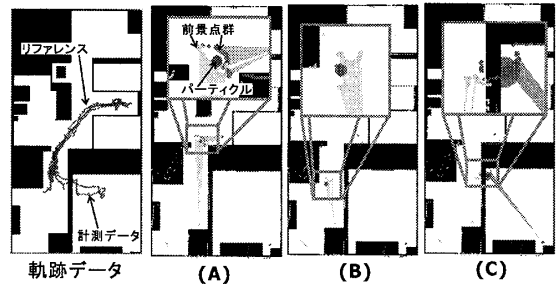


図 3: 計測した移動軌跡と追跡時の様子

図中 (A) では、高さが違うために輪郭が一致していないが、パーティクルがうまく収束していることがわかる。また、推定がうまくいっていない例としては、(B) の場合では、腕と胴の輪郭が見えており、腕の輪郭部分を胴と誤推定してパーティクルが集中していることがわかる。また、(C) では、襖の部分においてグリッドマップをまたぐような形になるため、パーティクルが分散していることがわかる。

#### 5 おわりに

実際の住居環境において、人位置を計測するための複数 LRF によるシステムについて述べた。住居内に簡単に持ち込み可能な LRF 計測モジュール群と、そのデータをネットワークで収集・蓄積し、人位置推定するソフトウェアから構成される。人位置は、背景差分処理や、グリッドマップによる処理の後に、パーティクルフィルタを利用して追跡している。実際に住居内にシステムを導入し、人計測が可能であることを実証した。

将来課題としては、ドアの開閉や机上操作、着座・直立状態などの輪郭情報などによる推定や、取得した移動軌跡データからの行動パターン把握などに取り組む予定である。

#### 参考文献

[1] H. Zhao and R. Shibasaki: "A Novel System for Tracking Pedestrians Using Multiple Single-row Laser-Range Scanners", IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part A: Systems and Humans, **35**, 2, pp. 283-291 (2005).  
 [2] D. F. Glas et al.: "Laser-based Tracking of Human Position and Orientation Using Parametric Shape Modeling", Advanced Robotics, **23**, 4, pp. 405-428 (2009).