

# レーザレンジファインダと鏡を用いた床上センサによる 人の歩行追跡と物体検出

## Human Tracking and Object Detection by Floor Sensor composed of Laser Range Finder and Mirror

正 長谷川勉 (九州大)      正 村上剛司 (九州大)  
学 田中真英 (九州大)      正 倉爪 亮 (九州大)

Tsutomu HASEGAWA, Kyushu University, hasegawa@ait.kyushu-u.ac.jp  
Kouji MURAKAMI, Kyushu University, mkouji@ait.kyushu-u.ac.jp  
Masahide TANAKA, Kyushu University, tanaka@irvs.is.kyushu-u.ac.jp  
Ryo Kurazume, Kyushu University, kurazume@ait.kyushu-u.ac.jp

This paper describes a sensing system for human tracking and object detection in everyday environment. The system is designed to be one of components of an informationally structured room where an aged or disabled resident lives under the support of care worker and/or robot. Human tracking and detection of small everyday objects are performed to help care work by simple and low cost hardware without serious invasion of resident's privacy.

**Key Words:** Human Tracking, Floor Sensing, Everyday Objects, Laser Range Finder and Mirror

### 1 緒言

高齢社会となった日本をはじめ、多くの先進国では高齢者の介護や生活支援に関する諸問題が生じており、生活支援をするロボットの開発が期待されている。しかし、特別に整備された工場と異なり、人間の生活環境はロボットにとって極めて複雑であるうえ、要求される作業も多様であるため、汎用の生活支援ロボットの実現は難しい。そこで、環境や作業を限定した形で、ロボットによる生活支援が試みられている。病院や高齢者介護施設で入居者の生活を支援するロボットの研究開発はその一例である。見守りや日用小物の取り寄せなどがロボット作業として考えられている。入居者の依頼に応じて、ロボットが床や棚に置かれた日用品を手渡してくれるようになれば、看護師、介護士などへの負担の軽減にもつながる。

ロボットがこのような生活支援を行うためには日用品や人の位置を認識しなくてはならない。しかし、人間の生活環境は家具什器の配置変化、人・移動体の移動など動的変化のある環境になっており、ロボット自身で日用品や人の位置を常に取得することは困難である。そこで、環境側に固定センサを配置して情報を取得し、必要に応じてロボットへその情報を送信するという環境情報構造化が提案されている。生活環境での人の検出とその位置や運動の計測は、環境情報構造化の基本的なセンサ機能であり、先行研究も少なくない。一方、小物の生活日用品の位置計測や追跡については、研究例は少ない。

レーザレンジファインダをその走査面が水平になるよう設置して人の位置や運動を検出するという手法が提案されている<sup>1)2)3)</sup>。レーザビームを回転スキャンすることにより光平面が形成され、その光平面と物体との交差位置を計測できる。目的や環境により、脚や胴部の計測、あるいはそれらの組み合わせによる追跡が試みられている。日常生活空間では、対象となる人とレーザレンジファインダとの間にソファやテーブルなどの大きな家具が存在すると、対象が検出できなくなってしまう。また、床上に置かれた、あるいは放置された小物を検出することはできない。

床に圧力センサを敷き詰め、センサにかかる重さから人の足を検出する研究も報告されている<sup>4)</sup>。センサからは足と床が接している部分の領域を二値画像として取得することができ、その形から進行方向や左右の足の識別などを行っている。しかし、軽い日用品などは検出できず、敷き詰センサや配線などの費用が高くなる。

高齢者介護施設など多くの部屋でロボットによる生活支援を実現するためには、省エネルギー、省スペース、そして低コストでのシステム構築が望ましい。できるだけ少ない数のセンサでより多くの情報を取得することが求められている。また、カメラ等のビジョン系センサを生活空間に導入すると、生活者のプライバシーが侵される恐れがあり、好ましくない。本論文では、これらの要請・制約をみとすものとして、床上センサによる歩行追跡および物体検出を行う手法を提案する。

### 2 床上センシングシステム

#### 2.1 床上センサ

床上センサ<sup>5)</sup>は、Fig.1, Fig.2 に示すように LRF と鏡を組み合わせで構成されている。走査面が床上約 2.5cm で水平になるよう部屋の壁面に接した床に LRF を固定し、また部屋側壁の床近傍に細い帯状の鏡を配置してある。これにより床面直上を LRF からの直接レーザビームと、鏡に反射したレーザビームが走査することになる。床上の物体がないときは壁までの距離が、また物体があるときはその表面までに距離が得られ、その距離比較により物体を検出しその位置を計測できる。鏡により、2 つの異なった方向からのレーザが床上を掃引することになるので、複数の物体があってもオクルージョンの影響を低減できる。鏡を部屋の両側面に配置すれば、さらに低減できる。

#### 2.2 床上センサの基本動作と性能

LRF は 270° の掃引角度範囲で約 0.25° の間隔で奥行きデータを得ることができる。この実験環境では約 180° の範囲からのデー

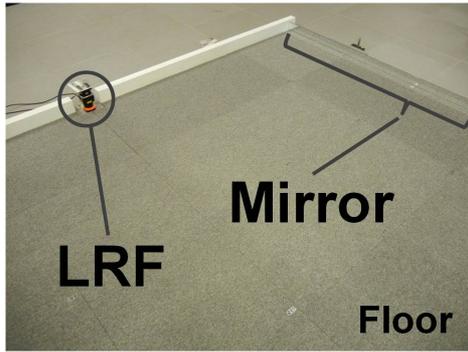


Fig.1 Setups of Floor Sensor



Fig.3 Human positioning

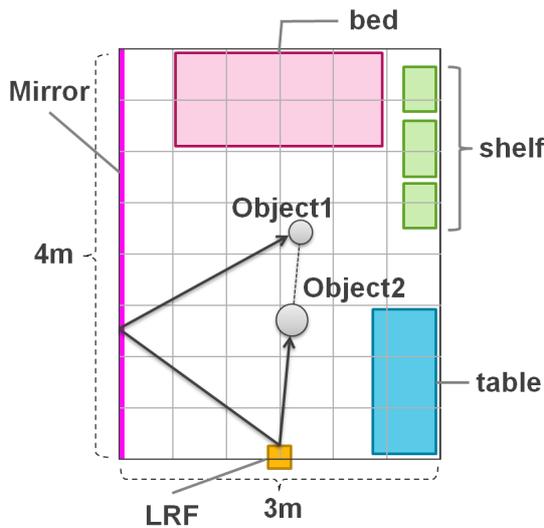


Fig.2 Top view of Floor Sensor and Furniture

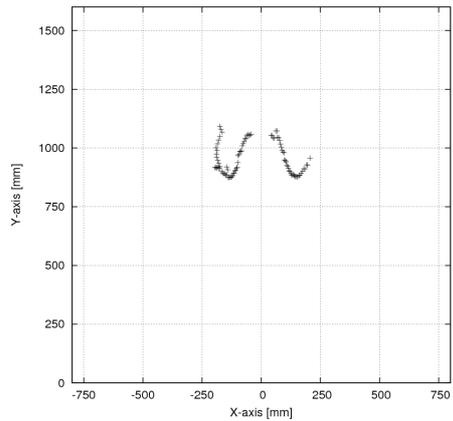


Fig.4 Profile position data of human feet

タを用いている．1回の走査時間は25msである．物体表面から離散的な点群の距離データがえられる．LRFからの直接レーザとミラーの反射レーザで点群が得られるが，その数は物体の形と位置姿勢によって異なる．LRFから約1mの位置でLRFの方向をむいて直立した人の足から得られたデータをFig.3, Fig.4に示す．右足および左足から得られた測定点の数はそれぞれ55, 40個で，隣接点間距離は約10mmであった．LRFからの距離が2mになると得られる点の数はほぼ半減し，隣接点間距離は約18mmとなった．

### 3 歩行追跡システム

#### 3.1 床上センサによる歩行追跡

床上センサは，簡便でコストも比較的安く，設置も容易である．床に落ちた小さな日用品の検出および位置計測ができる．床面圧力センサでは計測できない軽い物体でも検出できる．一方，人の歩行計測に使おうとすると以下のような困難に直面する．

1. 接地脚は検出できるが空中の遊脚は検出できない
2. 接地脚の全周輪郭は得られずLRFに向いた面の輪郭しか得られない
3. レーザ照射点の位置データはノイズを含む

これらの理由により，一回のスキャンデータのみで，人の足を識別することはできない．ある程度連続した時間のスキャンデータを分析して，識別することになる．

#### 3.2 歩行追跡システムの設計と処理の流れ

人の歩行運動の特性を考慮すると，どの程度の時間に得られたスキャンデータを用いるかにより，得られる歩行情報が異なる．そこで，以下のようなパイプライン処理を行い，その結果を組み合わせることにより安定な歩行追跡と状況認識を行うことにした．

- (1) 1回のスキャンデータに対する処理  
足候補や静止物体位置を求める処理であり，近接点のクラスタリングを行う
- (2) 過去複数回のスキャンデータ処理による足識別処理  
足が接地してから離れるまでの接地形状変化から足を識別する処理
- (3) 過去40回程度のスキャンデータによる歩行識別  
両足が交互に接地し，離れる様子から足の移動を識別し，運動方向や速度を計測する
- (4) 過去80回程度のスキャンデータによる軌跡計測  
数歩の動きから運動方向と軌跡を計測する
- (5) 長期のスキャンデータによる静止物体計測  
停止中の足，静止物体等の識別を行う

システム構成図をFig.5に示す．(1)の処理は常に結果が得られるが，ノイズによる変動がある．(2), (3), (4)の処理は，人が歩行

していなければ結果が得られない。(5)の処理と組み合わせることにより、停止しているときでも、静止物体と歩行者の足との識別が可能になる。

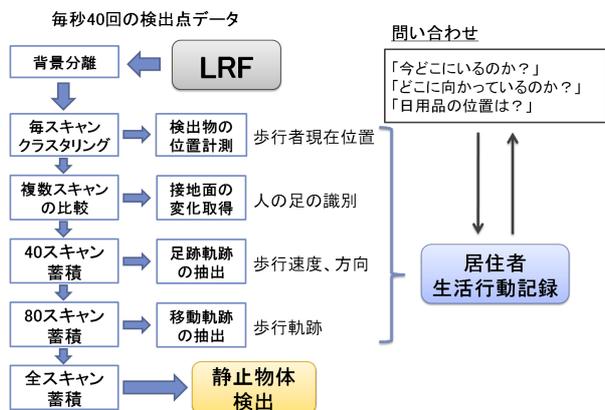


Fig.5 Process flow of Human tracking and object detection

#### 4 歩行特徴を利用した足跡抽出

##### 4.1 人の足と日用小物品の識別

人の歩行は、足が床に着いてから離れるまでを1周期とした時、その間の床と足の位置関係を以下の3つのステップに分解することができる。

1. かかと部分が床と接し始める
2. 足裏全体が地面と接する
3. かかとから離れ始め、最後は足先が床と離れる

この様子を表したものが Fig.6 の左側の部分である。このように、人が歩行する際は足と床の接する部分が変わる。一方、日用品が床に置かれる場合、通常このように接地面が増減することはない。その特徴を利用すると、足の全周形状が得られなくても、また複数歩の運動を待たずに、足を識別できることがある。Fig.6 の右側に示すように、LRF のデータをクラスタリングし、その重心位置を求める。新たに出現したクラスタについて、複数のフレーム間での重心移動距離を求め、しきい値処理により、足の候補を得ることができる。

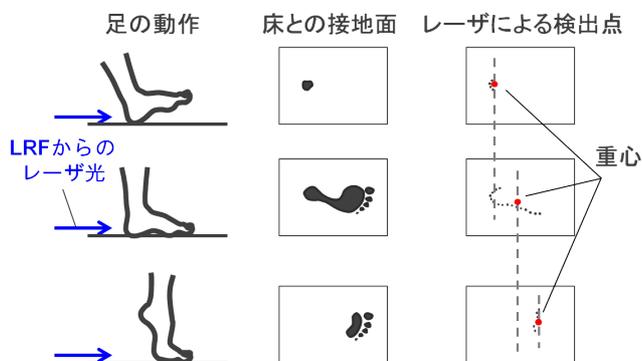


Fig.6 Foot print profile and sensor data

#### 4.2 識別実験

歩行中に、ペットボトルをおくという動作について、足跡およびペットボトルを識別する実験をおこなった。Fig.7 上で示すように、被験者が室内を歩行し、途中でペットボトルを床においた。

床面センサで得られたデータ中に、クラスタが出現し、スキャンの繰り返しに伴ってその重心移動距離が 30mm 以上であれば足と判定した。また、重心移動距離が 30mm に満たないまま 10 スキャン経過した場合、これを物体と判定した。Fig.7 下左は、2つの足と1つの物体と判定されたことを示す。右は LRF から得られたデータ(1スキャン)を示す。

実験全体で足の接地回数 70 回のうち、74.3% は正しく足と判定できた。またペットボトルをおいた回数 13 回のうち 76.9% は正しく判定された。



Fig.7 Recognition of human feet and placed object

#### 5 長時間の追跡処理

##### 5.1 長期観測データの処理

長期間のスキャンデータを用いることにより、人の歩行・停止の履歴や軌跡を計測することができる。この目的で、まず床面を 10mm x 10mm の正方形領域に量子分割しておき、目的に応じて定めた期間のスキャンデータについて、各領域で検出された LRF 検出点の数をカウントして記録する。計測したフレーム数と、カウント数の関係から

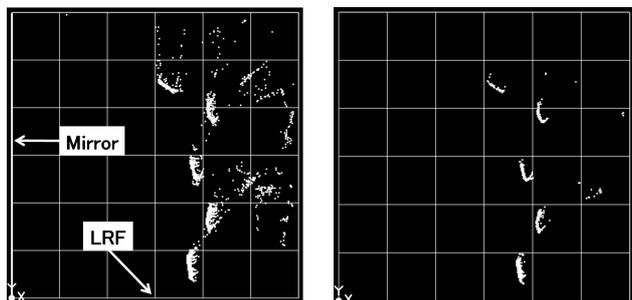
- (1) ノイズ
- (2) 歩行足跡
- (3) 家具などの静止物体

などを識別し、人の歩行軌跡、運動方向、家具の配置、日用小物の検出などが可能になる。固定家具や椅子などの可動家具についての事前情報があれば、過去のデータとの履歴と併せて処理する

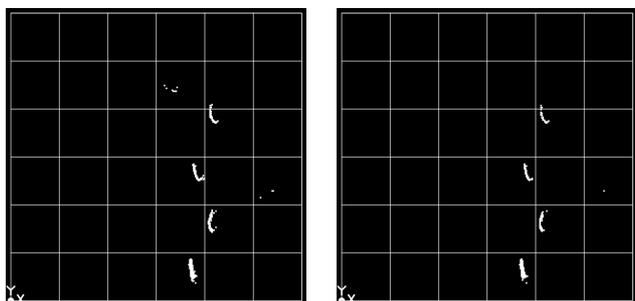
ことにより、ベッドからずり落ちた毛布や、倒れた人の検出も可能になると期待できる。

## 5.2 長期観測実験

実験環境で LRF 付近から歩き出し、遠ざかる方向に 5 歩進んだ時 80 フレームのスカンデータを取得、各領域で測定点が得られた回数を記録した。Fig.8(1) は 1 回でもカウントされた領域を全て表示したもので、多くのノイズを含んでいる。Fig.8(2) は、3 回以上カウントされた領域のみを表示し、また (3) は 5 回以上カウントされた領域を、さらに (4) は 7 回以上カウントされた領域を表示したものである。この歩行速度であれば、7 回以上計測点が得られた領域のみのクラスタを用いれば、歩行軌跡や歩行速度などを計算できると考えられる。



(1) Distribution of LRF data for 80 scans (2) LRF data having more than 3 count



(3) LRF data having more than 5 count (4) LRF data having more than 7 count

Fig.8 Processing time series of human foot print

## 6 結言

レーザレンジファインダとミラーを組み合わせた床上センサを用いた歩行追跡および日用小物品検出手法について述べた。これは、病院や高齢者介護施設での入居者の歩行追跡や日用小物品の検出を目的としたもので、これにより介護ステーションでの入居者の状況把握や、生活支援ロボットの導入による生活支援を容易にできると考えている。

床上センサは、設置と保守が容易で比較的低コストあること、画像系のセンサでないのでプライバシー侵害のおそれ少なく、日常生活環境への導入の抵抗がないこと、家具什器の配置された部屋であっても、床面直上の水平面は隠蔽(オクルージョン)を受けにくく、軽量小型物品の検出も容易であること、などの特徴がある。

これら特徴を生かしつつ、歩行追跡と小物日用品の検出を実現する手法を提案し、ソフトウェア実装と実験により有効性を示した。

## 文献

- [1] 毛利啓太, 長谷川勉, 倉爪亮, “環境固定センサとロボット搭載センサによる協調センシング”, ロボメカ講演会講演論文集, 626, pp.3854-3861, 2008.
- [2] 倉爪亮, 山田弘幸, 曾我部光司, 村上剛司, 岩下友美, 長谷川勉, “SIR/MCMC パーティクルフィルタを用いた分散カメラとレーザによる複数移動体の同時追跡”, 日本ロボット学会誌, Vol.28-1, pp.65-76, 2010.
- [3] Oscar Martinez Mozos, Ryo Kurazume, and Tsutomu Hasegawa, “Multi-Part People Detection Using 2D Range Data”, *Int. J. Soc. Robot*, Vol.2-1, pp.31-40, 2010.
- [4] 森武俊, 星名真幸, 森下博, 原田達也, 佐藤知正, “センシングフロアによる人の識別・追跡”, ロボメカ講演会講演論文集, vol.19-4, pp.56-64, 2003.
- [5] 長谷川勉, 野原康伸, 村上剛司, “生活環境における日用品情報構造化のための床面センシングシステム”, 日本ロボット学会誌, Vol.28-9, pp.1144-1147, 2010.