

レーザレンジファインダを用いた床上センシングによる室内生活行動の計測

○田中 真英, 表 允哲, 辻 徳生, 長谷川 勉, 諸岡 健一, 倉爪 亮 (九州大学)

Measurement of Indoor Human Behavior of Everyday Life Based on Floor Sensing

○Masahide TANAKA, Yoonseok PYO, Tokuo TSUJI, Tsutomu HASEGAWA, Ken'ichi MOROOKA, Ryo KURAZUME (Kyushu University)

Abstract: This paper describes a method of measurement of human behaviors in a room together with the layout of objects on the floor. The method uses only one laser range finder (LRF) installed in the room and a strip of mirror attached to a side wall close to a floor. The footprints data are extracted from the sensor data based on human walking model. Our experimental results validate the effectiveness of the proposed method.

1 緒言

ロボットによる生活支援や、室内に設置されたセンサによる見守りシステムは、超高齢社会の諸問題を解決する有効な手段である。例えば介護施設などで定期的に行われる配膳や掃除などの作業をロボットが行うようになれば、介護者の負担を軽減することができる。また、生活者の行動を観測し、異常行動の検知や生活習慣の変化を検出することができれば、効率的な介護サービスを行うことができる。

これらを実現するためには、環境内での生活者の位置や行動を常に把握することが不可欠である。しかし、ロボットに搭載できるセンサの数や処理能力には限りがあるため、ロボット単独で生活者の位置情報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や見守りシステムへ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 [1]。

我々はこれまでに、レーザレンジファインダ (LRF) を利用して床上に存在する物体を検知し、その位置や形状情報を一つのデータベースに集約するシステムを提案した [2]。本システムでは LRF を計測面が水平になるように床上に設置して、回転スキャンをする。人や家具什器の足、床上に置かれた日用小物などにレーザが当たり、距離データが計測できる。しかし、一回の計測による距離データからは輪郭の一部分の形状情報しか得る事ができないため、居住者の足を識別することは難しい。また、レーザの計測面は床上すぐの高さにあるため、足が浮いているときはデータが取得できない。

本研究では、周期的に継続して得られる計測値と生活行動モデルとにもとづいて、居住者の行動認識を行う。居住者の足は、通常の歩行時、立位停止時、イス着座時のそれぞれで異なった動きをする。ベッドやソファに横臥したときは LRF では検出できなくなるが、その前後にそれぞれの家具への接近・離脱歩行が観測できる。そこで、これらの異なった生活行動毎に行動モデルを作成しておき、LRF で得られる床面計測データと照合し、生活行動を推定する。

2 床上センシングシステム

床上センシングシステムは、北陽電機製の LRF (Fig.1(a)) と鏡によって構成されている (Fig.1(b))。LRF はレーザの走査面が床上約 2.7cm で水平になるように、高さや傾きを調整できる複数のステージと組み合わせて固定している。鏡は Fig.1(c) のように部屋側壁の床近傍に細い带状に配置してある。これにより床面直上を LRF から直接レーザ

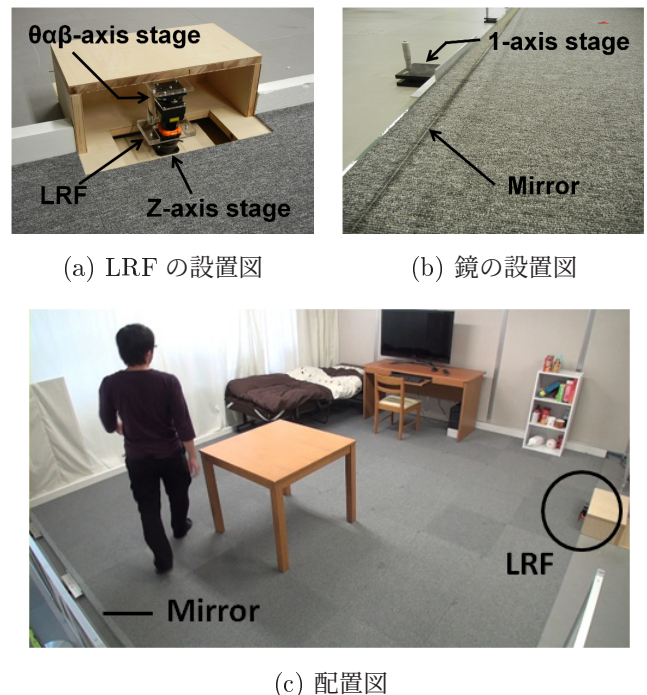


Fig.1 床上センシングシステムの構成

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の距離が得られる。この差分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。

LRFを利用する利点が多い。カメラなどのビジョンセンサと異なり室内照明の影響を受けることなく計測が可能である。また、計測箇所が床上の光平面上のみなので、生活者へのプライバシーを侵すことも少ない。更に、人の足やロボットの車輪だけでなく、床に落ちた、あるいは放置された小さな日用品や、タオルや衣服など軽量の物品も計測することができる。

床上をセンシングする別の手法として、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などを検出する研究が報告されている [3]。しかし、この手法では重さの軽

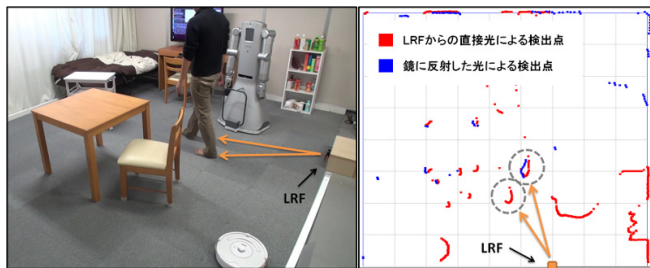


Fig.2 床上センシングによる計測データ

い日用品などは検出できず、また圧力センサを敷き詰めるための環境配備に多額の費用を要するという問題点も残る。本システムのような、LRFを1つだけ用いて様々な物体を検出するシステムは、省エネルギー、省スペース、そして低コストでの実現が可能であり、将来的に病院や介護施設などへの導入も容易である。

3 システム処理

3.1 検出物の識別

一回のスキャンによって得られるデータにはノイズが多く含まれる。Fig.2は床上センシングで計測した距離データを二次元座標に変換した図であるが、家具やロボットなどが混在している状況では、ノイズを含む多くの点群が計測される。この1回のスキャンデータから人の足を識別することは難しく、ある程度連続した時間のスキャンデータを分析して、識別することが必要である。また、人の足だけでなく、イスやワゴンなどの家具の足、そしてロボットの車輪など、多様な物体が計測されるため、人の行動を計測するにはそれら他の物体との識別を行い、人の足だけ抽出する必要がある。

Fig.3に検出物体の識別処理の流れを示す。LRFから得られる距離データは、事前に取得しておいた壁までの距離データを用いて背景差分処理を行う。その距離データを2次元座標に変換し、隣接点同士の距離を閾値で区切ることによって、点の集まりとしてクラスタを生成する。その後、各クラスタが何であるのか識別する。我々の研究グループでは病院や介護施設などの一室を対象環境としているため、床上に現れる物体を車イス、ワゴン、ロボット、静止物体、人の足の5種類に分けている。

LRFからは距離データと同時に反射強度を取得することができる。そこで、車イスやワゴン、ロボットなどの重要な対象物は、レーザが当たる部分に異なる種類の再帰反射材を取り付ける。再帰反射材の種類によって反射強度に差が生じるので、その差異を利用して識別を行う。更に、ワゴンなどには加速度センサを取り付け速度を算出し、計測中のクラスタの速度と相関を取ることで、位置同定およびクラスタの識別を行っている[4]。また、ロボットには反射強度が異なる再帰反射材を組み合わせ取り付け、反射強度の特徴を利用したマッチングを行う。オドメトリを利用せずに位置・姿勢を推定できる。

3.2 歩行モデルにもとづく足クラスタの追跡

人間は左右の足を交互に動かして歩行移動する。本システムでは、空中を移動している足(遊脚)は計測できず、接地している間の足(立脚)のみ計測することができる。そのため、歩行中の足クラスタは、Fig.4のように交互に計測さ

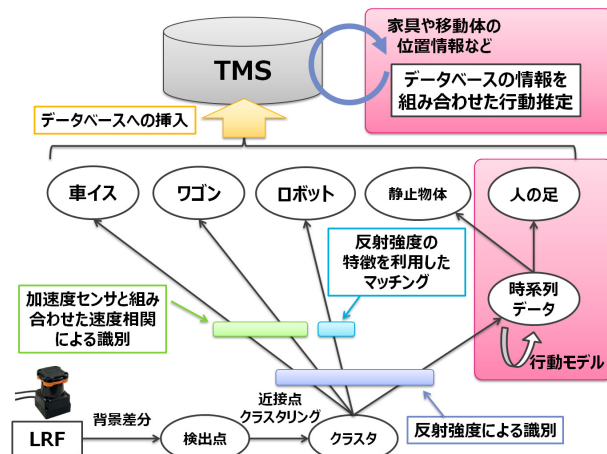


Fig.3 検出物体の識別処理

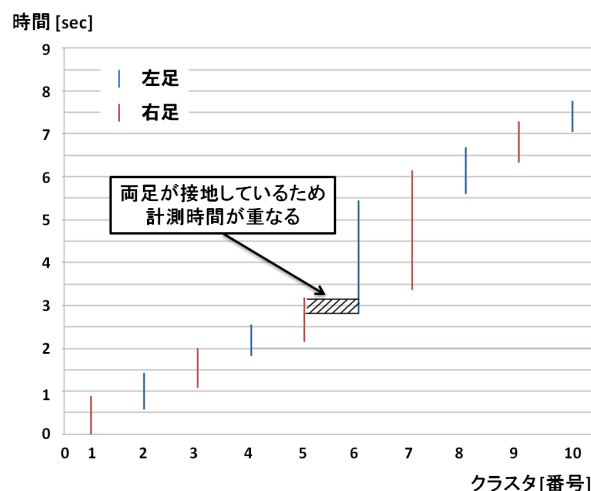


Fig.4 足クラスタの計測時間

れ、かつ左右の足の計測時間に重なりが生じる。これは、片方の足が床と接している間にもう片方の足が接地するためである。また、左右の足クラスタ間の距離は歩幅以内に収まる。そこで、クラスタの計測時間に重なりがあり、かつクラスタ間距離が歩幅以下のクラスタのみを抽出することで歩行の追跡を行う。

3.3 クラスタの分割と統合処理

本システムでは、床上2.7cmと低い位置で水平に計測をしているため、通常は立脚しか計測されない。しかし、歩行の様子は常に同じとは限らず、足の上げ方によっては空中を移動している遊脚も計測されることがあり、動かしている足が連続して計測され1つのクラスタと認識されることがある。その場合は、Fig.5の左に示すように計測データを二つの足のサイズを考慮して分割する。また、Fig.5の右のように、立脚に当たっているレーザ光を遊脚が移動中に遮ってしまい、立脚の計測が途切れることがある。この場合は、短時間の間に同じ場所で計測されたクラスタのデータが取得できるので、そのデータを統合する処理を行っている。

3.4 歩行状態と静止状態の識別

生活者が歩行中なのか、あるいは静止しているのかを認識することができれば、生活者の行動把握や異常事態の検知

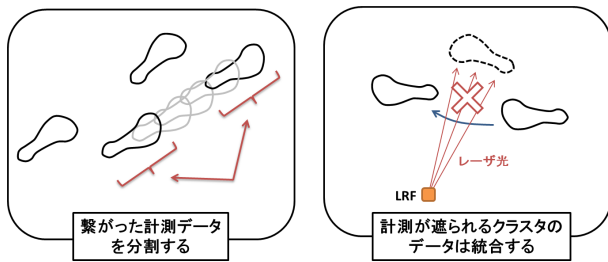


Fig.5 計測クラスタの分割や統合処理

などが実現できる．そこで，歩行状態と静止状態を識別するために，その人の歩行周期を利用する．足が接地し始めてから，再度同じ側の足が接地するまでの時間を，歩行の1サイクル時間と定義し，解析する．静止している時は，両足とも床と接している時間が長いため，次に踏み出す足が接地するまでの1サイクル時間は長くなる．一方，歩行している時は，1サイクル時間が歩行周期と等しくなる．また，通常歩行時は歩行周期が一定となる．したがって，1サイクルの計測時間から外れ値を除く処理により，歩行状態を抽出でき，外れ値を静止状態として識別することができる．

4 実験

4.1 実験内容

提案したシステム処理の有効性を検証するために追跡実験を行った．実験環境を Fig.6 に示す．男性 6 名を被験者とし，以下に示すシナリオのように環境内の 3 か所で立ち止まるデータを取得した．

行動シナリオ

1. 実験環境の左手前から進入し，テーブルの奥で静止
2. 棚の前へ移動し本を取り出す
3. 再びテーブルの方へ移動し，立ち止って本を読む
4. 本をテーブルに置き，テーブルを回り込んで退出する



Fig.6 実験環境

4.2 実験結果

実験結果を Fig.7, Fig.8 に示す．Fig.7 は被験者 2 の追跡結果である．入室から退室までの足クラスタを抽出し，移動軌跡を求める事ができた．Fig.8 は同じデータにおける 1 サイクル時間の変化を示している．グラフから，1 サイクル時間が長い 3 か所を確認することができ，この時のクラスタの位置を移動軌跡の結果と照合したところ，シナリオ通りの

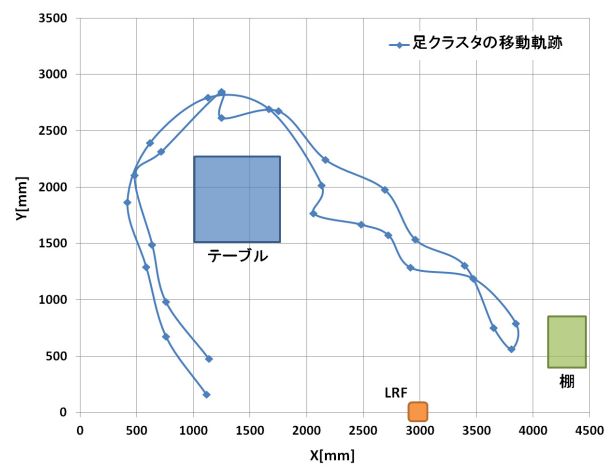


Fig.7 被験者 2 の移動軌跡

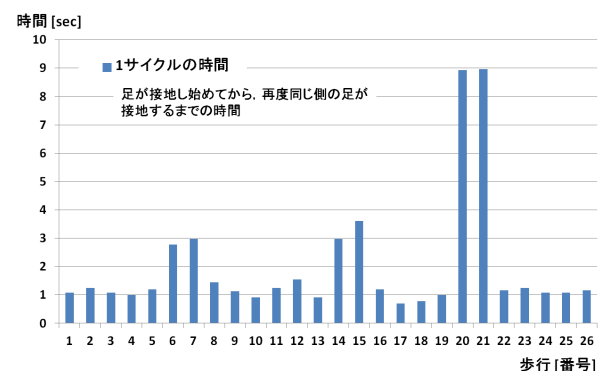


Fig.8 被験者 2 の歩行における 1 サイクル時間の変化

位置で静止していることが確認できた．被験者 1 の実験では，被験者がテーブルの奥に回り込んだ際に追跡に失敗した．テーブルの奥にはテーブルの足によるオクルージョン領域が存在しているため，レーザー光が全く届かない箇所や鏡からの反射波のみ当たる箇所がある．被験者 1 の追跡に失敗した原因は，直接波が届かず反射波のみ当たっている立脚に対し，遊脚がその反射光を遮るように観測されたためである．本来，計測され続けるはずの立脚がテーブルの足ともう片方の足によってレーザー光が当たらない状況になり計測が途絶えたので，次の足との計測時間の重なりが確認できなかった．よって追跡に失敗した．

次に各被験者の実験データから，外れ値を除いた 1 サイクル時間の平均 μ と標準偏差 σ を求め，歩行状態と静止状態を識別できるかどうかを試みた．今回の実験シナリオは 30 ～ 40 秒程度であり，追跡に失敗した被験者 1 を除くと各被験者の約 30 歩分のデータである．ここでは外れ値を除く有効範囲として $\mu \pm 2\sigma$ を設定した．

Table.1 に各被験者の実験データにおける 1 サイクル時間の平均と標準偏差を示す．被験者 1 の追跡は失敗し，歩行状態の計測データが欠損しているため，平均，標準偏差ともに大きくなっている．それ以外の被験者については，1.1 ～ 1.2[sec] 程度の歩行周期が取得でき，有効範囲を超えた 1 サイクル時間を静止状態として識別することができた．

Table 1 1 サイクル時間の平均と標準偏差

被験者	平均 μ	標準偏差 σ
person1	1.97	1.36
person2	1.11	0.11
person3	1.14	0.04
person4	1.20	0.17
person5	1.16	0.09
person6	1.11	0.24

5 結言

提案した歩行モデルにもとづき、計測データから足を抽出して生活者の追跡を行った。また、歩行周期を利用した歩行状態と静止状態の識別が有効であることを示した。本発表では、イスへの着座やベッドに上がるといった、歩行とは異なる日常的生活行動についてのモデルを定義していないため、今後はそれらの行動データを分析し、追跡かつ行動の推定が可能なシステムの実現を目指す。また、オクルージョン領域に足が進入した場合の対処についても今後の課題である。

文献

- [1] 村上剛司, 長谷川勉, 木室義彦, 千田陽介, 家永貴史, 有田大作, 倉爪亮, " 情報構造化環境における情報管理の一手法 ", 日本ロボット学会誌, Vol. 26, No. 2, pp. 192-199, 2008.
- [2] 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.
- [3] 森武俊, 星名真幸, 森下広, 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 ", ロボティクス・メカトロニクス講演会 ' 03 講演論文集.
- [4] 森達則, 田中真英, 辻徳生, 長谷川勉, 諸岡健一, 倉爪亮, " 加速度センサと床上レーザレンジファインダを用いた移動物体の位置同定 ", 日本ロボット学会