

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

森 達則 (九州大) 田中 真英 (九州大) 辻 徳生 (九州大)
長谷川 勉 (九州大) 諸岡 健一 (九州大) 倉爪 亮 (九州大)

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、ロボットに搭載されたセンサのみ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。

我々は、一軸レーザレンジファインダ (LRF) を計測面が水平になるように床上に設置して、人の位置及び家具什器、床上の小物の配置変化を計測するシステムを構築している。しかし、これまでに構築したシステムによって、そこに何かがあるという情報が分かっても、それが何であるかという識別が困難であった。例えば、作業対象物を載せたワゴン上の物体をロボットが取りに行く場合に、ワゴンの候補となりうる位置は分かっても、どれがワゴンなのかまでは特定できない。そこで、本稿では、加速度・角加速度センサをワゴンに取り付け、床上センシングシステムと統合し、対象物の識別と位置の検出を同時に行うシステムを開発する。提案システムにより、外部からセンサ領域内に入ってくる台車でも識別が可能になり、ロボットに作業するための位置情報を提供することが可能になる。

2. 従来研究

LRF 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 [1][2][3]。人や自転車、車などの移動体の検出・識別を行う手法 [4] が提案されている。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。これまでの研究では光

走査面を人の腰あるいは脛の高さに設定し、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。しかし、日常生活空間では、対象となる人と LRF 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 [5]。しかし、軽い日用品などは検出できず、敷き詰めセンサや配線などの費用が高くなる。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。

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。また人のプライバシーをできるだけ侵害しないことが求められる。本論文では、これらの要請・制約をみたくものとして、床上 LRF と加速度計による物体の識別と位置検出を行う手法を提案する。

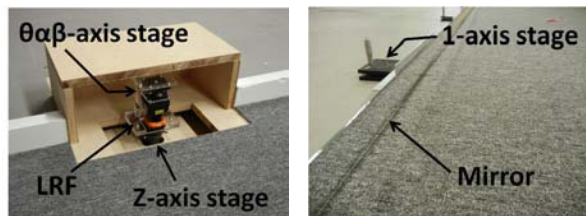
3. 床上センシングシステム

3-1 床上センサ

床上センサ [6] は、図 1(a) に示す LRF とその高さや傾きを調整するための複数のステージを組み合わせたものと、図 1(b) に示す鏡によって構成されている。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。これにより図 2 に示すように、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 つの異なる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。

3-2 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得られる。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。図 3(a) にワゴンを置いた時の様子を示す。LRF は手前に設置されており、このとき



(a) LRFの設置図

(b) 鏡の設置図

図1 床上センシングシステムの構成

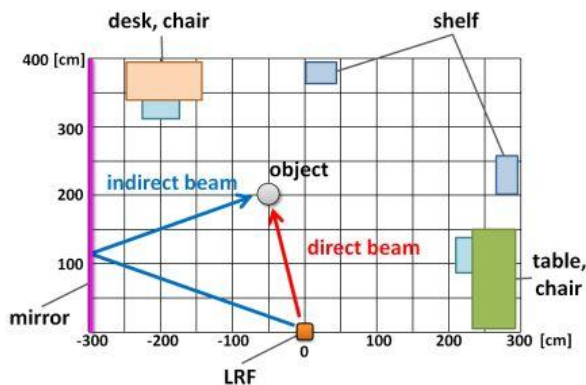


図2 実験配置図

LRFからは3(b)のようなデータを得ることができる。レーザを床すぐの高さで水平に走査させているため、キャスターが付いている柱の部分のみ検出点を得られる。各足を構成する点の数は5~8点得ることができ、レーザが直接当たった点と、鏡からの反射によって得られた点から構成される。

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。また、床に落ちた小さな日用品の検出や、床面圧力センサでは計測できないような軽い物体でも検出できる。しかし、人が持ち上げて空中を移動した物体は検出・追跡ができない。さらに、ワゴンの足の配置など物体の形状情報を用いて識別しようとした場合に、近くにある人の足や床上の日用品を同時に検出するので、検出データのみを用いて対象を識別することは難しい。森ら[4]は、レーザレンジファインダを用いて移動体の検出・識別を行っているが、形状は見え方によって変化し死角に入ることによってデータがとれないこともあるため、輪郭だけで対象ごとにデータを分離し識別することは困難であると指摘している。そこで、床上センサと加速度センサの情報を統合して識別する手法を提案する。

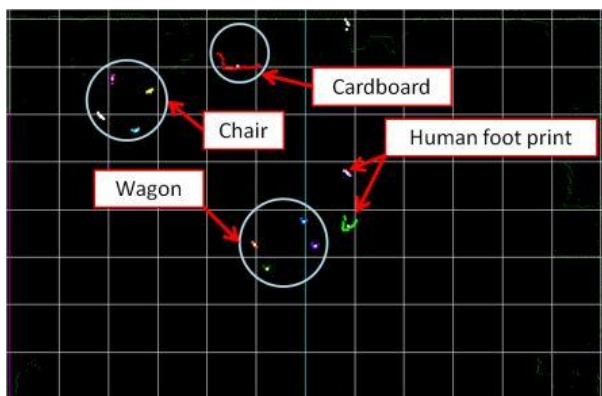
4. 加速度計による速度・位置計算

加速度計により得られた加速度を積分すると速度を得ることができ、さらに、速度を積分すると位置が求まる。しかし、単純に積分すると誤差が蓄積し、時間が経つにつれて値が大きくなることになる。

そこで、停止状態を判定し、速度のリセットを行う。加速度の値が一定時間、一定範囲内に収まるときに、対象物は停止していると考えられる。その際に、速度を0に設定する。停止状態判定の閾値は各軸の加速度の分散に設定する。これにより、誤差の蓄積を防ぐ。この処理



(a) 実験環境



(b) スキャンデータ

図3 実験の様子

を行わない場合と、行う場合の比較結果は図4の通りとなる。図4はワゴンを直進運動させたときの速度と移動距離の結果である。縦軸はワゴンの速度と移動距離、横軸は時間を示している。図4(a)は停止状態判定の処理を行う前、図4(b)が行った後の結果である。ワゴンは2m直進させた後10秒間静止させ、再び2m直進させる。停止状態判定の処理を施す前では、積分誤差が蓄積し、ワゴンが静止しているにも関わらず、速度が上昇し、移動距離も増加している。一方、停止状態判定の処理を行った場合は、ワゴンが静止している状態が反映されている。

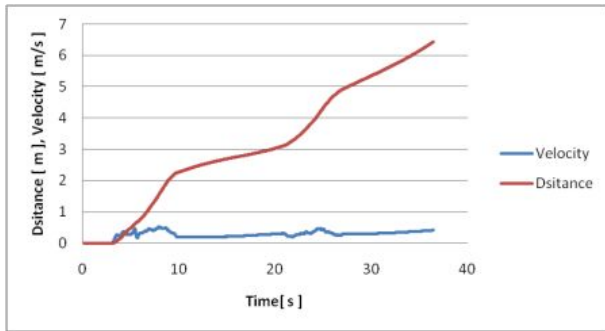
2mの直進でも、計測結果は2m以上となっており、加速度計のみでは、位置が正確に計算できないことが確認できる。

5. ワゴン追跡システム

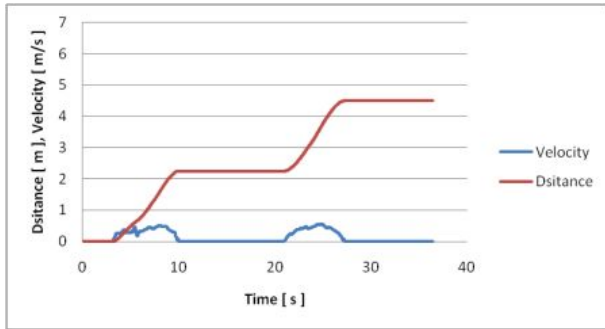
5-1 ワゴン追跡システムの設計と処理の流れ

床上センシングシステムによって計測されたデータに対し、以下のようなパイプライン処理を行い、その結果を加速度センサと組み合わせることによりワゴンの足の識別と位置計測を実現する。

- (1) 各スキャンデータに対して近接点のクラスタリングを行う。この処理によりワゴンの足などのパーツが求まる。



(a) 停止状態判定前



(b) 停止状態判定後

図4 停止状態判定処理前後での比較

- (2) 連続して計測されたスキャンデータに対し、重心距離によって、クラスタ同士を対応付ける．これにより時系列でのクラスタの位置が求まる．
- (3) クラスタの重心の移動量から対象物の運動方向や速度を計算する．
- (4) 加速度計で計測されたデータに対しても積分し速度を計算する．
- (5) クラスタの重心の速さと加速度計で計算された速さの相関を取り、相関値が高いものをワゴンの足の候補とする．
- (6) ワゴンの足の候補の組み合わせにおいて、それらの距離からワゴンの足の構成するクラスタを推定し、ワゴンの位置を計算する．

システム構成図を図5に示す．

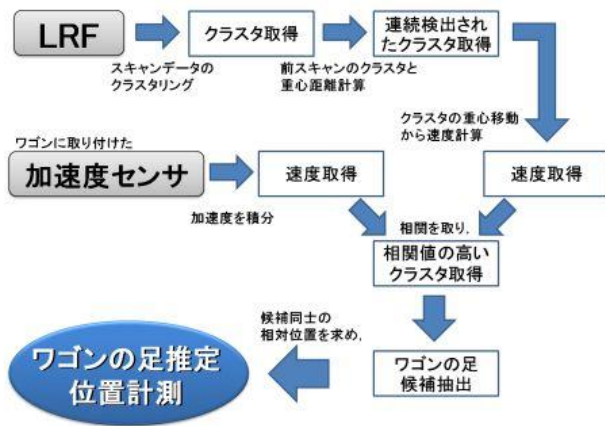


図5 ワゴン追跡システム構成図

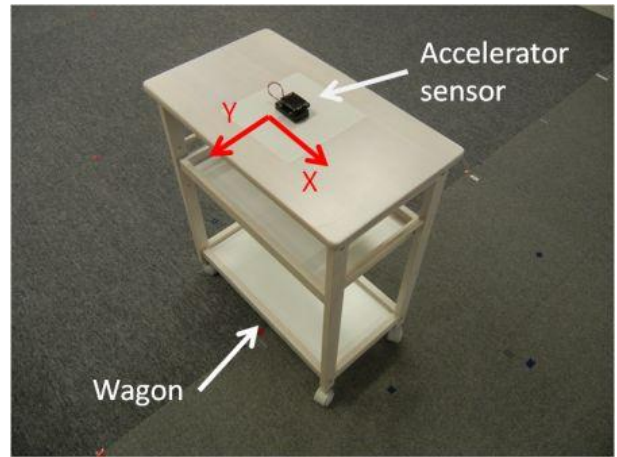


図6 加速度センサをワゴンに取り付けた様子

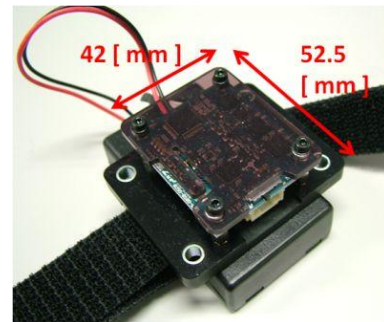


図7 IMU-Z

6. 計測実験

設計したシステムの動作検証を行った．実験内容は以下のとおりである．まず、図6のようにワゴンに加速度センサを取り付ける．実際に利用する際は、天板の背面などに取り付ける予定である．本実験で使用した加速度センサはZMP製IMU-Zである(図7)．ワゴンをフロア内で直進させ、床上センシングシステムと加速度センサによりデータを取得する．取得したデータを解析し、ワゴンの位置を推定する．実験環境を図3(a)に示す．フロア内で人がワゴンを押しながらデータを取得する．図3(b)は床上センシングシステムにより得られた計測データの一部である．ある時間におけるワゴンの足の位置とワゴンを押している人の足が検出されている．また、フロア内の椅子や周辺物も検出されている．実際に計測実験を行っている様子を図8に示す．ワゴンを押しながらフロア内を直進し、データを取得する．

図9に計測データから得られた速さの結果を示す．赤いグラフが床上センシングシステムから算出した速さ、青いグラフが加速度センサから得られた速さである．相関があることが分かる．このように相関値の高いものをワゴンの足であると判定する．次に、設計したシステムによりワゴンの位置を推定した結果を図10に示す．横軸はx軸方向の変位、縦軸はy軸方向への変位を表す．ワゴンの4つの車輪の位置と、相対位置が推定出来ている．

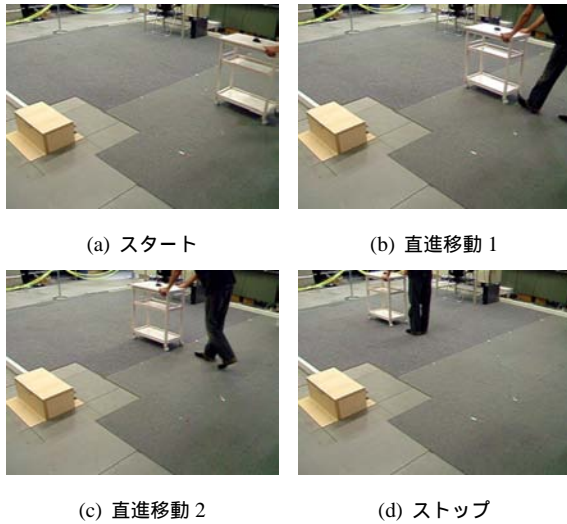


図 8 ワゴンを動かす様子

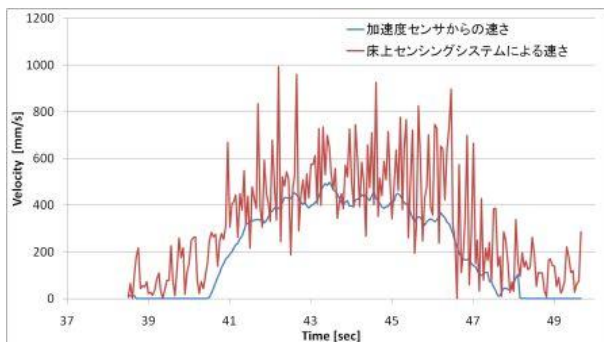


図 9 速さの相関関係

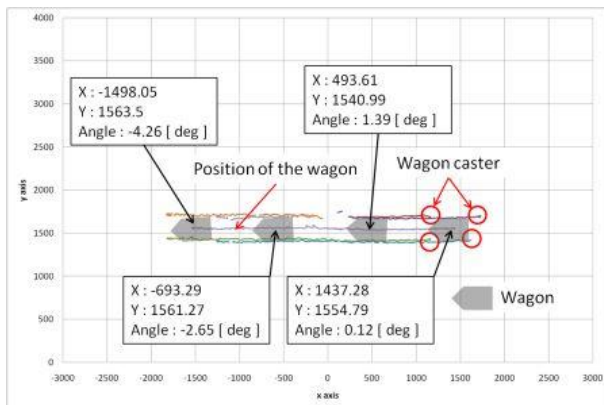


図 10 実験結果

7. 結言

LRF と加速度センサを組み合わせたワゴン追跡システムを構築した。これらの床上センサや加速度センサは、設置と保守が容易で比較的低コストであること、画像系のセンサでないのでプライバシー侵害のおそれが少なく、日常生活環境への導入の抵抗がないこと、などの特徴がある。これら特徴を生かしつつ、ワゴン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。

日常生活環境には、ワゴン以外にも、手押しの車椅子などが頻りに動かすものもある。本論文で提案した手法は、それらに適用しうる一般性を有している。

参考文献

- [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, 佐藤崇浩, 野口博史, 下坂正倫, 福井類, 佐藤知正, “グリッドマップ上における LRF スキャンデータの軌跡を用いた移動体検出・識別”, 第 10 回計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会, pp. 2145-2148, 2009.
- [5] 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.
- [6] 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.