

# 加速度センサと床上レーザレンジファインダを用いた 複数移動物体の位置同定

## Localization of Moving Objects with Inertial Sensor and Laser Range Finder

森 達則<sup>\*1</sup>, 田中 真英<sup>\*1</sup>, 辻 徳生<sup>\*1</sup>, 村上 剛司<sup>\*2</sup>

長谷川 勉<sup>\*1</sup>, 諸岡 健一<sup>\*1</sup>, 倉爪 亮<sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup>九州大学 <sup>\*2</sup>九州産業大学

Tatsunori MORI<sup>\*1</sup>, Masahide TANAKA<sup>\*1</sup>, Tokuo TSUJI<sup>\*1</sup>, Kouji MURAKAMI<sup>\*2</sup>,

Tsutomu HASEGAWA<sup>\*1</sup>, Kenichi MOROOKA<sup>\*1</sup>, Ryo KURAZUME<sup>\*1</sup>,

<sup>\*1</sup>Kyushu University <sup>\*2</sup>Kyushu Sangyo University

**Abstract**— We propose a method for localizing furniture on caster and wheelchair using accelerometers and a floor sensor. The floor sensor measures positions of objects on the floor using laser range finder. However, it is difficult to specify each object since the floor sensor acquire only outline of the object. The accelerometer is attached to the moving furniture and integrated with the floor sensor for localizing and specifying it. In this paper, we extend our previous system for localizing multiple objects and verify effectiveness for a robot working in an everyday environment.

**Key Words:** Accelerometer, Laser Range Finder

### 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。見守りや日用小物品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。

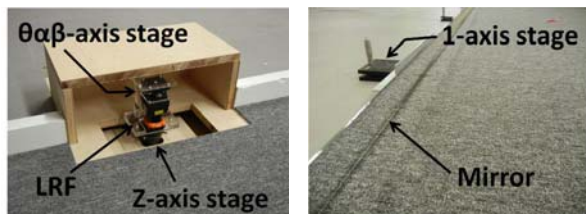
我々は、一軸レーザレンジファインダ(LRF)を計測面が水平になるように床上に設置して、人の位置及び家具什器、床上の小物の配置変化を計測するシステムを構築している。しかし、これまでに構築したシステムによって、そこに何かがあるという情報が分かっても、それが何であるかという識別が困難であった。例えば、作業対象物を載せたワゴン上の物体をロボットが取りに行く場合やロボットが車いすを押す場合に、ワ

ゴンや車いすの候補となりうる位置は分かっても、それがワゴンや車いすなのかまでは特定できない。そこで、我々の前発表 [1] 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について述べた。本研究では、システムを改良し、複数移動体の追跡を実現し、回転運動に対応させる。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複数の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。また、車いすの個々の位置を特定できれば、各患者の行動の履歴を取得することが可能になり、患者の状態を見守ることができる。さらに、本稿では、システムを用いた検証実験と生活支援を想定した応用実験について説明する。

### 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 [2][3][4]。人や自転車、車などの移動体の検出・識別を行う手法 [5] 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計測面が形成され、その計測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、脚や胸部の計測、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 [6]。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



(a) LRFの設置図 (b) 鏡の設置図

Fig.1 床上センシングシステムの構成

どの費用が高くなる。また、カメラ等のビジョン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。森ら [5] 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。本論文では、これらの要請・制約をみたまものとして、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. システム構成

#### 3.1 床上センサ

床上センサ [7] は、Fig.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、Fig.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 で水平になるように LRF を固定し、部屋側壁の床近傍に細い帯状の鏡を配置する。そして、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床面直上を走査する。床上に物体がないときは壁までの距離が得られ、物体があるときはその表面までの距離が得られる。この 2 つの距離比較により物体を検出しその位置を計測する。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、複数の物体が存在してもオクルージョンの影響を低減できる。

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。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が難しい軽い物体も検出できる。

#### 3.2 加速度・角速度センサ

加速度計から得られる加速度を積分し速度を求める。しかし、加速度センサ自体にドリフトが存在し、計測値にずれが発生する。そのため、そのまま積分すると誤差が蓄積し、正しい値が得られない。

そこで、オフセット値を計算し、実測値との差を取

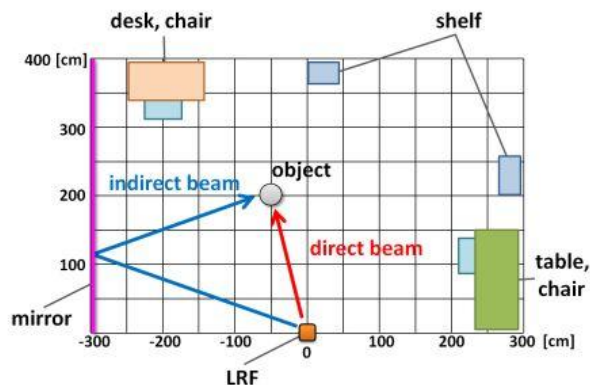
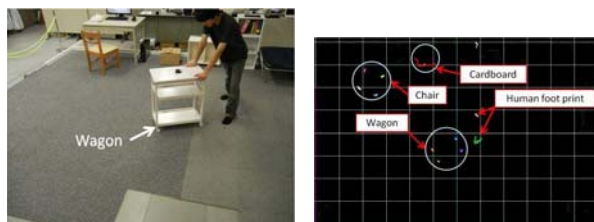


Fig.2 実験配置図



(a) 実験環境 (b) スキャンデータ

Fig.3 実験の様子

り、値を補正する処理を加える。さらに、停止状態を判定し、オフセット値の更新を行う。この時、加速度と角速度の値が一定時間、一定範囲内に収まる場合に、移動体は停止していると判定する。そして、停止している区間の計測値の平均を取り、これをセンサのオフセット値とする。この処理を移動体が停止するたびにを行い、その都度オフセット値を更新する。以上の処理を計測値に施し、誤差の蓄積を防ぐ。

また、回転運動に対応させるため、加速度を積分する際に、式 (1) のように角速度の情報も用いて固定した加速度の座標系における速度を求める。ここで、 $v_x$  は x 軸方向の速度、 $v'_x$  はひとつ前の時刻の x 軸方向の速度、 $a_x$  は x 軸方向の加速度、 $\omega$  はその時刻における加速度計の角度、 $T$  はサンプリング時間を表している。

$$\begin{bmatrix} v_x \\ v_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v'_x \\ v'_y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos(\omega) & -\sin(\omega) \\ \sin(\omega) & \cos(\omega) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \end{bmatrix} T \quad (1)$$

式 (1) で求めた速度を用いて、移動体の各車輪の速度を計算する。加速度計は移動体に固定されているので、加速度計の位置が特定できれば、移動体の各車輪の位置を計算できる。この車輪の移動量から速度を求める。

### 4. ワゴン追跡システムの設計と処理の過程

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移動体の識別と位置計測を実現する。システム構成図を Fig.4 に示す。

- (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。この処理により移動体の接地部などのパーツが求まる。

- (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を積分し速度を算出する。
- (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移動体のクラスタの候補とする。相関は式(2)により求める。ここで、 $v_{acc}$ 、 $v_{LRF}$  はそれぞれ加速度計、床上センサから求めた速さを表す。

$$\frac{\sum_t v_{acc} v_{LRF}}{\sqrt{\sum_t v_{acc}^2} \sqrt{\sum_t v_{LRF}^2}} \quad (2)$$

- (6) 移動体のクラスタの候補の組み合わせに対して、それらの距離から移動体の接地部を構成するクラスタを推定し、移動体の位置を計算する。

相関値の高いクラスタの中から、移動体のクラスタを推定する時には、移動体の接地部の位置関係と合致するクラスタを選び出す。移動体が複数ある場合は、それぞれの移動体のものではないクラスタがノイズとして含まれている可能性がある。そこで、相関をとった移動体のクラスタを、その位置関係を利用して見定める必要がある。以下のようにクラスタの数に応じて3つの場合に分けて推定処理を行う。

(i) クラスタが1つのとき

このときのクラスタは移動体のものであるとし、前時刻のクラスタとの差分を移動距離とする。

(ii) クラスタが2つのとき

クラスタ間の距離が移動体を構成する辺の長さとも一致すれば、この2つのクラスタは移動体のものであると判定する。

(iii) クラスタが3つ以上のとき

任意のクラスタから他の全てのクラスタまでの距離を求める。そのうち2つが移動体のモデルと一致していれば、辺を構成している3つのクラスタは移動体のものであると判定する。

ここまでは速さを用いて処理を行ってきたため、移動体の向きを一意に定める事ができない。そこで、現在のクラスタの位置と、前時刻のクラスタの位置との位置関係から得られた進行方向と加速度の情報から得られた進行方向を合わせて移動体の向きを定める。

## 5. 実験

### 5.1 動作検証実験

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、Fig.5のようにワゴンに Logical Product 社製の9軸ワイヤレスモーションセンサを取り付け、車いすに ZMP 製 IMU-Z を取り付ける。これにより、それぞれの加速度計から得た信号がどの移

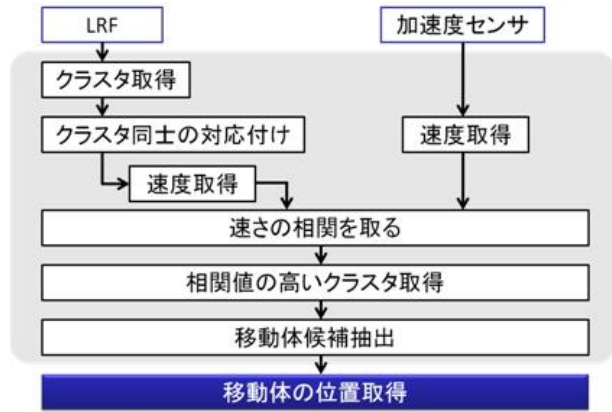
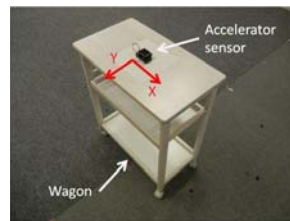


Fig.4 移動体追跡システム構成図



(a) ワゴン



(b) 車いす

Fig.5 加速度取り付けの様子

動体のものなのかが分かる。ワゴンと車いすをフロア内で移動させ、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、ワゴンと車いすの位置を推定する。実験環境を Fig.3(a) に示す。Fig.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位置とそれら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 Fig.7 に示す。

Fig.8 に計測データから得られた速さの波形を示す。Fig.8(a)、Fig.8(b) はそれぞれ加速度計から求めたワゴンと車いすの速さ、Fig.8(c)、Fig.8(d) は床上センサから求めたクラスタ1とクラスタ2の速さである。クラスタ1の速さとワゴンの速さの波形とクラスタ2の速さと車いすの速さの波形にはそれぞれ相関があることが分かる。このように相関をとることで移動体ごとにクラスタを抽出できる。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 Fig.9 に示す。同様に、車いすの位置推定結果を図に示す。横軸は x 軸方向の変位、縦軸は y 軸方向への変位を表す。ワゴンと車いすそれぞれ車輪の位置と、相対位置が推定出来ている。

### 5.2 生活支援ロボット応用実験

実際の生活環境を想定した実験を行った。実験にはワゴンとサービスロボットを使用する。まず、人がワゴンを押して部屋の中に入ってくる。次に本システムを利用して、ワゴンの位置をロボットに送る。そしてロボットはワゴンの位置情報を基にしてワゴンの上に

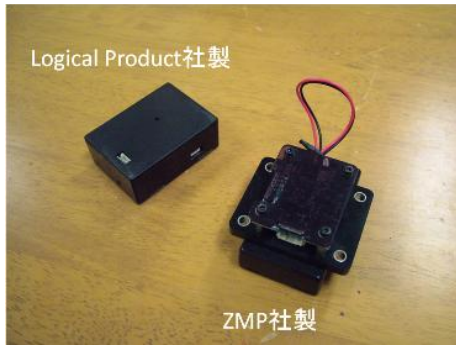
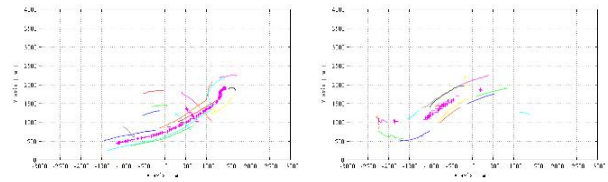
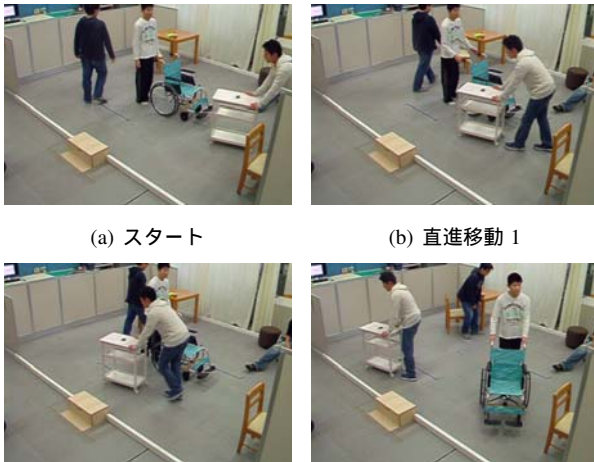


Fig.6 加速度センサ



(a) ワゴンの軌跡 (b) 車いすの軌跡

Fig.9 実験結果



(a) スタート (b) 直進移動 1  
(c) 直進移動 2 (d) ストップ

Fig.7 ワゴンを動かす様子



Fig.10 実験の様子

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、移動体の検出を実現する手法を提案し、実験により有効性を示した。また、生活支援を想定した検証実験を行いシステムの応用例を示した。

## 謝辞

動作検証及びデモンストレーションを行っていただいた安川電機株式会社足立勝氏、渡邊吉典氏に謝意を表す。

## 参考文献

- [1] 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ーレンジファインダを用いた移動物体の位置同定”, 第 29 回日本ロボット学会学術講演会, 3N2-1, 2011.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.

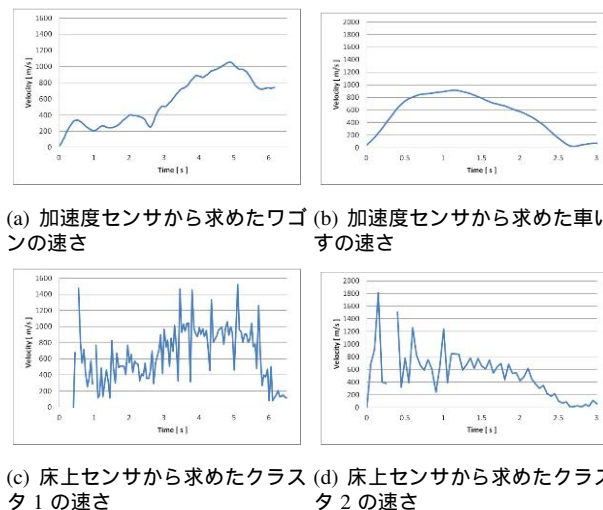


Fig.8 速さの相関関係

ある対象物を取りに行く。実験の様子を Fig.10 に示す。実際の実験では、システムで検出した位置にロボットが正確に移動し、作業を行えることを確認した。

## 6. 結言

LRF と加速度センサを組み合わせた移動体追跡システムを構築した。システムを改良し、複数の移動体の追跡と回転運動に対応させた。これらの床上センサや