

# 単眼カメラとレーザレンジファインダ搭載移動ロボットによる 人物追跡と自律帰還

## Person Following and Autonomous Returning by Mobile Robot Equipped with Monocular Camera and Laser Range Finder

○学 粟井 真志 (静岡大) 学 清水 隆史 (静岡大)  
正 山下 淳 (静岡大) 正 金子 透 (静岡大)

Masashi AWAI, Shizuoka University  
Takahito SHIMIZU, Shizuoka University, t0030029@ipc.shizuoka.ac.jp  
Atsushi YAMASHITA, Shizuoka University, tayamas@ipc.shizuoka.ac.jp  
Toru KANEKO, Shizuoka University, tmtkane@ipc.shizuoka.ac.jp

In recent years, with the development of technology, introduction of autonomous mobile robots to environments close to human life is expected. Examples are shopping cart robots automatically returning to the shopping cart shed after shopping, and guide robots directing the way back to the starting position from the current position in unknown environment. In this paper, we propose a mobile robot system which has functions of autonomous person following and starting position returning. The robot realizes these functions by analyzing information obtained with camera and laser range finder. We verified the validity of the system using a wheel mobile robot in indoor environment.

**Key Words:** Mobile Robot, Person Following, Autonomous Returning, Laser Range Finder, Camera

### 1. 序論

本研究では、人物を追跡して移動した後、自律的に元の位置まで帰還する移動ロボットシステムの構築を目的とする。

近年のロボット産業の発展に伴い、ロボットの自律した行動が期待されている。その1つとして人物を追跡し、自律帰還を行う機能が挙げられる。その用途としては、人に同行し、荷物を運んでから自動的に元の場所に戻ってくれる買い物支援や未知環境において現在地から出発した場所までの道案内などがある。これらの目的を達成するには人に同行する機能と設定された位置まで自律的に帰還する機能が必要になる[1][2]。

本研究では出発地点から目標地点まで向かうことを往路、目標地点から出発地点まで向かうことを復路と呼ぶことにする。我々は文献[3]において、往路を人に同行して移動し、復路は往路の情報を用いて移動するロボットシステムを提案している。文献[3]においては手動操作によってロボットは人と同行している。しかし、ロボットを手動操作するのは手間がかかるため、ロボット自身が人物を自律的に追跡することが望まれる。

そこで本研究では、往路では人物を追跡しつつ、周囲の距離データを取得することで周囲環境の地図を生成し、復路では往路で生成した地図を用いて出発地点への帰還を行う移動ロボットシステムの構築を行う。

### 2. 処理の概要

本研究ではカメラとレーザレンジファインダ (以下 LRF と略す) 搭載車輪型移動ロボットを用いる (図1)。LRFは地面に水平に搭載し、地面に水平な2次元距離データを得る。カメラはLRFの真上に搭載し、ロボット正面の画像を得る。また、ロボットの動作環境は静的環境における段差のない平面とし、2次元空間でナビゲーションを行う。

往路ではカメラとLRFの2種類のセンサを用いて人物を追

跡すると同時に、LRFによる距離データから2次元環境地図を生成する。

復路では、往路により生成した周囲環境の地図を使い、人工ポテンシャル法によるポテンシャル場を形成する。ロボットは形成されたポテンシャル場の勾配方向に沿って移動することで出発地点への自律帰還を行う。

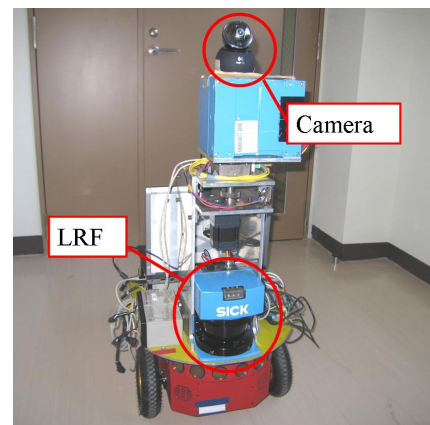


Fig. 1 Mobile robot equipped with camera and LRF.

### 3. 追跡開始前の処理

追跡を開始する前にカメラを用いて追跡する人物の色情報の取得を行う。色情報の取得は背景差分法によって行う。背景差分法の処理手順としては、まず追跡する人物が存在していない背景画像を取得し、次に人物の存在する画像 (図2(a)) を取得する。そして背景画像と人物の存在する画像との差分をとることにより画像中の人物の存在する領域を抽出する (図2(b))。本研究ではカメラ正面から一定の距離に人物を立たせて画像を取得し、背景差分法により画像中の人物の領域を抽出し、抽出した領域内の色情報を取得する。

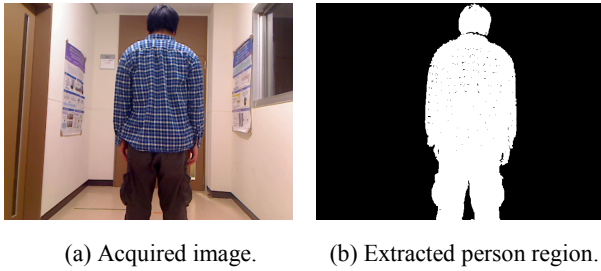


Fig. 2 Background subtraction.

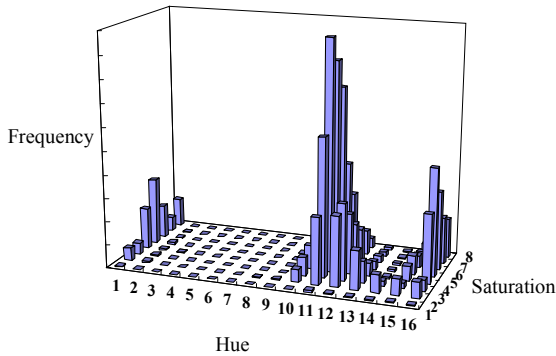


Fig. 3 Color histogram.

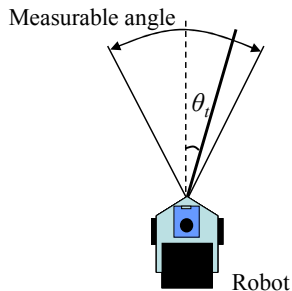


Fig. 4 Measurement region.

さらに取得した色情報から人物の色ヒストグラムを作成する。このとき色ヒストグラムの作成は明るさの変化に対応するためにHSV表色系の色相  $h$  と彩度  $s$  について作成する (図3)。

## 4. 往路での動作

### 4.1 人物の追跡方法

人物の追跡は図4に示すような、カメラとLRF両方の計測範囲において、地面に水平なロボット正面からの角度  $\theta$  について人物を検出することにより行う。人物の検出については、まずLRFによる距離データを用いて動物体の検出を行う。次に動物体を検出した各角度についてカメラにより色情報の取得を行い、色ヒストグラムを作成する。そして追跡開始前に取得した追跡する人物の色ヒストグラムとの類似度を各角度において算出し、その類似度に基づいて人物の存在する角度方向を決定し、ロボットで追跡を行う。

### 4.2 動物体検出

まず、色情報の取得を行う角度を決定するために動物体の検出を行う。

動物体の検出はLRFを用いて取得した距離データの差分を取るにより行う。ロボットが廊下を直進しており、ロボ

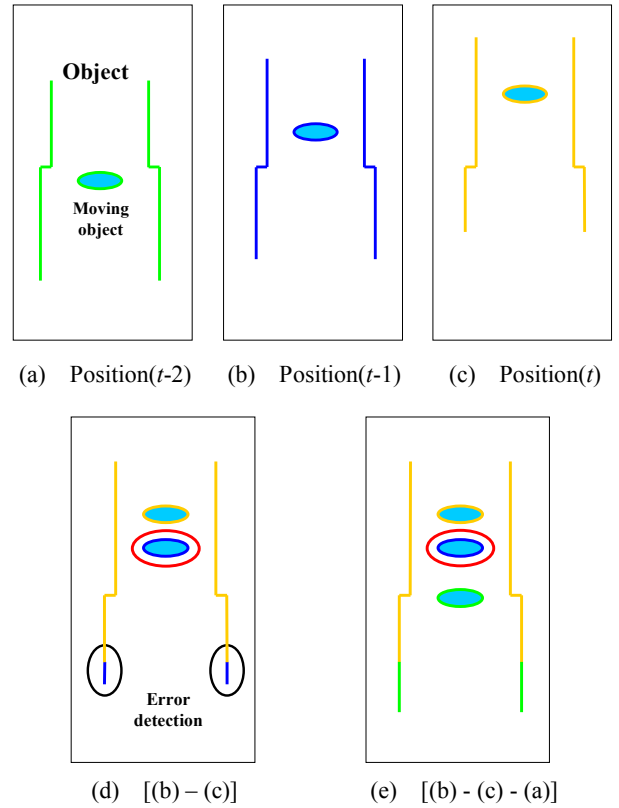


Fig. 5 Detection of moving object.

ットの前方を人が歩いている場合の動物体検出の例を図5に示す。各時刻  $t$ ,  $t-1$ ,  $t-2$  においてそれぞれ取得された距離データを図5(a), 図5(b), 図5(c)に示す。水色の楕円が動物体であり、このときは動物体、静止物体ともに区別されずに取得されている。そこで動物体を検出するために、まず図5(b)と図5(c)の差分をとると図5(d)のようになる。しかしこれでは図5(d)中の赤丸で囲った動物体のみではなく、黒丸で囲った静止物体も動物体として検出されてしまう。そこで図5(b)から図5(c)だけでなく図5(a)の差分もとる。これにより図5(e)に示すように、動物体のみを検出することができる。

### 4.3 色情報による類似度計算

追跡中、動物体を検出した各角度においてカメラにより色情報を取得し、色ヒストグラムを作成する。そして追跡開始前に取得した人物の色ヒストグラムとの類似度を計算する。

ヒストグラム間の類似度の評価には Bhattacharyya 係数を用いる。Bhattacharyya 係数  $R$  は、追跡開始前に取得した人物の色ヒストグラムの各ビンの頻度を  $H_t(h,s)$ 、追跡中に動物体を検出した角度  $\theta$  について画像中から取得した色ヒストグラムの各ビンの頻度を  $H_i(h,s,\theta)$  とし、さらに色相  $h$  のビン数を  $h_b$ 、彩度  $s$  のビン数を  $s_b$  とすると式(1)のように表される。

$$R(\theta) = \sum_{s=1}^{s_b} \sum_{h=1}^{h_b} \sqrt{H_t(h,s) \times H_i(h,s,\theta)} \quad (1)$$

$R(\theta)$ の値を動物体を検出した各角度  $\theta$  についての類似度とする。

### 4.4 人物の追跡

ロボットで追跡する角度を決定する方法について説明する。4.3節までの処理により動物体を検出した各角度についてそれ

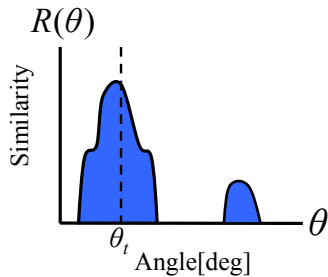


Fig. 6 Similarity distribution in person following.

ぞれ類似度が得られたこととなる(図6)。人物の存在する角度については、角度と類似度の成す各領域中で、最大の面積をもつ領域を人物の存在する角度方向とし、その重心の存在する角度に向かってロボットで追跡を行うこととする。

図6においては、最も大きな領域である左側の領域を人物の存在する方向とし、さらに左側の領域の重心を通る線を点線で表すと、角度 $\theta_i$ がロボットで追跡を行う角度となる。

#### 4.5 地図生成

往路の移動中に周囲環境の2次元環境地図を生成する。地図生成は、ロボットの移動中にLRFを用いて計測した複数の2次元距離データを統合することにより行う。

距離データを統合するためには正確な自己位置推定が重要となる。そこで本研究では、移動中に取得した各距離データについてICPアルゴリズムによる位置合わせを行うことでロボットの自己位置推定を行う。

また、動物体は常に同じ場所に存在することはないので、地図は静止物体のみを対象とし、動物体は地図から削除する必要がある。そこで4.2節の方法で動物体を検出し、地図上から削除する。

### 5. 復路での動作

復路でのロボットの動作は、文献[3]に用いられている手法と同様の手法を用いる。

文献[3]では、復路でのロボットの経路導出には、人工ポテンシャル法を用いている。人工ポテンシャル法とは、空間に仮想的なポテンシャル場を形成し、ロボットを勾配方向に沿って移動させることで、目標位置まで到達させる手法である。文献[3]ではポテンシャル場の形成にはラプラスポテンシャルを用いた手法[4]を使用している。この手法は、ラプラス微分方程式の解が局所最小点を持たないことを利用し、停留点が存在しないポテンシャル場を形成するものである。

本研究では、上記の文献[3]の手法により、復路では往路で作成した地図を基にラプラスポテンシャル法を用いて出発地点から目標地点までポテンシャル場を作成する。そして作成したポテンシャル場の勾配方向に沿って移動することで、復路を移動することとする。また、復路動作中において地図上にない未知障害物があった場合はポテンシャル場の再形成を行って未知障害物の回避を行う。

## 6. 実験

### 6.1 実験装置

本研究では、MobileRobots社製の車輪移動ロボットPioneer2を用いる。このロボットは、2駆動輪1キャスタの機構である。LRFはSICK社製のLMS200-30106を用いた。また、カメラはLogicool社製のQcam Orbit AFを用いた。計算機の仕様はCPUがIntel Core 2Duo T9300 2.5GHz、メモリが3.5GBである。



Fig. 7 Environment.

### 6.2 実験条件

本実験では、ロボットは人物を追跡して移動した後、出発地点まで戻る実験を行う。実験環境の様子を図7に示す。実験は床面に段差の無い平坦な廊下で行い、追跡する人物以外には動物体は存在しないものとする。また、追跡する人物の移動速度は約400mm/secとし、カメラとLRF両方の計測範囲内から出ないように移動するものとする。

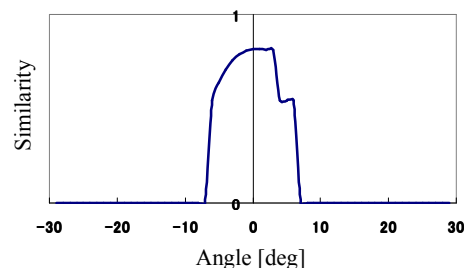
### 6.3 実験結果

往路ではカメラとLRFを用いて人物の追跡を行った。追跡中のロボットのカメラからの画像を図8(a)に、その際得られた類似度の分布を図8(b)に示す。図8(b)中の角度はロボット座標系のロボット正面からの角度であり、ロボット正面から右側を正、左側を負とした。図8より追跡している人物の存在する角度付近に高い類似度の分布がでており、人物の存在する角度を検出できていることがわかる。

また、追跡中に生成した地図とロボットの追跡経路を図9に示す。出発地点は緑色の三角、目標地点は赤色の菱角、ロボットの軌跡はピンク色の点、LRFデータは青色の点で示されている。橙色の矢印は移動方向を示している。ロボットは出発地点から図9に示すような経路で人物を追跡し、目標地点で追跡を終えて停止した。



(a) Acquired image.



(b) Similarity distribution.

Fig. 8 Result of person following.

次に復路でのロボットの移動経路について図 10 に示す。復路では往路における目標地点を出発地点、往路における出発地点を目標地点として図 10 に示すような経路で自律帰還を行った。また、自律帰還中ロボットは黒丸で囲った往路にはない未知障害物を回避することができた。

以上の結果より、実験環境において本手法により人物追跡と自律帰還が達成できることが確認できた。

## 7. 結論

本研究ではカメラと LRF を用いて人物の検出を行うことにより人物の追跡を行い、さらに生成した地図データを用いてラプラスポテンシャル法による出発地点への帰還を行うロボットシステムの構築を行った。往路では LRF による動物体検出とカメラによる色ヒストグラムの類似度を算出することにより、人物の追跡を達成することができた。また、ICP アルゴリズムによる自己位置推定により周囲環境の地図を生成することができた。復路での経路の導出には、生成地図を用いたラプラスポテンシャル法を適用することで、出発地点への帰還を達成することができた。また、ポテンシャル場の再形

成を行うことで未知障害物を回避する経路が導出できた。

しかし、本手法では、往路における人物の追跡の際、オクルージョン等により動物体の検出が困難になると、人物の検出を行うことが出来なくなる場合がある。そこで今後の課題として、パーティクルフィルタやカルマンフィルタなどの枠組みを用いてより頑健な人物の追跡手法の構築を行う必要がある。

## 文 献

- [1] 三澤正志, 吉田智章, 油田信一, “自律的帰還機能を持つ荷物運搬用電動台車の開発”, 日本ロボット学会誌, Vol.25, No.8, pp.1199-1206, 2007.
- [2] 唐立信, 油田伸一, “全方位画像列と移動量の記録による移動ロボットの教示再生ナビゲーション”, 日本ロボット学会誌, Vol.21, No.8, pp.883-892, 2003.
- [3] 清水隆史, 山下淳, 金子透, “人に同行する機能と障害物回避および自律帰還機能を有する移動ロボットシステムの開発”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010 講演論文集, 2A2-B04, pp.1-4, 2010.
- [4] 佐藤圭祐, “極小点のないポテンシャル場を用いたロボットの動作計画”, 日本ロボット学会誌, Vol.11, No.5, pp.702-709, 1993.

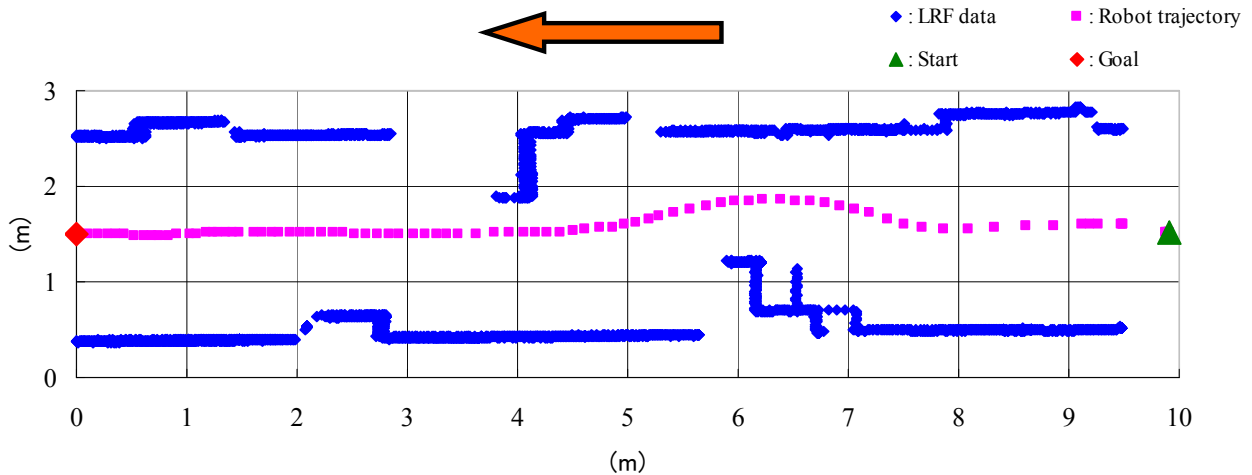


Fig. 9 Generated 2-D map and trajectory of mobile robot on the outward way.

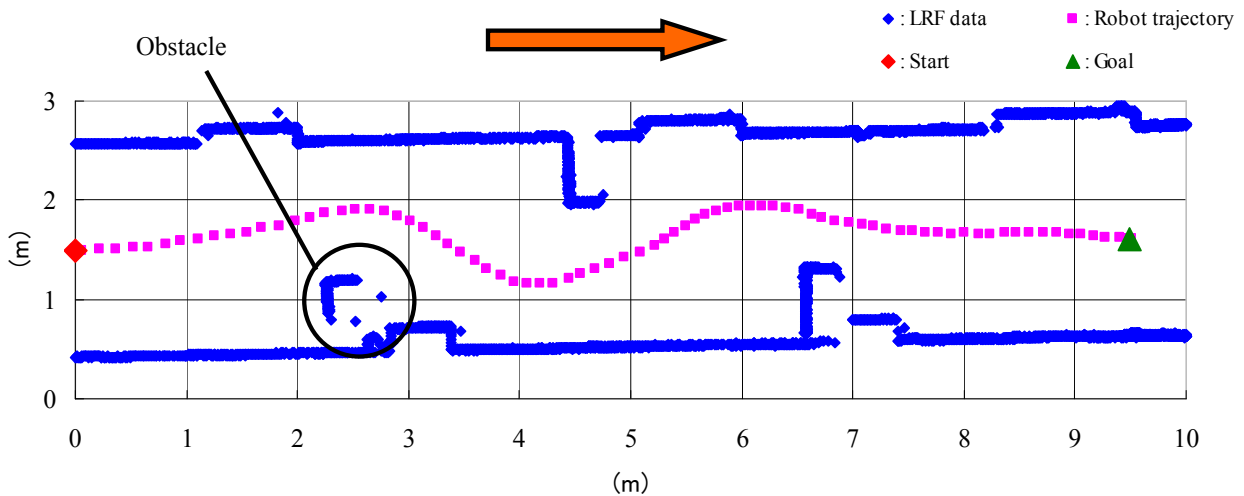


Fig. 10 Generated 2-D map and trajectory of mobile robot on the return way.