

# 人に同行する機能と自律帰還機能を有するカメラ・LRF 搭載移動ロボットシステムの開発

静岡大学 ○清水 隆史, 粟井 真志, 山下 淳, 金子 透

## Development of Mobile Robot System Equipped with Camera and Laser Range Finder Realizing Human Following and Autonomous Returning

Takahito Shimizu, Masashi Awai, Atsushi Yamashita and Toru Kaneko, Shizuoka University

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 that has functions of autonomous person following and starting position returning. The robot realizes these functions by analyzing information obtained with a camera and a laser range finder. We verified the validity of the system using a wheel mobile robot in indoor environment.

### 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。自律移動ロボットの利用例として、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[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。[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、往路では自動的に人物を追跡しつつ、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 計測手法

本研究ではカメラとレーザレンジファインダ（以下 LRF）搭載車輪移動型ロボットを用いる（図 1）。LRF は地面に水平に取り付け、水平方向の 2 次元データを得る。カメラは LRF の真上に搭載し、ロボット正面の画像を得る。

### 3 往路での動作

往路では人物追跡と地図生成を行う。人物追跡は図 2 に示すカメラと 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で行う。地図生成は距離データを統合することで行う。

#### 3.1 追跡開始前の処理

追跡の開始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を用いる。追跡する人物が存在していない背景画像と、人物の存在する画像との差分を取ることで、画像中の人物の存在する領域を抽出する。更に抽出した追跡人物の領域の画素値から色ヒストグラムを作成する。追跡人物の画素値に対して HSV 変換を行い、色相  $h$  と彩度  $s$  についての 2 次元の色ヒストグラムを作成する。

#### 3.2 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。動物体の検出には LRF によって取得した距離データの差分を取ることで行う。ロボットが廊下を直進しており、ロボ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 3 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 3(a), (b), (c) に示す。赤丸で囲まれた部分が動物体である。図 3(a), (b), (c) は動物体、静止物体の区別は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 3(a), (b) の差分を取る。差分処理の結果を図 3(d) に示すと、黒丸で囲んだ静止物体も動物体として検出されている。そこで図 3(b) から図 3(a) だけでなく図 3(c) の差分も取る。これにより図 3(e) に示すように、動物体のみを検出出来る。

#### 3.3 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

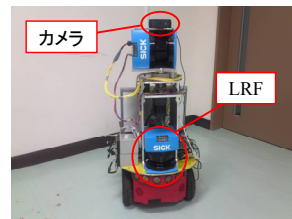


図 1 移動ロボット

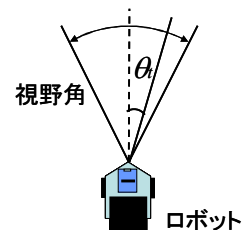


図 2 計測範囲

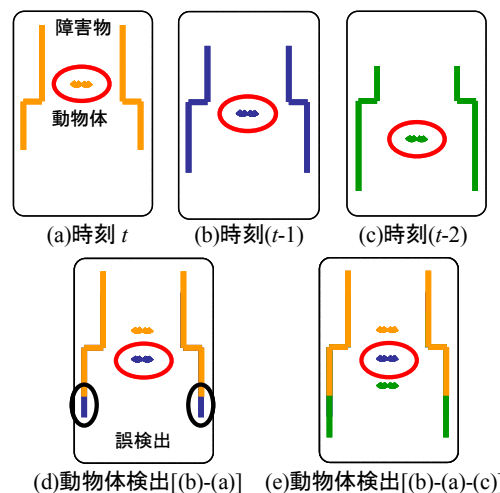


図 3 動物体検出

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。

### 3.4 人物の追跡

3.3 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ぞれ類似度が得られたこととなる (図 4)。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 4 の場合、最も大きな領域である右側の領域を人物の存在する方向とし、更に右側の領域の重心を通る線を点線で表すと、角度  $\theta_0$  がロボットで追跡を行う角度となる。

### 3.5 地図生成

往路の移動中に LRF で周囲環境を計測し、得られた各距離データを統合することで、周囲環境の 2 次元地図を生成する。

距離データの統合には正確な自己位置推定が重要となる。本研究では取得した各距離データを ICP アルゴリズム[4]で位置合わせすることでロボットの自己位置推定を行う。また地図からは 3.2 節の方法で検出された動物体を削除する。

## 4 復路での動作

復路でのロボットの動作は、[3]と同様に人工ポテンシャル法を用いる。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手法である。[3]ではポテンシャル場の形成にラプラスポテンシャルを用いた手法[5]を使用することで、停留点が存在しないポテンシャル場を形成している。本研究では、上記の[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し、復路を移動する。また、復路移動中も LRF で周囲環境を計測し、往路の 2 次元地図と ICP アルゴリズム[4]で位置合わせすることで、2 次元地図上での自分の位置を把握する。更に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。

## 5 実験

屋内環境で実験を行った (図 5)。ロボットは人物を追跡して移動した後、出発地点まで帰還する。追跡する人物以外には動物体は存在しないものとする。

人物追跡の際の取得画像と類似度分布を図 6 に示す。図 6 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分布が出ており、人物の存在する角度を検出出来ていることがわかる。

往路と復路におけるロボットの移動経路と生成した地図を図 7 に示す。図 7 より、ロボットが往路の地図には無い障害物を回避しながら出発地点まで帰還出来ていることがわかる。

## 6 結論

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帰還する移動ロボットシステムの構築を行った。カメラと LRF を用いて人物の検出を行うことにより、人物追跡を実現した。また、往路で生成した地図を用いたポテンシャル法により、出発地点へのロボットの自律帰還を実現した。

今後の課題として、パーティクルフィルタなどを用いたより頑健な人物追跡、累積誤差への対処などが考えられる。

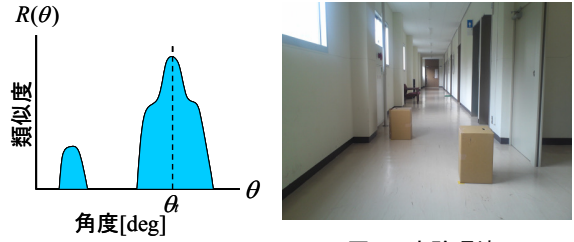
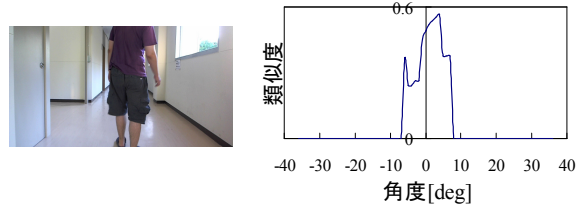


図 4 人物追跡の類似度分布



図 5 実験環境



(a)取得画像

(b)類似度分布

図 6 人物追跡の実験結果

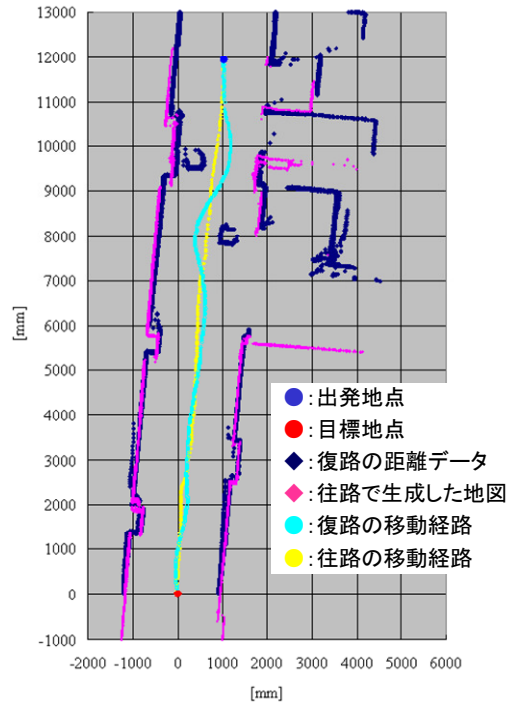


図 7 往路・復路の移動経路と生成地図

## 参考文献

- [1] 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.
- [2] 三澤正志, 吉田智章, 油田伸一, “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.
- [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] Paul J. Besl and Neil D. McKay: “A Method for Registration of 3-D Shapes”, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 14, No.2, pp.239-256, 1992.
- [5] 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.