

# 円盤状ロボットに対する五特徴点を用いた向きの推定方法 の提案と評価

## Proposal and Evaluation of Orientation Estimation Method Using Five Feature Points for Disk-shaped Robots

張 赫 田邊 稜汰 藤井 穂尊 白石 大河 植村 渉

He Zhang , Ryota Tanabe , Hotaka Fujii , Taiga Shiraishi and Wataru Uemura

龍谷大学  
Ryukoku University

**Abstract:** 現在, 少子高齢化が進み, 製造業, 医療現場など様々な分野で, 人手不足になるため, 自律移動ロボットの導入が期待されている. ロボットの導入により, 作業者の負担の軽減や作業コストの削減の利点もある. これらの現場では, 複数の移動ロボットが部品や製品の搬送を行っており, 特にその移動時の衝突回避技術が重要とされている.

自律移動ロボットは移動時に目的地までの経路を作成する. しかし, 作成した経路が他のロボットの経路と重複すると, 衝突する危険性がある. ここで, 他のロボットの経路を知ることができない場合は, ロボットの移動から予測することになる. すなわちロボットの位置の差分情報が必要となり予測までに時間がかかる. ある時間でのロボットの状態から進行方向を予測することができれば, 衝突回避を素早く行うことが期待できる.

本研究では, 衝突の危険を減らすために, 相手ロボットの進行方向を推定することを目的とする. 今回対象とするロボットは円盤状の形をしており全方位に移動可能なオムニホイールを搭載している. このロボットには半円状の制御基板部が搭載されており, 基板部が搭載されていない方向がロボットの設計上の正面となっている. まず, 競技大会の動画より, このロボットの進行方向の割合を確認する. 次に, 制御基板部をカメラ画像から抽出することでロボットの正面方向を推定し, 先ほどの進行方向の割合と合わせることで, 実際にロボットが進む方向を推定する方法を提案する. そして, 提案法の有効性を調べるため, ロボットの設置向きと推定向きの関係を調べる. 推定結果の正解率と検出率を分析し, 提案法の性能を考察する.

## 1 はじめに

近年, 労働力不足のため, 工業生産に対して効率的で低コストの作業が要求されている. 自律移動ロボットは生産の搬送フェーズに導入され, 搬送対象と作業環境に応じて様々なプロパティが要求されている. 特に, ロボットの移動の安定性と安全性は不可欠である.

RoboCup Logistics League(RCLL)では, 多品種少量生産に対応する工場環境を想定する. そのため, 頻繁に変化する環境下での無人搬送が求められており, 多数のロボットが走り回っている. 故に, 移動軌跡中ではロボット同士や作業者と衝突しないように正確で迅速な回避が重要である.

従来では, Laser Range Finder (LRF)から得られた点群データで障害物や動物体を検出して回避する. こ

の場合, 動物体の移動推定に時間がかかると, 衝突が起こる可能性がある.

RCLL の過去の試合の動画を見ると, ロボットの移動方向はロボットの向いている方向に関係することが分かる. よって, ロボットの向きを推定できれば, ロボットの移動方向の予測につながる. 本研究では画像認識を使用してロボットの5つの特徴点を検出し, 現在の向きを推定する. これにより, 移動方向を予測する目的を達成する. 第2章ではRoboCup Logistics League(RCLL)とRobotinoについて説明する. 第3章ではLRFを用いる衝突回避方法について述べる. 第4章では提案手法について紹介する. 第5章では提案法の実験評価と考察を述べる. 最後に, 第6章で本論文をまとめる.

## 2 RoboCup Logistics League (RCLL)

多品種少量生産に対応する柔軟なオートメーション化した工場での自律移動ロボットの技術を競う大会として、RoboCup Logistics League (RCLL)がある。この大会では、フィールドに設置された Modular Product System (MPS) と呼ばれる作業ラインに移動式ロボットが部品を運搬し、MPS が組み立てなどを行い、注文に応じた製品を仕上げることでスコアを競う。

自チームのロボットと協力して作業を行うだけでなく、相手チームのロボットとも同一フィールド上で競うため、衝突回避を行う場面も存在する。

### 2.1 Robotino

自律移動ロボットとは人間が操作しなくても、ロボット自身がセンサを使って、周囲の環境を把握し、単体で移動するロボットのことである。

RCLL では各チームはフェスト社製の移動式ロボットである円盤状の形をした Robotino を用いる。そこで本研究では Robotino を検知対象のロボットとして扱う。

Robotino には、3 輪のオムニホイールを搭載している。また、上部には制御基盤部とカメラやセンサを搭載しており、全方位への移動や周囲の観測ができる。

## 3 LRF を使った移動体の検知

本章では、移動式ロボットが周辺の動物体を検知する方法について紹介する。具体的には LRF を使って得た点群に対して、時間軸の差分を取ることで移動する方向を計算する方法である。

### 3.1 Laser Range Finder (LRF)

移動式ロボットでは、ロボット周辺の環境を把握する外界センサとして、測域センサの一種である Laser Range Finder (LRF) を用いることが多い。測域センサとは、走査型の光距離センサのことである。

LRF では、物体にレーザを照射し、反射にかかる時間や位相変化を測定することで距離を計測する距離センサである。モータを使って回転することで、周囲 360 度に対する距離測定が可能となり、角度と距離情報を返す。

### 3.2 動物体の検知と回避

環境中の動物体の位置は時間によって変わってい

るため、異なる時間に収集されたデータを比較すると動物体を検出できる。

LRF を使用して、一定の期間にわたって点群データを収集し、時刻  $t$  から  $t-n$  までのデータを用いて差分処理を行う [2]。これにより環境中の動物体のみを検出する。

ロボットは検出された動物体の移動方向と自ロボットの走行経路を比較し、衝突の可能性を判断する。衝突が予測されるとき、ロボットは減速して動物体の移動を優先したり、別の経路を考えたりして衝突を回避する [3]。衝突を成功に回避してから、予定走行軌跡に戻るか新しい経路計画を立つ。

### 3.3 従来法の問題点

衝突回避の際、選択した経路が、他のロボットの経路と重複してしまうことや、他のロボットの進行方向が予測と異なったときに衝突する恐れがある。

## 4 五特徴点を用いた Robotino の進行方向推定法

本章では Robotino に対する五特徴点を用いた向きの推定方法を提案する。進行方向と設計上の正面の関係を調べ、画像認識で検出した特徴点を用いてロボットの進行方向を推定する。

### 4.1 競技中 Robotino の進行方向

Robotino の設計上の正面に対して、実際の移動方向の割合を調べる。次に、ロボットの設計上の正面を検出するために制御基板部の両端を抽出することで、ロボットの向きを推定する。

RCLL の 2016 年と 2017 年の決勝戦の動画を参照し、Robotino の進行方向を調べた。表 1 はロボットがカメラやセンサが付いている方向に移動した時間の割合を示している。

表 1 進行方向の割合

	2016 年	2017 年
競技時間	20 分 27 秒	19 分 49 秒
カメラやセンサが付いている方向に移動した時間	16 分 10 秒	17 分 37 秒
カメラやセンサが付いていない方向に移動した時間	13 秒	12 秒

よって、カメラやセンサがついている方向を進行方向として扱っても問題ないことが分かる。

## 4.2 ロボットの正面方向の推定

Robotino のボディ部分は円形、制御基板部は半円である。したがって、ロボットの回転をある場所から撮影すると、画像内のボディ部分の長さは Robotino の直径であるため回転に関係なく一定であるが、制御基板部の両端の長さは回転に伴って変化する。具体的には、正面や後ろを向いているときは Robotino の直径に一致し、そこから 90 度回転して右や左を向いているときは両端が重なるため長さは 0 になる。

対象とするロボットの制御基板部の両端と、ロボットのボディ部分、そしてそのロボットに搭載しているカメラを、カメラ画像から検出して特徴点として扱うことで、基板部両端の見かけ上の長さ、ロボットの見かけ上の直径を計算できる。そして、カメラと基板部両端の相対位置、基板部両端の見かけ上の長さで見かけ上の直径の比率で向きの角度を算出する。この比率は、式(1)を満たす。

$$r_r \times \cos \theta = r_h \quad (1)$$

ここで、 $r_r$ はロボットの直径、 $r_h$ は基盤部の見かけの直径、 $\theta$ はカメラに対するロボットの向きである。これより、 $r_r$ と $r_h$ から $\theta$ を求めることができる。図1は各変数の関係を示している。図2はカメラ画像から検出する五つの特徴点のイメージ図である。

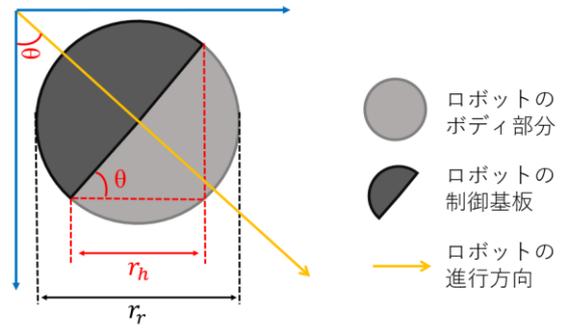


図 1 Robotino 上面図

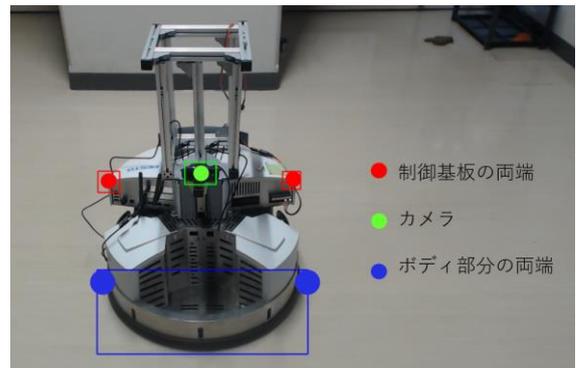


図 2 五特徴点のイメージ図

画像認識で取得した五特徴点の情報と(1)式からロボットの角度が算出できる。更に、カメラの位置と基盤部の中心の位置関係でロボット向きの左右を推定する。

## 5 提案手法の有効性の実験と評価

本章では、提案手法の性能を評価するために行った検証実験について述べる。評価指標は向きの異なるロボットに対する正面方向推定の正解率を使用する。また、正解率の低い場合は推定失敗の原因を考察する。

### 5.1 実験方法

本実験では、Robotino 制御基板上部が見えるように高さ 1m の位置にカメラを固定する。衝突回避の判断が必要だと想定された 1m から 2m の距離に Robotino を設置する。実際の競技では、格子状のマス目を走行することが多く、ロボットの移動角度は 45 度単位になることが多い。したがって、Robotino の角度を 45 度単位で設置する。この実験条件下で、ロボットの向きを推測する。推測したロボットの向きと実際の向きを比較して、正解率を調べる。移動

式ロボットとして Robotino4 を、カメラは Logicool C920 を使用した。表 2 に Logicool c920 のスペックを表す。また実験のイメージ図を図 3 に示す。

表 2 Logicool c920 のスペック

最大解像度:	1920×1080
カメラ画素数 (メガピクセル)	3
対角視野	78°

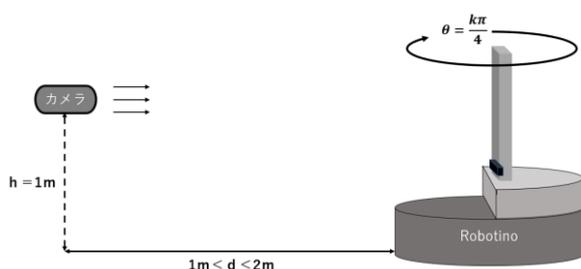


図 3 実験のイメージ図

本研究では, Imglab を使用し, ロボットの五つの特徴点を認識した。

Imglab とは, 物体検出や顔認証モデルにも適した無料の画像アノテーションツールである。dlib という C/C++ ベースのコンピュータビジョンライブラリに同梱されている画像アノテーションツールであり, 物体検出用の Bounding Box および, 姿勢推定等に使用可能な特徴点をプロット可能である。

## 5.2 実験結果

実験結果を図 3 に示す。ロボットが左の向きを  $0^\circ$  にして, 横軸を Robotino の実際角度, 縦軸を正解率とした。ただし, 実際角度との差が  $22.5^\circ$  以内であれば正解として扱った。

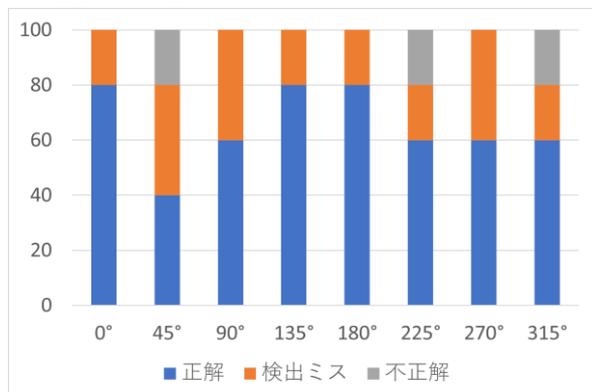


図 3 実験結果

## 5.4 考察

実験結果より, 提案法の検出ミスは約 27.5% となり, 全体的には 65% の正解率を持っている。検出できた場合, 正解率は約 90% になった。

図 3 より,  $90^\circ$  (真正面) と  $270^\circ$  (真裏) で正しく検出できないことが多い。これは, ボディ部が検出できたが, 実際の長さとは異なる長さで認識したために発生したミスと考えられる。また, 他の角度では, 支柱やカメラが基盤部の端に重なることで, 検出できず, 進行方向予測できないこともあった。

しかし, 5 つの特徴点を検出できればロボットが進む方向を推定できることがわかった。

## 6 おわりに

本研究ではロボット同士の衝突を防ぐため, 画像認識を用いて, ロボットの向きを取得し, 自ロボットに向かって進行してくる他のロボットの進行方向を予測する方法を提案した。進行方向予測を行ったところ, 支柱やカメラが基盤部の端に重なることで正しく検出できないことが原因により, 進行方向予測できない角度があった。今後, 学習のための写真を増やして精度の向上を試みたい。

## 参考文献

- [1] 津田諒太, 植村渉: 距離情報を用いた物体認識に関する一考察, 計測自動制御学会 システム・情報部門 学術講演会, pp. 1003-1004, (2016)
- [2] 岩科 進也, 山下 淳, 金子 透: LRF 搭載移動ロボットを用いた動的環境における 3-D SLAM, 第 26 回日本ロボット学会学術講演会 予稿集 (RSJ2008), RSJ2008AC2H2-03, pp. 1-4, 神戸, (2008)
- [3] 石田卓也, 山田大地, 岡村公望, 大矢晃久, 油田信一: 再利用性を考慮した移動ロボット用ソフトウェアモジュールの開発 — 目的地までの指定経路走行に適した障害物回避手法 —, 第 27 回日本ロボット学会学術講演会, 2Q2-01 (2009.9)