

# 高さ情報による点群内の立方体と壁の物体分離手法の提案と評価

About recognizing walls and MPS using height information

for RoboCup Logistics League

白石 大河 清水 大雅 藤井 穂尊 張 赫 植村 渉

Taiga Shiraiishi, Taiga Shimizu, Hotaka Fujii, He Zhang, and Wataru Uemura

龍谷大学

Ryukoku University

**Abstract:** 近年、工場などの生産現場では、変種変量生産とそれに伴った作業の効率化を図った機械による生産の自動化を目指している。変種変量生産体制では多様なニーズに対応するため、生産ラインの入れ替えがしばしば発生する。そのため、ロボット自身がライン上の加工機器の位置を素早く正確に把握することが重要である。

そのようなラインの頻繁な変更を題材とした競技大会として、RoboCup Logistics League (RCLL)がある。自律移動型ロボットが8m×14mのフィールドにて、注文に応じて必要となる部品を加工機器であるModular Product System (MPS)に部品を運搬し、MPSがそれを加工し、再度移動ロボットがそれを次のMPSに運搬をして競技を進める。MPSの配置はロボットには未知である。そのため、MPSを検出する必要があり、Laser Range Finder (LRF)などのセンサを用いて、MPSの面と同じ長さの水平方向の直線を見つけることでMPSを検出している。また、フィールド外周に設置される壁は高さ50cmで、少なくとも50%から70%以下を囲むという規定がある。しかし、壁の前にMPSなどが重なるなどにより見える部分がMPSの長さと同様に見えるときに、壁をMPSと誤検知する場合がある。

本研究では、このような壁とMPSの長さが類似して誤検出する場合に対して、ステレオカメラによる高さ情報を用いて壁とMPSを区別する方法を提案する。ステレオカメラはLRFに対して視野角が狭いため、適用できる範囲が狭くなることが考えられる。そこで、カメラの前にMPSを1つ設置して、見える範囲と認識率の関係を調べた。

## 1 はじめに

近年、工場などの生産現場において、多様なニーズに合わせて色々な種類の製品を扱う変種変量生産体制が注目されている。変種変量生産の生産形態を取る工場では、生産ラインの頻繁な変更が想定される。そのため、ロボットは加工機器の位置の変更といった生産ラインの変化に柔軟に対応する必要がある。

頻繁に生産ラインが変化する工場で、ロボットが自律的に作業することを想定した競技大会としてRoboCup Logistics League (RCLL)がある。競技にはModular Production System (MPS)と呼ばれる加工機器を使用する。MPSは長辺70cm、短辺35cm、高さ70cmの立方体となっている。

RCLLにおいてフィールド上のMPSの位置を、ロボットが探索する課題が存在する。従来では、Laser Range Finder (LRF)を用いて得られた距離と角度の

情報から点群を作成し、点群中に長さ70cmの直線があった場合に、その直線をMPSの長辺として検出していた。しかし、同じような長さの壁がある場合や、それより長い壁を手前にあるMPSなどが遮ることでセンサ側から見たときに壁が70cmに見える場合など、誤検出の可能性はある。

そこで、本研究ではMPSと壁の高さが異なることに注目し、高さ情報からMPSと壁を区別する方法を提案する。高さ情報を取得するためにステレオカメラを用いる。ステレオカメラから取得した点群データからMPSと壁の分離を行う。実験では、MPSが壁に隣接する場合において提案手法が有効な範囲を調査し、範囲内での検出率、誤検出率を測定することを目的とする。

第2章ではRoboCup Logistics Leagueについて紹介する。第3章ではフィールド上に配置されているMPSの検出方法について紹介する。第4章ではステレオカメラを用いて壁とMPSを分離する方法を提

案する。第5章では実験と評価について述べる。第6章ではまとめについて述べる。

## 2 RoboCup Logistics League (RCLL)

本章では、RCLL と競技に使用する機器について述べる。RoboCup は、自律移動型ロボットを用いた国際的な競技会である。Logistics League はオートメーション化した工場を舞台とした RoboCup Industrial に含まれる。競技には 8m×14m のフィールドを使用し、周囲は 50%以上 70%以下を壁で囲っている。フィールドには MPS を計 14 台設置する。試合は Setup phase, Exploration phase, Production phase の 3 つに分けられる。Setup phase はロボットの準備や、MPS の設置など準備にかかるフェーズである。Exploration phase はフィールドにランダムに設置された MPS の位置や向き、種類を識別するフェーズである。Production phase は注文された製品を組み立て運搬し、納品までを行うフェーズである。

RCLL で使う機器として、MPS[1]と Robotino[2]がある。MPS は FESTO 社によって開発、販売される教育用機器である。これは作業内容に応じたカスタマイズが施されており、ベルトコンベアや部品を置く場所などがある。MPS の直方体部分は長辺 70cm×短辺 35cm×高さ 70cm の大きさとなっている。Robotino は Festo 社が開発している自律移動型ロボットで、教育目的のロボットである。

## 3 MPS の検出方法

本章では、RCLL で従来行われていた MPS の検出方法について述べる。RCLL の Exploration Phase では、フィールドに配置された MPS の位置、向き、そして種類を同定する必要があり、ロボットがフィールドを動き回って MPS を探す必要がある。

### 3.1 Laser Range Finder (LRF)

自律移動型ロボットが周囲の環境を把握するために使用する外界センサとして Laser Range Finder (LRF)が用いられることが多い。LRF とは、レーザを照射し、反射して返ってくるまでの時間から、物体までの距離を取得するセンサであり、センサそのもの、あるいはレーザを反射するミラーが回転することで、照射角度が変化し、周辺の状況を把握できる。

MPS の検知に LRF を使う場合がある。LRF よりレーザを照射し取得できた点群中に、MPS の長辺側と同じ長さである 70cm を描く直線が検出されたと

き、その直線を MPS の長辺側の直線として、検出することができる。

RCLL では競技フィールド内外を仕切るために壁を設置する。ここで RCLL のルールとして、周の少なくとも 50%から 70%以上を部分的に囲むこととなっている。また、壁の高さは 50cm となっている。しかし、壁の長さに関する規定はなく、MPS と同じような長さの壁がある場合や、それより長い壁を手前にある MPS などが遮る場合などに、壁を MPS として検出する可能性がある。

### 3.2 ステレオカメラ

ステレオカメラ[3]は 2 台のカメラを用いて、視差のズレを利用し三角測量の原理に基づき距離を計測している。アクティブ IR ステレオ法では、赤外線のパターンを対象に照射し、2 台のカメラで対象物に写った赤外線パターンを観測して、その視差から距離を計測している。

## 4 提案手法

本章では、MPS と壁の長さが類似して誤検出する場合に対して、高さ情報から MPS と壁を区別する方法について述べる。本研究では、高さ情報を取得するためにステレオカメラを用いる。

ステレオカメラから取得した点群に対して、ユークリッドクラスタリング手法[4]を用いる。ユークリッドクラスタリング手法は、点群間のユークリッド距離でクラスタリングするもので、あらかじめ設定した閾値よりも小さいとき同一のクラスタとするものである。RCLL ではフィールド内で MPS 同士など、物体が隣り合うような場面は少ないため、この手法を採用した。

クラスタリングした点群に対して、鉛直方向の長さを用いて MPS か壁かを判断する。クラスタの高さは、クラスタ内の z 軸値の最大と最小の差とする。MPS の高さは約 70cm であるため、クラスタの高さが 70 cm(± $\alpha$ )であったときを MPS とする。また、それ以外であったときを壁とする。

## 5 実験と評価

本章では、提案手法の有効性を確認するための実験と評価について述べる。実験ではステレオカメラの一種である RealSense D435i を用いた。また、カメラは地面から約 50 cm の位置に設置した。

点群から MPS を検知するにあたって不必要な点

群を除去するために、点群処理のオープンソースフレームワーク Point Cloud Library のフィルタを用いた。地面などの大きな平面ではクラス間が繋がってしまうことで検出に影響があるため、一定の範囲内にある点群のみを抽出することができる Passthrough フィルタを用いる。次に、大量の点群を扱うため動作が重くなりロボットの行動に影響が出るため、等間隔に点群をダウンサンプリングすることができる Voxel Grid フィルタを用いる。この2つのフィルタを用いることにより、MPS と壁が存在する高さの点群の各格子の重心位置に点を生成することで、ダウンサンプリングを行った。

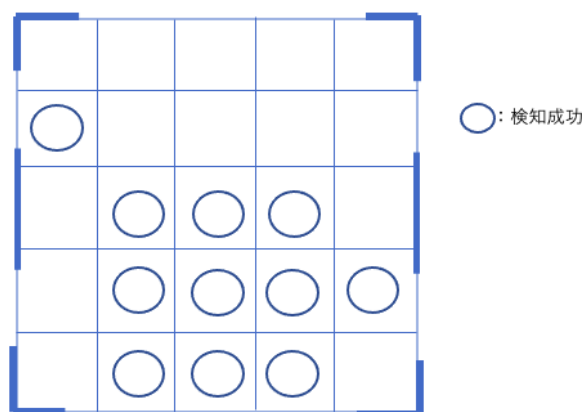


図 5.2 検出に成功した箇所

図 5.2 より、カメラ前方 3m×3m のマスの範囲では検出に成功している事がわかる。それ以上に距離が離れたマスでは検出できなかった場合や壁の背後にある物体を MPS と誤検出していた。よって、提案手法の有効範囲は 3m 程度と考えられる。

### 5.1 検出に有効な距離

ステレオカメラを用いて MPS の検出を行うが、距離が遠い場合ほど、ダウンサンプリングをして得られる点群の情報が少なくなるため、検出が難しくなる。そこで、提案手法の有効な距離を調べるため、図 5.1 のように周囲を部分的に囲った 5m×5m のフィールドを作成し実験を行った。1m×1m でフィールドを区切り、マスに MPS を 1 台置き、カメラを MPS のある方向へと向けて検出を試みることを全てのマスで行った。結果を図 5.2 に示す。

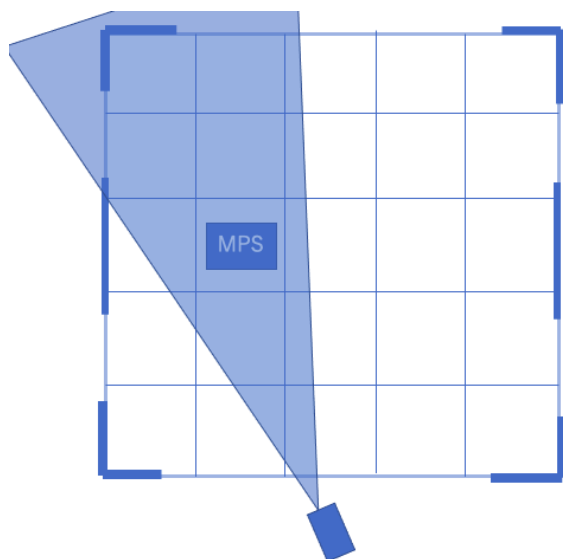


図 5.1 調査の概要図

### 5.2 有効範囲内での検出率

誤検出の発生を調べるため、3m×3m のフィールドを作成した。実験には MPS を 1 台、壁は高さ 50cm、長さ 70cm のものを 1 枚と、2 枚の 70cm の壁で構成された L 字型の壁を用いた。本大会では、壁の長さが 70 cm の壁は一回も出てきていない。そのため、実験は本大会よりも MPS と壁が誤検知しやすい条件下での実験である。カメラの位置は固定し、フィールドを 1m×1m のマスに分けて A-1~3, B-1~3, C-1~3 とする。図 5.3 にフィールドの概要図を示す。

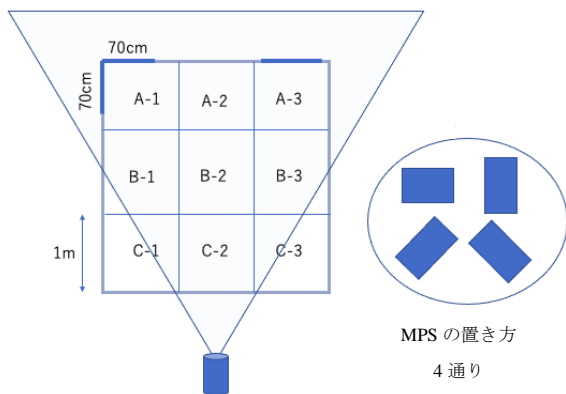


図 5.3 フィールド概要図

MPS と壁の配置する組合せについて考える。MPS の向きは 4 種類あり、マスは 9 マスあるため 36 通りある。しかし、カメラの視野角の問題から C-1 と C-3 のマスは MPS と壁の検出はできないため配置しない。よって、MPS は 28 通りの設置方法がある。また、壁は大会のフィールドで起こりえるパターンから 10 通り選んだ

### 5.3 実験結果

図 5.4 に検出成功、検出失敗の数を示す。また、表 5.1 に各マスにおける認識率を示す。

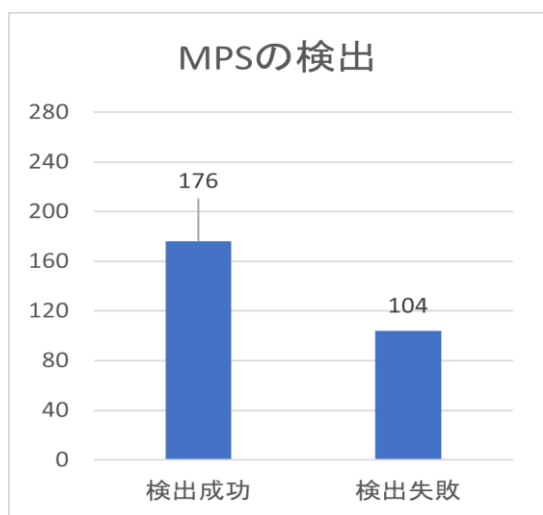


図 9 実験結果

表 1 マスごとの認識率

40%	48%	38%
60%	100%	63%
-	93%	-

### 5.4 考察

3m×3m の範囲で、提案法での検出失敗が 104/280 で約 37%となった。表 1 より、検出できなかった MPS のほとんどは A の列にあり距離が離れているものだった。これは対象までの距離が大きくなることで、点群が粗になるためだと考えられる。また、誤検出は MPS が長辺側をカメラに向けていて、隣に壁が存在したとき、MPS と壁の点群と繋がることで誤検出していた。これは、図 5.5 に示すように点群が後方に流れる外れ値が原因と考えられる。

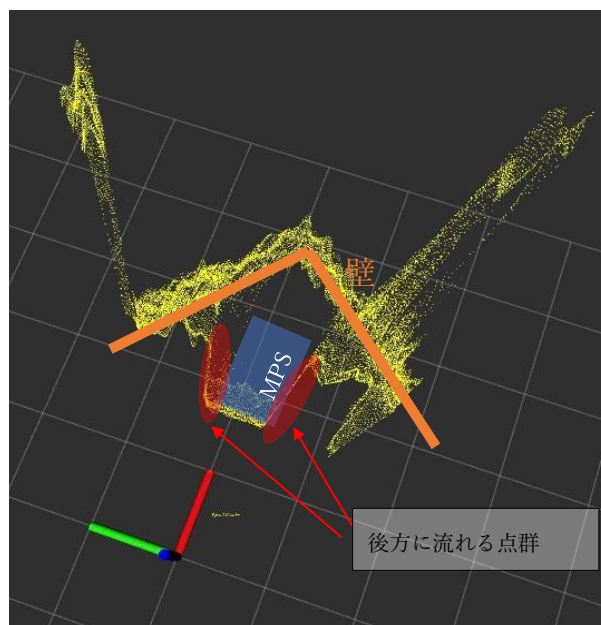


図 5.5 点群の外れ値

## 6 まとめ

RCLL において MPS を水平方向の長さから MPS を検出する際に、壁を MPS として誤検出する場面があった。本研究では、ステレオカメラから取得した

点群の高さ情報を用いた MPS と壁の分離を提案した。その有効な距離を調査したうえで、範囲内の認識率を調べた。

## 参考文献

- [ 1 ] Yuki Suzuki and Wataru Uemura. A Novel Algorithm Checking for the Line Layout in a Factory. In IEEE 9th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2020), pp.617 -- 619, (2020).
- [ 2 ] 鈴木勇貴, 植村渉. タグマーカを用いた自律移動ロボット間の自己位置推定に関する一考察. 人工知能学会第 57 回 SIG-Challenge 研究会, pp. 118 -- 120, (2020).
- [ 3 ] 山崎雅起, 岩田将, 徐剛. ステレオカメラと位相シフト方による鏡面と透明物体の 3 次元復元. 情報処理学会論文誌コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM) Vol. 49, pp. 79 – 88, (2008)
- [ 4 ] Radu Bogdan Rusu, "Semantic 3D Object Maps for Everyday Manipulation in Human Living Environments," Technische Universität München, PhD dissertation, 2009.