HOKUGA 北海学園学術情報リポジトリ
学校法人北海学園
北海学園大学
北海商科大学

タイトル	距離画像を用いた物体形状認識と移動ロボットによるハンドリングへの応用
著者	塩濱，教幸；深谷，健一；Shiohama，Noriyuki；Fukaya，Ken-ichi
引用	工学研究 ： 北海学園大学大学院工学研究科紀要(13)：33-39
発行日	2013-09-30

Hokkai-Gakuen Organization of Knowledge Ubiquitous through Gaining Archives.

研究論文

距離画像を用いた物体形状認識と移動ロボットによるハンドリングへの応用

塩　濱　教　幸*・深　谷　健　一*

Object shape recognition using depth-map and application to the object handling by mobile robot

Noriyuki Shiohama* and Ken-ichi Fukaya*

概要

ロボット技術を介護や家事などの生活分野に適用した生活支援ロボットの実用化が，少子高齢化社会への大きな支援になると期待されている．そのロボットの必要機能として「指示された特定の物体を取ってくる」機能がある．本研究では，指示された特定物体を検出する方法として，3 次元点群データを取得し，そのデータを基に距離画像を作成し，テンプレートマッチングする方法を用いた．3 次元点群データを取得するのに，測域センサを用いた場合と Xtion PRO LIVE を用いた場合とを比較し，また，画像処理により得られた物体の座標を求め，移動ロボットにその座標を与えることで，特定物体をハンドリングさせた．

1．はじめに

生活支援ロボットの実用化を目指し，様々なロボットが開発されている[1]．例えば，トヨタ自動車㈱が開発した HSR（Human Support Robot）などがある[2]．HSR には「床に落ちた物を拾う」機能や，「物を取ってくる」機能等がある．しかし，そのタスクを実行するには，人間がタブレットを使い，その対象物がどこにあるのかを指示する必要がある．つまり，対象物の位置が未知である場合には実行できないという課題がある．対象物の位置が未知である場合には，対象物を探す機能をロボット自身が持つ必要があるため，これまでに，空間を 3 次元計測させることで，距離データを取得し，そのデータの中から対象物を検出する方法を試みてきた[3),4)]．

本研究では，測域センサを用いて 3 次元点群データを得る場合と Xtion PRO LIVE（以下 Xtion）を用いて得る場合という 2 通りでの実験を行い，得た点群データから距離画像を作成することで対象物の検出を行った．最初に，測域センサ又は Xtion を用いて対象物の存在領域を見つけ，次に，その領域周辺のカラー画像を用いることで特定物体の位置認識をするという 2 つの段階に分けて特定物体認識をする．

ロボットの周囲環境を 3 次元的に計測可能にするために，測域センサ及び Xtion にパン機能を追加し，形状認識することで指定した対象物を検出して，その座標データを取得する．

また，物体形状認識により取得した座標を移動ロボットに与え，その後，SIFT 画像処理することで指示した対象物のみをハンドリングするシステムを構築し，実験した結果を示す．

2．測域センサを用いた物体形状認識

2.1　距離画像作成方法

1 mm の大きさを 1 ピクセル（1 pix/mm）で表し，得た 3 次元距離情報の内，奥行情報をグレイスケール（8 ビット，256 階調）で表現することで点群データをプロットする．しかし，点群データをそのまま点としてプロットした画像から対象物を検出することは難しい．三角形メッシュの考え

* 北海学園大学大学院工学研究科電子情報工学専攻
Graduate School of Engineering (Electronics and Information Eng.), Hokkai-Gakuen University

図１　距離画像と実際の計測環境画像

方を参考にして，距離が近い３つのデータ点を求め，３つの点全てで奥行距離がほぼ同じである場合には，その３点を頂点とする面を作り，その面をプロットするという処理を繰り返すことで，距離画像を作成する．奥行距離が異なる場合は，注目データ点を点としてプロットする．

３つのデータ点の求め方は，計算量を減らすため，最近傍を求めるのではなく３次元点群データの中の注目データ点とその隣のデータ点，高さが 0.3 度上のデータ点の３点としている．

実際の周囲環境の画像（上部）と作成した距離画像の一部（下部）を図１に示す．今回の対象物であるペットボトルの他に，形状の異なる物体を幾つか並べた．

2.2　物体形状認識

物体形状認識をする方法として，今回はテンプレートマッチングをする方法をとった．最初に，実寸大の対象物の形状をした白黒テンプレート画像（1 pix/mm のサイズ）を作っておく．2.1 で述べた方法で作成した距離画像は，計測した周囲環境の実際の大きさ情報を保つように作成しているため，スケール変化によって一致度が低くなることはない．また，作成画像はカラー画像ではなく距離画像であるので，照明変化による輝度変化なども考えなくてよいため，テンプレートマッチングが有効である．作成した距離画像は，テンプレートマッチングを行う前に，メディアンフィルタ，膨張・収縮処理を用いて作成距離画像のノイズ除去処理をしておく．

1 pix/mm として考えているので，作成画像のサイズが計測した周囲環境に依存して変化してしまう．作成画像のサイズが大きくなった場合，テンプレートマッチングに時間がかかってしまうので，距離画像とテンプレート画像の両方の画像サイズを小さくリサイズすることで高速化している．マッチングした結果，一致度の高い複数の物体を検出し，その位置を保存する．テンプレート画像を図２に，テンプレート画像と図１の距離画像をマッチングし，対象物探索した結果画像を図３に示す．

図３の赤枠で囲まれた部分が，マッチングした結果，一致度が高かった場所である．４つのペットボトルと幅が同じくらいで高さが少し低い缶を検出した．この缶とテンプレート画像との一致度は他の４つのペットボトルと比較すると低いのでハンドリング処理する優先度を低くすることができる．太さが明らかに違う物体や，高さが違う缶などはテンプレート画像との一致度が低かったので検出されなかった．

対象物との距離の違いにより，どれだけ検出精度が変化するかを調べた．以下に，実際の環境と距離が１m の場合，４m の場合の結果をそれぞれ図４～図６，表１，表２に示す．

ここで，表１，２の横，高さ，奥行とは，ロボットの位置から見た物体の位置座標を表している．一致度とは，テンプレートマッチングした結果，

図２　テンプレート画像

図３　探索結果画像

図４　計測環境

図５　距離１m の場合のペットボトル検出

図 6　距離 4 m の場合のペットボトル検出

表 1　検出したペットボトルの座標（距離 1 m）

物体 1	横[mm]	308.0	奥行[mm]	1021.0
	高さ[mm]	143.0	一致度	0.716
物体 2	横[mm]	480.0	奥行[mm]	992.5
	高さ[mm]	119.0	一致度	0.635
物体 3	横[mm]	−482.0	奥行[mm]	1080.1
	高さ[mm]	135.0	一致度	0.582

表 2　検出したペットボトルの座標（距離 4 m）

物体 1	横[mm]	−2468	奥行[mm]	3569.5
	高さ[mm]	193.0	一致度	0.602
物体 2	横[mm]	466.0	奥行[mm]	4030.0
	高さ[mm]	121.0	一致度	0.480
物体 3	横[mm]	−450.0	奥行[mm]	4030.0
	高さ[mm]	117.0	一致度	0.458

どれだけ似ているかを表している（最大 1）．マッチング手法は，正規化相関係数マッチング手法を用いている[5]．距離が 1 m の場合は，ペットボトル 2 本と形状の似ている缶 1 本を検出した．しかし，距離が 4 m の場合は，ペットボトル 1 本と缶 1 本，誤検出が 1 つあった．一致度を比較しても，距離が遠くなると低くなることが分かる．よって，距離が遠くなるほど検出精度が下がり，周囲約 4 m 以内に対象物がないと検出が難しい．

3．Xtion を用いた物体形状認識

3.1　距離画像作成方法

Xtion とは，ASUS が開発した RGB カメラや深度センサ，ステレオマイクを備えた機器である．そのスペックを表 3 に示す．

Xtion の利点は外部電源を必要とせず，USB バスパワーのみで動作可能なところである．

前方 180° のデータを取得するために，図 7 のようにパンユニットの上に Xtion を搭載して計測する．距離画像を作成する方法は，測域センサを用いた場合と同様に，1 mm の大きさを 1 ピクセル（1 pix/mm）で表し，得た 3 次元距離情報の内，奥行情報をグレイスケール（8 ビット，256 階調）で表現することで点群データをプロットする．

表 3　Xtion のスペック

電源	USB バスパワー
センサ有効距離	0.8 m〜3.5 m
センサ有効範囲	水平：58° 垂直：45° 対角：70°
深度センサ最大解像度	640×480（30 fps）

図 7　Xtion とパンユニット

しかし，測域センサを用いる場合との違いは，点群データをプロットする際に三角形メッシュの考え方を使うのではなく，プロットする際に奥行距離の違いによって点の大きさを変えてプロットするという点である．前方約 180° 分のデータをプロットするのに，前方，左，右の 3 つに分けて距離画像を作成する．計測環境と実際に作成した距離画像をそれぞれ図 8 〜図 13 に示す．

図 8　計測場所（正面）

図 9　距離画像（正面）

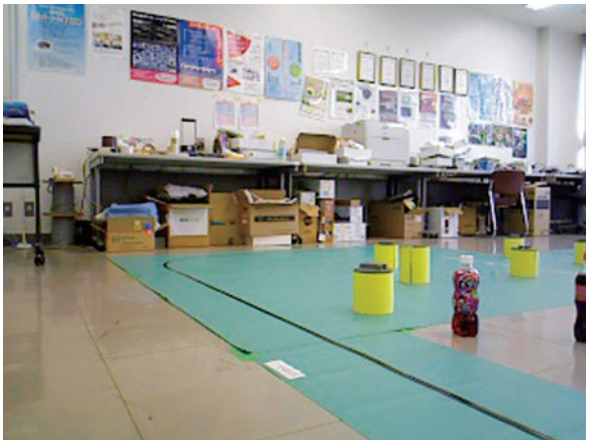

図 10　計測場所（左）

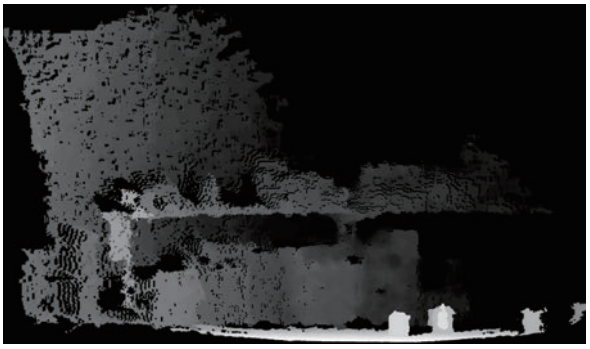

図 11　距離画像（左）

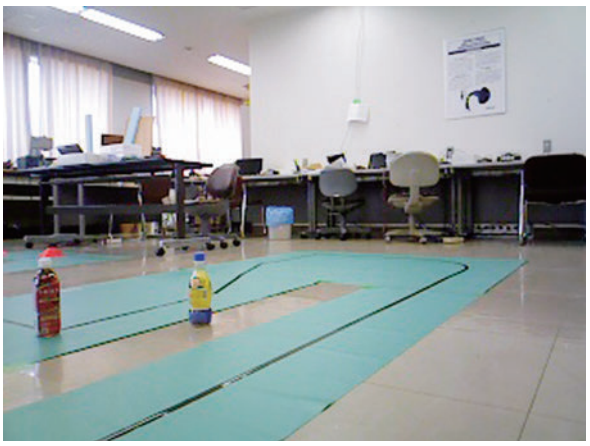

図 12　計測場所（右）

図 13　距離画像（右）

3.2　物体形状認識

物体形状認識する方法は，測域センサの場合とほぼ同じであるが，事前にペットボトルには必ずついているキャップを見つけておくという点が異なっている．また，画像のリサイズも行っていない．キャップを見つける際に，事前に用意したキャップのテンプレート画像の形状特徴として，円形度，複雑度を計算しておくことで，誤検出を少なくしている．キャップのテンプレート画像と実際にキャップを検出した画像，キャップ検出した後，ペットボトルを検出した画像を図 14〜図 18 に示す．

キャップ検出画像を見ると，正面と左の画像からはキャップが検出されていないことが分かる．右の画像からはキャップを 2 つ検出したため，そ

図 14　テンプレート画像（キャップ）

図 15　キャップ検出画像（正面）

図 16　キャップ検出画像（左）

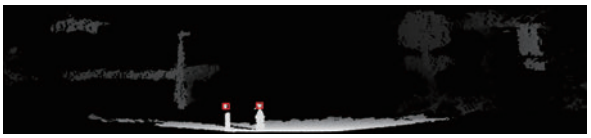

図 17　キャップ検出画像（右）

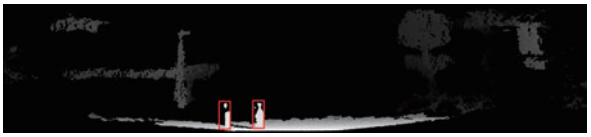

図 18　ペットボトル検出画像（右）

の後，その周辺にペットボトルがあるかをテンプレートマッチングで調べたところ，ペットボトルのようなものがあったので，図 18 のペットボトルの部分が赤枠で囲まれている．

4．距離画像使用のメリット・デメリット

距離データを用いて検出する場合[4] と処理時間を比較すると，画像処理する時間分だけ，距離画像を用いた方が，距離データの中から対象物を探す方法より遅くなってしまう．また，距離データ数が増加すると距離画像の作成に，また，画像サイズが大きいとテンプレートマッチングに時間がかかってしまう．

しかし，検出精度を比べると，距離データそのままを用いる場合よりも，精度が上がることが分かった．ここでの検出精度とは，ペットボトルを検出するかしないかである．検出精度をもっと上げたい場合には，画像をリサイズするときの縮小率を下げることや，その他の画像処理をするなどの方法がある．対象物の形状が複雑な場合であってもテンプレート画像を作成しておくと，距離データから探索する場合と比べ，正確に検出が可能となる．このテンプレート画像は手書きでも作ることができ，あるいは事前にその対象物を 3 次元計測して，作成距離画像から切り取ることで作ることができる．また，検出可能範囲も広いことが確認できた．

5．特定物体認識

SIFT 画像処理をする際，今まではある一方向から撮影した画像を用いていたが，もし物体がその方向でない向きになっていた場合は認識できなかった．そこで，物体を回転させた画像を何枚か撮影し，それを 1 つの画像として合成した画像を用いることで，この問題に対処した．合成画像を図 19 に，SIFT 画像処理した図を図 20〜図 22 に示す．

結果を見ると，対象物の見える方向が違っていても検出できることが分かる．しかし，見える角度が少し変わると検出が難しくなるので，合成画像を作る際に，対象物の角度もっと細かく回転させて，回転画像の数を増やすなどの対策が必要と

図 19　合成画像

図 20　SIFT 画像処理結果 1

図 21　SIFT 画像処理結果 2

図 22　SIFT 画像処理結果 3

なる場合がある．

6．ハンドリングへの応用

物体形状認識をして，その後，SIFT 特徴量によって特定物体認識をすることで指示した対象物の位置データのみを取得する．その位置データを移動ロボットに送ることで対象物をハンドリングさせた．

使用した機器は図 23 に示すように，①カラー単眼カメラ（Microsoft Life Cam Studio），②測域センサ（UTM-30LX：計測距離 30 m，分解能 0.25°），③パンユニット（SPU-01b），④ノート PC（Windows 7　32 bit　Corei5　2.6 GHz），⑤自律移動ロボットである．実験システム構成，ロボットの動作フローチャートをそれぞれ図 24，図 25 に示す．

似た形状のペットボトルを 4 個と，その他にも形状の似ていない物体を置いた環境で 3 次元計測した．距離画像による物体形状認識の段階で 3 個のペットボトルを検出した．ペットボトルを 1 つ検出できなかった理由は，距離画像を確認するとペットボトルが 2 つ重なっていたため，手前側の物体しか検出できなかったからである．一致度の高かった物体から順に SIFT 画像処理し，特定物体認識することにより，指定した物体だけハンドリングすることに成功した．その時間経過を図 26

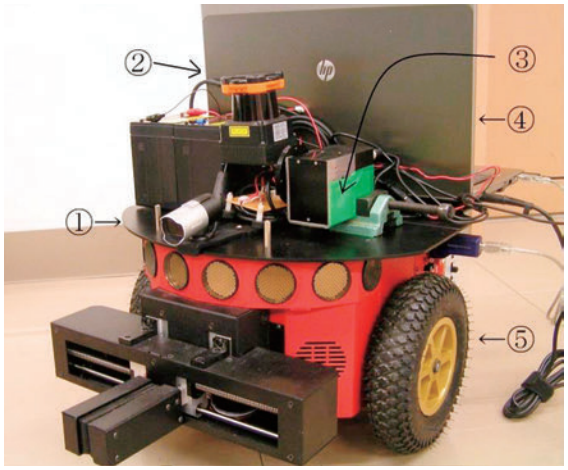

図 23　ロボット全景

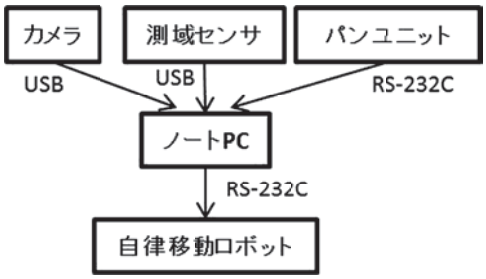

図 24　実験システム構成

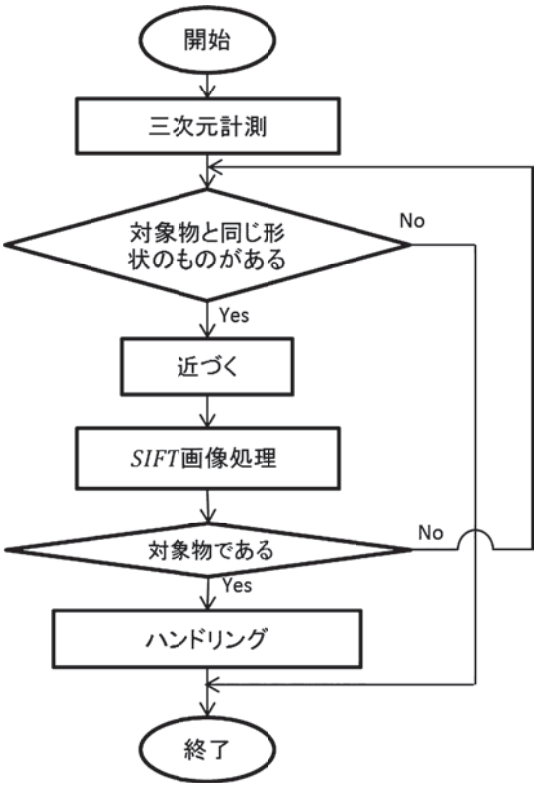

図 25　動作フローチャート

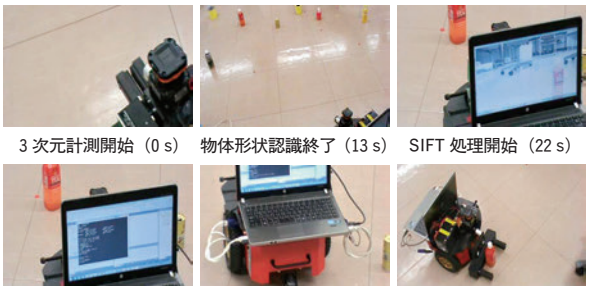

図 26　ハンドリング時間経過

に示す．

7．まとめ

物体形状認識する方法として，3 次元距離データを取得する際に，測域センサを用いて距離画像を作成した場合と Xtion を用いて作成した場合の 2 種類の方法を比較した．その結果，どちらも物体検出できるが，現時点では測域センサを用いた場合の方が，物体検出の精度が良い．Xtion を用いると，キャップ検出する際に，対象物までの距離が 1.5 m 以上離れてしまうと，キャップの点群データを得ることが出来なくなることが分かった．この原因は Xtion の解像度である可能性が高いので，対策を立てる必要がある．

SIFT 画像処理をする際に，対象物を回転させた合成画像を用いることで，対象物の向きが変わっても特定物体認識が出来ることを確認した．

また，この物体形状認識と SIFT 画像処理を物体ハンドリングへ応用した結果，位置が未知である指示したペットボトルをハンドリングできた．

謝辞

本研究は，文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業（平成 20 年～平成 24 年）の支援を受けて行われた．

【参考文献】

1）永田和之，脇田優仁，小野栄一：人が指示した物を取ってくれる日常生活支援ロボット，日本機械学会福祉工学シンポジウム 2007，MG313，pp.235-238，2007．
2）山本貴史，齋藤史倫，橋本国松　他：生活支援ロボット HSR の開発，日本ロボット学会第 30 回記念学術講演会，3C2-1，2012．
3）塩濱教幸，深谷健一：SIFT を用いた特定物体認識の高速化と自律移動ロボットによる物体ハンドリングへの応用，第 4 回日本ロボット学会北海道ロボット技術研究専門委員会学術講演会，pp.120-122，2012．
4）塩濱教幸，深谷健一：複数センサを併用した特定物体の位置認識と移動ロボットによる物体ハンドリングへの応用，2012 年度精密工学会北海道支部学術講演会，pp.57-58，2012．
5）Gary Bradski, Adrian Kaehler：詳解 OpenCV―コンピュータビジョンライブラリを使った画像処理・認識，O'REILLY，pp.216-221，2009．