

棒状部位の把持に向けた RGBD 画像からの円柱の直径推定

Diameter Estimation of Cylinders from RGBD Images for Grasping

○川越 智貴 (信州大学) 正 山崎 公俊 (信州大学)

Tomoki KAWAGOSHI, Shinshu University, 14t1028b@shinshu-u.ac.jp
Kimitoshi YAMAZAKI, Shinshu University, kyamazaki@shinshu-u.ac.jp

This paper describes acquiring cylinder information from RGB-D image to grasp of rod-shaped part. In order to make the robot exploratory activity, it is necessary to grasp various parts such as a ladder bar and a stairway railing. As cylindrical shapes are often used as their shape, we focused on the cylindrical shape. We aimed to acquire information accurately at a long distance against a thin cylinder. In this paper, we focus on cylinder diameter as cylinder information. In this method, the cylinder diameter is derived using the number of point clouds and the edge images. Estimate accurately by performing weighted averaging using variance values of each derived value.

Key Words: Cylinder Diameter, Point Cloud, Image Edges

1. 緒言

災害や事故は社会に付帯して発生するものであり、緊急の救助や復旧が不可欠である。しかし、そのような状況下での作業は過酷であり、二次災害が起きる危険性もあるため、人間が作業を行うには困難な環境である。そこで、災害や事故の対応策として遠隔操作型のロボットを用いる動きがあり、そこでは搜索活動の支援や迅速な被害情報把握のための環境認識支援が求められている。遠隔操作ロボットで搜索活動を行う際、ロボットに把持動作を行わせる機会は多々ある。例えば、梯子や階段の昇降を行う際には、梯子の棧や階段の手すりなどを把持すると転倒の危険性が低くなる。ただし、ロボットが把持動作を行うためには把持対象となる部位の正確な情報が必要不可欠である。

そこで本研究では、手すりや梯子によく用いられている円柱の部位を認識する方法に焦点を当てる。梯子の棧として用いられる円柱の直径は細く、さらに災害環境などでは瓦礫などが存在している可能性がある。よって、近づいて観測することが困難な場合もある。そのため、把持の可否判定を離れた距離からも行えることが望まれる。

円柱情報の獲得に関する研究として、円柱あてはめを用いた樹幹検出の研究[1]や、Hough 変換による円柱あてはめの研究[2]などがある。[1]の研究は対象が樹幹であり、実際には円柱ではないものに対する手法であるため梯子の棧などの円柱形状の物体に対する精度については述べられていない。

本稿では、円柱部位を把持するために必要な情報として、円柱領域から円柱直径を推定する方法を提案する。また、細い円柱や離れた距離からでも円柱直径を高精度に推定する。

2. 円柱直径の推定方法

2.1 円柱直径推定のアプローチ

提案手法は、入力データとして RGB 画像及び深度画像 (Depth 画像) を用いる。また、二つの手法により円柱直径を推定することで、より高精度な円柱直径の推定を行う。一つ目は、三次元点群を用いた推定手法である。この方法は、深度画像より算出した三次元点群を用いて、円柱領域の一定範

囲内に含まれる点の数、およびセンサと円柱中心点の表面までの距離を測定距離とし、点の数・測定距離・円柱直径の関係を用いることで、円柱直径を推定する。二つ目はエッジ画像を用いた推定方法である。この方法は、RGB 画像から算出したエッジ画像から円柱の長手方向のエッジを特定し、それらのエッジの間の距離を用いて円柱直径を推定する。なお、提案手法では、データの分散値から推定値の信頼性を決めることとし、重みづけ平均を行い最終的な円柱直径を推定する。

2.2 三次元点群を用いた円柱直径の推定

センサから得られる三次元点群は物体の表面に関する情報であるため、点の数と円柱の表面積は比例すると考える。もちろん、実際は点の密度やセンサの計測領域の関係上、表面積と点の数は同一ではないが、そこに近似可能な関係性があることを見込み、点の数と円柱の表面積を同等に扱う。

点の数による直径推定の方法を次に説明する。円柱領域の中心点を求めるために、二次元座標上における円柱領域の x 座標、 y 座標の平均値を求める。その後深度画像から、中心点に対しての深度情報を獲得することで円柱中心点表面の三次元データを求める。求めた円柱中心点表面に所定の大きさの球を作成し、その球の範囲内に含まれている点の数を数える。ここで、円柱中心点に作成した球に含まれる円柱領域の表面積は、表面積 s 、円柱直径 $d_{cylinder}$ 、球の直径 d_{circle} とすると、 $D_{XYZ}R'_{XYZ}|_{t=0} = 0$ 式(1)で表される。

$$s = d_{circle} \sqrt{1 - \frac{d_{cylinder}^2}{d_{circle}^2}} \times \pi d_{cylinder} \quad (1)$$

また、この時球の直径に対して円柱直径が小さいとみなせば式(2)で近似できる。

$$s \approx d_{circle} \times \pi d_{cylinder} \quad (2)$$

以上により、円柱直径に対して十分に大きな球を設定すれば、点の数も表面積と円柱直径の関係性と同一になるとみなす。また式(1)・式(2)は、円柱中心点に作成した球の範囲内

に含まれる領域の表面積であり，点の数は円柱中心点表面に球を作成して測定を行うが表面積は一定の割合で縮小されると考えたため表面積と円柱直径の関係性には大きく影響がないと考えた．よって，点の数 n と円柱直径は式(3)のような近似式で一般化できる．ただし， a は直線の傾きである．

$$n = a \times d_{cylinder} \quad (3)$$

実際に，点の数と円柱直径の関係性が式(3)のようなモデルで表せることを確かめるために，次のように検証した．測定対象として直径 18, 26, 32, 48mm の四種類の塩化ビニール管を用いた．センサと円柱中心点の表面までの距離を測定距離とし，円柱直径及び測定距離を 0.8~1.6m 間で刻み幅 0.2m とし変更しながら点の数の測定を行った．測定の際，球の直径は 160mm とした．この値は，測定対象の円柱の中で最も直径の値が大きい 48mm に対しても十分に大きい．また，球の直径の値が大きすぎると測定できる円柱の長さが限られてしまうので，経験的にこの値を設定した．測定した点の数 10 個の平均値を算出し，測定距離ごとに最小二乗法より係数を導出した．縦軸を点の数，横軸を円柱の直径とし測定距離ごと点の数と円柱直径の関係性を示したグラフを図 1 に示す．これより，直線近似が適切であることがわかる．また，直線の傾きは測定距離ごとに変化している．

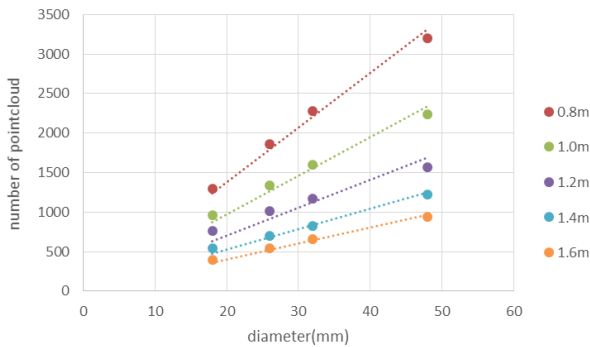


Fig. 1 Relationship between number of point cloud and diameter

ここで，点の数は円柱直径及び測定距離に対して変化する値である．すなわち，式(3)の係数は測定距離と関係性がある．これより，測定距離 z と円柱直径について式(4)を考える．

$$n = f(z, d_{cylinder}) \quad (4)$$

縦軸を直線係数，横軸を測定距離とした直線係数と測定距離の関係性を示したグラフを図 2 に示す．この図では，直線係数と測定距離との関係性が二次関数で適切に近似できている．すなわち，この近似式を用いることで，あらかじめ測定を行っていない距離で円柱を計測した場合でも，点の数及び測定距離から円柱直径を推定することができる．

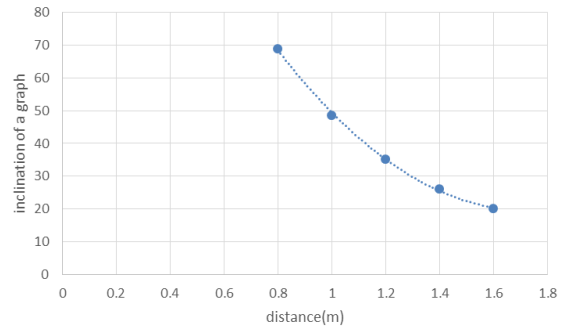


Fig. 2 Relationship between inclination of graph and distance

2.3 エッジ画像を用いた円柱直径の推定

RGB 画像からは容易に画像エッジを検出することができ．そのエッジの中から円柱に由来するものを特定することができれば，エッジ間の距離から円柱直径を推定できると考えられる．

手順は次の通りである．まず，RGB 画像上の円柱領域に対して主成分分析を用いることで，円柱の長軸を求める．主成分分析は，データの分散が大きい主成分を導出する方法である．主成分分析により得られた主成分ベクトルを円柱の長軸を表す指標とする．一方で，RGB 画像から作成したエッジ画像に確率的ハフ変換を施し直線エッジを抽出し，直線方程式を算出する．方程式の係数と主成分ベクトルの係数を比較することで，主成分ベクトルと平行とみなせる直線エッジのみを円柱エッジとする．円柱エッジは，円柱の中心点からみて右手方向と左手方向に二つ存在する．方向の違いは，円柱の中心点から，直線エッジの直線上に下した垂線の足の座標により判別する．なお，主成分ベクトルと平行な直線エッジは多く存在する可能性があるため，直線エッジと円柱中心までの距離を用いて閾値処理を行う．その後，直線エッジを円柱領域の長さまで拡張し，エッジ強度が高い部分と直線エッジとの重なりを調べ，重なった画素数が多いものを円柱エッジとして特定する．この処理には，照明の影響により生じたエッジや直線エッジの途切れなどによる影響を抑える効果がある．円柱エッジを特定した例を図 3 に示す．

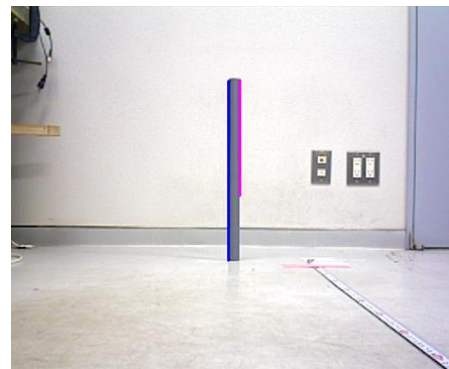


Fig. 3 Edge of cylinder

円柱エッジ間の距離は，特定した右手方向のエッジと左手方向のエッジでそれぞれ円柱中心までの距離を算出し，それらを足し合わせることで得る．また，そのままではエッジ間の距離は二次元であるので，三次元値に変換する必要がある．

る。この変換には円柱中心までの距離が必要である。そこで、深度センサから得られた円柱中心点表面までの距離と、点群の数より導出された円柱直径から円柱半径を計算しそれらを足し合わせることで、円柱中心点までの距離とした。これにより、円柱のエッジから円柱直径を推定することができる。

2.4 2つの値を用いた円柱直径の推定方法

前節で述べた方法は、円柱エッジ間の距離を三次元距離に直す際に点群の数より求めた円柱直径を用いている。ただし、点の数による誤差が10mmであったとしてもその値は円柱エッジにより求められる円柱直径の全体的な影響としてはわずかなものである。よって、点の数及びエッジ画像から導出された値を独立したものと考える。

二種類の方法により算出した値の分散値を、値の信頼度とする。そして、分散値を重みとした重みづけ平均を用いて、式(5)によって円柱直径の最終的な推定値を算出する。

$$d_{\text{method}} = \frac{\sigma_{\text{edge}}^2}{\sigma_{\text{edge}}^2 + \sigma_{\text{point}}^2} \mu_{\text{point}} + \frac{\sigma_{\text{point}}^2}{\sigma_{\text{edge}}^2 + \sigma_{\text{point}}^2} \mu_{\text{edge}} \quad (5)$$

ここで、最終的に推定される円柱直径を d_{method} 、点の数から推定された円柱直径の平均値を μ_{point} 、分散値を σ_{point}^2 、エッジ画像より推定された円柱直径の平均値を μ_{edge} 、分散値を σ_{edge}^2 とした。

3. 検証実験

3.1 検証条件

提案手法の検証を次のように行った。対象の円柱として、点群の数を測定する際に用いた直径18, 26, 32, 48mmの四種類の塩化ビニール管を使用した。ただし、測定距離を0.9~1.5m間において刻み幅0.2mとした。RGB画像及び深度(Depth)画像を取得し提案手法を適用して円柱直径を推定した。各分散値及び平均値を求めるときのデータの総数を5とし、円柱領域は深度画像より算出した三次元点群に対して手動で円柱領域だけが残るような閾値処理を施すことで作成した。また本実験では、RGBセンサとしてASUS社がモーションキャプチャデバイスとして提供しているXtion Pro Liveを使用した。主なスペックを表1に示す。

Table 1 Main specifications of Xtion PRO LIVE (Depth camera)

画素数[pixels]	640x480,320x240
有効距離[m]	0.8 ~ 3.5

3.2 検証結果

表2は、提案手法を用いて推定した円柱直径の平均値と標準偏差を示したものである。比較のために、円柱情報の獲得としてよく知られているPoint Cloud Libraryにある円柱あてはめを用いた。推定される円柱半径より算出した円柱直径の平均値と標準偏差を表3に示す。円柱あてはめを用いる際のパラメータとして、円柱モデルの導出回数を10000回、表面法線の重みの影響を0.1、円柱モデルまでの距離の閾値を50mm以下にした。本検証では、平均値および標準偏差を求め

る際のデータの総数は10とした。

3.3 考察

表2と表3を比較してみると、多くの場合で提案手法の方が良い精度で円柱直径推定していることがわかる。また、提案手法は標準偏差の値が小さいため推定された円柱直径の値のばらつきが少ないことがわかる。円柱あてはめで得られた推定値の標準偏差が大きくなった理由としては、円柱パラメータを導出する際に、RANSACによるロバスト推定を用いているからではないかと考える。

また提案手法において精度が劣った理由として点群の数の関連性モデルを作成する際の測定データの数が関係しているのではないかと考える。そのため測定データを増やすことで精度を向上させることができると考える。

Table 2 Results of the proposed method

円柱直径(18.0mm)			円柱直径(32.0mm)		
測定距離(m)	平均値(mm)	標準偏差	測定距離(m)	平均値(mm)	標準偏差
0.9	17.99	0.778	0.9	30.31	0.004
1.1	18.90	0.326	1.1	32.50	0.190
1.3	20.77	0.338	1.3	32.83	0.036
1.5	21.02	1.012	1.5	33.89	0.604
円柱直径(26.0mm)			円柱直径(48.0mm)		
測定距離(m)	平均値(mm)	標準偏差	測定距離(m)	平均値(mm)	標準偏差
0.9	26.86	0.773	0.9	47.10	0.338
1.1	27.63	0.686	1.1	47.54	0.407
1.3	27.61	1.098	1.3	46.89	0.323
1.5	27.86	0.469	1.5	47.28	0.204

Table 3 Results of the cylinder segmentation in PCL

円柱直径(18.0mm)			円柱直径(32.0mm)		
測定距離(m)	平均値(mm)	標準偏差	測定距離(m)	平均値(mm)	標準偏差
0.9	16.08	3.471	0.9	35.15	3.495
1.1	15.97	0.806	1.1	31.91	6.842
1.3	16.88	1.037	1.3	28.01	4.325
1.5	18.99	2.974	1.5	28.76	4.464
円柱直径(26.0mm)			円柱直径(48.0mm)		
測定距離(m)	平均値(mm)	標準偏差	測定距離(m)	平均値(mm)	標準偏差
0.9	28.08	2.813	0.9	55.90	3.309
1.1	25.36	1.504	1.1	52.62	6.336
1.3	27.17	3.447	1.3	51.89	7.270
1.5	24.38	3.877	1.5	42.68	3.652

4. 結言

本稿では、円柱情報として円柱直径を獲得する新たな手法を提案した。点の数、円柱中心点表面までの距離と円柱直径の関係性、また円柱エッジを特定することにより円柱直径を推定する方法について述べた。その上で導出された2つの値を組み合わせることで、精度の高い円柱直径を推定する方法について示した。

今後の課題としては、センサより獲得したデータから円柱

位置を自動で認識し円柱情報を獲得できるようなシステムの構築を行っていきたい。

謝辞

本研究は内閣府 ImPACT TRC の補助を受けた。ここに感謝の意を記す。

参考文献

- [1] 堀内栄一, ” 三次元点群への円柱あてはめによる樹幹の自動検出”, 日本ロボット学会誌, Vol. 31, Np. 6, pp605-613, 2013
- [2] T.Rabbani and F.v.d.Heuvel: “Efficient Hough transform for automatic detection of cylinders in point clouds,” Int. Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 36 (Part 3/W19), pp. 60-65, 2005
- [3] 平岡和幸, 堀玄, “プログラミングのための確率統計”, オーム社, pp278~283
- [4] 皆川卓也, ” 解説 : PCL の円柱検出実装”, 2016