

テンプレートマッチングと幾何形状検出に基づく物体姿勢認識

信州大学 工学部 ○東出泰治, 田中大輔, 山崎公俊

要旨: 本稿では, テンプレートマッチングに基づく物体姿勢認識手法について述べる. テクスチャの少ない小型の物品を検出対象として, 輪郭情報を利用した手法である LINEMOD を採用した. さらに LINEMOD では曖昧さが残る場合の対応策として, 幾何形状検出と視点移動を組み合わせた. 提案方式の効果を, 実画像を用いた実験によって有用性を確かめた.

1. はじめに

物体把持を伴うロボットマニピュレーションタスクにおいては, 操作すべき物体の位置と方位, すなわち姿勢を知ることが重要である. そのため, 従来から画像や三次元距離画像センサを利用した方式が提案されている[1-3]. これらの手法では, 知識として事前に与えたモデルと, センサから得られた計測データとの間で照合処理をおこなうアプローチが採られる. モデル表現の例としては, 画像のような二次元情報であれば輪郭や特徴点, 三次元点群であれば幾何形状モデルなどがよく用いられる.

照合処理の手法のひとつに, テンプレートマッチングによるものがある. これは, 輪郭や表面形状などの幾何学的情報をもとにして, 認識対象の物体の姿勢を幾何学的情報の合致度合いから判断する. モデルの表現が明確であり, モデルを生成することも容易であることから, 比較的扱いやすい.

テンプレートマッチングによる最近の手法として, LINEMOD[4]が知られている. LINEMOD は, 2次元画像の輪郭の法線もしくは3次元形状の表面の法線を利用する方法であり, 多数のテンプレートを効率的に保持して照合処理を高速化しているところに特徴がある. テンプレートを持つということは, テンプレートの粒度によって推定姿勢の粒度も変わることの意味する. すなわち, 多くのテンプレートを確実・高速に照合できるほど, 姿勢推定の精度を高くすることにつながる.

本稿では, 部品の組み立て作業などで用いることを想定した物体姿勢認識手法を提案する. 認識対象とする物品は, 比較的小型で視覚的特徴が少ないものである. すなわち, テクスチャが豊富である際に有用である画像特徴点などが使いにくい. また, 対象物品は, 異なる物品であっても視点によって似たような輪郭をもつものが存在しうるとする. さらに, 一つの物品においても, 複数の視点で似たような輪郭が見える場合もあるとする. このような輪郭の重複については, 従来の LINEMOD では対処することは難しい. そこで本研究では, 輪郭の内部に存在する幾何形状を利用して重複のあいまいさを減らし, 物体姿勢認識を達成する.

2. 問題設定とアプローチ

図1は, 本研究で対象とする物品の例である. 棒状の単純形状からギアの歯などの細かい形状など, 規則的ではありながら様々な形状がある.



図1 対象物品の例

これらの物品は, それぞれを組み合わせる作業を経て, 何かしらの装置として組み上がることが想定されている. すなわち, 考えられる操作作業としては, 円柱をギアの中央の穴に差し込む, オスとメスのコネクタをはめ合わせるなどがある. このような想定から, 部品の大きさは概ね5 cm以下としているため, 安価で手に入る三次元距離センサで形状情報を得るのはやや困難である. よって, 物体姿勢認識は, 近接撮影したカラー画像を用いておこなう. 1章で述べたように, LINEMODにより輪郭ベースのテンプレートマッチングをおこなう. ただし, 輪郭を見るだけでは, どの部品なのか, もしくはどの視点から見ているかを一つに決められない場合がある. そこで, 輪郭内部に存在する幾何形状を手掛かりにしたり, 視点移動を導入したりすることで絞り込みをおこない, 曖昧さを解消する.

3. 姿勢認識手法

3.1. LINEMOD のテンプレートとその取得方法

LINEMOD は, 多数のテンプレートを利用することを前提とした手法である. 視点を少しずつずらして撮影したときの輪郭情報を与えておくと, それらの輪郭と類似度が高い局所画像部位を, 現在の画像中から高速に探し出すことが可能である. 本研究では, 図2に示すような基準マスク画像を用意したの



図2 基準マスク画像

ちに、これらの画像を所定の角度ずつ回転させたマスク画像を新たに生成することで、視点を変更するのと同じ効果を得た。それらを用いて部品の姿勢認識をおこなうこととした。

また、三次元形状テンプレートを利用する方法への拡張も考慮し、幾何シミュレータを用いた自動テンプレート生成環境も構築した。すなわち、対象物品の形状データを三次元幾何モデルとしてシミュレータに読み込み、それを仮想的に観測するセンサをシミュレータ内に設置する。そして、物品の姿勢を様々に変えながら画像や三次元点群の仮想データを取得して、それらからテンプレートを生成できるようにした。

3.2. 幾何形状情報を用いた曖昧さの軽減

LINEMODは輪郭情報しか参照しない。それにより、内側の模様に影響されにくいロバストな検出処理を実現している。しかしながら、本研究の課題においては、2章で述べたような新たな課題が生じる。一方で、はめ込み等を想定されている部品を対象としていることから、穴などは単純な幾何形状で空いていることが多い。そこで、LINEMODによって曖昧さを残したまま検出をしたのちに、検出した輪郭内部で幾何形状の存在を調べることにした。例えばコネクタのメスであれば円形の穴が複数空いているため、輪郭内部でハフ変換による円形検出をおこなう。これにより、もし円が複数見つければメス、そうでなければオスと判断することができる。

3.3. 視点移動による曖昧さの軽減

対象物品の中で、円柱と角柱は明らかに異なる形状をしている。ただし、横倒しにした状態で直上から撮影した場合、画像上での輪郭は、両方ともほぼ同じ形の長方形になる。輪郭内部には幾何形状が存在しないため、前節の方法では曖昧さは回避できない。そこで、曖昧さ解決のために視点移動を導入する。すなわち、長方形の輪郭が検出されたのち、それを長手方向から計測できる視点に切り替えて、そこで撮影した画像を用いて部品の判定をおこなう。長方形が見つかった時点で物品の種類は少数に絞り込んでいるため、視点移動後の認識は少数の候補に対して高速に実行できる。

4. 実画像を用いた検証

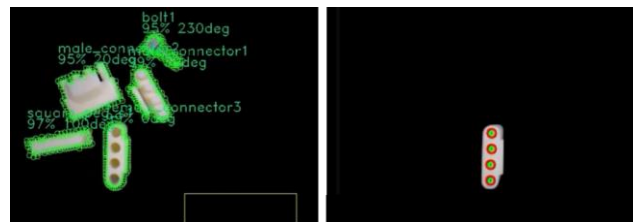


図3 検出結果の例

カメラから観測される輪郭を図2に示すようにいくつかマスク画像として準備し、それを画像面に垂直な軸回りに10度ごとに回転して保存したものをテンプレート画像とした。図3は処理結果の一例を示す。左側の画像には5個の物品が映り込んでおり、それぞれがLINEMODにより所定の閾値以上の類似度で検出できている。この程度の物品数であれば、およそ10fps程度で検出が可能であった。図中右は、コネクタの検出結果を得たのちに、オスカメスカを判定するために、ハフ変換による円検出処理をおこなう。円が見つかった様子を示している。この結果から、メスのコネクタであると判断できる。

5. まとめ

本稿では、テンプレートマッチングに基づく物体姿勢認識手法について述べた。テクスチャの少ない小型の物品を検出対象として、LINEMODを採用し、それだけでは曖昧さが残る場合の対応策として、幾何形状検出と視点移動を組み合わせた。実画像を用いて提案手法の有用性を確かめた。

謝辞

本研究は、NEDO「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト」の補助を受けた。

参考文献

- [1] K. Rahardja, A. Kosaka: "Vision-based bin-picking: Recognition and localization of multiple complex objects using simple visual cues," in Proc. of IEEE IROS, Vol.3. pp. 1448-1457, 1996.
- [2] Ming-yu Liu et al.: "Fast object localization and pose estimation in heavy clutter for robotic bin picking," International Journal of Robotics Research, Vol.31, Issue 8, pp.951 - 973, 2012.
- [3] Y. Domae et al. : "Fast Graspability Evaluation on Single Depth Maps for Bin Picking with General Grippers," in Proc. of IEEE ICRA, 2014.
- [4] S. Hinterstoisser, et al.: "Gradient Response Maps for Real-Time Detection of Texture-Less Objects," IEEE Trans. on PAMI, Issue 34, No. 5, pp. 876 - 888, 2012.