

扱い方を考慮した日用品のモデル化

○新良貴陽平（都市大） 永田和之（産総研） 佐藤大祐 金宮好和（都市大）
原田研介 山野辺夏樹 中村晃（産総研）

1. 緒言

サービスロボットは、我々の身の回りにあるあらゆる日用品を扱わなければならない。日用品には沢山の種類の物があり、同じ種類でもデザインやサイズの異なった物が存在する。また日用品は形状が同じでも用途が異なれば扱い方が異なるため、形状に着目した把持の安定性 [1] ばかりでなく、用途に応じた扱い方も考慮しなければならない。

本論文は日用品を用途に応じて適切に把持するための知識モデルについて述べる。

2. 日用品の知識モデル

日用品は多種多様であるが、物品のカテゴリが同じであれば物品を構成するパーツや扱いは共通となる。日用品の多様性は、日用品の主要な機能を補助・強化し、より使い易くするために新たなパーツを付加することにより生じる。そこで日用品の機能に着目し、日用品を機能単位のパーツの集合として記述する。日用品の知識モデルには、日用品の構造を表す情報と扱い方を表す情報を記述する。このとき、日用品のカテゴリは、パーツ接続の優先度から階層ツリー構造で表現できる [2]。日用品の扱い方が記述された知識モデルを深度センサから取得した三次元点群データにマッピングすることで、三次元点群データに日用品の扱い方の知識を埋め込むことが出来る。

2.1 日用品の構造

日用品の構造に関する情報は日用品を構成するパーツとその接続関係に幾何情報を加えたものである。この情報は、日用品の扱い方の知識を物体の三次元点群データにマッピングするために用いる。日用品をモデル化する際、各パーツを単純な形状プリミティブで表す。しかし、日用品を構成するパーツはデザインによって様々な形状のものがあるので、知識モデルには対象とする日用品のパーツがとりうる形状プリミティブのリストを記述する。それぞれの形状プリミティブには形状を表すパラメータとそのパラメータの代表値、上限値と下限値を記述する。知識モデルを三次元点群データにマッピングする際、三次元点群データの形状に最も近い形状プリミティブを選択する。これにより多様な形状やサイズの日用品を抽象的に表現できる。

また日用品の構造を表す知識モデルには各パーツの接続関係を記述している。接続関係にはパーツ間の接続部位、自由度属性が記述されている。接続関係に自由度属性を記述することでハサミのような可動部を持つ日用品が表現できる。

コップの構造に関する知識を Extensible Markup Language (XML) で記述した例を図 1 に示す。

```
<name>cup</name>
<parent/>
<structure>
  <main_parts>
    <part name = "container">
      <shape_primitive type="hollow_cylinder_with_bottom">
        <radius min = * rep = * max = */>
        <height min = * rep = * max = */>
        <thickness min = * rep = * max = */>
      </shape_primitive>
    </part>
  </main_parts>
</structure>
```

図 1 知識モデルの幾何形状に関する記述

2.2 日用品の扱い方の知識

日用品は用途や使用目的に応じて扱い方が異なる。例えば、蓋付き容器を例にとると、容器を運ぶ場合には、蓋を把持してはならず、容器の側面を把持すべきである。また、把持のためのアプローチ方向も、タスクに応じて制限される。そこで、日用品の知識モデルには、タスクごとに把持領域とアプローチ方向を記述する。まず日用品の用途や使用目的に応じてタスクを定め、タスクのセットを知識モデルに記述する。それぞれのタスクの記述には、タスク名と把持パーツのセットが記述されている。また、把持パーツにはパーツ名、把持優先度、把持領域とアプローチ方向を記述している。

把持領域は次のように求める。把持パーツを表す形状プリミティブの表面を S とし、把持可能なプリミティブ構成面を $F \subseteq S$ とする。 F の中には、他のパーツが接続している領域があったり、水の入ったコップの飲み口のように衛生上把持すべきでない領域がある。このような把持禁止領域を P とする。このとき把持領域 G は次式で示される。

$$G = F - P \quad (1)$$

知識モデルには F , P に関する情報が記述されている。

またアプローチ方向は、二つの方法を組み合わせて記述する。一つはタスクごとにアプローチ可能方向を直接指定するものである。アプローチ可能方向は次式で表す。

$$B_k = (b_{k1}, b_{k2}, \dots, b_{km}) \quad (2)$$

$$C_k = \left\{ \sum_{i=1}^m c_i b_{ki} | c_i \geq 0, \forall i \in [1, m] \right\} \quad (3)$$

ここで b_{ki} ($i = 1$ to m) はアプローチ可能方向の境界を表すベクトルであり、 C_k は B_k によって示されるアプローチ可能方向の集合である。また k はこうして求められるアプローチ方向の集合の数である。

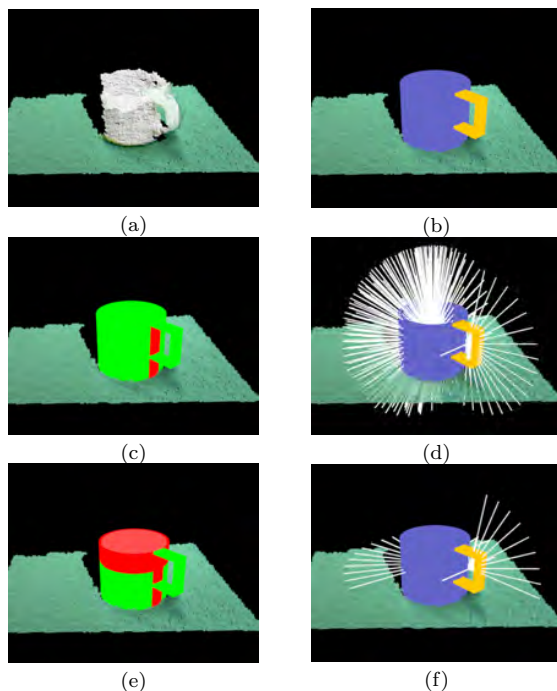


図2 マグカップの把持領域およびアプローチ方向の算出: (a) 三次元点群データ, (b) パーツ分割結果, (c) 搬送作業時の把持領域 (緑色), (d) 搬送作業時のアプローチ方向, (e) 液体格納時における搬送作業時の把持領域 (緑色), (f) 液体格納時における搬送作業時のアプローチ方向.

二つ目はアプローチ禁止方向を指定するものである. アプローチ禁止方向は次式で表す.

$$K_l = (k_{l1}, k_{l2}, \dots, k_{ln}) \quad (4)$$

$$D_l = \{v | v^T k_{lj} < 0, \forall j \in [1, n]\} \quad (5)$$

ここで $k_{lj} (j = 1 \text{ to } n)$ はアプローチ禁止方向を示すベクトルであり, D_l はアプローチ禁止ベクトルから求められるアプローチ可能方向の集合である. また l はこうして求められるアプローチ方向の集合の数である.

これら二つの組み合わせによりアプローチ可能方法 A は次式で与えられる.

$$A = \bigcup_k C_k + \bigcup_l D_l \quad (6)$$

知識モデルには B_k と K_l が記述されている.

3. 実験

知識モデルを用いて, 日用品の三次元点群データに用途に応じた把持領域とアプローチ方向をマッピングする実験を行った. ここでは, 対象物のカテゴリと用途は与えられているものとする. また対象物は机上平面に垂直に置かれているものとする. また机上平面对対象物以外の物体は存在しないものとする. 三次元点群データの取得には Xtion を用いた.

実験の対象とする日用品はマグカップと蓋付き容器 (茶碗蒸しの椀) とした. 図2はマグカップを用いて行った実験の結果である. 図3は蓋付き容器を用いて

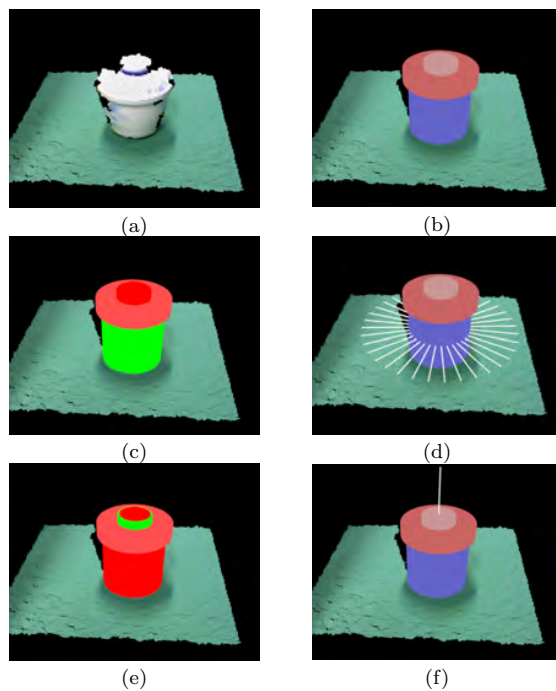


図3 蓋付き容器の把持領域およびアプローチ方向の算出: (a) 三次元点群データ, (b) パーツ分割結果, (c) 搬送作業時の把持領域 (緑色), (d) 搬送作業時のアプローチ方向, (e) 蓋を開ける作業時の把持領域 (緑色), (f) 蓋を開ける作業時のアプローチ方向.

行った実験の結果である. マグカップにおけるタスクは, 容器が空の状態と飲み物が入っている状態の搬送であり, 蓋付き容器におけるタスクは, 搬送および蓋を開ける作業である. ここで把持可能領域を緑色, 把持禁止領域を赤色, アプローチ方向を白線により示した.

4. 結言

本論文は日用品をタスクに応じて適切に把持するための知識モデルについて述べた. まず日用品の構造に関する知識として, 日用品を扱い方の観点から機能単位のパーツで表し, パーツがとりうる形状プリミティブを記述した. またパーツ間の接続部位と自由度属性を記述した. 次に日用品の扱い方の知識としてタスクに応じた対象物の把持領域とアプローチ方向をパーツごとに記述した. 日用品の扱い方の知識は, 日用品の構造に関する情報を用いて三次元点群データにマッピングする. 実験ではコップと蓋付き容器に対して, 知識モデルに記述した知識を三次元点群データにマッピングした把持モデルを生成した. 今後の課題は生成した把持モデルを用いた実機実験である.

参考文献

- [1] Ferrari, C., and Canny, J., "Planning Optimal Grasps," Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 2290–2295, 1992.
- [2] 永田和之, 山野辺夏樹, 原田研介, 中村晃, 辻徳生: "物体把持のための日用品のモデル化", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012 講演論文集, 2A1-H03, 2012.