

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 2 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24700194

研究課題名(和文)物体の一般的分類に基づく把持計画

研究課題名(英文)Grasp planning method based on general category of objects

研究代表者

辻 徳生(Tsuji, Tokuo)

九州大学・システム情報科学研究科(研究院・助教)

研究者番号：30403588

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円、(間接経費) 840,000円

研究成果の概要(和文)：ロボットが物体を把持する際には、物体を落とさないように、かつ、コップの内側など触れては行けない領域を考慮しなければならない。そこで、物体の一般的な分類(コップ、お皿など)に応じて、ロボットハンドで物体を適切に把持する手法を提案した。まず、物体を複数の二次曲面で近似する。さらに、同一の分類に属する類似した形状を持つ物体に対し、近似二次曲面の対応関係を求める。この対応関係を用いて、把持姿勢を変換する。つまり、物体1つに対し把持姿勢を生成すれば、その物体の属する分類のすべての物体を適切に把持することが可能になる。シミュレーションにより、日常生活用品に対する把持における、提案手法の有効性を確認した。

研究成果の概要(英文)：We proposed a grasp pattern transformation method for grasping various shaped objects. Although daily objects have various shape, many objects belong to the same category such as cups, bottles, forks, and knives. A grasp pattern constructed for an object can be transformed to other objects in the same category. This method is especially effective when the object has areas which should not be touched.

We first consider approximating the shape of an object by using the quadric surface. We then construct a binary tree of quadric surfaces. By using the binary tree between two objects belonging to the same category, we search the structure of quadric surfaces where the shapes of two objects can be transformed from one to the other. Then a grasp pattern is transformed from one object to the other. The effectiveness of the proposed method is confirmed through several simulation.

研究分野：知覚情報処理

科研費の分科・細目：知能ロボティクス

キーワード：ロボティクス 生活支援 把持計画 形状解析 ロボットハンド

### 1. 研究開始当初の背景

高齢社会において、家庭内労働力の担い手として、生活支援ロボットが期待されている。これらのロボットの基本的なタスクの一つとして、日常生活用品の持ち運び作業がある。この作業を実現するために、物体の形状に応じて物体を落とさないような把持姿勢を決定する把持計画法が多数提案されている。しかし、日常生活で使用される物体は、形状のみで持ち方が決まるわけではない。例えば、「リモコンのボタン」や「コップの内側」など触れて欲しくない領域が存在する。あるいは、取っ手のように把持することが推奨される領域が存在する。従来の把持計画手法では触れて欲しくない領域などの制約は対象物ごとに人が与える必要があった。また、形状のみに着目するため、同じ分類に属する物体でさえ、形状が少しでも異なれば、別の対象物として把持姿勢を計画していた。同一分類でも形状は無数に存在するため、これらの条件にあう持ち方を個別に手動で指定することは実用化への大きな障害となる。

ここで、人が物体を把持する場合、コップ、お皿など、その物体の一般的な分類（以後、分類と略す）を認識し、その分類において触れて欲しくない領域などの制約を考慮し普遍性のある把持を自然に実現できることに着目する。本研究課題では、ロボットハンドで把持する場合に、人と同様に分類から制約を考慮して普遍性のある把持を実現する。

### 2. 研究の目的

人が物体を把持する場合、その物体の一般的な分類（コップ、お皿など）を認識し、口がふれるために触れて欲しくない領域などの制約を考慮して、その分類に基づく持ち方を自然に選択している。一方、ロボットハンドで物体を把持する場合は、その分類を認識しないため、触れて欲しくない領域を自動的に考慮することができない。したがって、従来は、物体一つ一つに対し、人が持ち方を手動で指定するしかなかった。そこで、本研究では同じ分類に属する類似形状に対して類似した把持姿勢を適用する手法を提案し、触れて欲しくない領域などの制約を考慮して同一分類に属する多数の物体を自動的に把持できることを示す。

### 3. 研究の方法

本研究課題では、ロボットにより、同一の分類に属する複数の物体をそれぞれ要素に分割し要素間の対応関係を利用して把持する手法を提案する。さらに、実機実験によりその有効性を明らかにする。

(1) 物体の要素分解と物体間の要素対応付けを研究する。まず、取っ手と容器やペットボトルの蓋と本体というように対象物を要素を分解することを目指す。次に、この分解した要素を類似度によって物体間で対応付けることを目指す。この対応関係から物体間の

変換式を導出し、物体上の各点間の対応関係を求める。

(2) 把持パターンの物体間での対応付け方法を確立する。提案手法に基づき実験を行って有効性を確認する。把持対象として食器、食品容器を対象とする。

### 4. 研究成果

(1) 物体形状を複数の二次曲面で近似する手法を開発した。物体の形状がポリゴンモデルで与えられているとし、Taubin法を利用して近似式を与える。物体の一部は平面の領域を持ち、領域が平面の時は二次曲面近似式が特異解となり解が求まらないため、平面のための例外処理が必要である。そこで、平面の近似誤差が一定以下の場合は、二次曲面近似を行わず、平面とみなす。さらに、本応用では、2つの異なる平面が1つの近似曲面とみなされることは好ましくないため、除外する。このように特異解をさけて、二次曲面で近似できる。

物体を二次曲面の木構造で近似する。二次曲面の木構造を用いると、近似のレベルを自由に変更できる。そこで、メッシュの三角形の集合の合併を繰り返し、三角形の集合の木構造を生成する。この際に、二次曲面や平面により近似した際の誤差が小さい三角形集合を優先的に生成していく。合併する際に、合併された2つの集合を子、生成された集合を親とする木構造を生成する。生成された木構造を用いると、図1に示す通り、二次曲面の近似誤差を自由に設定できる。もし、コップの本体とハンドルを分離したい場合は、木構造の二番目のレベルを使用すればよい。

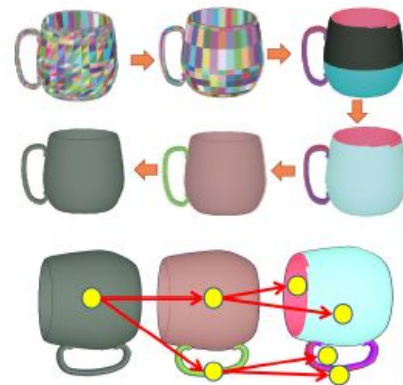


図1: 二次曲面の木構造

(2) 同じカテゴリに属する物体に対し、木構造を用いた形状のマッチング法を提案した。マスタを物体1とし、同じカテゴリに属する別の物体を物体2とする。物体1の木構造のリストにマッチする物体2のリストを以下の3つの手順により求める。

1. 物体全体の回転行列を計算する。
2. 各ノードの平行移動とスケールを計算する。
3. 二次曲面類似度誤差を評価する。

提案手法を用いてコップで対応付けを行い、互いのモデルに変換した結果を図2に示す。左にあるコップが異なる形状のコップに



変換されていることが確認できる。  
図2: オブジェクト間の対応付け

(3) 物体の二次曲面の変換式を用いて、把持パターンを変換する。1つの物体に含まれる点を他の物体の点に変換する。指と物体の接触点、手首の位置を制御点とする。指と手首の制御点はそれぞれのリンクに対応付けられている。制御点の位置が変わると、対応する関節は相対的な位置を維持するように移動する。制御点を変換した後、手首や指の逆運動学を解き、到達可能かどうか確認する。さらに、関節角度が限界内であるか、あるいは望ましくない干渉が起こっていないかを確認する。

図3にその変換結果の例を示す。(a)と(c)に示すような把持パターンが、(b)と(d)に示すように別のカップへの把持パターンが変換された。変換パターンは、Force closureを満たし安定把持であり、関節も到達可能であることを確認した。このように形状が異なる同じカテゴリの物体に対し同一の把持姿勢を適用することに成功した。

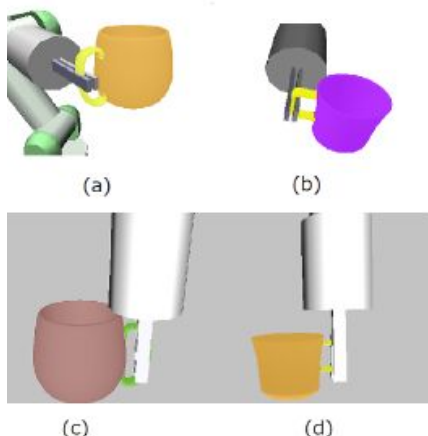


図3: 把持パターンの変換

(4) 接触面の曲率に基づく把持安定性評価法を提案した。提案手法により、物体を落とさないような、より安定した把持を実行できる。従来、接触線法線周りのモーメントの計算に面積のみが考慮されていた。したがって、凹面のモーメントが過少評価されていた。そこで、二次曲面近似を用いて、接触面の曲率を求め、把持する際に生じる応力の分布を考慮し、安定性の評価式を導出した。さらに、提案手法を用いて把持姿勢を生成し、多様な日用品の安定把持姿勢を生成した。

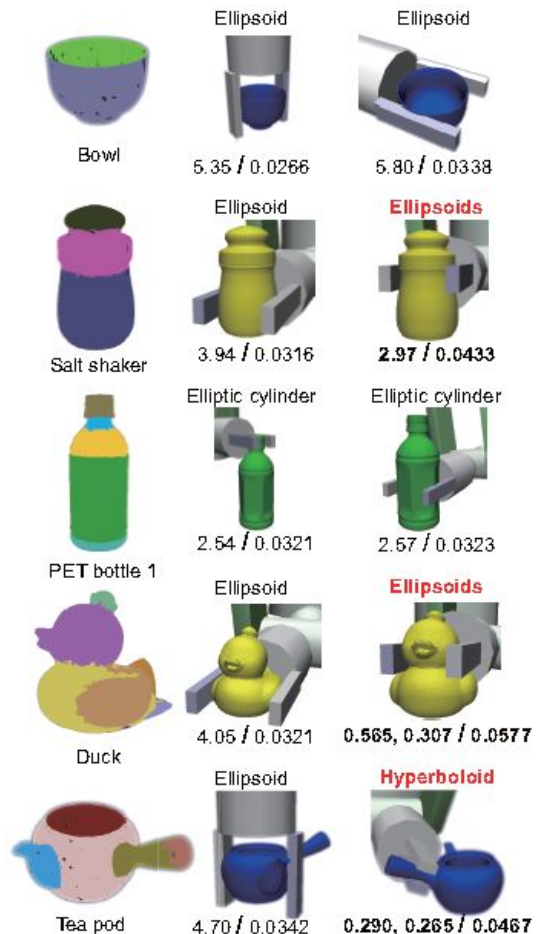


図4: 多様な日用品の把持

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 10 件) 査読有

“ロボットによるピックアンドブレースのための対象物配置計画” 原田研介, 辻徳生, 永田和之, 山野辺 夏樹, 音田 弘, 河井 良浩, 計測自動制御学会論文集, vol. 49, no. 9, pp. 823-831, 2013

“双腕を有するロボットによるピックアンドブレースの動作計画”, 原田研介, Torea Foissotte, 辻徳生, 永田和之, 山野辺夏樹, 丸山健一, 中村晃, 河井良浩, 日本機械学会論文集(C編), 78巻792号, pp.2870-2883, 2012

“把持面の柔軟性を考慮したパラレルグ

リップアの把持計画”, 原田研介, 辻徳生, 永田和之, 山野辺夏樹, 丸山健一, 中村晃, 河井良浩, 計測自動制御学会論文集, 48 巻 7 号, pp.364-372, 2012

“Grasp Planning for Constricted Parts of Objects Approximated with Quadric Surfaces”, Tokuo Tsuji, Soichiro Uto, Kensuke Harada, Ryo Kurazume, Tsutomu Hasegawa Ken'ichi Morooka, IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2014(採録決定).

"Stability of Soft-Finger Grasp under Gravity", Kensuke Harada, Tokuo Tsuji, Soichiro Uto, Natsuki Yamanobe, Kazuyuki Nagata, Kousei Kitagaki, Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2014 (採録決定)

"A Manipulation Motion Planner for Dual-Arm Industrial Manipulators", Kensuke Harada, Tokuo Tsuji, Jean-Paul Laumond, Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2014 (採録決定)

"Grasp Planning using Quadric Surface Approximation for Parallel Gripper", Soichiro Uto, Tokuo Tsuji, Kensuke Harada, Ryo Kurazume, Tsutomu Hasegawa, IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO), pp.1611-1616, 2013

"The Intelligent Room for Elderly Care", Oscar Martinez Mozos, Tokuo Tsuji, Hyunuk Chae, Syunya Kuwahata, Yoonseok Pyo, Tsutomu Hasegawa, Ken'ichi Morooka, Ryo Kurazume, 5th International Work-conference on the Interplay between Natural and Artificial Computation, 2013

"Probabilistic Approach for Object Bin Picking Approximated by Cylinders", Kensuke Harada, Kazuyuki Nagata, Tokuo Tsuji, Natsuki Yamanobe, Akira Nakamura, Yoshikazu Kawai, Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.3727-3732, 2013

"Object Placement Planner for Robotic Pick and Place Tasks", Kensuke Harada, Tokuo Tsuji, Kazuyuki Nagata, Hiroshi Onda, Takashi Yoshimi, Yoshikazu Kawai, Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.980-985, 2012

[学会発表](計 10 件)

ワゴンを利用した生活環境中の日用物品

運搬システムの開発, 中島 洸平, 長谷川 勉, 辻 徳生, 諸岡 健一, 倉爪 亮, 第 14 回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会 SI2013.

Informationally Structured Environment for Elderly Care House, Yoonseok Pyo, Tokuo Tsuji, Shunya Kuwahata, Akihiro Nagata, Tsutomu Hasegawa, Ken'ichi Morooka, Ryo Kurazume, Proc. The Ninth Joint Workshop on Machine Perception and Robotics (MPR13), K-0-02, Kyoto, 2013.10

Grasp Planning for Convex Shapes using a Soft Plane Gripper, Soichiro Uto, Tokuo Tsuji, Kensuke Harada, Ryo Kurazume and Tsutomu Hasegawa, Proc. The Ninth Joint Workshop on Machine Perception and Robotics (MPR13), K-P-01, Kyoto, 2013.10

応力分布の放物面近似に基づく把持安定性の評価, 宇都宗一郎, 辻徳生, 原田研介, 倉爪亮, 長谷川勉, 第 31 回日本ロボット学会学術講演会 2013

パーソナル清掃ロボットによる室内落下日用品の収集, 橋口 優香, 長谷川 勉, 表 允哲, 辻 徳生, 諸岡 健一, 倉爪 亮, 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会 2013

多指ハンドを用いた関節角の位置制御に基づく誤差に頑健な物体把持, 馬場恒星, 辻徳生, 河村晃宏, 表允哲, 田原健二, 原田研介, 長谷川勉, 倉爪亮, 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会 2013

一般物体把持のための把持姿勢変換, 辻徳生, 原田研介, 山野辺夏樹, 永田和之, 中村 晃, 長谷川勉, 第 18 回ロボティクスシンポジウム講演予稿集, 2013, pp.219-224, 2013

区分的な二次曲面近似に基づく把持姿勢候補の生成, 宇都 宗一郎, 辻 徳生, 原田 研介, 田原 健二, 倉爪 亮, 長谷川 勉, 第 18 回ロボティクスシンポジウム講演予稿集, 2013, pp.225-230, 2013

Humanoid Grasp Planner Imitating Human Motion, Tokuo Tsuji, Philippe Soueres, Olivier Stasse, Kensuke Harada, Tsutomu Hasegawa, Ryo Kurazume, Proc. The Eighth Joint Workshop on Machine Perception and Robotics (MPR12), OS4-3, 2012

区分的な楕円体及び楕円柱面近似に基づく把持計画, 宇都宗一郎, 辻徳生, 原田研介, 倉爪亮, 長谷川勉, 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会 2012, 1A1-L05,

[その他]

[http://fortune.ai.t.kyushu-u.ac.jp/res/resea3\\_hand.html](http://fortune.ai.t.kyushu-u.ac.jp/res/resea3_hand.html)

6 . 研究組織

(1)研究代表者

辻 徳生 (Tokuo Tsuji)

九州大学大学院 システム情報科学研究  
院・助教

研究者番号 : 30403588