

手渡しの際の受け手の心地よさを考慮した日用品の把持

山野辺夏樹(産総研) 久場景太郎 原辰徳 浅間一 新井民夫(東大)
永田和之 原田研介 中村晃 河井良浩(産総研) 辻徳生(九大)

1. はじめに

人の日常生活を支援するサービスロボットにとって、指示されたものを取って来て手渡すという作業は、要望の強い、必要不可欠な作業である。この作業を実現するためには、複雑な日常生活空間において多種多様な日用品を把持する技術が必要となる。そのため、ロボットハンドによる把持動作については、これまでに様々な研究が行われてきた(例えば [1, 2, 3] 等)。

しかしながら、これらの研究では多様な対象物を把持する部分のみが注目され、把持した後の動作についてはほとんど考慮されてこなかった。把持した対象物を単に片づけるのか、それとも人に手渡すのかによって、対象物の把持の仕方は大きく異なる。例えば、カップを片づける際にはカップのふちを持ってもらいが、手渡し時にふちを持ってしまうと受け手を不快にさせてしまう。そのため、手渡したときの受け手の印象も考慮して、ハンドの把持位置・姿勢を計画しなければならない。ここで、日用品には使用目的や用途といった機能に関する情報が存在し、それが受け手の印象に大きな影響を与えている。日用品を把持する際には、単に対象物の形状だけではなく、そのものが持つ機能を考慮する必要がある。

本稿では、受け手の印象に大きな影響を与える日用品の機能に着目し、心地のよい把持・手渡しを実現するための把持動作の計画手法について述べる。2章では、心地の良い把持動作を計画するために必要な、形状と機能に着目した日用品のモデル化方法について説明し、3章では、提案する把持動作の計画手法について説明する。最後に計画結果を示し、提案する手法の有用性を示す。

2. 把持・手渡しのための日用品のモデル化

2.1 形状情報

日常生活空間に存在する日用品の数は膨大であり、全てのものに対して詳細な形状モデルを持つことは非現実的である。そこで我々は、把持形態の観点から日用品の形状を分類し、基本形状ならびに各基本形状に適用可能な把持形態を定義している [4]。さらに、これらの基本形状を組み合わせることにより、多様な日用品を抽象化して表現することとした。

具体的には、一般的なロボットハンドとして平行2指ハンドを仮定し、図1に示す7種類の基本形状を定めた。各基本形状の幾何形状は、いくつかのパラメータを用いて定義し、それぞれが異なる基本的な把持形態を持つ。各把持形態における詳細な把持位置・姿勢もパラメータを用いて表現し(図2)、このパラメータを変化させることで把持位置・姿勢を探索することが可能となる。例えば充填型の円柱は半径 r_c 、高さ h_c 、

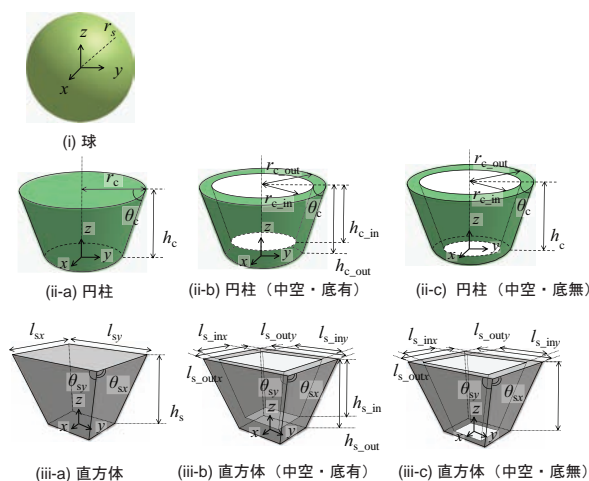


図1 基本形状

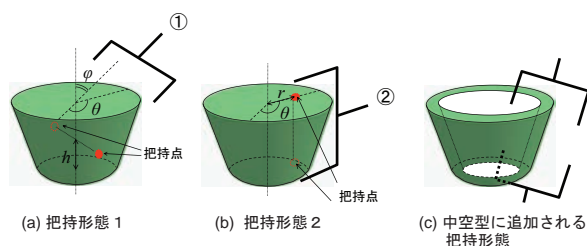


図2 把持形態(円柱の場合)

テーパの角度 θ_c の3種類のパラメータで定義し、座標系は底面の中心に設定する。基本的な把持形態としては、図2-(a), (b)に示す2種類を持ち、把持形態1は、ハンドのアプローチ方向を定義する中心軸周りの角度 θ 、中心軸に対する角度 ϕ 、および把持点高さ h の3種類のパラメータで、把持形態2は、中心軸からの距離 r および中心軸周りの角度 θ の2種類のパラメータで表現する。中空型の場合は、上記の2種類に加えて、ふちを掴むという把持形態が追加される(図2-(c))。詳細は [4] を参照されたい。

2.2 機能情報

対象物を把持して手渡す際に、何が受け手の印象に大きな影響を与えているかを理解するため、人から人への日用品の手渡しについての評価実験を行い、その結果に基づいて把持・手渡しの際に考慮すべき機能を定めた。これまでに、道具としての機能情報を基に利用動作を生成する研究 [5] や、道具の利用状況の観察から対象物の機能を抽出する研究 [6, 7] が行われているが、把持・手渡しの観点から日用品の機能について調査した研究はない。

具体的には、以下の2種類の評価実験を行った。

評価実験1: 手渡しの際の対象物の受け渡し姿勢および対象物の把持位置を様々変化させて、受け手の評価の変化を調査した [8]。

対象物はペン、鉛筆、缶、ハサミ、スプーン、グラスの6種類、対象物の受け渡し姿勢は6通り、把持位置は3通りとして、6名の被験者に対して調査を行った。

評価実験2: 人が日常的に行うような自然な手渡し動作を調査した。渡し手には、受け手から依頼された対象物を把持して手渡すように指示し、その際に注意した点を回答してもらった。また受け手には、その動作に対する評価を行ってもらった。対象物としては、Choiら [9] によってリストアップされた、サービスロボットに取ってほしい43種類の日用品を用い、10組の被験者に対して調査を行った。

評価実験1より、渡し手が対象物を把持する位置よりも、対象物の受け渡し姿勢の方が、受け手の印象に大きな影響を与えていることが判明した。また、対象物の機能に関連する部分（例えばハサミの刃やペン先等）がどこに存在し、受け渡しの際にどちらを向いているのかということが重要な要素であることが示された。評価実験2では、多様な日用品に対して、受け手の印象に大きく影響を与える要素の傾向を確認し、把持・手渡しのために考慮すべき日用品の機能に関する要素として、以下の機能部を定義した [10]。

- 作用部: 他のものに対して物理的な作用を及ぼす部分であり、この部分が受け手側に向くと、評価が低くなる傾向がある。例) ハサミの刃、ペン先
- 注目部: 受け手に対して注目を促す部分である。この部分が受け手にはっきり見えるほど評価が高くなる傾向がある。例) 本の表紙、リモコンのボタン面
- 持ち手部: 対象物の持ち手として明確に示されている部分であり、この部分が受け手にとって持ちやすいように向けると、評価が高くなる傾向がある。例) カップの取っ手
- コンテナ属性部: 日用品には、何か物を入れ、その状態を保持するといった容器としての機能を持つものが様々存在する。このような内容物の状態を維持するという機能に必要な部分として、コンテナ属性部を定義する。この部分が、例えば口部が下を向くといったように、内容物の状態が維持できないような方向を向いてしまうと、評価が低くなる傾向がある。例) カップや皿等の物を入れる部分

なお各機能部には、その部分の把持が不可能であるという情報として、把持禁止属性を定義できるようにした。例えば、スプーンの掬う部分等は、把持禁止属性を持つ作用部と定義される。

機能に関係しない要素であっても、受け手の印象に影響を与えるものは存在するが、それについては把持計画の際の評価関数として取り込むこととした。

2.3 対象物のモデル化

対象物の形状情報に機能についての情報を組み合わせることにより、把持・手渡しのための対象物モデルを構築する。形状や機能情報については、図3に示すようにタグとパラメータ値を用いて表現する。

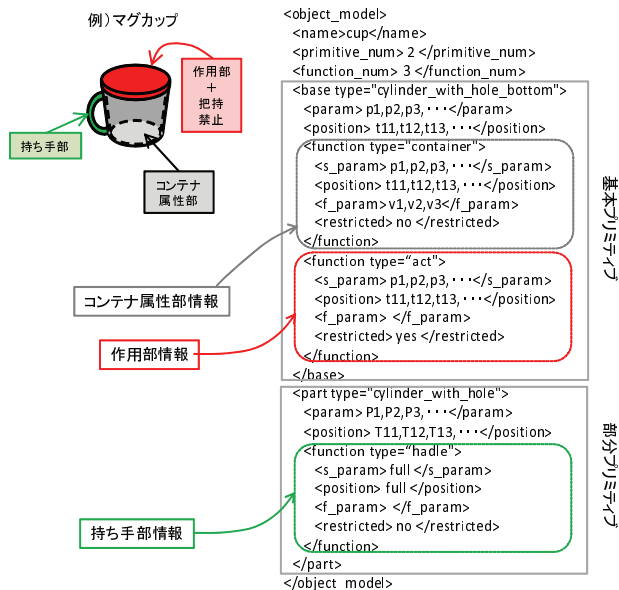


図3 対象物モデルの定義 (カップの場合)

対象物モデルは、把持対象物の名前 (name)、対象物を構成する基本形状の個数 (primitive_num)、対象物に存在する機能部の個数 (function_num)、ベースとなる基本形状 (base, 基本プリミティブと呼ぶ)、それ以外の部分をモデル化する基本形状 (part, 部分プリミティブと呼ぶ)、各プリミティブに定義される機能部 (function) の、大きく分けると6種類の情報で表現し、必ず1個の基本プリミティブと0個以上の部分プリミティブを持ち、0個以上の機能部が定義される。

各プリミティブの形状については、形状の種類 (type, 7種類から選択)、形状を定義するパラメータ (param)、位置・姿勢を定義する同次変換行列 (position) で定義し、基本プリミティブの場合は、把持対象物の基準座標系から基本プリミティブを表現する座標系への同次変換行列を、部分プリミティブの場合は、基本プリミティブを表現する座標系からの同次変換行列を記述する。

機能部については、機能部の種類 (type, 4種類から選択)、機能部の形状を定義するパラメータ (s_param)、機能部の位置・姿勢を定義する同次変換行列 (position)、機能部を定義づけるパラメータ (f_param)、把持禁止属性 (restricted) で定義する。機能部を定義づけるパラメータとしては、注目部の方向を定める基準ベクトルや、コンテナ属性部が内容物の状態を維持する方向を定める基準ベクトルが挙げられる。また、対象とするプリミティブ全体に機能部が定義される場合は機能部の位置・姿勢や形状について定義する必要はないが、部分的に機能部が定義される場合は、その部分形状を基本形状のパラメータを用いて表現し、位置・姿勢はプリミティブを表現する座標系からの同時変換行

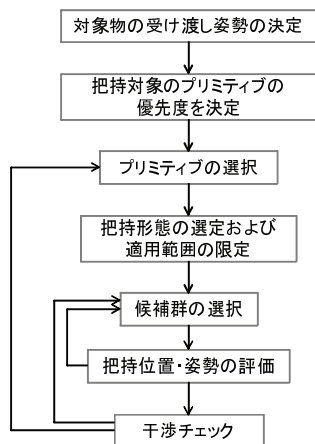


図4 把持動作計画の流れ

列で記述する．

3. 受け手の心地よさを考慮した把持計画

3.1 把持計画の流れ

図4に把持計画の流れを示す．評価実験1で示されたように，対象物の受け渡し姿勢は対象物を把持する位置・姿勢に比べ，受け手の印象に与える影響が大きい．そのため，まず対象物の受け渡し姿勢を決定し，その上で把持位置・姿勢の計画を行う．

3.2 受け渡し姿勢に関する評価

評価実験から，受け手の評価を特徴づける対象物の受け渡し姿勢に関する要素は，対象物の機能に依存するものとそれ以外とに分けられ，以下のように分類することができる [10]．

対象物の機能に依存する特徴

- 作用部が受け手側に向くほど評価が低くなる
- 注目部を受け手に見せるほど評価が高くなる
- 持ち手部を受け手に向けるほど評価が高くなる
- コンテナ属性部は，基準ベクトルが鉛直上向きに近いほど評価が高くなる

対象物の機能に依存しない特徴

- 対象物の長軸方向を受け手に向ける
- 視覚情報量が多くなるように，面積の広い部分を受け手に向ける

これらの特徴を評価関数として以下のように表す．

$$V_{\text{ori}} = \omega_f f + \omega_{\bar{f}} \bar{f} \quad (1)$$

$$f = \omega_{fa} T_{fa} (\bar{p}_{fa} \cdot (e_{rh_x} + e_{re_x})) + \omega_{fn} T_{fn} (-\bar{p}_{fn} \cdot e_{re_x} + v_{fn} \cdot e_{re_z}) + \omega_{fh} T_{fh} (-\bar{p}_{fh} \cdot e_{rh_x}) + \omega_{fc} T_{fc} (v_{fc} \cdot e_{ho_z}) \quad (2)$$

$$\bar{f} = \omega_{\text{line}} |e_{obj_z} \cdot e_{rh_x}| + \omega_{\text{area}} |e_{obj_y} \cdot e_{re_x}| \quad (3)$$

ここで，図5に示すように，対象物の受け渡し座標系 (Σ_{ho} ，基準座標系，鉛直上向きを z 軸)，受け手の手先座標系 (Σ_{rh} ，アプローチ方向を x 軸)，受け手の眼球座標系 (Σ_{re} ，視線方向を x 軸)，渡し手の手先座標

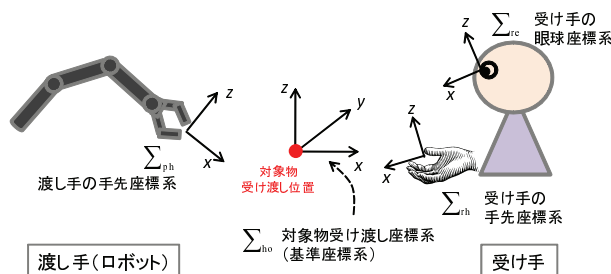


図5 把持・手渡しの際の座標定義

系 (Σ_{ph} ，アプローチ方向を x 軸) を定義する．対象物に対しては，対象物座標系 (Σ_{obj}) と各機能部を表す座標系 (Σ_{fa} ， Σ_{fn} ， Σ_{fh} ， Σ_{fc}) を定義し，対象物座標系 Σ_{obj} は，対象物の重心を原点に持ち，対象物全体を直方体で近似したときに最も長い軸を z 軸，最も短い軸を y 軸となるように定めることとする． f は機能に依存する特徴に関する評価関数， \bar{f} は機能に依存しない特徴に関する評価関数であり， $\omega_{()}$ は重み係数である． \bar{p}_{fa} ， \bar{p}_{fn} ， \bar{p}_{fh} ， \bar{p}_{fc} は， Σ_{obj} 原点から各機能部座標系原点への単位ベクトル， v_{fn} ， v_{fc} は，注目部およびコンテナ属性部の基準ベクトル， $e_{()_{x,y,z}}$ は添字に示す各座標系の x ， y ， z 軸方向の単位ベクトル， T_{fa} ， T_{fn} ， T_{fh} ， T_{fc} は各機能部に関してのタグであり，各機能部を持つ場合は 1，それ以外は 0 とする．

この評価値 V_{ori} を基に，適切な対象物の受け渡し姿勢を決定する．受け渡しの際には，事前に定めた対象物の受け渡し座標系 Σ_{ho} の原点と対象物座標系 Σ_{obj} の原点を一致させるようにし， Σ_{obj} の姿勢を変化させることにより候補群を生成する．

なお，評価実験で得られた被験者の評価と比較すると，各重み係数 $\omega_{()}$ については以下のような指針が得られる．

- 機能に依存する評価の重み > 依存しない評価の重み
- コンテナ属性部の評価の重み > その他機能部の重み

3.3 把持・位置姿勢に関する評価

次に，対象物を把持する位置・姿勢を決定する．始めに，把持対象となるプリミティブの優先度を定める．把持位置・姿勢については，把持禁止属性を持つ機能部および持ち手部が大きな影響を与える．そこで，複数のプリミティブで構成される対象物については，把持禁止属性を持つ機能部がプリミティブ全体に定義されている場合，そのプリミティブを把持対象のリストから外すこととする．また，持ち手部が全体に定義されているプリミティブについては，把持対象のリストの一番最後に設定する．基本プリミティブを把持する場合が一番安定である可能性が高いため，基本プリミティブについては優先度を高く設定する．

次に，リスト上位のプリミティブから順番に把持位置・姿勢の探索を行う．各プリミティブはそれぞれ固有の把持形態を持つ．そこで，プリミティブの幾何形状および部分的に定義された把持禁止属性を持つ機能部の情報を基に，各把持形態が実現可能かどうかを判断し，その上で把持位置・姿勢を定義するパラメータ

値の範囲を選定する。

得られた把持形態の組とその適用範囲を基に、詳細な把持位置・姿勢の計画を行う。把持位置・姿勢を定義するパラメータ値を適用範囲の中で離散化することによって候補群を生成し、以下の評価関数により各候補を評価する。

$$V_{\text{grasp}} = \omega_{\text{space}} \left(\frac{\mathbf{p}_{\text{grasp}} \cdot \mathbf{e}_{\text{rh}_x}}{|\mathbf{p}_{\text{grasp}} \cdot \mathbf{e}_{\text{rh}_x}|_{\text{max}}} \right) + \omega_{\text{app}}(-\mathbf{e}_{\text{ph}_x} \cdot \mathbf{e}_{\text{rh}_x}) \quad (4)$$

ここで、 $\mathbf{p}_{\text{grasp}}$ は対象物座標系 Σ_{obj} 原点から渡し手の把持位置までのベクトルであり、 $\omega_{()}$ は重み係数である。この評価値 V_{grasp} は、評価実験より得られた、対象物の機能に依存しない把持位置・姿勢についての特徴を評価するものであり、

- 受け手が把持できるスペースを残すように、渡し手の把持位置を受け手から遠ざける
- 受け手のアプローチ方向と対向するように渡し手は対象物を把持する

ような把持位置・姿勢が選択される。

最後に、評価の高い候補を選定し、その把持位置・姿勢に対して周辺環境や障害物との干渉チェックを行う。干渉が生じる場合は、評価の高い他の候補について順に干渉チェックを行う。なお、対象とするプリミティブに対して候補が選定できない場合は、次に優先度の高いプリミティブを選択し、可能な把持位置・姿勢が選択されるまで上記の手順を繰り返す。

3.4 把持動作計画の結果

図6に、提案手法を用いて対象物を把持して手渡す作業を行った結果を示す。マンピュレータとしては、Exact Dynamics社のiARMを用い、対象物は評価実験2で用いたものの中から選定した。実験の際に、受け手に動作の評価についても行ってもらったが、評価実験2で得られた評価と同程度の高い評価が得られた。なお、薄物や小物が多いため、図6の実験については、周辺環境を考慮せずに把持位置・姿勢の選定を行った。環境との干渉等によって適切な把持・手渡しが実現できない場合の持ち替え動作については、今後の課題である。

4. おわりに

本稿では、心地の良い日用品の把持・手渡しを実現するための、把持動作の計画手法について議論した。人に手渡すことを考えると、把持動作計画の際には、対象物の形状だけではなく、そのものが持つ機能を考慮する必要がある。把持・手渡しに関係する日用品の機能を、人による手渡しの評価実験を基に選定し、形状情報と合わせてモデル化する方法を提案した。また対象物の受け渡し姿勢や把持位置・姿勢に関する評価関数を設定し、それに基づいた把持動作の一連の計画手法を示した。複数の日用品に対して計画結果を示し、提案手法の有用性を示した。

参考文献

- [1] A.T. Miller and P.K. Allen: "Graspit! A versatile simulator for robotic grasping," IEEE Robotics and Automation Magazine, vol. 11, no. 4, pp. 110-122, 2004.



図6 提案手法に基づく把持・手渡しの結果

- [2] A. Saxena, J. Driemeyer, and N. Andrew: "Robotic Grasping of Novel Objects using Vision," Int. J. of Robotics Research, vol. 27, no. 2, pp. 157-173, 2008.
- [3] J. Bohg and D. Kragic: "Grasping familiar objects using shape context," Proc. of Int. Conf. on Advanced Robotics, pp. 1-6, 2009.
- [4] N. Yamanobe and K. Nagata: "Grasp Planning for Everyday Objects Based on Primitive Shape Representation for Parallel Jaw Grippers," Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Biomimetics, pp. 1565-1570, 2010.
- [5] 小倉崇, 岡田慧, 稲葉雅幸: "注目点を持つ幾何モデルを利用したヒューマノイドの道具利用動作の生成法", 第23回日本ロボット学会学術講演会, 1F15, 2005.
- [6] 大田博義, 木村朝子, 島田伸敬, 田中弘美: "Analysis by Reality-Based Simulationに基づく関節物体の力学的機能推定", 電子情報通信学会論文誌, J90-D(7), pp. 1799-1811, 2007.
- [7] T. Nakamura and T. Nagai, "Forming object concept using Bayesian network," Bayesian Network, pp. 91-108, 2010.
- [8] 久場景太郎, 山野辺夏樹, 新井民夫: "対象物の受け渡し姿勢に着目した手渡し動作の評価", 第28回日本ロボット学会学術講演会, AC3B2-1, 2010.
- [9] Y.S. Choi, T. Deyle, T. Chen, J.D. Glass, and C.C. Kemp: "A list of household objects for robotic retrieval prioritized by people with ALS," Proc. of IEEE Int. Conf. on Rehabilitation Robotics, pp. 510-517, 2009.
- [10] 久場景太郎, 山野辺夏樹, 原辰徳, 浅間一, 新井民夫: "受け手を不快にさせないサービスロボットの手渡し動作-対象物の受け渡し姿勢に着目した評価関数の提案-", 2011年度精密工学会春季大会講演会, E62, 2011.