

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—

○久場 景太郎(東大) 山野辺 夏樹(産総研) 原 辰徳 浅間 一 新井 民夫(東大)

Inoffensive Handover Motion for Service Robots
-Proposition of Evaluation Function Focusing on the Posture of Handover Objects

Keitaro KUBA, The University of Tokyo, Natsuki YAMANOBE, AIST, Tatsunori HARA, Hajime Asama and
Tamio ARAI, The University of Tokyo.

This paper addresses handover motion for a service robot in a daily life environment. The robots are needed to perform tasks with not only efficiency and safety but also friendliness. Therefore, we aim to planning inoffensive handover motion to receivers. In the previous experiments, we investigated the relationship between receiver's feeling and the posture of objects in handover tasks. In this paper, we propose an evaluation function for planning handover motion based on the previous and additional experimental results and show the effectiveness of the evaluation function.

Keywords: Handover Motion, Service Robot, User Satisfaction, Posture of Handover Objects

1. はじめに

サービスロボットのような、日常生活空間においてユーザを支援することが期待されているロボットにとって、手渡しは必要不可欠な作業である。このとき、ユーザにとって感じの良い動作を行うことが重要であると考えられる。例えば、ハサミは、その刃先を向けて手渡すと受け手を不快にさせるだろう。これまでに、受け手の印象を考慮した手渡し動作に関する研究はいくつか進められてきており、動作軌道や把持位置など、手渡し動作を決定づける動作因子に対してある種の最適条件が報告されている (Table1)。“対象物の受け渡し姿勢”は、上記のハサミの例のように受け手の印象を変動させる主要な因子であるが、これまでに研究はなされていない。

そこで本研究では、対象物の受け渡し姿勢に着目する。人間同士の手渡し動作の観察実験に基づき、対象物の受け渡し姿勢および渡り手の把持位置・姿勢を決定するための評価関数を提案し、人間同士の手渡し動作の評価と比較することでその妥当性を検証する。

2. 人間同士の手渡し動作観察実験

これまでに我々は、対象物の受け渡し姿勢や把持位置の条件を変化させて人間同士の手渡しにおける評価実験を行い、6種類の対象物 (ペン、鉛筆、ハサミ、スプーン、缶、グラス) に対して各因子と受け手の感じ方との関係を調査した[1]。本稿では前評価実験に加え、様々な対象物について検討するため、43種類の日用品に対して人間がどのような手渡し動作を行うかについても調査した。この実験では、片手で手渡すということを前提に、7人の被験者 (20代, 男女) に自然だと思ふ手渡しを行

ってもらった。ここで、43種類の日用品としては、上肢障害者へのアンケート調査でロボットに取ってもらいたいものとして挙げられたもの[2]を参考にした。ここで、43種類のうち8種類に該当する、柔軟物 (容易に形態が変化してしまう物体) や小物 (把持可能な領域が手に比べて小さい物体) に対しては、対象物の受け渡し姿勢よりも動作軌道や手渡しのタイミングが評価に大きく影響を与える傾向にあったため、本稿ではこれらについては扱わないこととする。

今回の実験と前実験[1]で得られた受け手の評価の特徴は、対象物の機能に依存するものとそれ以外のものに分けることができる。例えば、前述したハサミを例にとると、刃先はハサミのもつ“切る”という機能が発現する部位であり、受け手に向けてと評価は下がる。これは対象物に付加された機能に起因していると考えられる。また、受け手の把握しようとする部分に渡り手の手があると邪魔になり、受け取りづらいため評価は下がる。これは対象物の機能には関係しない部分での評価である。

このような特徴を計算機上で表現するために、対象物の機能を表現するものとして機能部という概念を導入する。機能部は4種類に分類でき、それぞれが以下のような性質をもっていると定義する。

作用部: ハサミの刃のような物理的な作用を行う部分に付加する。そのため、手渡しの際は受け手の手および受け手の目線から斥力を受ける性質がある。

注目部: 本の表紙のような受け手が注視する部分に付加する。そのため、受け手の目線から引力を受ける性質がある。

持ち手部: カバンの取っ手のような受け手が明確に把持する部分に付加する。そのため、受け手の手から引力を受ける性質がある。

コンテナ属性部: 缶の飲み口のようなコンテナ類の口部に付加する。コンテナの状態を維持するために、地面から斥力を受ける性質がある。

Table. 1 関連研究状況

動作因子	関連研究	内容 (結果)
把持点・把持姿勢	[Kim 04][Baier 06] [Song10][柴田03]	コップの飲み口は把持しないなど 評価関数が提案されている
動作速度 加減速パターン 手渡し動作の軌道	[佐藤96][横井98] [柴田98][小壁 05] [Huber 08]	300~350mm/sの動作速度、 釣鐘型速度パターンが好ましい 直線的な動作が好ましい
受け渡し位置	[柴田98]	受け手の腕の可操作度による評価
受け渡し姿勢	なし	

関連研究については文献[1]を参照のこと



Fig. 1 対象物表現の例

加えて、各機能部は、その領域に対して把持を禁止する属性をもつとする。例えば、スプーンの作用部（掬う部分）などがそれに当たる。

3. 受け手を不快にさせない手渡し動作のための評価関数

前実験から得られた特徴に基づき、対象物の受け渡し姿勢および渡し手の把持位置・姿勢を決定するための評価関数を提案する。このとき、対象物を Fig. 1 のように表現する。対象物の形状は直方体で近似し、また、各対象物には直方体で近似された機能部が 0 個以上付加される。Fig. 1 には例として、ハサミ、本、マグカップを示す。

f_1 : 対象物の機能に起因する評価指標

- 機能部を有する場合、受け手からの斥力など、環境から受ける力を最小にする姿勢を選択
- 把持禁止領域を把持しないような把持位置を選択

f_2 : 対象物の機能以外の性質に起因する評価指標

対象物の機能部には依存せず、形状や寸法など機能以外の性質に起因する評価指標である。

- 手渡し時の見た目の印象による評価指標
 - 受け手に対する視覚的情報量を最大化するために、受け手の視線に対して対象物の面積を最大化する姿勢を選択
- 受け渡しに障害を生じさせないための評価指標
 - 渡し手の手が受け手の手から遠ざかるような把持位置を選択
 - 対象物の長軸を受け手に向けるような姿勢を選択
 - 受け手のリーチング動作のアプローチベクトルに対向するような把持姿勢を選択

これらの評価指標は以下のように定式化でき、評価値 V をこれらの重み付き線形和で表す。

$$f_1 = \omega_{1,1}(\bar{p}_{fa} \cdot (e_{x_RH} + e_{x_RE}))T_{fa} + \omega_{1,2}(\bar{p}_{fn} \cdot (-e_{x_RE}))T_{fn} \\ + \omega_{1,3}(\bar{p}_{fb} \cdot (-e_{x_RH}))T_{fb} + \omega_{1,4}(\bar{p}_{fc} \cdot e_{z_HO})T_{fc} \\ + \omega_{1,5}B(\text{grasp})T_{restricted}$$

$$f_2 = \omega_{2,1}|e_{y_Obj} \cdot e_{x_RE}| + \omega_{2,2}(\mathbf{p}_{grasp} \cdot e_{x_RH}) / |\mathbf{p}_{grasp} \cdot e_{x_RH}|_{\max} \\ + \omega_{2,3}|e_{z_Obj} \cdot e_{x_HO}| + \omega_{2,4}(e_{z_PH} \cdot (-e_{x_RH}))$$

$$V = \omega_1 f_1 + \omega_2 f_2$$

ここで、 Σ_{HO} : 受け渡し座標系、 Σ_{RE} : 受け手の眼球座標系 (x 軸: 視線方向)、 Σ_{RH} : 受け手の手首座標系 (x 軸: アプローチ方向)、 Σ_{PH} : 渡し手の手首座標系 (z 軸: アプローチ方向)、 Σ_{Obj} : 対象物座標系 (z 軸: 長軸方向)、 Σ_{fa} , Σ_{fn} , Σ_{fb} , Σ_{fc} : 各機能部の座標系を定義する。 \bar{p}_{fa} , \bar{p}_{fn} , \bar{p}_{fb} , \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、 \mathbf{p}_{grasp} は Σ_{Obj} 原点から渡し手の把持位置までのベクトル、 e_{x_0} , e_{y_0} , e_{z_0} は添字に示す各座標系の x, y, z 軸方向の単位ベクトル、 $B(\text{grasp})$ は把持禁止領域を把

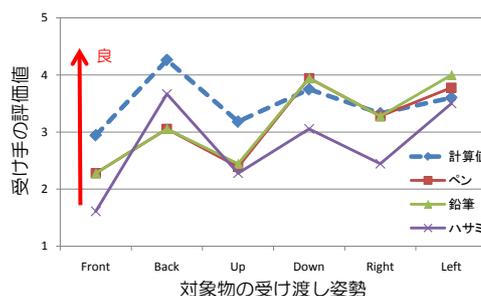
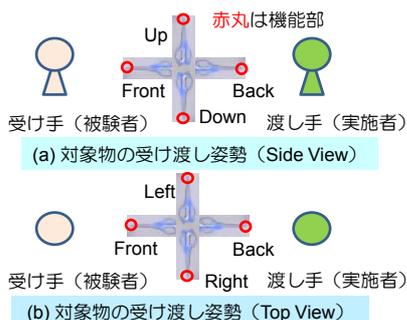


Fig. 3 提案する評価関数を用いて計算した評価値と実験データとの比較

持しているかしていないかを判定する関数 (出力は{-1 or 1}), T_{fa} , T_{fn} , T_{fb} , T_{fc} , $T_{restricted}$ は各機能部や把持禁止属性に関してのタグ (各機能部を持つもしくは把持禁止の場合: 1, それ以外: 0), $\omega_{i,j}$ は重み係数である。なお、各ベクトルはすべて Σ_{HO} で記述する。

4. 評価関数の検証

前実験[1]で行った 6 種類の対象物に対して、上記の評価関数を用いて評価値を計算した。ペン・鉛筆・ハサミには作用部、スプーンには把持禁止タグ付き作用部、缶・ガラスには把持禁止タグ付き作用部およびコンテナ属性部を付加し、重み係数はそれぞれ、 $\omega_1=0.8$, $\omega_2=0.2$, $\omega_{2,j}=0.25$ とした。また、 $\omega_{i,j}$ は機能部の個数によって変化するが、 $\omega_{1,4}$ のみ他よりも重みを高く設定した。すなわち、例えば缶の場合、 $\omega_{1,1}=\omega_{1,5}=0.1$, $\omega_{1,4}=0.8$, $\omega_{1,2}=\omega_{1,3}=0$ と設定した。また、 Σ_{RH} , Σ_{PH} はそれぞれ Σ_{HO} の z 軸に対して 20 度、 y 軸に対して 45 度回転させたものとする。計算値と実験データとの相関は、ペン: 52.2%, 鉛筆: 46.2%, 缶: 89.8%, ハサミ: 78.7%, スプーン: 76.5%, ガラス: 77.1% であった。一例として、ペン、鉛筆、ハサミの実験データと計算値を比較したグラフを Fig. 2 に示す。ペン、鉛筆以外は相関も高く、評価関数が有効であるといえる。ペン、鉛筆の相関が他と比べて低い理由としては、前実験ではペン・鉛筆に対して“書く”という利用動作を設定し、それに移る際のスムーズさを含めて評価していたため、ペン先が下を向く Down の評価が高く、ペン先が渡し手を向く Back の評価が下がってしまったことが挙げられる。しかしながら、自然な手渡しの実験 (2 章で述べた実験) では多くの被験者が Back に近い姿勢で手渡していたことから、提案する評価関数は妥当であると言える。

5. 結論

本論文では、受け手を不快にさせない手渡し動作を生成するにあたり、対象物の受け渡し姿勢および渡し手の把持位置・姿勢を決定するための評価関数を提案した。また、提案する評価関数を用いて計算した評価値は、前実験の結果と相関が高く、提案手法は妥当であると考えられる。今後の展望としては、本評価関数を様々な物体に適用し、評価値が最大となるような手渡し動作に対してロボットによる実機実験を行うことで現実的な有効性を検証することが挙げられる。

参考文献

- [1] 久場景太郎 他: “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.
- [2] Y.S. Choi et al: “A List of Household Objects for Robotic Retrieval Prioritized by People with ALS”, Proc of the IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics, pp. 510-517, 2009.

但し、重みは以下のように設定した
 $\omega_1=0.8, \omega_2=0.2,$
 $\omega_{1,1}=\omega_{1,5}=0.5,$
 $\omega_{1,2}=\omega_{1,3}=\omega_{1,4}=0,$
 $\omega_{2,1}=\omega_{2,2}=\omega_{2,3}=\omega_{2,4}=0.25$