

# 生活支援ロボットの視覚と手先感覚統合による 扉形状・操作モデル推定

長濱 虎太郎<sup>\*1</sup>, 竹下 佳佑<sup>\*2</sup>, 矢口 裕明<sup>\*3</sup>,  
山崎 公俊<sup>\*1</sup>, 山本 貴史<sup>\*2</sup>, 稲葉 雅幸<sup>\*3</sup>

## A Method to Estimate a Door's Shape and Manipulation Model Based on the Integration of the Sense of Sight and Hand for a Daily Assistive Robot

Kotaro NAGAHAMA<sup>\*1</sup>, Keisuke TAKESHITA<sup>\*2</sup>, Hiroaki YAGUCHI<sup>\*3</sup>,  
Kimitoshi YAMAZAKI<sup>\*1</sup>, Takashi YAMAMOTO<sup>\*2</sup>, Masayuki INABA<sup>\*3</sup>,

<sup>\*1</sup> AIS Lab., Shinshu University  
410, Mech. Sys. Eng. Buidling, 4-17-1, Wakasato, Nagano, Nagano, Japan

<sup>\*2</sup> Toyota Motor Corporation

<sup>\*3</sup> JSK Robotics Lab., the University of Tokyo  
73B2, Engineering Building No.2, 7-3-1, Hongo, Bukyo-ku, Tokyo, Japan

The aim of this study is to develop a simple remote-controlled daily assistive robot for assisting handicapped individuals. Specifically, we present a method for a robot to manipulate an unknown door based on a simple instruction by a user. There are various doors with various shapes and manipulation models, which include drawers, right-hinge doors and left-hinge doors, in daily environments. The contributions of this paper are to (i) reduce the instruction by a user to only a single click and to (ii) make an efficient method to estimate the appropriate shape and the manipulation model for a target door by integrating multiple senses of a robot. Our method first detects the candidates of the doors using a 3-D camera and estimates the manipulation model of each based on the prior learning results before the robot starts to manipulate the door. During the manipulation, the system integrates the sense of sight and hand to estimate the appropriate shape and manipulation model for the door to generate an appropriate motion. We evaluated our method and the result suggested the effectiveness of our approach.

**Key Words** : Daily assistive robot, Door manipulation

## 1. 緒 言

著者らは、生活支援ロボットを用いて環境や環境中の物体を操作するための、HMI (Human Machine Interface) を用いた簡易な遠隔操縦法の開発を進めている<sup>(1)</sup>。車椅子やベッドの上のユーザあるいは遠方にいる家族等が HMI から指示を出すことで、ユーザや被介護者自身には難しい作業を肩代わりさせることが目的である。中でも「扉を開ける」タスクは、ロボットが別の部屋へ移動する、車椅子ユーザの移動を支援する、棚や引き出しを開けて中の物を出す、家電を操作する等、支援対象を広げるために重要なタスクと言える。そこで本研究では、ユーザからの最小限の指示

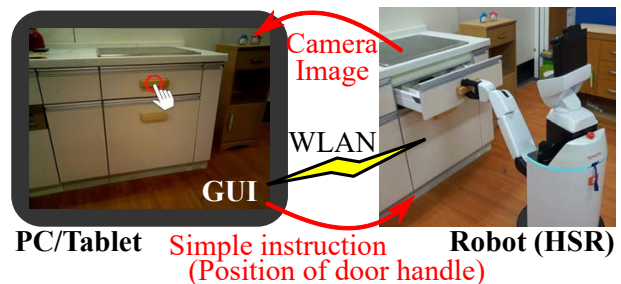


Fig. 1 Environmental equipment for experiments

により、ロボットが扉を操作するための手法を提案し評価する。

本研究で扱うロボットと操作端末の環境を、図 1 に示す。ロボットはユーザが持つ PC やタブレット等の端末とネットワークで接続され、GUI (Graphical User Interface) 上にはロボットの視野画像がユーザへ提示されている。本稿で提案する手法は、操作対象とした未知の扉に対し、GUI 上で取っ手位置をクリックあ

<sup>\*1</sup> 信州大学工学部機械システム工学科 (〒 380-8553 長野県長野市若里 4-17-1 信州大学工学部機械システム工学科南棟 410) {nagahama, kyamazaki}@shinshu-u.ac.jp

<sup>\*2</sup> トヨタ自動車株式会社パートナーロボット部

<sup>\*3</sup> 東京大学大学院情報理工学系研究科 (〒 113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 東京大学工学部 2 号館 73B2) {h-yaguchi, inaba}@jsk.t.u-tokyo.ac.jp

るいはタッチ（以後、クリックと記述）指示するのみで、ロボットが開く操作をおこなえるようにするための手法である。

本研究の貢献は、以下の通りである。

- 様々な軌道が考えられる未知の扉の操作指示を、1クリックで終わることができる枠組みを導入する。
- 操作前の自律的な扉形状推定と、操作中の手先感覚を統合する構成により、未知の扉であっても速やかに操作方法を推定し操作ができる手法を提案し、評価する。

本手法では、従来手法<sup>(2)(3)(4)</sup>に比べ、事前に家具構造の推定のために人が開閉の様子を見せたり、ロボットの手を操縦して一度開けさせたりする必要がない。GUIからの1クリック指示のみで、未知の家具操作が可能だという利点が、ユーザの負担を削減すると考えられる。

## 2. 1クリック指示による未知家具操作を実現するシステム構成

本課題における大きな問題は、ロボットにとって未知な扉とは、扉の形状と、その操作モデル—例えば引き出しか右ヒンジの回転扉か—といった情報の双方が不明だという点である。そこで本研究では、全ての扉形状と操作モデルから計算される操作軌道に正解である可能性があると考え、その可能性をスコアとして表現する。スコアは操作前のロボットの視覚から求めるだけでなく、操作中の手先感覚をも用いて更新していくことで、不確実性や推定効率の課題を解決していく。

提案手法のシステム構成を、図2に示す。初期状態では、ロボットは操作対象の扉が見える位置にいる。ユーザはGUIを用い、ロボットの視野画像内で、扉の取っ手をクリックする。そのクリック位置と、ロボット頭部のカラー距離カメラから得られるPoint cloudが初期入力となる。著者らが文献<sup>(1)</sup>で提案した、拡張マンハッタンワールド仮説と家具仮説を用いる手法による扉候補検出器（Door candidates estimator）が効率的に視野内の扉候補 $\{D_m\}$ を検出するとともに、把持計画器（Grasp planner）が取っ手の取り付け方向を推定し把持姿勢を計画する。

### ○ 視覚に基づく操作モデル・軌道推定

扉候補が検出されると、視覚に基づく操作モデル・軌道推定器（Orbit / manipulation model estimator, based of vision）は、 $\{D_m\}$ が様々な操作モデル $\{M_k\}$ であった場合の手先目標位置姿勢列（Orbit candidates,  $\{p_j^{(D_m, M_k)}\}$ ）を計算する。さらに $\{D_m\}$ の形状と取っ手の取り付け方向情報を入力とし、各扉候補 $D_m$ に対して視覚に基づく操作モデル・軌道推定スコア（Score

of orbit candidate,  $\{s_0^{(D_m, M_k)}\}$ ）を出力する。このスコアは、その扉候補 $D_m$ が操作モデル $M_k$ である可能性を表現するものであり、次章で詳細を述べる。

### ○ 手先感覚を統合した操作モデル・軌道の更新

その後、ロボットは取っ手を把持し、扉を操作していく。手先感覚を統合した操作モデル・軌道の更新器（Orbit / manipulation model estimator, sense of hand）は、この操作中に手先感覚を用い、より正しい軌道へと手先姿勢を修正していく。修正の際には、操作モデル・軌道推定スコア（Score of orbit candidate,  $\{s_{i+1}^{(D_m, M_k)}\}$ ）を更新しながら用いる。本手法については、次々章で詳細を述べる。

## 3. 視覚に基づく操作モデル・軌道推定

本研究では、前章で述べた視覚推定器の入出力を可能とするため、推定に有用な特徴量を設計し、機械学習により推定器を構成した。

まず扉候補 $D_m$ の性質を表す特徴量 $f(D_m)$ を設計した。この際、操作モデルと関連が深いと考えられる、取っ手の位置と取り付け方向を用いるものとし、以下のように定めた。

$$f(D_m) = [f_x(D_m), f_y(D_m), f_h(D_m)]^T \quad (1)$$

ただし $f_x(D_m), f_y(D_m)$ は、取っ手の水平位置と垂直位置を、それぞれ扉の幅と高さで正規化した数値である。また $f_h(D_m)$ は取っ手の取り付け方向を表す値とした。

本研究では、この特徴量と操作モデルとの関係をRandom forests<sup>(5)</sup>を用いて事前学習し、推定器を構成する。事前学習の際には、特徴量データベースを作成したが、実際の家具を人の手で採寸して計算するだけでなく、Web上の家具通販ページの商品写真と寸法情報を活用し、各操作モデルにつき10個ずつデータを収集し利用した。

以上のように構成した本推定器では、未知の扉 $\{D_m\}$ と取っ手の取付方向情報が入力されると、Random forestsを用いて操作モデルの推定をおこない、各扉候補 $D_m$ に対し操作モデル $M_k$ を出力した決定木の割合を、各々の軌道に対するスコア $s_0^{(D_m, M_k)}$ として出力する。さらに、扉の形状情報と操作モデルを利用して、扉 $D_m$ が操作モデル $M_k$ であった場合の軌道 $\{p_j^{(D_m, M_k)}\}$ を計算し出力する。

## 4. 手先感覚を統合した操作モデル・軌道の更新

似たような見た目でも操作モデルが異なる場合など、実際に操作してみないと正確な軌道が分からない扉へ対応するには、視覚のみでなく、操作中の手先感覚を用いるのが有効だと考えられる。本研究では、前章の

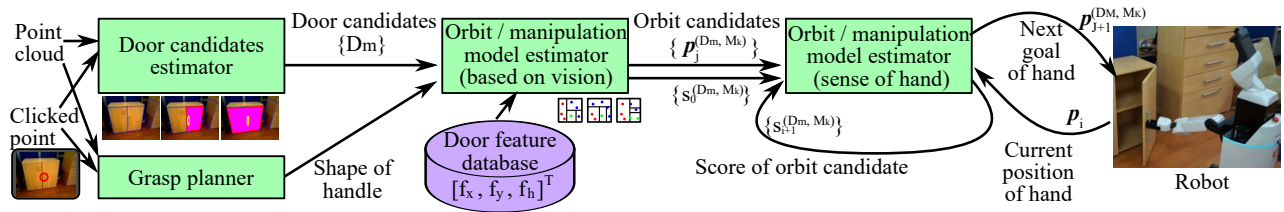


Fig. 2 System structure of the proposed method to manipulate an unknown door

手法で視覚から計算したスコアの高い軌道を初期目標軌道として用い、手先インピーダンス制御をおこないつながりながら扉を操作する。そして操作中には手先感覚を用いて各軌道のスコアを逐次更新し、高いスコアの軌道へ目標軌道を変更していく。

目標軌道を、手先目標位置姿勢（以下、目標と表現）の列  $\{p_j^{(D_m, M_k)}\}$  と表し、そのうち1つの目標へ手先を近づける動作を1ステップとしたとき、提案手法は以下のようなものである。

$i+1$  番目のステップ ( $i=0, 1, \dots$ ) において、

1. スコア  $s_i^{(D_m, M_k)}$  の高い、扉候補と操作モデルの対  $(D_m, M_k)$  を一つ選択する。この対を  $(D_M, M_K)$  としたとき、目標列  $\{p_j^{(D_M, M_K)}\}$  のうち、現在の手先位置  $p_i$  に最も近い目標  $p_j^{(D_M, M_K)}$  を探索する。
2. 見つかった目標  $p_j^{(D_M, M_K)}$  の次の目標  $p_{j+1}^{(D_M, M_K)}$  を次の手先の目標とし、手先を動かす。
3. 動かした後の手先位置姿勢  $p_{i+1}$  と、各軌道の目標のうち最も近いもの  $p_j^{(D_m, M_k)}$  との距離が近ければ  $s_{i+1}^{(D_m, M_k)}$  が大きくなるように、遠ければ  $s_{i+1}^{(D_m, M_k)}$  が小さくなるように、スコアを更新する。
4. ここまでを1ステップとし、 $i+1$  番目のステップを終える。扉の操作を終了していなければ、1.へ戻り、操作を続行する。

## 5. 実験

実験に使用したロボットは、著者らが開発を進めている生活支援ロボット HSR である。実験では HSR を扉の前に立たせた状態を初期状態とし、GUI から操作させたい扉の取っ手位置をクリックして指示し、扉を適切に開けられるかを評価した。評価に用いた家具は、3種類の操作モデル（左ヒンジの開き戸、右ヒンジの開き戸、引き出し）に対し、それぞれ高さや大きさ、取っ手位置の異なる2点ずつの計6点である。HSR の初期状態での立ち位置は、各々の扉に対し異なる2箇所ずつで試行し評価した。

結果、家具6点×立ち位置2箇所の試行12回すべてにおいて、HSR は扉を開ける操作に成功した。本評価実験により、視覚と手先感覚を統合する提案手法の

有効性が確認できた。

## 6. 結 言

本稿では、ユーザが遠隔操作する生活支援ロボットへ扉を操作させるための指示を1クリックのみとする課題に取り組んだ。この課題の実現には、扉の形状と操作モデルの双方が不明となる点に難しさが存在した。

そこで本研究では、全ての扉候補と操作モデルから計算される操作軌道に対して、その可能性をスコアとして表現し、スコアをロボットの視覚から求めるだけでなく、操作中に手先感覚を使って更新していく手法を提案した。

生活支援ロボット HSR に実装した評価実験では、様々な未知の扉の操作において、本手法の有効性が確認できた。視覚と手先感覚を統合することで、各々の感覚による推定における、不確実性や推定効率の課題が解決されていると考えられる。

## 参 考 文 献

- (1) 長濱虎太郎, 矢口裕明, 竹下佳佑, 宗玄清宏, 山本貴史, 稲葉 雅幸, “生活支援ロボット HSR の扉形状特徴を用いた扉操作法の簡易教示と自動再現”, 第34回日本ロボット学会学術講演会講演論文集, (2016), pp.3G2-08.
- (2) Jürgen Sturm, Cyrill Stachniss, Wolfram Burgard, “A Probabilistic Framework for Learning Kinematic Models of Articulated Objects”, *Journal on Artificial Intelligence Research*, vol. 41 (2011), pp.477–526.
- (3) Mitsuharu Kojima, Kei Okada and Masayuki Inaba, “Manipulation and Recognition of Objects Incorporating Joints by a Humanoid Robot for Daily AssistiveTasks”, *Proceedings of the 2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, (2008), pp.1564–1569.
- (4) S. Pillai, M. R. Walter and S. Teller, “Learning Articulated Motions From Visual Demonstration”, *Proceedings of the 2014 Robotics: Science and Systems workshop on Robot Manipulation*, (2014).
- (5) Leo Breiman, “RANDOM FORESTS”, *Machine Learning*, vol. 45, issue 1, (2001), pp.5–32.