

令和 2 年 7 月 3 日現在

機関番号：33908

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K12761

研究課題名(和文)人間動作のロギングに基づく日用品の操作方法獲得に関する研究

研究課題名(英文)A Study for Learning of Robotic Tool Use by Logging of Human Motions

研究代表者

秋月 秀一 (Shuichi, Akizuki)

中京大学・工学部・助教(テニュア)

研究者番号：40796182

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、生活支援ロボットによる物体操作タスクの実現を目的として、日用品の3D形状にその使用方法を記述した、形を持った日用品の取扱説明書を生成する。人が日用品を使う様子を色距離データの動画像としてセンシングし、どの部分をどのように使用したのかという動作履歴を対象物の3D形状にマッピングする手法(これを動作ロギングと呼ぶ)を提案した。物体の形状に直接動作履歴を紐付けることによって、環境中から対象の日用品を認識するだけで、その正しい使い方も同時に認識することができる。動作ロギングに必要な物体の3次元位置姿勢推定技術および、ロボットによる実証システムを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

生活支援ロボットには、さまざまな日用品を扱うための汎用性が求められる。日用品の操作を実現するためには、長い時間をかけて一品一様に手作業での動作教示が必要であった。本研究では、人間が日用品を使用する様子を記録し、その使用履歴を物体形状自体に書き込む、いわば「形を持った取扱説明書」を提案した。このデータをロボットが参照することによって、人間のような日用品の取り扱い動作を実行することができる。

研究成果の概要(英文)：In this research, for the purpose of realizing the manipulation of daily tools (such as kitchen or DIY utensils) by robotic arms, we have purposed an instruction manual of them with 3D shape, which describes the usage method. By analyzing the human demonstrations, tactile histories that occurred on the tools are accumulated to the tool's surface as the "Tactile Log", which can help to achieve the plausible tool use by robot arms. Since the tactile history is logged directly to the shape of the object, it is possible to recognize the correct usage of the daily tools only by recognizing them from the environment. We have also developed a method for 3D pose estimation algorithm required for the tactile logging, and a robotic picking system.

研究分野：知能ロボティクス

キーワード：機能認識 日用品理解 ピッキング 把持 動作ロギング

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

生活支援ロボットには、さまざまな日用品を扱うための汎用性が求められる。これには、一般名によって対象物を認識することと、ハンドで操作するために物体の各部位の機能を特定することのできる操作タスクとリンクした物体認識システムが必要である。我々は、研究開始当初までに特定物体の3次元的位置姿勢の認識手法、および日用品の形状と機能を紐付けた新たな特徴表現手法を提案し、数種類の日用品の認識および各部位の機能の認識が可能なことを示した。しかしながら、ロボットアームによる日用品の操作を実現するためには、日用品ごとに合わせた動作の教示が必要であった。世界的に見ても、動作の教示は自動化できるものでなく、長い時間をかけて一品一様に手作業で指定することがほとんどであった。

2. 研究の目的

本研究の最終的なゴールは、人がコップ、ハンマー、スプーン等の日用品(道具)を操作するようすをリアルタイムかつ非接触でセンシングし、操作対象物体の3D形状モデルに、動作履歴を蓄積した、いわば形を持った日用品の取扱説明書を生成することである。本研究では、これを人間の動作のようすを観察することから、動作ロギングデータベースと呼ぶ。さらに、研究成果の有用性をアピールするために、テーブル上に置かれた日用品をロボットが認識することによって、人間の指示通りに日用品を操作できることを示す。具体的には、以下の3つの研究目標を設定する。

- (1) 人が日用品を操作するようすをセンシングする手法として、距離動画像を入力として、手と日用品、および動作対象の3つを同時にトラッキングし、それぞれの3次元的位置関係を認識する手法を提案する。(図1(a))
- (2) 日用品の動作履歴を3D形状データにマッピングすることによって、動作ロギングデータベースを作成する。付加する情報は図1(b)に示す、物体の一般名、動作方向ベクトル、部位ごとの機能である。図1(c)に作成予定のデータの実例を示す。これを50種類以上の日用品に対して生成する。
- (3) テーブル上におかれた日用品をセンシングし、その一般名、機能、操作方法を認識し、指令された通りに日用品を扱うことのできるロボットシステムを構築する。

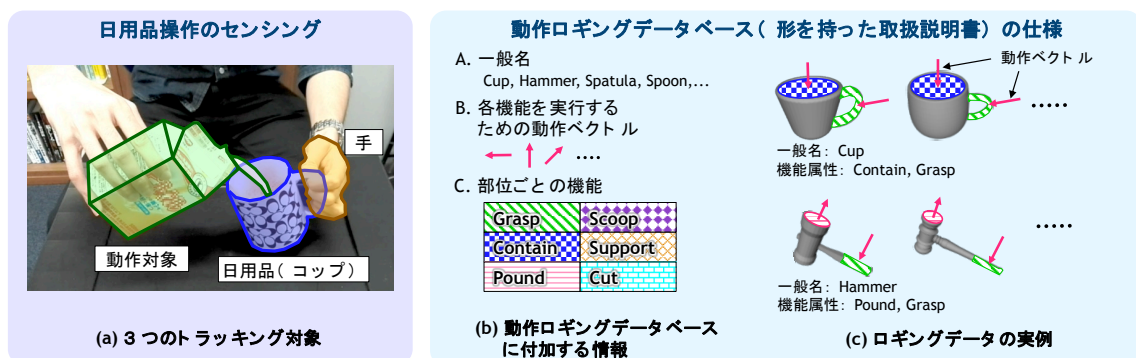


図1. (a)日用品操作のセンシングのようす, (b, c) 形を持った日用品の取扱説明書の仕様

本研究の特色は、人間の動きをセンシングするだけで、ロボットが利用可能な知識として、その日用品の使い方をデータ化することにある。ロボットのための日用品の取り扱い方法を記述した大規模データベースはこれまでに存在しないため、世界に先駆けてそのフォーマットを策定し、公開することによってロボットによる物体ハンドリング技術の研究を促進できる点に意義がある。さらに、「形を持った日用品の取扱説明書」を複数の離れた位置にいるロボット同士が

その情報をシェアすることができ、物体操作方法の学習効率を飛躍的に高めることが可能であると考えられる。また、動作ロギングデータ上で、ロボットが可能なタスクと人間が実行可能なタスクの違いを比較することが可能となり、人間とロボットの両方にとって操作しやすい日用品の意匠の設計指針を創出する新たな応用分野への展開も期待できる。

3. 研究の方法

以下に示す4つの研究フェーズをもとに本研究テーマを遂行することとした。

(1) 手・道具・対象物の同時トラッキング手法の提案

予備検討として、既に物体の姿勢認識、手の姿勢認識に関して研究成果を学会にて発表済みであり、それぞれ単体としての認識が可能であることを確認している。本フェーズの目標は、手と物体を同時に認識する際に、お互いの干渉によって発生する「隠れ」の影響に対する頑健性の確保である。

(2) 動作情報のロギングシステムの構築

本フェーズでは、時系列データとして取得された、手、道具、および対象物の姿勢認識結果を統合し、より上位の動作情報を日用品の3D形状データに蓄積する。まず、物体と手指の接触判定をおこなう。両者の形状モデルを利用し、干渉判定をおこなうアルゴリズムを開発する。干渉が発生した位置に対する手指や道具の動作軌跡を時系列データから読み出し、動作方向を推定するアルゴリズムを開発する。複数の動作シーケンスを提案手法に適用し、動作ロギングの結果の安定性を定量的に評価する。

(3) 日用品動作ロギングデータベースの拡張アルゴリズムの提案

本フェーズでは、多数の日用品に対して動作ロギングをおこなうことによって、データベースの規模を50種類に拡張する。さらに、使用方法が未知の日用品に対する利用方法を推定する手法を提案し、データベースの自動生成にも取り組む。この技術の開発により、より簡易な手段によるデータベース拡張が可能となる。

(4) ロボットによる日用品操作

ロボットによる日用品の操作を実現する。ロボットアームの手先につけた距離センサによって、テーブル上に無作為に置かれた複数の日用品の中から対象物を特定する。さらに、その日用品の使用法（各部位の機能およびアプローチ方向）を推定し、実際にハンドで操作可能であることを示す。フェーズ(3)で作成した大規模なデータベースを学習に利用することによって、認識可能な日用品の種類数を数十単位に拡張できることを示す。

4. 研究成果

本研究における成果について、年度ごとに説明する。初年度は、動作ロギングの構築のために重要なモジュールである、色距離データにおける物体の位置姿勢認識手法の開発に取り組んだ。一般的に物体の姿勢は、対象物のCAD等の3D形状モデルをリファレンスとしたモデルマッチングによって推定される。モデルマッチングは現物と同一物体の3Dモデルを必要とする性質上、この条件が成り立ちやすい製造等の

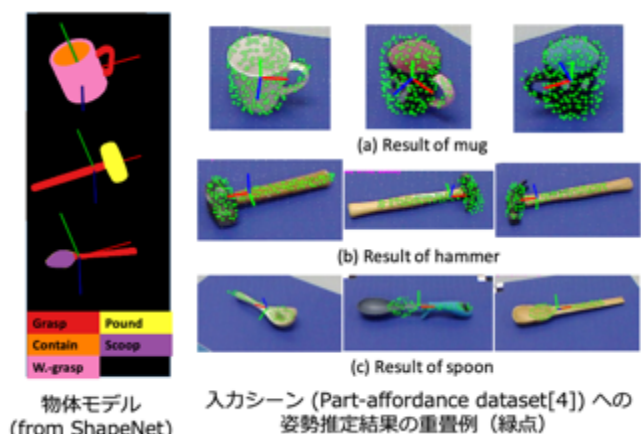


図2 機能属性の空間配置に着目した類似形状物体の6自由度姿勢推定、(初年度成果. ViEW2017)

産業用途に利用されるケースが多かった。しかしながら、対象物を道具に変更することを考えると、現物に対応した3Dモデルが存在する 경우가少なく、通常のモデルマッチングでは姿勢を推定することが困難になるという問題点が発生する。そこで、現物の3Dモデルが利用できない場合においても物体の姿勢を推定することのできる手法の開発をおこなうこととした。この手法が実現することによって、1つの3Dモデルにさえ機能属性や把持方法を関連付けておけば、そのまま現物の物体を取り扱うことが可能となる。対象物ごとにモデルデータを用意する必要がなくなるという、実用上で大変有意義な効果が得られる。3D形状データへの動作記述のための最も重要なモジュールである、位置姿勢認識手法を提案し、有効性を確認することができた(図2)。

2年目は、本研究プロジェクトの根幹をなす動作ロギング自体の開発に取り組んだ。本研究で提案する「形を持った日用品の取扱説明書」のプロトタイプとしてTactile loggingと呼ぶデータフォーマットを提案し、国内シンポジウム、および国際会議にて発表した。Tactile loggingでは、人の手の動きと道具の動きの両方を時系列かつ3次的に計測し、手と道具、物体と道具の接触を、あらかじめ用意した道具の3次元形状モデルに記録する枠組みである。記録するデータは接触位置とその方向である。この枠組みによって人物動作を解析したところ、ハンマーを使うときは柄の端を持つ、お盆にものを乗せる際は、真ん中付近に置く、など動作が適用される位置を詳細に記録することが可能となった。また、蓄積した接触履歴を解析することによって、その道具がどのような動作に利用されたのかを解析可能であることを示した(図3)。

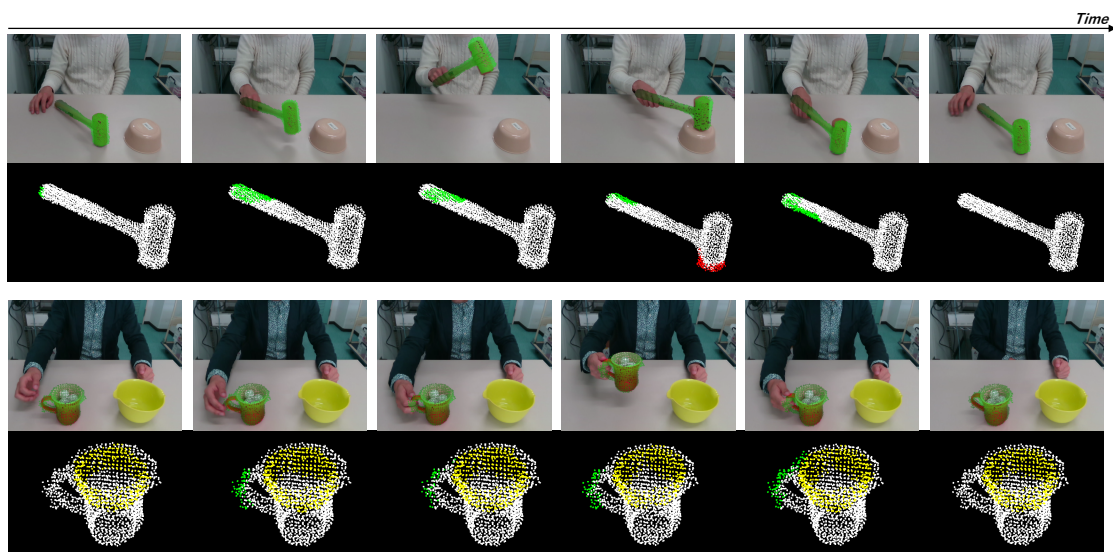


図3 Tactile logging, (2年目成果. BMVC2018-WS)

最終年度では、日用品の利用方法認識システムの高度化アルゴリズムの提案と実証システム開発を実施した。日用品の利用方法認識システムの高度化では、研究開始当初は予想していなかった成果であり、入力されるタスク(道具を使って実現したい動作)に応じて物体の把持すべき位置や対象物と動作の作用位置を変更可能な認知システムを開発することが出来た。同一の対象物に対して様々なハンドリング方法を知覚できる方法として、国際会議、及び学術論文として発表した。実証システム開発では、Tactile logging を利用したロボットによる動作生成・および日用品操作の実現を目的とし、ロボットピッキングシステムの設計・製作を行なった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 秋月秀一, 青木義満	4. 巻 Vol.85, No.1
2. 論文標題 機能属性の空間配置に着目した類似形状物体の6自由度姿勢推定	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 精密工学会誌	6. 最初と最後の頁 107-112
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.2493/jjspe.85.107	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Shuichi Akizuki and Yoshimitsu Aoki
2. 発表標題 Tactile Logging for Understanding Plausible Tool Use Based on Human Demonstration
3. 学会等名 1st International Workshop on Vision for Interaction and Behaviour undErstanding (VIBE) (Workshop of BMVC2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 秋月秀一, 青木義満
2. 発表標題 日用品操作方法の理解のためのデモンストレーション動作の記述手法の提案
3. 学会等名 ビジョン技術の実利用化ワークショップ
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shuichi Akizuki and Yoshimitsu Aoki
2. 発表標題 Pose Alignment for Different Objects using Affordance Cues
3. 学会等名 International Workshop on Advanced Image Technology 2018 (IWAIT2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 秋月秀一, 青木義満
2. 発表標題 機能属性の空間配置に着目した類似形状物体の6 自由度姿勢推定
3. 学会等名 ビジョン技術の実利用ワークショップ (VIEW)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	橋本 学 (Hashimoto Manabu) (70510832)	中京大学・工学部・教授 (33908)	
研究協力者	青木 義満 (Aoki Yoshimitsu) (00318792)	慶應義塾大学・理工学部・教授 (32612)	