

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年5月13日現在

機関番号：13601
研究種目：挑戦的萌芽研究
研究期間：2011～2012
課題番号：23650085
研究課題名（和文） 単純構成ハンドによる器用な道具操作実現のための知能情報処理
研究課題名（英文） Intelligent Information Processing for Dexterous Tool Manipulation by Simple End-effector
研究代表者 山崎 公俊（YAMAZAKI KIMITOSHI） 信州大学・工学部・助教 研究者番号：00521254

研究成果の概要（和文）：

本研究の主な成果は以下に二点にまとめられる。

- (1) 人の道具・物体操作行動を観測した結果から、物体の把持方法や操作の種類等を認識し、それを単純構成のロボットハンドで実現するための把持姿勢マッピングの方式を提案・実証した。
- (2) 人の道具操作行動を観測した結果から、道具の動きや役割を記述する方式を提案・実証した。操作行動中に道具や操作対象が隠し隠される関係にあることに着目し、物体同士の重畳関係をモデル化し、それをを用いて物体操作行動を認識する方式を示した。

研究成果の概要（英文）：

- (i) A method of mapping between human grasping and robotic grasping was proposed and proven by means of experiments using dual-arm robots.
- (ii) A method of description about overlapping relationships between objects was proposed, and was applied to recognize situations that manipulated several tools and objects simultaneously.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,300,000	690,000	2,990,000

研究分野：情報学

科研費の分科・細目：知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：情報センシング

1. 研究開始当初の背景

器用な物体操作を目指した従来のロボットハンドは、多くの関節から成る精密な機構として研究開発が進められてきた。そして、最近では生活支援ロボット研究の分野でも用いられ、日常物体操作へ適用され始めている。人間が五本の指と手のひらを駆使することできわめて器用に物体を操っている事実からすれば、この流れは有望視されるべきと言える。しかしながら現実問題として、ロボットに搭載するにはそのようなハンドは高価である。また、小型部品により精密に構成される機構は、例え高度に制御されていたと

しても不測の外力によって破損しやすいものである。

2. 研究の目的

本研究の目的は、安価に構成できる単純構成のロボットハンドを想定して、それに器用な道具操作能力を与えるための情報処理手法を確立することである。人間が普段行っているレベルの道具操作をロボットハンドで実現可能するための特徴抽出・知識化と知識変換・適用について研究する。

3. 研究の方法

単純構成のロボットハンドに器用な道具操作能力を付与することを目指す。この実現のため、人間の高い道具操作能力を認識するための方法論を確立し、実験によりその有効性を示す。また、人の物体操作行動を観測した結果から、ロボットによる物体把持を実現するための方法論を確立し、実機実験を通して有効性を示す。これらを通して、人の器用な操作行動を外界センサにより観測するだけで、その行動と同じ作業目的を自律型ロボットにより達成できるようにする。

4. 研究成果

本研究の主な成果は以下の二点にまとめられる。

(1) 人の道具・物体操作行動を観測した結果から、物体の把持方法や操作方法等を認識し、それを単純構成のロボットハンドで実現するための把持姿勢マッピングの方式を提案・実証した。

(2) 人の道具操作行動を観測した結果から、道具の動きや役割を記述する方式を提案・実証した。操作行動中に道具や操作対象が隠し隠される関係にあることに着目し、物体同士の重畳関係をモデル化し、それを用いて物体操作行動を認識する方式を示した。

(1) の具体的内容を次に説明する。人間が様々な物体を把持したり操作したりする様子を、対面に設置したロボットに観測させる。その観測で得られるセンサデータを利用して、物体の把持方法や操作方法を獲得する。これにより、簡便な手順によって人の物体操作をロボットで再現することを目指す。

この課題について、ヒューマノイドロボットの頭部に三次元距離画像カメラを搭載したシステムを利用して取り組んだ。人間の手先の検出、物体の把持を行うときの手の形の推定、手と物体の接触位置の推定、物体の存在位置の検出、といった処理を画像データと三次元点列データを入力として行う手法を開発し、人の行動から物体操作に関わる情報を抽出することを可能にした。そこでは、動作のシーケンスを記憶するための機能として、入力された三次元データを低次元の特徴量へ変換し、それを時間情報付きで保存していく記録方式を採用した。特徴量としては、HOG(Histogram of Orientation Gradients), HLAC(Higher-order Local Auto Correlation), CHLAC, FPFH 等の画像特徴や三次元特徴が検討され、実装の簡便さと処理の速さの観点から、CHLAC が選択された。これは、物体を把持する際の手の形の表現方法として用いるものであり、入力データから手の領域を検出したのち、検出された部分の特徴量に変換する際に利用したものであった。単純な輪郭特

徴を用いる方式と比較し、高い識別率が得られることが分かった。

一方で、単純な構成の二指ハンドによる把持と、人の手による把持を関連付けるために、人の手の把持形態に関する従来研究を参考に、物体とハンドの接触位置を保持する観点から、人の手による把持と二指ハンドの把持を関連性づける方法を提案した。そこでは、人の手による把持姿勢を6種類に分類し、教示された把持方法がそのいずれに属するかを判別する。我々が採用した分類で特に重要なものは、物体に接触する親指の有無とその配置であった。すなわち、人間の5指によって実現されている把持をロボットの対向型2指ハンドで実現するためには、手の親指が物体のどの部分を抑えているかが肝要であることがわかった。親指の配置方法についても、棒を握りこむように持つ場合か、皿を持つ場合のように親指を添えるだけでよいのかなどにより、持ち方の分類を行えばよい。この分類方法を基準として、それぞれの把持方法に対するロボットハンドの姿勢をあらかじめ定義しておく。親指を重視する握み方なのであれば、2指ハンドの片方の指は親指と同様の役割を与えることが望ましく、親指を添えるだけのような把持に置いては、親指の配置を必ずしも守らなくとも、物体を把持することは可能である。これらの考慮の元で手法を構築し、人の物体操作を観測した直後に、ロボットが同じ物体を操作可能にするシステムを構築することができた。なお、ここで記録される把持情報は、操作対象に対して定義されるものであるため、その対象の位置・姿勢に変化があったとしても、ロボットがその物体の姿勢を認識でき、そこから推測される把持姿勢を実現するためのアームの関節角を算出することができれば、物体操作の再現は可能である。

評価実験として、円筒形物体や直方体を対象物として基礎実験を行い、人間が教示した把持位置を再現したロボットの物体把持を実現できることを確認した。その後、取手付きの物体など、握み方に制限が強いものを対象にして、提案手法が機能することを確認した。さらに、今回採用した教示方法が、単純に把持位置を提示するだけでなく、物体に触れる手順を記録することも容易であることから、入れ物のふたを開ける行動などについても、人による教示とロボットによる再現動作の実験を行い、提案手法の有効性を確認した。

(2) の具体的内容を次に説明する。

道具操作という行為においては、使用する道具の他に操作対象の物体があるため、一つの行動で複数の物体が操作されることになる。このとき、各物体が独立に観測できるの

であれば行為の観察は比較的容易であるが、多くの場合はある物体が他の物体の上に重なる場合や、包丁で食材を切る場合などは物体同士が隠し隠される関係となる。この状況を正確に判断できなければ、物体操作行動を計算機に理解させることは難しい。本研究ではその重要性に着目し、重畳関係推定を行う手法を提案した。まず、物体間の重畳関係を定義するため、実際に起こりうる関係のモデル化を行った。そして、実際の状況をこのモデルにあてはめるべく、種々の物体認識・追跡手法を研究した。複数物体の動きをリアルタイムで注視し追跡するためのビジョンシステムと画像処理手法について提案・実証を行った。そこでは、ステレオ視覚により取得した2枚の画像に対して、追跡領域の色情報と三次元情報を利用することでロバストな追跡アルゴリズムを構築した。本方式によれば、追跡対象の見た目が途中で変わる場合であっても、三次元空間中の連続性を利用して対象を追跡し続けることができる。これにより、人間の物体操作行動を追跡することが容易になった。

また、相互重畳という比較的複雑な物体同士の関わり合いを記述可能にし、その状態を画像列から推定するための画像処理手法を提案・実証した。本方式では、物体が隠し隠される状況をいくつかのタイプに分類し、それぞれを記述できる論理表現を適用している。片方の物体がもう片方の物体の全面にあるだけなのか、片方の物体がもう片方の物体に挿入されているのかなど、従来は深く考慮されていなかった重畳状態分類に着目し、画像を入力として色情報とエッジ情報による追跡と重畳関係推定を行う手法を提案・実装した。提案方式は chamfer matching やグラフカットなどの既存の画像処理を用いているが、これらは単体では大きなオクルージョン現象に対応できない。しかしながら、追跡対象が別の物体に隠されることをあらかじめ考慮した追跡モデルをオンラインで生成し、そのモデルを元に追跡処理を行うことで、大きな隠れがある場合でも、追跡対象の位置がわかるだけでなく、その姿勢情報も得ることができる。また、従来の追跡画像処理で良く用いられる画像特徴点は利用しないため、テクスチャの少ない物体に対しても適用できるという特徴がある。このようにした理由の一つは、日常的に利用される道具にはテクスチャが乏しいものが多いためである。包丁やまな板、箸や皿などの道具は、操作頻度が高いが際立った視覚特徴を有していない。提案手法はこれらの物品に適したものであり、生活環境で運用するための方式として利用できる可能性がある。

実機実験として、双腕ロボットを用いて、クリアファイルに書類を収納する動作や、フ

ライパン上の調理食材をすくい上げて移動する動作等を行わせ、提案手法の効果を確かめた。このとき、重畳関係の認識率は90%を確保することができた。

このほかにも、ロボットの指先に複数の触覚センサを取り付けて物体操作中の接触状態をオンラインで計測し、動作の修正へ利用するための研究を進めた。プロトタイプとして2世代のセンサシステムを構築し、基礎データの獲得等の実験を行った。

これらの研究活動により、単純な機構のハンドを搭載したロボットへ適用するための認識手法と動作計画手法が構築された。本研究の成果を利用すれば、人間の物体操作を容易にロボットへ教示することができ、ロボットは教示から得たセンサデータを利用すれば、自身が持つ機構に見合った操作行動を実現することが可能になった。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計1件)

1. Kotaro Nagahama, Tomohiro Nishino, Kimitoshi Yamazaki, Kei Okada and Masayuki Inaba: "Attention Region Detection and Tracking for Observing a Person Manipulating Day-to-day Objects," International Journal of Mechatronics and Automation, Vol. 3, No. 1, pp. 58--67, 2013, 査読有

[学会発表] (計9件)

1. Kotaro Nagahama, Kimitoshi Yamazaki, Kei Okada and Masayuki Inaba: "Manipulation of Multiple Objects in Close Proximity Based on Visual Hierarchical Relationships," in Proceedings of the 2013 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2013/5/6, ドイツ

2. Kotaro Nagahama, Kimitoshi Yamazaki, Kei Okada and Masayuki Inaba: "Hierarchical Estimation of Multiple Objects from Proximity Relationships Arising from Tool Manipulation," in Proceedings of the 2012 IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, 2012. 11. 30, 大阪

3. 長濱 虎太郎, 西野 友博, 山崎 公俊, 岡田 慧, 稲葉 雅幸: "重畳関係と随伴性を用いた作用推定に基づくヒューマノイドの道具操作", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'12, 2012. 5. 28, 静岡

4. 長濱 虎太郎, 山崎 公俊, 岡田 慧, 稲葉 雅幸: 「人の道具操作観察における複数領域追跡による重畳・随伴関係推定と操作機能分類」, 第 17 回ロボティクスシンポジア, 2012. 3. 15, 山口

5. 長濱虎太郎, 山崎公俊, 岡田慧, 稲葉雅幸: 「人の道具操作観察における機能分類のための重畳・随伴関係推定」, 第 12 回 SICE システムインテグレーション部門講演会 2011. 12. 20, 京都

6. Tien Coung Kieu, Kimitoshi Yamazaki, Ryo Hanai, Kei Okada and Masayuki Inaba: “Grasp Observation and Reproduction by Humanoid Robots Using Color Camera and 3D Sensor,” in Proc. of IEEE/SICE Int’ l Symposium on System Integration, 2011. 12. 15, 京都

7. Kotaro Nagahama, Tomohiro Nishino, Mitsuharu Kojima, Kimitoshi Yamazaki, Kei Okada and Masayuki Inaba: “End Point Tracking for a Moving Object with Several Attention Regions by Composite Vision System,” in Proc. of IEEE Int’ l Conf. on Mechatronics and Automation, 2011. 8. 5, 中国.

8. 長濱 虎太郎, 西野 友博, 山崎 公俊, 岡田 慧, 稲葉 雅幸: 「生活支援ロボットによる日常物体操作観測のための複数対象の同時追跡と重畳関係推定」, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演’ 11, 2011. 5. 27, 岡山

9. Tien Coung Kieu, Kimitoshi Yamazaki, et al.: “Using Range-Color Data to Extract Human Hand Pose and Contact Points for Implementation of Robot Grasp Action,” 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会’ 11, 2011. 5. 27, 岡山

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山崎 公俊 (YAMAZAKI KIMITSHI)

信州大学・工学部・助教

研究者番号 00521254