

物体操作のためのロボットアームの タブレット型インタフェース

日大生産工（学部） ○松嶋 佳祐 日大生産工 岡 哲資

1 まえがき

近年、機械で作られたロボットの腕、ロボットアームは、多種多様な物体を操作できるように年々開発が進んでいる[1][2]。他にも危険区域作業用遠隔操作ロボット、移動できない身障者等に向けた移動可能ロボットなど、カメラ越しで操作するロボット、及びそれらに搭載されるマニピュレータ[3][4][5]も開発されている。

高齢者、身障者、怪我人向けのロボットアームも開発されているが、一般的なロボットアームは、複数の関節の個々の動きにより物体操作を実現しているため、関節ごとに回転量を設定する必要がある。ボタンで関節ごとの回転を設定するアームも存在するが、自由自在に操作するには高い習熟を必要とする。そのため、現在はハンド部分を基軸としたXYZ操作などにより本来複雑なロボットアーム操作の単純化がおこなわれている。他には、人体の動きをトラッキングし、アームに反映するシステムやマスターアームが開発されている[3][4]。しかし、それらの操作はアームで行う動きと同様に腕、手を大きく動かす必要があり、高齢者や身障者、怪我人では扱いにくく、機器の値段も安くない。

本研究では、物体の位置、角度に合わせて画面上でなぞることで物体操作するインタフェースとすることで、大きな動きを必要とせず、習熟を必要としないアームシステムを構築する。また、用いるハードウェアは安価で、指先の小さな動きで指示ができ、画面に映る画像を指で直接なぞることが可能なタブレット型のハードウェアを用いる。物体の位置・姿勢を自律的に判断し、操作する方法は計算コスト大きく、高性能なハードウェアを用いても物体操作に時間がかかるため[6]、本研究では、物体の位置・姿勢の認識、掴み方の選択を操作者が行うことで、計算コストを削減する方法をとる。操作者は、まず、画面内の物体をスクリーン上でタッチし、アームおよびカメラを物体の方向

に回転させる。次に、物体に合わせて画面をなぞることで、物体の姿勢と掴み方をシステムに伝える。システムは、操作者がタッチした画像上の位置から物体の位置を求め、アームとハンドの動作を自動生成する。物体を掴む高さを一定にすることで、掴む位置の決定を容易にする。また、操作を容易にするため、掴み方を上から、手前からの2種類に限定する。

本研究の方法では、操作者のタッチ入力とセンサから得られる情報に基づいてシステムが物体の位置を決定する。この方法では、特に奥行き判断に誤差が生じやすい。この問題を回避するため、上から掴むときはハンドを大きく広げ、手前から掴むときは物体の手前から奥にハンドを動かして押すなどの掴み方の工夫をする。

2 目的

本研究の目的は、上に述べた方法に基づくロボットアームによる物体操作のためのタブレット型インタフェースによって、物体の操作が容易に行えることを実証することである。

3 研究方法

3.1 構成

本研究で実現するシステムは、ロボットアーム、カメラ、レーザー距離計、タブレットPCから成る。（図1）

ロボットアームは、全体を回転させることが可能で、各関節を自由に動かすことができるものを想定する。カメラは、ロボットアームのアーム部分下部に取り付けられ、アーム正面の映像をリアルタイムにインタフェースに送信する。カメラの角度は固定されており、カメラからみたロボットアームが操作可能な最大距離に画面上部ぎりぎりに映るように設定する。また、ロボットアーム全体の回転に合わせて回転することで、常にアームの中心をカメラ画像映しているものとする。インタフェースには、前

Tablet Interface with a Robot Arm for Manipulation

Keisuke MATSHISHIMA and Tetsushi OKA

述の通りタブレット型ハードウェアを用いる。

レーザー距離計はカメラとほぼ同じ位置に設置され、アームと同じ向きに向いている。必要に応じて、カメラ正面の物体との距離を測定し、システムに送信する。

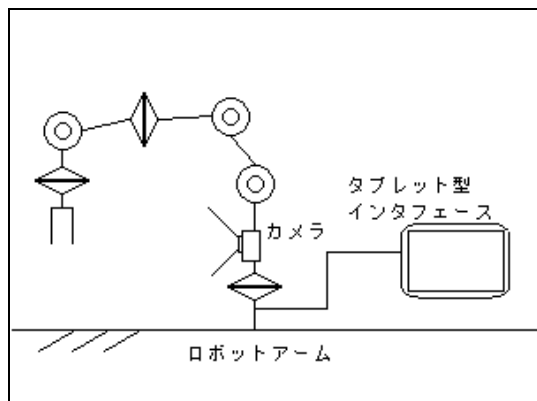


図1. ロボットアームシステム

3. 2 インタフェース

ハードウェアであるタブレット機器にカメラから送られたRGB画像をリアルタイムで表示する。カメラ画像上にアームの中央部分を示す線が引かれていて、後述の物体操作命令に使用する2つのボタンが画面に表示されている。図2に本研究で想定するインタフェースの操作画面を示す。

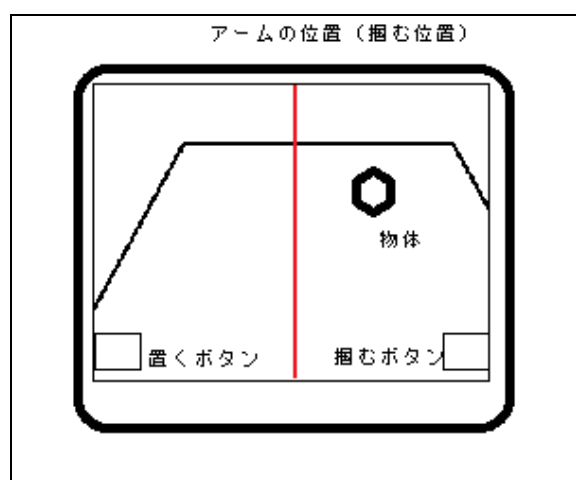


図2. インタフェース

本インタフェースは、ユーザーの判断による命令分岐を最低限にするため、大きく左右位置指定、奥行き、角度指定、命令指定の3つの操作から構成され、物体の多種多様な大きさ、形、設置角度に関わらずほぼ同様の命令操作で物体操作が行えるような命令方法を提案する。

図3に大まかな命令手順を示す。

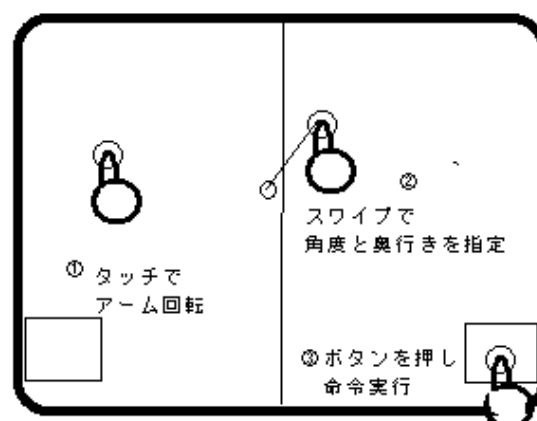


図3. 命令手順

タブレットの画面上でタッチすることで、ロボットアームを回転させ、タッチした位置を画面中央に収める。画面中央付近でスワイプ、または二本指でスワイプすることで角度と奥行きを指定する。ボタンが出現するため、命令に対応したボタン（置く・掴む）をタッチすることで命令をアームに送信し、動作を実行する。具体的な操作手順を以下で示す。

上から掴む

図4に上から掴む場合の操作手順を示す。

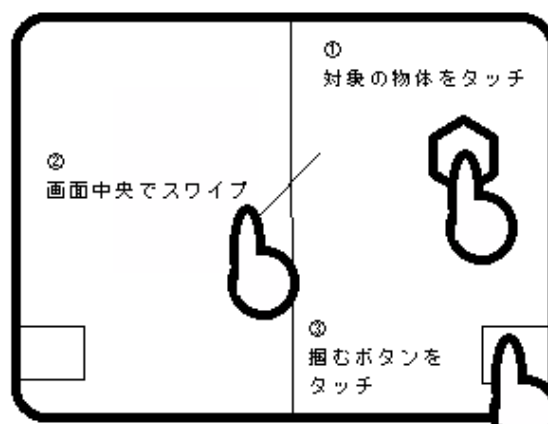


図4. 上からの把持操作

直立している物体など、上からの操作が難しい場合以外はこの操作で物体把持を行う。

把持する物体を画面に収めるため、画面端をタッチしアームを回転させる。物体がカメラに映った場合は、画面に映る対象の物体をタッチし、物体を画面中央に収める。

画面上の物体の位置、角度に合わせて画面をスワイプし、画面に表示されるボタンのうち、「掴む」ボタンをタッチすることで上から指定した位置、角度で物体を把持することができる。

上から置く

図5に上から置く場合の操作手順を示す。

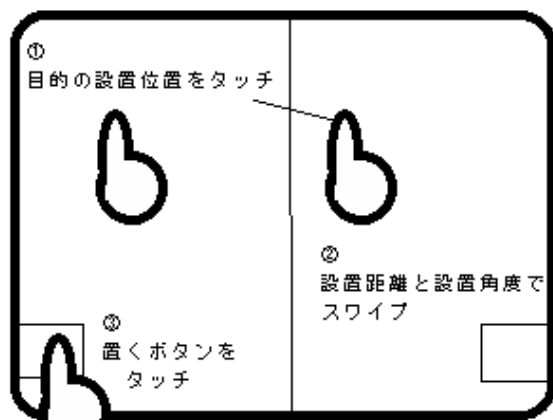


図5. 上からの設置操作

物体を直立した状態で置くとき以外はこの操作で物体を設置する。

把持した物体を置く場合も把持する操作とほぼ同様である。タッチ操作により設置する位置を画面に収め、画面に映る設置位置に設置角度でスワイプする。最後に「置く」ボタンをタッチすることで上部から指定した位置、角度で物体を設置することができる。

手前から掴む

図6に手前から掴む場合の操作手順を示す。

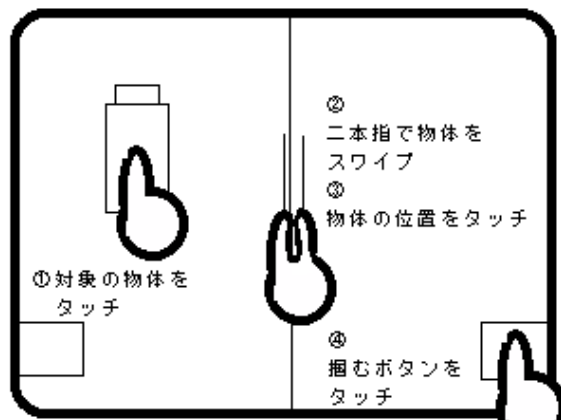


図6. 手前から把持操作

直立した物体など、上から掴むのが難しい場合は以下の操作により手前から掴むことができる。

把持する物体を中央に収める操作は上から掴む操作と同様である。次に、二本指でのマルチタッチでのスワイプで行う。二本指で、画面に映る物体をなぞることで物体を手前からスワイプした中央部分を掴む指示となる。手前から掴む場合はレーザー距離計により取得した奥行きを利用する。最後に、「掴む」ボタン

をタッチすることで手前から物体を把持することができる。

手前から置く

図7に手前から置く場合の操作手順を示す。

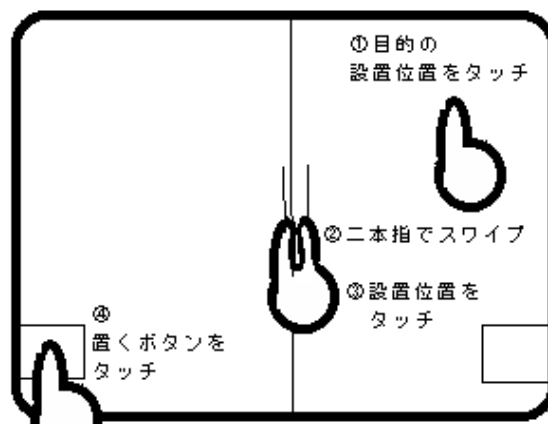


図7. 手前から設置操作

手前から置く場合も、手前から掴む操作とほぼ同様である。タッチにより設置位置を中央に合わせ、二本指でスワイプし、さらに位置の指定を中央線上のタッチで行う。「置く」ボタンをタッチし、手前からの物体設置を実行する。

3. 3 ロボットアーム

本システムでは、インタフェースから与えられた画面上の物体の位置である2次元座標を、実際の物体の位置である3次元座標に変換し、指定された3次元座標からロボットアームの各関節への逆運動学計算を行うことで物体操作を実現する。(1)で3次元座標変換に関して示し、(2)では上部から操作する場合の逆運動学計算を示す。

(1) 3次元座標変換

手前から掴む操作の場合は、レーザー距離計を利用する。中央線上の決められた高さに物体があれば、その奥行きを用いて、掴む位置を決定することができる。上から掴む操作の場合は、スワイプにより指定した線分と中央線の交点の座標を計算する。物体の高さが決まっているため、交点の画像上の垂直位置から奥行きを求めることができる。線分の端点についても、同様に奥行きおよび3次元座標を求めることで、物体の3次元姿勢も求められる。

(2) 逆運動学計算

図8のロボットアームを想定する。ロボットアームの関節数は6である。

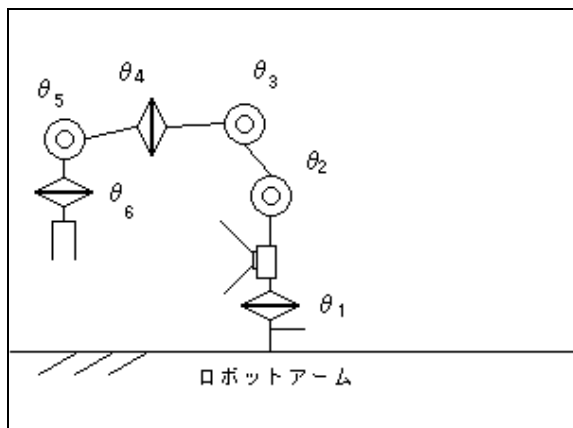


図8. ロボットアーム

取得した3次元座標(x y z)からロボットアームの関節J1～J6の角度 $\theta_1 \sim \theta_6$ を求めるわけだが、J1はカメラの回転操作で利用し、J6は物体の角度に合わせて回転するため考える必要はない。また、J4も掴み方によって一定なので、 θ_4 も考慮する必要はない。結果、求める関節角度は θ_2 、 θ_3 、 θ_5 の3つとなる。

物体はJ5の直下に位置するため、物体の位置(x y z)から z 座標を一定値加算することでJ5の位置(x_r y_r z_r)を算出できる。

図8で示したロボットアームは垂直多関節型のため、求める関節角度 θ_2 、 θ_3 はJ5の位置から逆運動学計算によって求めることができる。 θ_2 に関しては、二つの解が導かれるが(図9)、小さい方の解を採用する。 θ_5 は、求められた θ_2 、 θ_3 から求めることができる。これらの計算によりロボットアームの動作を決定することができる。

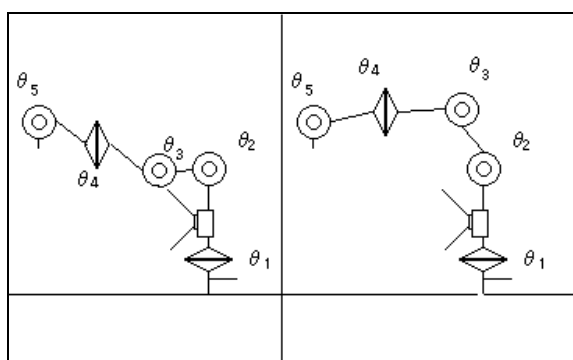


図9. 逆運動学計算の重解

3. 4 検証方法

初心者インタフェースの操作方法を説明用動画と操作マニュアルにより一定時間説明し、操作内容を把握するまで自由に操作を行ってもらおう。次に、マニュアル等を参照せずに課題を遂行してもらおう。移動する物体と移動先を

指定し、一定時間内に移動した場合を成功とする。成功率、移動に要する時間、操作者の間違い、奥行き誤差による把持の失敗などを記録する。さらに、操作方法を完全に理解した操作者によって、同様のテストを行い、成功率、時間、操作者の間違い、システムによる把持・設置の失敗を記録する。

以上のデータから提案するタブレット型インタフェースによって、ロボットアームによる物体操作が容易に行えることを実証する。

4. あとがき

本論文では、物体操作のためのロボットアームのタブレット型インタフェースを提案し、その構成、インタフェース、物体操作の方法、アームの動作生成、実用性の評価方法を示した。

「参考文献」

- 1) “ロボカップ@ホームにおける日用品マニピュレーション”，日本ロボット学会誌 Vol.31 No.4, pp.370~375, 2013
- 2) “マニピュレーション研究—把持計画を中心とした研究動向—”，日本ロボット学会誌 Vol.31 No.4, pp.320~325, 2013
- 3) “建設機械の遠隔操作と双腕作業機”，日本ロボット学会誌 Vol.30 No.6, pp.582~584, 2012
- 4) “Telerobotics on Robonaut 2”，日本ロボット学会誌 Vol.30 No.6, pp.565~567, 2012
- 5) “原子力発電所事故対応のための遠隔操作技術”，日本ロボット学会誌 Vol.30 No.6, pp.588~591, 2012
- 6) “An Overview of the DARPA Autonomous Robotic manipulation(ARM) Program”，日本ロボット学会誌 Vol.31 No.4, pp.326~329, 2013