

令和 5 年 6 月 13 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2022

課題番号：17K00283

研究課題名(和文) 音声と片手指先タッチ入力によるマニピュレータ操作インタフェース

研究課題名(英文) robotic manipulator control interface based on speech and single-handed finger touch commands

研究代表者

岡 哲資 (OKA, Tetsushi)

日本大学・生産工学部・教授

研究者番号：00282921

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円

研究成果の概要(和文)：本課題では、マニピュレータを用いて作業を行うための操作インタフェースを開発し、マルチタッチジェスチャを用いた新しいコマンドの評価と検討を行った。タップ、スライド、回転などの40種類のジェスチャコマンドを小さいタッチパネル上の片手操作で実行し、ロボットハンドの移動、回転、開閉および速度変更を行い、様々な作業が行えることを確認した。コマンドの覚えやすさと理解しやすさ、作業効率における問題点などを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

マニピュレータ(ロボットアーム)の操作は、危険物の操作、危険環境における遠隔作業、車いす利用者の生活支援、ロボットによる作業の自動化のための教示など、社会における様々な目的で重要である。従来のマニピュレータ操作インタフェースは、操作の習得に時間がかかるという欠点がある。本課題により、操作方法の習得を容易にすること、作業中の操作者の負担を減らすこと、作業効率を上げることに、音声と片手指先タッチによる操作入力の長所および短所が明確になった。本課題で検討した音声と片手指先タッチによる操作入力の多くは、操作の習得が容易であり、ボタン入力を併用することで、高い作業効率を実現できると考える。

研究成果の概要(英文)：In this project, robotic manipulator control interfaces were developed and evaluated. New commands using multi-touch gesture were employed and tested in several manipulation tasks. The 40 gesture commands including finger slides, rotations, zoom-in/out gestures for hand translation, hand rotation, hand opening/closing, and shortcuts to hand positions and orientations were evaluated in terms of learnability and task efficiency.

研究分野：インタラクティブシステム

キーワード：マニピュレータ ロボットアーム 操作 インタフェース 音声 タッチ ジェスチャ 片手

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

マニピュレータ（ロボットアーム）の操作インターフェースは、多数のボタン（キーパッド）を使用するものやジョイスティックとボタンを併用するものが実用化されていた。これらは、ロボットアームを片手で操作することができるため、車いすに搭載されたロボットアームで物を拾う、物を移動するなどの日常生活動作を行うことに利用できるものであった。そして、手先だけの動きで作業が行える、常に作業スペースを見ながら作業が行える、両手を使えば二つのアームによる作業が行えるという長所もある。しかし、これらのインターフェースは操作方法を習得し、作業が行えるようになるには、時間がかかるという問題があった。また、特にロボットハンドの回転が理解しにくいことや、複数のモードを切り替えなければならないことから、操作者の認知負荷が高いという問題があった。ボタンとジョイスティック以外に有力と思える入力方法として、音声入力とタッチパネル上のジェスチャ入力が提案され、いくつかのインターフェースの評価も行われていた。音声入力もジェスチャ入力も作業スペースを見たまま、体を大きく動かすことなく作業が行える。ジェスチャ入力は、キーパッドと同様、片手で小さな入力デバイス（タッチパネル・タッチパッド）を用いて行うことができる。従来の音声とタッチジェスチャを用いた操作インターフェースは、片手の動きと音声によって、ロボットハンドの回転、移動、開閉、速度変更が行える。多くの操作方法は、ボタンを用いる方法よりも覚えやすいという結果が示されていた。しかし、特に音声入力は、ボタン入力よりも時間がかかる点、音声によるモード変更が必要であり、操作エラーの原因になる点も指摘されていた。

### 2. 研究の目的

本課題では、音声と片手指先タッチ入力によるマニピュレータ操作インターフェースを開発し、操作方法の覚えやすさ、作業効率、操作と作業の容易さ、認知負荷、エラー率、問題点などを明らかにすることを目的とした。開発する操作インターフェースは、ロボットハンドの移動、回転、開閉およびその速度の変更、ハンドの目標位置と姿勢の情報を入力するための音声およびマルチタッチジェスチャコマンド群を用いる。検討する必要があるのは、それぞれのコマンドの覚えやすさと効率、コマンド群の習得しやすさ、作業効率、作業の容易さと認知負荷などである。

### 3. 研究の方法

本課題では、6自由度アームと1自由度ハンドを組み合わせた車いす搭載用マニピュレータ（iArm）の操作インターフェースを開発し、作業を行った。多数の使用（初心者および継続的使用者）によるユーザ評価を計画していたが、長期海外出張と新型コロナウイルス感染症の感染拡大のため、行わなかった。開発したインターフェースを少数のユーザの作業によって評価し、覚えやすさと効率について検討した。また、仮想現実（VR）空間内のロボットハンドを操作するシミュレータも開発し、検討を行った。

開発したインターフェースおよびシミュレータは、タッチスクリーンを有するノート型コンピュータ（PC）で動作する。音声による入力は、ロボットハンドの目標位置と目標姿勢を伝達するコマンドである。新しいインターフェースには、従来のインターフェースにおける操作モードは存在しないため、モード変更のコマンドは使用しない。これらの音声コマンドでマニピュレータを操作できることを確認した。前述の通り、覚えやすさなどの主観評価は、多数のユーザでは行わなかった。音声コマンドの所要時間は、従来のインターフェースのコマンドと同等であり、多用すると作業効率が下がると考えられる。

マルチタッチジェスチャのコマンドは、従来のインターフェースでも使用されていたスライド、回転、開閉ジェスチャを含む。スライドジェスチャは、従来と異なり、上下左右の4方向のみであり、使用する指の本数（1-5本）によって、20種類ある。これによって20個のボタンを持つインターフェースと同じ数のコマンドが使えることになる。ただし、ボタンのように短時間で複数回のコマンド入力を連続して行うことは難しい。20種類のコマンドによって、ハンドの移動方向（前後左右上下）、ハンドの姿勢と位置（音声入力と同じだが短時間で入力できる）などを伝達できる。

別のマルチタッチコマンド群として、回転ジェスチャが使用された。従来のインターフェースは、2点タッチ（二本指）の回転ジェスチャのみを用いていたが、新しいインターフェースでは、3点、4点、5点の回転も採用されている。回転には、時計回りと反時計回りの2種類があるため、 $4 \times 2 = 8$ 通りのボタンに相当するコマンドが実行可能となった。2-4点の回転は、回転軸が異なるハンドの回転を伝達する。これにより、キーパッドの6個のボタンを用いたハンドの回転と同等の機能を実現した。これに加えて5点タッチの回転をショートカットコマンドとして利用可能である。

開閉ジェスチャも、従来のインタフェースでは2点タッチのみであったが、3-5点タッチの開閉ジェスチャによって、8つのコマンドを実現した。ロボットハンドの開閉は、タッチスクリーンの拡大・縮小で用いられている開閉（ズーム）ジェスチャ（2点タッチ）で行える。他の開閉ジェスチャは、ショートカットコマンドなどに利用可能である。

キーパッドを用いるインタフェースでは、一つのボタンを繰り返し押し出すことで速度を切り替える。また、ジョイスティックを用いる場合は、ジョイスティックの傾きで速度を連続的に変化させることができる。音声コマンドでは、キーワードによって速度を指定する方法がある。タッチジェスチャによる速度指定方法は、さまざま考えられる。本課題でも複数の方法を検討し、実装した。具体的には、移動・回転ジェスチャの速度を使用する方法、タップコマンドによって事前に速度段階を伝達する方法である。後者は5段階の速度をタップ（複数の指先を短時間タッチパネルに触れるコマンド）のタッチ点数で伝達する。どちらの方法も、マニピュレータの動作中に連続的に速度を変更することはできない。この他、ジョイスティックと同様に、速度と移動方向を連続的に変更できるインタフェースも試作した。

シミュレータを用いて仮想空間内でロボットハンドの開閉、移動、回転を試してみた。実際のマニピュレータでは、床やテーブルの上の物体の把持と移動、キャビネットの開閉などの作業を試行した。

#### 4. 研究成果

##### 作業時間の短縮

新しいマルチタッチコマンドを使用することで、従来のインタフェースの音声によるモード切替が不要になった。音声によるモード切替には時間がかかるため、これによって作業が短縮できる。モードを切り替えずに、ハンドの移動・回転・開閉を行って作業が行えることを確認した。また、従来のインタフェースでは、音声のショートカットコマンドでハンドの位置・姿勢を変更していた。このショートカットは、操作を容易にするだけでなく、作業時間の短縮にも有効なものである。本課題では、音声に加えて、マルチタッチジェスチャによるショートカットを実現した。コマンド入力時間が音声に比べて短いことで、作業時間が短縮できることを確認した。以上から、従来の音声とタッチジェスチャによるインタフェースよりも作業時間が短くなることがわかる。また、16キーのテンキーでショートカットを使用する場合は、モード切替が必要になることから、モード切替なしでショートカットが使える点は、時間短縮の面で有利である。しかしながら、ショートカットを用いずにハンドの移動と回転を行うケースでは、位置と姿勢の微調節を行うときに、キーパッドやジョイスティックなどに時間がかかる場合もあると考えられる。キーパッドのインタフェースでは、ボタンの連続押しによって位置を修正することが多い。ジョイスティックは、停止前に速度を下げることで位置を調節できる。これに対して、マルチタップで速度を指定する方法で位置を修正するには、タップコマンドで速度変更を行った後に、再びジェスチャを行う必要がある。そして、開発したインタフェースでは、微小距離の移動には、ボタンに比べると低い移動速度を選択する必要がある。タッチジェスチャによる位置の修正・微調節が課題として残されている。実用上は、微調節に物理ボタンを併用することも考えられる。

##### 各コマンドの覚えやすさ

従来のインタフェースの音声とジェスチャのコマンドは、キーパッドのボタンによるコマンドよりも覚えやすく、容易に使用できるという結果が得られている。モードの切り替えとショートカットには、音声コマンドを用いており、これらは時間がかかるものの、覚えやすい。タッチジェスチャも、スライド、回転、開閉ジェスチャによるコマンドは直感的であり、覚えやすいものであった。新しいインタフェースでは、タッチ点数を変えたスライド、回転、開閉ジェスチャを使用し、スライドは上下左右の4通りとしている。これらは、ハンドの移動、回転、開閉に加えてショートカットにも使用される。また、タップコマンドによって、5段階の速度を変更する方法、ジェスチャの速度で速度を変更する方法が導入されている。

ハンドの移動は、本課題以前にも、移動する平面（モード）を切替えて1点スライドのみで移動する方法、1点スライドと2点スライドで平面を切り替える方法が評価されていた。スライドの方向とハンドの移動方向が一致している場合は、直感的で覚えやすい。ハンドを上下に移動する場合は、2点タッチで前後にスライドさせる必要があるが、この操作もボタンよりも覚えやすく、ジョイスティックと変わらないと考える。

ハンドの回転は、タッチ点数の異なる3種類の回転ジェスチャによって行う。回転ジェスチャによる回転は、ボタン、ジョイスティック、スライドジェスチャよりも覚えやすいが、回転軸と回転方向をイメージできるようになるには、時間がかかると考えられる。回転軸が垂直軸（ヨー軸）である場合がもっともイメージしやすい。このような回転で、時計まわりと反時計まわりの間違いは起きにくい。ただし、タッチ点数との対応は、恣意的であるため、繰り返しの使用が必要である。アームの軸とハンドの回転軸が一致する場合（ロール軸）も経験によって習得は難しくないと考える。もう一種類の回転コマンドは、習得が最も難しいものと考えられる。タッチ点数による

回転軸の選択も、何等かの工夫をして覚える必要がある。作業を行う上では、3種類の回転よりも姿勢のショートカットを先に習得すべきと考える。

ハンドの開閉は、従来のインタフェースでも2点タッチの開閉で行っており、この操作は直感的で覚えやすい。これは、ボタンやスティックよりもタッチパネルが優れている点の一つである。これは、床、テーブル、棚の物体、ドアノブなどをつかむために必要な操作である。

スライド、回転、開閉ジェスチャによるショートカットは、必ずしも覚えやすいものばかりとはいえない。しかし、スライドによって、ハンドの先端の向きを伝える姿勢のショートカットは、音声による姿勢ショートカットと対応可能であり、直感的で覚えやすいと考える。使用者からみた特定の目標位置を伝達するショートカットコマンドも、前後左右のスライドを用いるなどして覚えることができる。しかしながら、これらのショートカットのタッチ点数を覚えるには工夫が必要になる。また、ボタンに比べて動きと手先の感覚に特徴があるため、繰り返しの使用によって（「体で覚える」ことにより）忘れにくくなる可能性がある。

速度変更コマンド群は、タッチ点数が多いほど高速、指先の移動速度が速いほど高速、指の移動量が大きいほど高速という原則に基づいている。したがって、ジョイスティックの傾きと同様、覚えやすい。

#### コマンド群の習得しやすさ

本課題で開発したインタフェースにおけるタッチ操作入力、タッチ点数の異なるタップ、スライド、回転、開閉ジェスチャというシンプルな操作群となっている。まず、この原則を覚えることで、コマンド群の全体像をつかむことができる。また、直感的でわかりやすい操作が多く、音声コマンドと合わせて、覚えやすい操作から覚えていくことができると考える。しかし、タッチ点数や一部のショートカット、ハンドの回転軸と回転方向の指定など、経験によって覚える必要がある操作が存在していることは否定できない。異なる3つの回転軸の回転コマンドをすべて習得することは、容易とはいえない。特に、回転軸が目に見えず、空間に固定されていないピッチ軸回転の習得が難しい。すでに述べた通り、各コマンドを覚える工夫や習得する順序の工夫も重要であろう。

#### 作業の容易さ・認知負荷・エラーなど

キーボードやジョイスティックを用いる従来のインタフェースは、習得の難しさに加えて、作業中の認知負荷に問題がある。実際に作業を行うためには、個々のコマンドに対するマニピュレータの動作をイメージする能力だけでなく、次に行うべきことを決定する能力（コマンド選択・動作計画）が必要である。コマンド群を習得していても、作業の手順を覚えていないと、作業の難しさが残り、認知負荷がかかる点は、従来のインタフェースと同じである。個別の作業に対する初心者や継続的使用者の認知負荷の調査や従来のインタフェースとの比較は行っていないが、モードの切り替えが不要で、スライド・回転・開閉・タップのジェスチャと音声のコマンドで作業が行えることが認知負荷と操作エラーの軽減につながる可能性がある。

#### 総括

本課題では、音声入力と片手のみのマルチタッチジェスチャを用いたマニピュレータの操作インタフェースを主題とした。実用化されているキーボードやジョイスティックによるインタフェースと比較すると、直感的で覚えやすいコマンドを用い、モード変更が不要であり、位置姿勢などのショートカットが利用できる点が特徴である。現実のロボットアームと仮想空間内のシミュレータを用いて、マルチタッチジェスチャにより、ハンドの開閉、移動、回転、物体の操作が行えることが確認できた。開発したインタフェースを用いた作業では、多くの場合は効率が低下することはないが、ハンドの位置姿勢の修正・微調節においては時間がかかりやすいという問題点がある。実用上、微調節のみにボタンを併用することも考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

|  | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号) | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号) | 備考 |
|--|---------------------------|-----------------------|----|
|--|---------------------------|-----------------------|----|

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
|---------|---------|