

令和 4 年 6 月 13 日現在

機関番号：11401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K12036

研究課題名(和文) 高分解能手指用MoCapによる指先接触力の多階調推定手法の構築

研究課題名(英文) Development of a Multi-Gradient Fingertip Touch Force Estimation Method using a High-Accuracy Hand Motion Capture System

研究代表者

藤原 克哉 (Fujiwara, Katsuya)

秋田大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：80333128

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：指先接触力の測定は、手指巧緻動作検査やその他の作業療法における評価のために重要となる。圧力センサーなどを用いた既存の接触力測定法があるが、手指を覆うセンサーはヒトの触覚を阻害してしまう。そこで我々は、指の爪上に設置した高分解能センサーによる手指位置姿勢計測により、指先の接触力を推定する方式を開発した。この方式では、圧力センサーは不要であり、指先の触覚を阻害しない。さらに、多階調接触力推定手法を用いた改良により推定精度を向上させた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

作業療法分野における巧緻動作検査は、所要時間や作業量による量的評価が中心であり、指先の動きや力の入れ方の計測による質的評価の実現が課題である。検査感度の向上のため、作業中の詳細な手指の位置姿勢および接触力を測定し、巧緻動作そのものを評価する手法が求められている。しかしながら、従来の接触力測定方式では、指と対象物の間にセンサーを挟むため指先の繊細な感覚を阻害してしまい、直接触れる条件とは異質な作業となる問題があった。本研究による、間にセンサーを挟む必要がない、爪上の位置センサーのみを用いた接触力推定方式では、これらの巧緻動作検査に適した、直接指で触れる条件での作業の計測が可能となった。

研究成果の概要(英文)：Fingertip touch force measurement is important for finger dexterity tests and other occupational therapy assessments. Touch forces are usually measured by force sensors. However, sensors placed on finger will prevent human tactile sensation. We developed a new method that can estimate a fingertip touch force by measuring finger position and posture using a high-accuracy sensor attached onto the fingernail. This method did not use any force sensors, and did not prevent tactile sensation of the fingertip. Furthermore, we improved the precision of force estimation using a multi-gradient force estimation method.

研究分野：情報学

キーワード：接触センシング処理 モーションキャプチャ 接触力推定 巧緻動作検査 作業療法 手指動作検査
人間情報学

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

(1) 作業療法分野における巧緻動作検査では、トークンを摘んで容器に入れた量やその所要時間を指標とするような量的評価が中心で、高次脳機能の症状が直接反映する指先の動きや対象物への力のかけ方等の動作を正確に計測、評価できていないのが現状である。様々な疾患の検査感度を向上させるためには、作業中の手指の位置姿勢および接触力を詳細に測定し、巧緻動作そのものを評価する手法が求められている。そこで我々は、 $4\mu\text{m}$ の高い空間分解能を有する高精度な手指用磁気式モーションキャプチャ装置を用いて巧緻動作検査における手指の位置姿勢を測定し、健常者および高次脳機能疾患の症状別の分析を進めてきた。

(2) さらに、我々は、指先の力の入れ方を位置姿勢と同時計測するために、手指用モーションキャプチャ装置 (位置姿勢センサー) と指腹の圧力センサーを組み合わせた計測システムを構築した。しかし、手指と対象物の間に圧力を計測するセンサーを挟む接触力測定法では、指先の繊細な感覚を阻害してしまい、直接触れる条件とは異質の作業となり、動作そのものに大きな影響を及ぼす問題があった。この問題の解決のために、指と物体の間に何も挟まずに接触力を測る手法の構築が必要であった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、予備実験で得られた爪上に装着した高分解能位置姿勢センサの変位から接触力の変化による指先の歪みを計測できるという知見を応用し、手指と対象物の位置姿勢情報のみから接触力を多解像度で推定するアルゴリズムの構築することである。指先腹部をセンサー等で覆わないため、指先腹部の触覚などの感覚を生かした作業ができることが特色である。さらに作業療法の検査/治療の現場でのデータ蓄積と評価により、巧緻動作検査システム構築の基礎技術を確立する。

3. 研究の方法

(1) はじめに、先行研究の成果をベースとして、磁気式モーションキャプチャ装置と歪ゲージ式圧力センサーからなる手指の位置姿勢と接触力の同時計測システムを構築した。本研究の目的は、圧力センサー無しで、手指の位置姿勢のみから接触力を推定することにあるが、その推定手法の構築のために、まず位置姿勢と接触力を計測し両者の関係を明らかにする必要がある。また、位置姿勢から推定した接触力と、圧力センサーにより計測した接触力を比較し、推定手法を評価する必要がある。これらのため、実験には圧力センサーが必要である。手指の位置姿勢計測には、最大サンプリングレート 240Hz において、6 自由度の位置姿勢情報 (P_{xyz} , θ_{xyz}) を 0.0038mm の位置分解能、 0.0012deg の角度分解能で計測できる性能を持つ、手指用磁気式モーションキャプチャ装置を用いた。手指の接触力計測には、最大サンプリングレート 1200Hz において、並進力 (F_{xyz}) と偶力 (M_{xyz}) の 6 分力を、 0.025N および 0.0006Nm の分解能で計測できる歪みゲージ式力覚センサー装置を用いた。本研究では、接触対象を剛体の平面とし、平面を指先で押す動作を計測し解析する。図 1 に、圧力センサーで計測できる接触力 F_z と、爪状の位置センサーで計測できる非接触時の指表面座標 S_p と接触により凹んだ指の表面との距離 Z の模式図と、ある実験参加者の示指によるある一定の姿勢での押し動作時の接触力 F_z と距離 Z の関係を示す。両者の関係について、本研究ではさらに条件を変えて計測結果を蓄積し解析することで、様々な姿勢での接触に対応した汎用的な接触力推定法の確立を目指す。

(2) 指先を覆わずに手指の接触力が推定できる本方式の特徴を活用した巧緻動作検査システムに関する研究を進めた。圧力センサーを併用せずに位置センサー (モーションキャプチャ装置) のみのシンプルなシステム構成で実現できるため、設置や装着が容易となる。また、指腹を覆わない手法であるため、指先表皮の繊細な感覚を阻害しない。本研究期間では、指先で平面に図形や文字を描画する課題を計測する検査システムを構築するとともに、平面に対する手指の接触や移動の軌跡について詳細に計測し解析した。

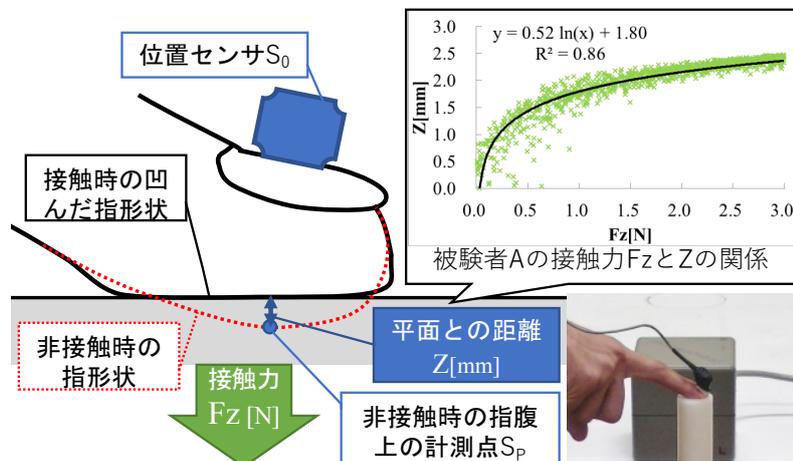


図 1 指の変形による指腹位置の凹みと押す力の関係

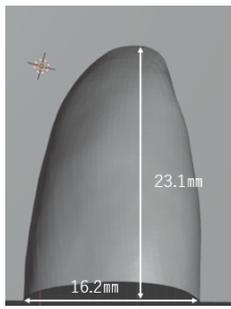


図2 3D スキャナによる非接触時の示指指腹形状の測定例

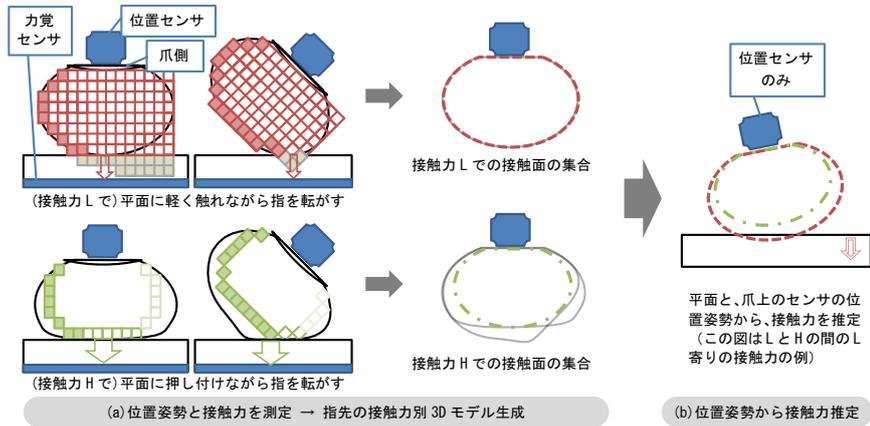


図3 モーションキャプチャによる接触力別 3D モデル生成手法

4. 研究成果

(1) 図1に非接触時の指先 3D モデルの例を示す。本手法では指の凹みから接触力を推定するために、接触対象と指先表皮の位置関係を正確に把握する必要がある。その指先の位置を正確に知るためには、個体差のある指先の形状と、爪上の位置センサーの取り付け位置を正確に把握する必要がある。そこで、これらをまとめた 3D モデル化手法を考案した。図3に示すように爪側に位置センサーを付けた指を平面に触れたまま回転するように動かす。あらかじめ大きめの指先 3D モデルを用意し、物体に重なった部分を消去していくと接触面の集合からなる、指先形状の 3D モデルができる。これを物体への接触力を加減しながら計測することで接触力別の 3D モデルができる。次に接触力別の指先モデルと、ある時点の接触対象物との相対位置から、接触力を推定する。図3(b)の例は、接触力 L のモデルは対象物にめり込んでいるが、接触力 H は離れており、接触力が L 以上 H 未満であると推定できる。なお中間の接触力別モデルを増やしていくことで接触力推定の多階調化と高精度化が実現できるが、データ量や計算時間が増加する問題があった。そこで新たにこれらの問題を解決する多階調化に適した手法として、連続量を用いると共に単一の 3D モデルに集約し、多値ボクセルの値として最小接触力を記録する方式を考案し、モデルを接触面でスライスした断面上の最大となる最小接触力から推定接触力を求める方式を示した。

(2) さらに、本手法の巧緻動作検査への応用に向けた検査システムの試作を進めた。同時計測システムでは真値の参照等のために力覚センサーを用いていたが、応用先における接触力推定の利用には力覚センサーが不要であり、また接触対象の平面は、その位置姿勢を計測できれば固定しなくて良い。応用システムの一つとして構築した、VR 環境における手書き計測システムを図4に示す。図5に本システムで使用する描画課題の例を示す。このシステムでは、接触対象を剛性の高いアクリル板として、位置センサーをアクリル板と手指の爪上の2箇所に配置した。両者の相対的な位置姿勢から、アクリル板に対する手指の接触力を推定する。没入型ヘッドマウントディスプレイ (HMD) を装着した状態で、アクリル板を片手に持ち、もう一方の手の指でアクリル板に触れた時に指先に線を出力することで仮想現実 (VR) 空間に図や字を描ける。接触力をリアルタイムに検出し、接触力の強さに応じて線の太さを変化させることで、毛筆のような強弱のある字も描ける。描画作業は繊細な巧緻動作を含む作業であり、その動作を詳細に計測し解析できれば高次脳機能疾患等の検査感度向上につながる。なお、指による入力装置としてタブレット端末やスマートフォンに搭載され広く普及しているタッチパネルがあるが、これらは、パネルと手指表皮の接触領域の重心から計算した描画軌跡は計測できるが、手指そのものの位置情報は含まれていない。また、手指表皮のどの部分が接触していたのかも分からない。本検査システムは、爪上の位置センサーにより手指の位置姿勢を計測できるため、手指そのものの動きという直接的な巧緻動作の解析ができる利点がある。

(3) 本研究成果の接触力推定法を用いれば、従来方式と違い圧力センサーを併用せずに位置センサーのみで構成できるため、設置や装着が容易な計測システムとなり、作業療法分野における巧緻動作検査への応用に適している。また、指腹を覆わない手法であるため、細やかな手技からなる技能伝承などの分野における記録や解析にも発展的な利用が期待できる。



図4 開発した手書き検査システムによる計測風景

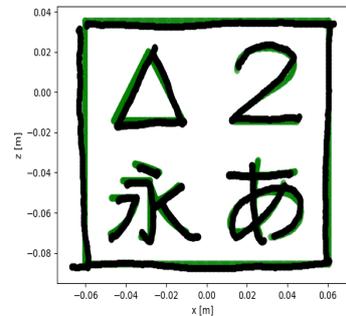


図5 描画課題の例

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 Fujiwara Katsuya, Oikawa Tomoya, Ishikawa Yoshinori, Mitobe Kazutaka	4. 巻 15
2. 論文標題 Development of a VR Simulator for Training of Posterior Cervical Spine Fusion Surgery	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering	6. 最初と最後の頁 1242 ~ 1243
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/tee.23188	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 -

1. 著者名 Katsuya Fujiwara, Hidenori Kano, Kazutaka Mitobe	4. 巻 23
2. 論文標題 Feature Extraction of Mild Cognitive Impairment Using a Dual-Task of Drawing and Counting Test	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics	6. 最初と最後の頁 874 ~ 882
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/jaciii.2019.p0874	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17件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 松橋 賢汰, 藤原 克哉, 水戸部 一孝
2. 発表標題 軽度認知障害評価のための渦巻き描画課題を用いた進捗角度別描画ずれの解析と組み合わせ判定法の提案
3. 学会等名 令和3年度第4回情報処理学会東北支部研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 泉部航太, 藤原克哉, 水戸部一孝
2. 発表標題 磁気式MoCap装置と力覚センサを用いた指先の押し動作計測および位置姿勢と接触力の関係の解析
3. 学会等名 ヒューマンインタフェースシンポジウム2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 安藤 遼馬, 藤原 克哉, 水戸部 一孝
2. 発表標題 没入型VR空間における手書き文字入力のタンジブル方式とOculus Touch方式の書きやすさの比較評価
3. 学会等名 ヒューマンインタフェースシンポジウム2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 齋藤 勝矢, 藤原 克哉, 水戸部 一孝
2. 発表標題 軽度認知症害評価のための渦巻き描画課題における二重課題が及ぼす認知負荷に着目した巧緻動作の解析
3. 学会等名 2020年度 情報処理学会東北支部研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊藤翔隼, 藤原克哉, 水戸部一孝
2. 発表標題 VR空間における力加減の効率的な伝達のための折れ線グラフによる視覚提示手法の考案
3. 学会等名 2020年度 情報処理学会東北支部研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊藤 翔隼, 藤原 克哉, 水戸部 一孝
2. 発表標題 半田付けの予熟作業を題材としたVRシミュレータにおける折れ線グラフによる力加減の視覚提示手法の検討
3. 学会等名 ヒューマンインタフェースサイバーコロキウム2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 齋藤 勝矢, 藤原 克哉, 水戸部 一孝
2. 発表標題 軽度認知障害評価のための渦巻き描画課題における二重課題遂行時の描画速度と軌跡の解析
3. 学会等名 ヒューマンインタフェースサイバーコロキウム2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊藤 翔隼, 藤原 克哉, 水戸部 一孝
2. 発表標題 半田付けの予熱作業における力加減を訓練できるVRシミュレータの改良
3. 学会等名 2019年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 齋藤 勝矢, 藤原 克哉, 水戸部 一孝
2. 発表標題 軽度認知障害評価のための螺旋描画課題における筆跡直交成分の特徴抽出
3. 学会等名 2019年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 内堀 雄太, 藤原 克哉, 齋藤 正親, 水戸部 一孝
2. 発表標題 実歩行可能な歩行環境シミュレータを用いた高齢歩行者事故発生要因の検討
3. 学会等名 2019年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2019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 分担 者	水戸部 一孝 (Mitobe Kazutaka) (60282159)	秋田大学・理工学研究科・教授 (11401)	

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
---------	---------