

令和元年5月24日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2014～2018

課題番号：26240028

研究課題名(和文)皮膚変形モデルを用いた巧緻な両手多指操作を実現するワイヤ駆動型力触覚提示の研究

研究課題名(英文) Research on a wire driven haptic display for realizing an elaborate both hands manipulation

研究代表者

佐藤 誠 (SATO, MAKOTO)

首都大学東京・システムデザイン研究科・特任教授

研究者番号：50114872

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 32,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的であるVR世界における両手多指操作を実現するワイヤ駆動型力覚提示 SPIDARと指先の皮膚感覚提示を可能にする高精度力触覚提示デバイスを実現するために、年度毎に設定した研究目標に従って研究開発を行った。

・平成26年度：皮膚変形モデルの作成、手形状モデルの作成、力覚提示部の設計開発、触覚提示部の設計開発  
・平成27年度以降：フレーム可動部の設計開発、フレーム可動部の制御方法の設計開発、触覚提示部の制御方法の設計開発、システムの統合評価

以上の研究開発を行い、操作性、有効性、実用性などの評価実験を行い、今後の課題を明らかにしていった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

VR技術の発展により、現実世界にいるかのような没入感の高い映像や立体音響をもつVR空間をリアルタイムで構築可能になってきた。しかしながら、物体を実世界と同様に触れることができるシステム構築に関してはまだ実現されていないものであった。本研究により、ワイヤ駆動による両手10本の多指操作を実現し、ワイヤの持つ軽量・高剛性・柔軟性の特徴を生かした高精度力覚提示環境を確立することにより、手術シミュレーターや遠隔操作など今後の応用範囲に期待ができるものとする。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is to develop a both hands multi-fingers manipulation haptic device with tactile display. We realize high definition wire driven haptic device SPIDAR with tactile device to display contact feeling when we touch the object surface. We have developed the following components to achieve the objectives set out.

1. Tactile device for the finger-tip to realize both hands many fingers operation. 2. Haptic device for the both hands multi-fingers manipulation with rotary frame. 3. Real time dynamic simulation system for haptic and tactile interaction.

研究分野：情報学

キーワード：ヒューマンインタフェース バーチャルリアリティ

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

VR (Virtual Reality) 技術の発展により現実世界にいるかのような没入感の高い映像や立体音響を持つ VR 空間をリアルタイムで構築可能になってきた。しかしながら、力覚・触覚提示に関しては、物体を実世界と同様に触れることができる触知システムはまだ実現できていない。力覚・触覚双方の感覚提示によって、現実世界での両手多指操作を VR 世界においても実現できることを明らかにする。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、VR 世界における両手多指操作を実現するワイヤ駆動型力覚提示 SPIDAR と指先の皮膚感覚提示を可能にする高精度力触覚提示デバイスを実現することである。指先の感覚は非常に優れており、物体を把持・操作する場合ヒトは指先の感覚から巧みに指先を操る。また指先だけでなく手首を巧みに操ることにより、物体操作を自然に行っている。これを VR 世界で実現するには、指先と手首に高精度な力覚提示装置による力の提示を行うとともに、指先への皮膚感覚の提示が重要であり、このような高性能力触覚提示装置は実現されていない。指先の皮膚モデルを計算機上でリアルタイムにシミュレーションし皮膚変形に基づく触覚提示を行うことでより巧緻な両手多指操作が可能な高精度ワイヤ駆動型力触覚提示装置を実現することを目的とする。

### 3. 研究の方法

・平成 26 年度

#### 【皮膚変形モデルの作成】

面に触れたとき、エッジに触れたとき、ピンに触れたときの 3 状態をシミュレーション可能な皮膚変形モデルを構築する。

#### 【手形状モデルの作成】

手形状推定をデータベースからの推定および解析的推定をハイブリッド化しデータベースで形状の大まかな推定を行い、細かい位置・姿勢推定を解析的推定法により導出することで精度と速度の向上の両立を実現することを目指す。

#### 【力覚提示部の設計・開発】

これまでの研究成果から得られた制御手法を利用し、FPGA の制御ロジックを専用設計することで 40 本のワイヤ制御を実現する。

#### 【触覚提示部の設計・開発】

指先につけても違和感がなく軽量のワイヤ駆動型の触覚提示装置の設計を行う。

・平成 27 年度以降

#### 【フレーム可動部の設計・開発】

デバイスの信号線の処理をスムーズに行うためのスリップリングなどを活用した回転機構の設計も行う。

#### 【フレーム可動部の制御方法の設計・開発】

姿勢制御アルゴリズムの確立と制御システムの開発を行う。

#### 【触覚提示部の制御方法の設計・開発】

皮膚変形モデルを用いたシミュレーションおよび物理シミュレータからの指先接触情報に基づき実時間で的確に触覚を提示するためのアクチュエータの制御方法を確立して、設計開発を行う。

#### 【システムの統合・評価】

これまでに設計・開発した力覚提示フレームと触覚提示装置、及びフレーム可動部を統合し、システムの評価を行う。実現した両手多指操作機能を有する VR 世界を用いて、両手多指操作環境の総合的な評価を行い、本研究の目的である両手多指操作可能な力触覚提示装置の実現の達成度の総合評価を行う。

### 4. 研究成果

本研究の目的である VR 世界における両手多指操作を実現するワイヤ駆動型力覚提示 SPIDAR と指先の皮膚感覚提示を可能にする高精度力触覚提示デバイスを実現するために年度毎に設定された研究目標に従って研究開発を行った。

・平成 26 年度

【皮膚変形モデルの作成】

【手形状モデルの作成】

【力覚提示部の設計・開発】

【触覚提示部の設計・開発】

・平成 27 年度以降

【フレーム可動部の設計・開発】

【フレーム可動部の制御方法の設計・開発】

【触覚提示部の制御方法の設計・開発】

【システムの統合・評価】

具体的には以下のとおりである。

・平成 26 年度

【皮膚変形モデルの作成】

リアルタイムに合計 10 指の両手の指先をシミュレーションするため、各指の皮膚のモデル化を行い、そして計算負荷と精度を考慮した設計を行った。指先モデルと接触する対象物との間を物理シミュレータによってシミュレーションを行い、接触時に提示する触覚情報および、接触時の力覚情報を生成した。

【手形状モデルの作成】

細かい位置・姿勢推定を解析的推定法により導出することで精度と速度の向上の両立を実現することを目指した。

【力覚提示部の設計・開発】

片手で 20 本、両手で 40 本のワイヤの張力制御を高速に行うための小型高性能モータコントローラの設計を行った。

【触覚提示部の設計・開発】

小型で軽量のデバイスを目指すため、既存のアクチュエータを用いることはせずに、専用設計のアクチュエータを設計した。また、指先の皮膚感覚提示に必要なアクチュエータの開発を行った。本研究では先行研究の設計コンセプトをさらに発展させて、指先形状に適合した電磁コイルを新たに設計して、十分な触覚提示力と極限の軽量性を追求したアクチュエータを設計開発した。

・平成 27 年度以降

【フレーム可動部の設計・開発】

手のひらを反す操作を実現するためにフレームを高速に回転できるアクチュエータの選定とバックラッシュの少ないハーモニックドライブを利用した減速機を選定した。また、装着されたデバイスの信号線の処理をスムーズに行うためのスリップリングなどを活用した回転機構の設計も行った。

【フレーム可動部の制御方法の設計・開発】

手のひらを反す操作と 5 本の指先操作を自然に融合させるためには、ユーザの両手多指の姿勢状態を的確に判断して、フレームの姿勢を制御する必要がある。具体的には、常にユーザの 5 本の指先ができるだけ自由に動かすことができ、かつ十分な力覚を指先に提示できるようにフレームの姿勢を実時間制御する必要がある。このための姿勢制御アルゴリズムの確立と制御システムの開発を行った。

【触覚提示部の制御方法の設計・開発】

両手多指操作時にユーザの指先に加わる繊細な触感を実現するためには、高速かつ的確に触覚提示部のアクチュエータを制御する必要がある。皮膚変形モデルを用いたシミュレーション

および物理シミュレータからの指先接触情報に基づき実時間での確に触覚を提示するためのアクチュエータの制御方法を確立して、設計開発を行った。

#### 【システムの統合・評価】

まず、力覚提示と触覚提示の個々の性能評価を行った。次に力覚提示可能領域における力覚提示の精度を計測し、力覚提示装置としての機能評価を行った。そして、触覚提示部の出力の周波数特性と触覚提示の提示能力の評価を行った。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 26 件)

嶋田 拓海, 上正 原陽, Vibol Yem, 雨宮 智浩, 池井 寧, 佐藤 誠, 北崎 充晃: 接線力と法線振動による皮膚触覚ディスプレイの特性, 第 23 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 査読有, pp.7-8, 2018, <http://conference.vrsj.org/ac2018/program2018/pdf/32A-5.pdf>

月川 竜輝, 山口 武彦, 佐藤 誠, 原田 哲也: HMD 一体型力覚提示装置“SPIDAR-HMD”の改良, 34C-6, 第 23 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 査読無, 2018, <http://conference.vrsj.org/ac2018/program2018/pdf/34C-6.pdf>

野澤 彼方, 本多 健二, 脇田 航, 佐藤 誠, 原田 哲也: 力覚と歩行感覚が体感できる VR 環境の開発, 32C-6, 第 23 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 査読無, 2018, <http://conference.vrsj.org/ac2018/program2018/pdf/32C-6.pdf>

久保 泰奈, 佐藤 誠, 原田 哲也: BLE を用いた iOS 用一体型 SPIDAR-tablet の開発と熱力学学習支援システムの搭載, 第 23 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 査読無, 34C-5, 2018, <http://conference.vrsj.org/ac2018/program2018/pdf/34C-5.pdf>

上正 原陽, 池井 寧, 佐藤 誠, 接線力法線振動同時提示型触覚ディスプレイに関する研究, 第 22 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 査読有, pp.269-271, 2017, <https://confit.atlas.jp/guide/event/vrsj2017/subject/2ATE-16/date?cryptoId=>

赤羽 克仁, 高橋 実里, 佐藤 誠, 中本 高道: 臭覚及び力覚インタフェースを用いたマルチモーダル VR 環境の構築, 平成 29 年 電気学会 電子・情報・システム部門大会, 講演論文集, 査読有, CD TC17-7, 2017, [https://www.jstage.jst.go.jp/article/tvrsj/24/1/24\\_69/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/tvrsj/24/1/24_69/_pdf)

川喜田 裕之, 中川 俊夫, 佐藤 誠: テレビ画像を画面外へ拡張するシステムの開発, 映像情報メディア学会誌, 査読有, Vol.71, No.1, pp.J20-J27, 2016, DOI: <http://doi.org/10.3169/itej.71.J20>

本多 健二, 佐藤 誠: デジタルフロー解析に基づいた画像二値化手法, 画像電子学会誌, 査読有, Vol.44, No.4, pp. 657-664, 2015, <https://doi.org/10.11371/iieej.44.657>

Anusha JAYASIRI, Katsuhito AKAHANE, Makoto SATO: Adding 3D Interactivity to a 2D Image Sequence Using the String-Based Haptic Device, IEEEJ Transactions on Image Electronics and Visual Computing, 査読有, Vol.2, No.2, pp.159-167, 2014, <http://cebook.dolab.jp/DcSePFRO/DcSePFRO57.dll?MfcISAPICommand=GetPFv&ID=ED7D42019459C9DF&PG=0&PN=0&APN=0&UID=A4BADB2F63B21905171143530000030000&SNOPT=ZM%3D15%26XPN%3D248%26YPN%3D351%26BM%3D900%26SP%3D1%26PG%3D0%26JIDX%3D0%26SKn%3D0%26SCD%3D-UBXFY0NWY&ADOPT=>

赤羽 克仁, 肥後 明豪, 佐藤 誠: ワイヤ駆動型力覚提示装置における受動粘性制御の提案, 日本バーチャルリアリティ学会論文集, ハプティックコンテンツ特集号, 査読有, Vol.19, No.4, pp.495-502, 2014, [https://doi.org/10.18974/tvrsj.19.4\\_495](https://doi.org/10.18974/tvrsj.19.4_495)

石丸 光宏, 佐藤 誠: 画像特徴を考慮した適応型方向符号ピラミッド探索処理, 画像電子学会, 査読有, Vol.43, No.1, pp.13-20, 2014, <https://doi.org/10.11371/iieej.43.13>

〔学会発表〕(計 37 件)

澤田 匡央, 丸橋 啓, 月川 竜輝, 山口 武彦, 佐藤 誠, 原田 哲也: HMD 一体型力覚提示装置“SPIDAR-HMD”の開発, 電気学会知覚情報研究会, PI-18-040-048, pp.41-46, 2018

野澤 彼方, 本多 健二, 脇田 航, 佐藤 誠, 原田 哲也: 力覚と歩行感覚が体感できる VR 環境の開発, 第 23 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 32C-6, 2018

Koichi Shimizu, Gaku Sueta, Kentaro Yamaoka, Kazuki Sawamura, Yujin Suzuki, Keisuke Yoshida, Vibol Yem, Yasushi Ikei, Tomohiro Amemiya, Makoto Sato, Koichi Hirota, Michiteru Kitazaki: FiveStar VR: shareable travel experience through multisensory stimulation to the whole body, In SIGGRAPH Asia 2018 Virtual & Augmented Reality (SA '18). ACM, New York, NY, USA, Article 2, 2 pages, 2018

DOI: <https://doi.org/10.1145/3275495.3275502>

Y. Tasaka, K. Yamada, Y. Kubo, M. Saeki, S. Yamamoto, T. Yamaguchi, M. Sato, T. Harada: Development of frame for SPIDAR-tablet on Windows and evaluation of system presented geographical information, 20th International Conference on Human-Computer Interaction, Caesars Palace, Las Vegas, Nevada, 2018,

DOI: 10.1007/978-3-319-92043-6\_30

Kenji Honda, Shuhan Ma, Y Qian, Makoto Sato: String-Based Haptic Interface for Mobile Devices, The 23rd International Display Workshops (IDW '16), Fukuoka International Congress Center, Japan, pp. 1453-1456, ISSN-L1883-2490/23/1453, 2016, Invited

Hiroyuki Kawakita, Michihiro Uehara, Toshio Nakagawa, Makoto Sato: Development of a TV System Augmented Outside the TV Screen, The 22nd International Display Workshops (IDW '15), Shiga, Japan, pp.1449-1452, ISSN-L1883-2490/22/1449, 2015, Invited

田中 駿, 赤羽 克仁, 田中 弘美, 佐藤 誠: 手首力覚提示による手術教示システムに関する研究, 第 20 回日本バーチャルリアリティ学会, pp. 72-73, 2015

永井 一樹, 田上 想馬, 赤羽 克仁, 佐藤 誠: 没入型 VR 環境のためのウェアラブル手首力覚提示デバイス, Entertainment Computing 2015, 2015

Takahiro Okubo, Katsuhito Akahane, Makoto Sato : An Animal Image Haptization System with 3D Model, NICOGRAPH International 2014, Gotland, Sweden, pp.155-158, 2014

Anusha Jayasiri, Katsuhito Akahane, Makoto Sato : 3D Translational Haptic Motion Rendering from a 2D Image Sequence, 3DSA2014 Korea, Seoul, Korea, No.2014-084, 2014

〔図書〕(計 1 件)

Takahiro Okubo, Katsuhito Akahane and Makoto Sato: Haptic Interaction (分担), A Proposal of Model-Based Haptization System for Animal Images, Springer Japan 2015, PART , pp. 313-316, DOI: [10.1007/978-4-431-55690-9\\_57](https://doi.org/10.1007/978-4-431-55690-9_57), 2015

## 6 . 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名：池井 寧

ローマ字氏名：YASUSHI IKEI

所属研究機関名：首都大学東京

部局名：システムデザイン研究科

職名：教授

研究者番号(8桁)：00202870

### (2) 研究分担者

研究分担者氏名：赤羽 克仁

ローマ字氏名：KATSUHITO AKAHANE

所属研究機関名：東京工業大学

部局名：科学技術創成研究院

職名：助教

研究者番号(8桁): 70500007

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、研究者個人に帰属されます。