

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 29 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23300046

研究課題名(和文) 手首姿勢を考慮した両手多指操作可能な高精度ワイヤ駆動型力触覚提示装置に関する研究

研究課題名(英文) Research on a high definition wire driven haptic display for both hands manipulation of considering wrist posture

研究代表者

佐藤 誠 (SATO, MAKOTO)

東京工業大学・精密工学研究所・教授

研究者番号：50114872

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,600,000円、(間接経費) 4,680,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的である、VR(Virtual Reality)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23年度【力覚提示部の設計・開発】【触覚提示部の設計・開発】・平成24年度【フレーム可動部の設計・開発】【触覚提示部の制御方法の設計・開発】・平成25年度【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、実用性等の評価実験を行い、今後の課題を明らかにした。

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 three system components for the system：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：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：バーチャルリアリティ ヒューマンインタフェース

1. 研究開始当初の背景

近年、VR (Virtual Reality) 技術の発展が目覚ましく、あたかも実際に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できるようになってきている。しかしながら、力覚・触覚提示に関しては、より現実感の高い VR 空間を構築できるにもかかわらず、物体を現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。

我々は、ワイヤ駆動型力覚提示装置 SPIDAR の研究をこれまで行ってきたが、理想とする両手多指操作環境は実現できていない。特に両手 10 本の指先の操作を必要とする両手多指操作を実現しようとする場合、指先だけでなく手首の姿勢も重要な役割をもつため、指先と手首双方の姿勢を制御可能な高精度な力覚提示装置が必要となる。また、指先の感覚は非常に優れており、物体を把持したり操作する場合、ヒトは指先の感覚から巧みに指先を操る。そのため、力提示とともに指先に皮膚感覚を提示しなければ、現実世界のような高い操作性を実現することが困難である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、VR (Virtual Reality) 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、物体を把持したり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覚提示装置は実現されていない。

我々は高精度な力覚提示の実現を目指す 100kHz の更新周波数を実現するワイヤ駆動型力覚提示装置と皮膚感覚を提示可能なワイヤ駆動型の触覚提示デバイスを提案することにより、手首操作を自由に行うことのできる両手多指操作可能な高精度ワイヤ駆動型力覚提示装置を実現する。

3. 研究の方法

・平成 23 年度

【力覚提示部の設計・開発】

5 本の指の可動範囲を測定し、20 本のワイヤ (一つの指先に 4 本のワイヤが必要) が操作中に干渉しないように、また、力覚提示領域が最大になるような最適なワイヤの張り方を検討する。また、指先の力覚提示に必要なだけ小型な DC モータを選定し、フレームの剛性を保ちつつ軽量なフレームの設計を行う。

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う。通信には 1kHz 以上、力覚提示には 100kHz 以上の更新周波数を実現する専用のコントローラを設計する。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。

PC 側のソフトウェア開発としては、コントローラから得られるワイヤの長さからの指先の位置計算や、提示力を各ワイヤの張力に分配する 2 次計画法を用いた手法をこれまでの研究成果を利用し実装する。

【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なワイヤ駆動型の触覚提示装置の設計を行う。小型で軽量な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する。また、先行研究の調査を行い、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う。

先行研究においては、既存のボイスコイル型アクチュエータを活用して極めて軽量な触覚提示装置の実現に成功している。本研究ではこ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する。

・平成 24 年度

【フレーム可動部の設計・開発】

23 年度において設計・開発した力覚提示部のフレームを可動させるための回転部分の設計を行う。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する。

また、回転するフレームにはワイヤ駆動のためのモータと位置計測のためのロータリエンコーダが合わせて 20 組装着されるためにこれらの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ピ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】

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う。

【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。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。

・平成 25 年度

【システムの統合・評価】

23 年度及び 24 年度において設計・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。

まず、力覚提示と触覚提示の個々の性能評価を行う。ワイヤの長さから計算される指先位置の測定精度を計測する。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う。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う。

次に VR 世界における両手多指操作環境の評価を行う。本研究では、設計開発した力触覚提示装置を USB インタフェースを介して VR シミュレーション用の PC と接続する計画である。VR シミュレーションには、Bullet や PhysX といった高性能の物理シミュレータを活用する予定である。物理シミュレータから得られる指先の力触覚のに関する情報を用いて開発した力触覚提示装置を制御するとともに、力触覚提示装置から得られる指先位置情報を用いて VR シミュレーション内の VR の手をレンダリングすることにより、両手多指操作機能を有する VR 世界を実現する。

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(Virtual Reality) 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 23 年度

【力覚提示部の設計・開発】

【触覚提示部の設計・開発】

・平成 24 年度

【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】

・平成 25 年度

【システムの統合・評価】

具体的には以下の通りである。

・平成 23 年度

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。また、専用設計のアクチュエータを設計した。

・平成 24 年度

回転するフレームにはワイヤ駆動のためのモータと位置計測のためにロータリエンコーダを合わせて 20 組装着した回転機構の設計を行った。

・平成 25 年度

ワイヤの長さから計算される指先位置の測定精度、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

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 5 件)

Anusha Jayasiri, Katsuhito Akahane, Makoto Sato: Object Motion Rendering with the String-based Haptic Interface SPIDAR for Enhanced Video Viewing Experience, International Journal on Advances in ICT for Emerging Regions (ICTer), Vol.6, No.1, DOI:http://dx.doi.org/10.4038/icterv6i1.6096, 2013 査読有

村石 辰徳, 赤羽 克仁, 佐藤 誠: 高速物理シミュレーションを実現する高解像度力覚提示システムの開発, 電子情報通信学会論文誌, vol. J96-D, no.10, pp. 2371-2378, http://t2r2.star.titech.ac.jp/cgi-bin/researcherpublicationlist.cgi?q_researcher_content_number=CTT100379573&alldisp=1,2013 査読有

赤羽 克仁, 浅田 惇一, 佐藤 誠: バイオフィードバックによる高忠実力覚提示装置に関する研究, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.17,no.4, pp.343-351, http://t2r2.star.titech.ac.jp/cgi-bin/researcherpublicationlist.cgi?q_researcher_content_number=CTT100379573&alldisp=1,2012 査読有

赤羽 克仁, 高見 豪, 佐藤 誠: フレームの可動機構を持つワイヤ駆動多指型ハプティックインタフェースの開発, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, vol.16, no.3, pp.441-448,http://t2r2.star.titech.ac.jp/cgi-bin/researcherpublicationlist.cgi?q_researcher_content_number=CTT100379573&alldisp=1,2011 査読有

高濱 敦, 赤羽 克仁, 佐藤 誠: 色とエッジ情報に基づいた画像可触化手法の提案, 画像電子学会誌, vol. 40, no.4, pp.695-701, http://t2r2.star.titech.ac.jp/cgi-bin/researcherpublicationlist.cgi?q_researcher_content_number=CTT100379573&alldisp=1,2011 査読有

〔学会発表〕(計 33 件)

Lanhai Liu, Satoshi Miyake, Katsuhito Akahane, Makoto Sato: Development of String-based Multi-finger Haptic Interface SPIDAR-MF, ICAT 2013 (The 23rd International Conference on Artificial Reality and Telexistence), Tokyo, Japan, USB, 2013.12.11-12.13

Naoki MARUYAMA, Lanhai LIU, Katsuhito

AKAHANE, Makoto SATO: A Proposal of two-handed multi-finger Haptic interface with rotary frame, ICAT 2013 (The 23rd International Conference on Artificial Reality and Telexistence), Tokyo, Japan, USB, 2013.12.11-12.13

神田輝, 赤羽克仁, 脇田航, 田中弘美, 佐藤誠: 手術シミュレーションのための手首力覚提示装置の提案, 第 18 回日本バーチャルリアリティ学会大会, CD, 日本, 大阪, 2013.9.18-9.20

丸山直紀, 劉蘭海, 赤羽克仁, 佐藤誠: フレーム可動型両手多指力覚提示装置のフレーム制御に関する提案, 第 18 回日本バーチャルリアリティ学会大会, CD, 日本, 大阪, 2013.9.18-9.20

Anusha Jayasiri, Katsuhito Akahane, Makoto Sato: Haptic Rendering of Dynamic Image Sequence Using String based Haptic Device SPIDAR, Joint Virtual Reality Conference of ICAT-EGVE-EuroVR (2012), Madrid, Spain, DOI:10.2312/EGVE/JVRC12/009-015, 2012.10.17-10.19

村石 辰徳, 赤羽 克仁, 佐藤 誠: 物理シミュレータ搭載高解像度ハプティックコントローラの機能分散手法, 第 17 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, CD, 日本, 横浜, 2012.9.12-9.14

ジャヤシリ アヌシャ, 赤羽 克仁, 佐藤 誠: Rendering of Moving Information using Haptic Feedback in Dynamic Image Sequence, 2012 年映像情報メディア学会年次大会, CD, 日本, 広島, 2012.8.29-8.31

Yan Zhu, Tatsuya Koyama, Tatsuro Igarashi, Katsuhito Akahane, Makoto Sato: Development of Inner Strings Haptic Interface SPIDAR-I, ICAT2011(The 21st International Conference on Artificial Reality and Telexistence), Osaka, Japan, pp.135, 2011.11.28-11.30

Katsuhito Akahane, Takeo Hamada, Takehiko Yamaguchi, Makoto Sato: Development of a High Definition Haptic Rendering for Stability and Fidelity, HCI International 2011, Orlando, USA, CD, 2011.7.9-7.14

赤羽 克仁, 浅田 惇一, 佐藤 誠: バイオフィードバックによる高忠実力覚提示装置の提案, 日本機械学会 2011 年度年次大会, CD, 日本, 東京, 2011.9.11-9.14

佐藤 誠: 力覚ディスプレイによる体感インタラクション, 第 13 回日本感性工学会大会, CD, 日本, 東京, 2011.9.3-9.5

小山 達也, 五十嵐 達郎, 赤羽 克仁, 佐藤 誠: スtring内蔵型ハプティックインタフェース SPIDAR-I の開発, 第 16 回日本バーチャルリアリティ学会大会, pp.121-124, 日本, 函館, 2011.9.20-9.22

〔図書〕(計 1 件)

Katsuhito Akahane, Jungwoo Hyun, Itsuo

Kumazawa, Makoto Sato: Multi-finger Haptic Interaction[分担], Springer and Eurohaptics Society, Chapter6, pp.147(109-147), DOI:10.1007/978-1-4471-5204-0_6, 2013

〔その他〕

ホームページ等

東京工業大学 佐藤誠研究室

<http://sklab-www.pi.titech.ac.jp/blog/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐藤 誠 (MAKOTO SATO)

東京工業大学・精密工学研究所・教授

研究者番号: 50114872

(2) 研究分担者

赤羽 克仁 (KATSUHITO AKAHANE)

東京工業大学・精密工学研究所・助教

研究者番号: 70500007

(3) 連携研究者

小池 康晴 (YASU HARU KOIKE)

東京工業大学・精密工学研究所・教授

研究者番号: 10302978