

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 20 日現在

機関番号：32508

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25280126

研究課題名(和文) 技能伝承のための触力覚分散協調訓練の生体信号適応制御による円滑化

研究課題名(英文) Facilitating distributed cooperative environments with haptic interaction for skill training by biomedical signal control

研究代表者

浅井 紀久夫 (Asai, Kikuo)

放送大学・教養学部・准教授

研究者番号：90290874

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 10,300,000円

研究成果の概要(和文)：学習者が他者との体感的インタラクションを実現するため、感覚情報を交換できるようにする。本研究では、複数の糸に張力を与えて反力を提示するデバイスを利用し、触力感覚を再現するインタフェースを構築する。まず、わかりやすく触知できるようにするため、三次元形状を二次元面に展開する可視化技法を考案した。次に、幾何学形状との接触を精度良く再現する触力感覚提示機構を構築し、利用実験による性能評価を実施することによりその有効性を検証した。また、視覚的臨場感を創出するため、ホログラフィを用いた立体像の提示を導入した。立体像を空間投影するための方法を検討し、高いコントラストを持つ像の提示やその安定性の改善を行った。

研究成果の概要(英文)：The system enables learners to exchange the sensory information so that they effectively interact with others. The interface system providing haptic sensation is constructed with a force feedback device that generates tension to the four threads. We started with a visualization method to map a 3D surface to a 2D plane, allowing a learner to easily understand the haptic interaction. Next, we made a framework of presenting haptic sensation for simulating the contact with geometrical shapes. The effectiveness was shown by performance evaluation in the usability experiments. The holographic 3D display was introduced in order to generate a visual feeling of being there. We examined the various methods projecting holographic 3D images, resulting in improvement on contrast of holographic images and stability of the presentation.

研究分野：ヒューマンコンピュータインタラクション

キーワード：インタフェース 触力感覚 情報可視化 ホログラフィ

1. 研究開始当初の背景

省力化、自動化、最新技術の急速な導入と職人の高齢化によって技術・技能を継承する機会が減少し、これらの衰退が始まっている。そのため、技術としての知識をデータベース化し、知識の共有や手続きのマニュアル化によって直接的経験の減少が補完されてきた。しかし、微妙な制御を伴う作業では感覚情報が重要であり、主観的な経験や体験が必要である。時間的・空間的制約からそのような機会は十分提供されていないため、再現性の高い訓練環境の整備が望まれた。

2. 研究の目的

学習者が指導者を含む他者との体感的インタラクションを実現するため、感覚情報を交換できるようにする。本研究では、触力感覚を再現するインタフェースを構築する。ただし、普及の観点から、触力覚フィードバック・デバイスに接続容易、安価といった条件を付与した。

体感的インタラクションでは視覚的臨場感が重要な役割を果たす。視覚情報は感覚情報の大部分を占め、その触力覚情報への影響が大きい。そのため、三次元情報を、臨場感を伴って提示するシステムの構築を重点的に実施する。

3. 研究の方法

触力覚インタフェースは高い触力覚提示能力を有する方が良いものの、触力覚フィードバック・デバイスに接続容易、安価といった条件がある。本研究では、力覚インタフェースとして複数の糸に張力を与えて反力フィードバックを二次元的に提示する手法を採用した。

一般に触知感覚を与える物体は三次元構造を持っており、二次元的な反力フィードバックで接触現象を表現するには工夫が必要である。本研究では、わかりやすく触知できるようにするため、三次元構造を二次元面に展開する可視化技法を考案する。

二次元的な反力フィードバックで三次元的な形状を表現する場合、二次元反力の発生に三次元形状表面の勾配情報が使われるが、幾何学形状との接触を十分に表現するには至っていない。そこで、幾何学形状との接触を精度良く再現する触力感覚提示機構を構築し、利用実験による性能評価を実施することによりその有効性を検証する。

視覚的臨場感を創出するため、ホログラフィを用いた立体像の提示を導入した。立体像を空間投影するための方法を検討し、高いコントラストを持つ像の提示やその安定性の改善を行う。

4. 研究成果

本研究課題の主な成果について、可視化技法、反力計算、立体像表示に分けて述べる。

(1) 可視化技法

三次元形状表面を二次元面に展開することにより、わかりやすく触知できるように視覚的情報を提示した。二次元面への展開では、三次元形状の重心を軸にして三次元形状の表面を短冊状に区切り、それをメルカトル図法と同じ要領で展開した。力の計算は、三次元形状表面の凹凸に基づいて行われ、計算結果が力情報として力覚デバイスに送られる。これにより、三次元形状と接触した現象が二次元的反力フィードバックによって提示できるようになった。三次元形状表面を二次元面に展開して表示する手法は操作の次元を減らして、デバイスの次元に合わせるという意味ではわかりやすくなっており、三次元形状表面と二次元展開面との対応付けを工夫することにより、触力覚情報と整合した視覚情報の提示が可能になるものと考えられる。

三次元形状表面を二次元面に展開するとき、メルカトルズ図法は展開の確実性は高いものの、三次元形状を貫く軸近辺で面積が大きく歪む。この問題に対応するため、mesh parameterization を用いて対応関係の改善を図った。このとき、展開対象を開いた状態にする必要があり、その三次元形状面に切れ目を入れる処理を行った。複雑な三次元構造に対応するため、始点と終点を指定して編集することで、安定的な切れ目の生成が可能となった。

奥行き測定によって取得した現実世界の三次元構造を触知できるようにするシステムを構築し、効果的に触知情報を提示するための仕組みも開発した。

協調訓練を効果的に行うため、遠隔で感覚情報を共有する必要がある。遠隔通信では遅延が伴うため、これを低減する仕組みとして表面筋電信号から手の動作を推定し、触力計算の補助情報として使う。手の動作に伴う筋電信号と、そのときの手の動きを赤外線カメラで抽出した骨格データとを対応付けて記録する仕組みを実装した。

(2) 反力計算

プローブと三次元形状面との接触具合を加味するように、力積に基づく反力発生の手法を採用した。このとき、三次元形状を構成するポリゴンの数が多い場合、計算処理に時間がかかり、接触の再現性を損ねる。そこで、三次元形状面のポリゴンリダクションを実装し、これを改善した。

二次元的な反力で三次元的な構造との接触を高精度に提示するため、三次元形状との接触状態に基づいて反力を発生する手法を取り入れた。二次元反力提示において従来用いられてきた勾配法と比較したところ、接触状態に基づく手法は接触時の衝突効果が反映されやすく、利用者の操作が力覚提示に影響を及ぼしやすい結果となった。

三次元形状との接触状態に基づいて反力を発生する手法において処理の効率化を図

るため、二次元展開面上の濃淡に基づいて力計算を行う手法を提案した。この手法では、濃淡を勾配と見なして計算する手法と、濃淡を勾配と見なした上でプローブの三次元形状を考慮する手法を実装した。その結果、勾配だけを計算する手法は安定的な動作を示し、プローブ形状を考慮した手法は利用者の操作を力覚提示に反映しやすい結果となり、両者には一長一短あることがわかった。

(3) 立体像表示

動画ホログラフィを実現するために、同一の表示素子に複数のホログラムを高速に切替えながら連続表示し、時分割多重により像を再生する方法を採用した。輝度むらを低減するため、入力図形の点配置条件と再生像特性の関係を評価し、多点数物体を表示するための点像のボケや再生像の揺らぎをサンプリング条件によって求めることにより、再生像の画質改善を図った。

立体像を投影するために、粘性を持つ媒質を加えた流水や空間に噴霧した霧を使用することにより、揺らぎを軽減したり、視域を広くしたりして、安定した投影像が得られるようにした。流水を用いる方法は高いコントラストを持つ表示像が得られる一方で、像の安定化が課題である。そこで、流水に微粒子や粘性媒質を混入させることにより表示像の安定化を図った。霧を用いる方法は、スクリーンサイズを容易に設定できるなどの利点がある一方、霧の揺らぎの軽減が課題である。そこで、ファンにより螺旋状の霧を生成しつつ霧を整流し、ボリューム感のある立体像を投影できるようにした。これにより、霧スクリーンにおいて課題となっていた外風による表示像の揺らぎを大幅に低減でき、システムの単純化も実現した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計8件)

- (1) 高野邦彦, 鈴木哲生, 正信健人, 喜種慎, 大木眞琴, 佐藤甲癸, 浅井紀久夫, マイクロバブルスクリーンへのホログラフィック投影像の特性改善法の検討, 画像電子学会, vol.46, no.2, pp.298-304, 2017 (査読有)
- (2) 高野邦彦, 箭内健留, 八重樫研介, 大木眞琴, 佐藤甲癸, 浅井紀久夫, マイクロバブルを利用したホログラフィ立体像投影法の検討, 画像電子学会誌, vol.45, pp.478-485, 2016 (査読有)
- (3) 高野邦彦, 桑崎博司, 佐藤甲癸, 浅井紀久夫, ホログラフィック投影法のためのミストスクリーンの安定化に向けた基礎検討, 画像電子学会誌, vol.45,

pp.98-104, 2016 (査読有)

- (4) 高野邦彦, 宮崎真宏, 八重樫研介, 山口真, 大木眞琴, 佐藤甲癸, 浅井紀久夫, 薄膜封入型ミストスクリーンの構成手法とそのホログラフィ立体像への効果, 画像電子学会誌, vol.45, pp.20-26, 2016 (査読有)
- (5) 高野邦彦, 沼田拓馬, 渡邊耀介, 佐藤甲癸, 大木眞琴, 浅井紀久夫, 霧スクリーンを利用した動画ホログラフィにおける再生像の表示ボリューム拡大のための一検討, 画像電子学会誌, vol.44, pp.99-105, 2015 (査読有)
- (6) 高野邦彦, 松本薫宗, 安齋純平, 佐藤甲癸, 大木眞琴, 若林良二, 高崎和之, 浅井紀久夫, 粘性媒質を利用した人口滝によるホログラフィ立体像投影システムの検討, 画像電子学会誌, vol.44, pp.9-15, 2015 (査読有)
- (7) 高野邦彦, 阿部拓朗, 桑崎博司, 松本薫宗, 安齋純平, 佐藤甲癸, 大木眞琴, 浅井紀久夫, 薄膜封入型ミストスクリーンによるホログラフィ立体像投影システムの検討, 画像電子学会誌, vol.44, pp.3-8, 2015 (査読有)
- (8) 高野邦彦, 菊本誠也, 元島一樹, 矢口智也, 佐藤甲癸, 大木眞琴, 田中賢一, 浅井紀久夫, 時分割ホログラフィ再生のためのホログラムの要素分解法の検討, 画像電子学会誌, vol.43, pp.54-61, 2014 (査読有)

〔学会発表〕(計17件)

- (1) 浅井紀久夫, 高瀬規男, 筋電信号の周波数変換と画像認識の深層学習による形状の推定, 電気学会全国大会, 2017年3月15-17日(富山大学, 富山県富山市)
- (2) Kunihiro Takano, Tetsuo Suzuki, Kento Masanobu, Shin Kidane, Makoto Ohki, Koki Sato, Kikuo Asai, An Improvement of the Characteristics of 3D Holographic Images Projected on the Micro Bubble, International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT2017), Poster2A, Jan., 6-8, 2017 (Penang, Malaysia)
- (3) Kikuo Asai, Norio Takase, Makoto Sato, Development View and Cut Generation of 3D Object Surface for Simulating Haptic Feedback with 2D Lateral Force, International Conference Information Visualization, July, 19-22, 2016 (Lisbon, Portugal)

- (4) 高野邦彦, 鈴木哲生, 正信健人, 喜種慎, 大木眞琴, 佐藤甲癸, 浅井紀久夫, マイクロバブルへのホログラフィ投影像の特性, 画像電子学会 2016 年次大会, R3-1, 2016年6月18-19日(早稲田大学, 東京都新宿区)
- (5) 浅井紀久夫, 高瀬則男, 3次元形状面を2次元面に展開するための切れ目生成処理, 電子情報通信学会総合大会, 2016年3月15日~18日(九州大学, 福岡県福岡市)
- (6) K.Takano, T.Yanai, M.Yamaguchi, K.Yaegashi, M.Miyazaki, M.Ohki, K.Sato, K.Asai, On the Holographic 3D Projecting System Utilizing Micro Bubble, International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT2016), P.1C-10, Jan. 6-8, 2016 (Busan ,Korea)
- (7) Kikuo Asai, Norio Takase, Makoto Sato, Revisiting gradient-based haptic rendering for lateral force feedback in SPIDAR-mouse, IEEE International Symposium on Haptic, Audio and Visual Environments and Games (HAVE), Oct. 11, 2015 (Ottawa, Canada)
- (8) 高野邦彦, 八木一夫, 若林良二, 高崎和之, 鈴木哲生, 正信健人, 増田海斗, 喜種慎, 高橋義典, 鈴木弘, 浅井紀久夫, 佐藤甲癸, 災害時における水中探索支援に向けた映像の無線伝送法の検討, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, A-22-8, 2015年9月8-11日(東北大学, 宮城県仙台市)
- (9) Kikuo Asai, Norio Takase, and Makoto Sato, Displaying haptic interaction with a synthesized model of real objects using SPIDAR-mouse, IEEE International Symposium on Haptic, Audio and Visual Environments and Games, Oct. 10-11, 2014 (Dallas, USA)
- (10) Kikuo Asai, Norio Takase, and Makoto Sato, Subjective Evaluation of Haptic Visualization System Using 2D Lateral Force Feedback in Molecular Docking, Joint International Conference on APCHI-ERGOFUTURE-PEI-IAIFI, Oct. 22-24, 2014 (Bali, Indonesia)
- (11) Kikuo Asai, Norio Takase, and Makoto Sato, 2D force feedback for haptic interaction with SPIDAR-mouse by mapping 3D surface to plane in molecular docking, World HAPTICS, 2013/4/14-17 (Daejeon in Korea)
- (12) Kikuo Asai, Norio Takase, Makoto Sato, Haptic Visualization with 2D Lateral Force using SPIDAR-mouse in Molecular Docking, IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 2013/10/13-16 (Manchester in England)
- (13) Kunihiro Takano, Keisuke Miyama, Kazuo Hamano, Koki Sato, Makoto Ohki, Kikuo Asai, Ryoji Wakabayashi, and Kazuyuki Takasaki, On the effect of small particles mixed in the waterfall screen for the stable projection of holographic images, International Workshop on Advanced Image Technology, Jan. 6-8, 2014 (Bangkok, Thailand)
- (14) 浅井紀久夫, 高瀬則男, 佐藤誠, Kinect センサと SPIDAR-mouse による実空間面の触力覚インタラクション, 電気学会総合大会予稿集, 2014年3月18-20日(愛媛大学, 愛媛県松山市)
- (15) 高野邦彦, 若林良二, 高崎和之, 高橋義典, 鈴木弘, 八木一夫, 浅井紀久夫, 佐藤甲癸, 被災地支援に向けた映像の水中伝送に関する基礎検討, 電子情報通信学会総合大会, D-11-61, 2014-03-20(新潟大学, 新潟県新潟市)
- (16) 高野邦彦, 渡邊耀介, 沼田拓馬, 佐藤甲癸, 大木眞琴, 浅井紀久夫, 霧スクリーンを利用した動画ホログラフィにおける再生像の視域拡大と表示面数の拡張について, 画像電子学会第41回年次大会, R4-1, 2013-06-23(青森市文化会館, 青森県青森市)
- (17) 高野邦彦, 宮間圭佑, 濱野一雄, 佐藤甲癸, 大木眞琴, 浅井紀久夫, 流水スクリーンに混入させる微粒子がホログラフィ投影像に与える影響について, 画像電子学会第41回年次大会, R4-2, 2013-06-23(青森市文化会館, 青森県青森市)

6. 研究組織

(1)研究代表者

浅井 紀久夫 (ASAI KIKUO)
放送大学・教養学部・准教授
研究者番号：90290874

(2)研究分担者

大西 仁 (OHNISHI HITOSHI)
放送大学・教養学部・教授
研究者番号：40280549

高野 邦彦 (TAKANO KUNIHICO)
東京都立産業技術高等専門学校・ものづく
り工学科・准教授
研究者番号：10353260

佐藤 誠 (SATO MAKOTO)
首都大学東京・システムデザイン研究科・
教授
研究者番号：50114872