

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 12 日現在

機関番号：34310

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22500899

 研究課題名（和文） 技能伝承を支援するための生体信号利用による触力覚
インタフェースの開発

 研究課題名（英文） Development of haptics interfaces using biological signals
for supports of skill transfer

研究代表者

杉本 裕二（SUGIMOTO YUJI）

同志社大学・文化情報学部・教授

研究者番号：90311167

研究成果の概要（和文）：

高度な技能を身につけるには遂行の早さと正確さが必要であり、経験や同じ手続きの繰り返し
が求められる。しかし、再現性の高い訓練環境が整備されているとは言いがたい。そこで、技能
訓練を支援するインタフェースの高度化を図る。微妙な調整が要求される作業では、感覚情報が
重要な役割を担う。そのため、視覚や聴覚だけではなく、触覚の情報を提示し、これらが整合し
た体感的インタラクションを提供する。触力覚提示装置を利用することにより、触知インタラク
ションを提示するハプティック・システムを構築した。

研究成果の概要（英文）：

The speed and accuracy of work are necessary for high skills, which requires
experiences and recursive practices of the same procedures. However, the training
environments with realistic conditions are not prepared sufficiently for learners. We
make advancement of an interface for supporting skill training. The information on
sensation plays an important role in the work with fine adjustment. The realistic
interaction has to be provided with consistency information of a haptic sensation as
well as visual and auditory sensations. The haptic system was constructed with tactile
feedback devices to represent haptic interactions.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

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

 キーワード：インタフェース、マルチモーダル、力覚フィードバック、力覚提示デバイス、体
感的情報

1. 研究開始当初の背景

高度な技術や技能を継承した熟達者を育

成するには、知識継承だけではなく、職人の
技を体得する必要がある。これは、技術情報

をデータベース化したり、手続きをマニュアル化したりするだけでは不十分である。熟達者の育成には、遂行の速さと正確さに優れる手際良さが求められ、知識に加え経験や同じ手続きの繰り返し訓練が求められるからである。しかし、主観的な経験・体験に基づく知識としての体感的情報を扱い、再現性の高い訓練環境が整備されているとは言いがたい。そこで、学習者が職人の技を体感し、効果的な訓練を実施する環境が構築されなければならない。

2. 研究の目的

高度な技能を習得する訓練環境を構築するため、体感的インタラクションが行えるマルチモーダル・インタフェースを開発する。微妙な制御を伴う作業では、感覚情報が重要である。高精度に感覚情報を再現するには、様々な感覚器に統合的な情報を提供する必要がある。そこで、視覚や聴覚だけではなく、触覚フィードバックを提示する。触覚提示装置として、振動を利用して触知感覚を提示する手法を取り入れ、三次元空間での仮想物体同士の衝突を触覚フィードバックとして提示する。また、仮想物体を現実世界に重畳する拡張現実感とは異なり、仮想物体を通して仮想物体を扱うことから、触知感覚を伴う。振動刺激により触知感覚を拡張するハプティック拡張現実感インタフェースを構築する。

3. 研究の方法

視覚と触覚の二つのモダリティを使い、円滑で柔軟なインタラクションを創出するマルチモーダル・インタフェースを設計した。拡張現実感インタフェースでは主に、インタラクションの入力系に焦点が当てられてきた。臨場感を創り出すには、出力系も支援する必要がある。PHAMToMのような力覚フィードバック装置は、拡張現実感環境において仮想物体に対する点接触感覚を再現するのに使われているが、PHAMToMは手全体への接触刺激を提供できないため、物体を掴んだり物体自身が動きを伴ったりするような場合には適用が難しい。そこで、CyberTouchという手に振動刺激を与える触覚フィードバック装置を利用することにより、触知インタラクションを提示するハプティック拡張現実感インタフェースを構築した。

現実空間を触知するには、主に2つの課題があった。一つは、現実空間をカメラで撮影した画像は2次元面であり、触力覚情報の基になるデータが得られないことである。もう一つは、振動刺激で物体やその表面の凹凸を表現するのが難しいことである。前者には、現実世界の奥行き情報を取得し、これとプローブとの干渉を力覚提示した。後者は、張力で力を提示する力覚提示装置を使用するこ

とで対応した。

従来、物体把持感覚や触力感覚を再現するため、様々な触力覚装置が研究されてきた。その中で固さや重さなど物体の属性を反映する提示力計算手法は詳細に検討されているが、触力覚提示が適切になされているかどうかの評価は多くの場合、主観的印象に基づいている。触力覚提示が高精度に再現されていることを確保するため、筋の活動状態を表す筋電信号を測定することとした。

4. 研究成果

振動刺激によるハプティック拡張現実感環境の構築、力覚フィードバックによる実空間触知システム及び触覚提示の高精度化のための筋電信号の測定について述べる。

(1) 振動刺激によるハプティック拡張現実感インタフェース

拡張現実感とは異なり、仮想物体を現実シーンに重畳することによってユニークな特徴を創り出している。そうした特徴の一つが、仮想物体を直感的に扱うことができるタンジブル・インタラクションである。たいていの拡張現実感アプリケーションは特殊な装置で直接的に仮想物体を触るのではなく、タイルやパドルといった一般的な物理物体を通して仮想物体を扱う。

物を通して物体を扱うという状況はしばしば現実世界においても経験することなので、触知に基づく拡張現実感インタフェースを自然なものに感じさせる。

拡張現実感環境において仮想物体の触知情報を表現する方法として、二つのアプローチを提案する。一つは現実シーンに重畳された仮想物体の空間的移動に応じて振動子を駆動し、仮想物体が動いていることを認識させるものである。もう一つは、仮想プローブが仮想物体を貫通したときに生じる摩擦抵抗に応じて振動子を駆動し、仮想物体の内部密度を再現するものである。

移動に基づく振動モードでは、現実シーン中の四角いマーカの上に重畳された仮想物体の空間的移動に応じて振動刺激を与える。実際には、このマーカの位置と姿勢に基づいて振動触覚フィードバック装置の振動子が駆動される。マーカがゆっくり動けば振動は弱く、マーカが素早く動けば振動は強くなる。

振動量は、マーカ上に仮想的に設定した探知ポイントの動きで変化する。振動の振幅は、探知ポイントの動きの加速度に基づいて計算される。

マーカの動きは、仮想物体の位置と姿勢及び振動刺激を制御する。この枠組みは、仮想物体の操作に振動触覚刺激を付随させる。プロトタイプ・システムでは、仮想物体が動いていることを補足的に示す情報として、必要

に応じてビーブ音が再生される。

交差に基づく振動モードでは、仮想物体内部の状態を調査するための仮想プローブを使う。この仮想プローブが仮想物体を交差するとき、振動触覚フィードバック装置の振動子を駆動する。振動に加えて、ビーブ音も発生する。仮想物体はマーカの上に配置され、仮想プローブはマルチ・マーカで操作する。振動刺激の強さは、粘性力で制御される。

三次元モデルの任意の形状が仮想プローブに割り当てられるが、粘性力における交差距離は仮想物体の相対座標系のz軸に沿って、マルチ・マーカに垂直な直線から導出される。プロトタイプ・システムでは仮想プローブの形状を単純化するために、細長い円筒形状を利用した。

(2) 力覚フィードバックによる実空間触知システム

見えてはいるが、実際に触ることができないような状況では、擬似的に現実空間を触知可能にすることは有用である。そこで、ステレオカメラによって現実世界の奥行き情報を取得し、凹凸を伴った三次元空間とプローブとの干渉を力覚フィードバックによって提示する。これにより、空間の凹凸や物体表面のテクスチャの状態を触覚情報として感じることができ、物体認識の精度が高まると考えられる。

普及を考慮し、力提示の自由度を2次元に制限した力覚提示装置を使用した。3次元的な作用は、可視化技術によって補完することとした。

三次元空間の接触感覚は、三次元空間モデルの凹凸とプローブとの干渉に基づいて、力覚提示装置によって提示される。プローブは仮想的な三次元物体で表現され、2つの物体から構成される。一つは、マウス操作に合わせて移動するもので、三次元空間モデルとの干渉は発生しない。もう一つは、三次元空間モデルと干渉するもので、干渉が発生していないときは一つ目のプローブの動きに追従する。干渉が発生したとき、一つ目のプローブに追従せず、距離に応じて反力を返す。力の強さによって、プローブの色が変化するようにした。

三次元空間モデルの元になる奥行き情報の取得では、ステレオカメラの視点は固定である。これは奥行きデータを算出する処理に時間がかかることと、三次元空間モデルのポリゴン数が膨大であり、実時間処理が困難であることによる。視点の自由度が増すことの

利点は大きいので、実時間処理を施すための計算負荷軽減や高速化実装は今後の課題としたい。

(3) 皮膚表面の筋活動電位信号の測定

力覚提示装置による力の発生は、三次元空間モデルとプローブとの干渉具合に基づく。そのため、力の入れ具合は、正確にはわからない。そこで、手、指及び腕の動作における力の入れ具合の推定とその高精度化を図るため、皮膚表面の筋電信号による筋活動状態を計測する。

人間が指や腕を動かすといった動作を行うとき、脳から指令が出され、筋が収縮する。これが、動作の駆動となる。脳から筋への指令は、電気信号で伝えられる。動作に伴う筋の収縮では、筋に微弱な電流が流れることになる。電気信号は脳から筋に伝達され、それが筋電信号として検出される。筋電信号は、動作の仕方や力の大きさなど動作意図に従って変化する。そのため、筋電信号を計測すれば、理想的には動作やその活動状態を推定することができる。

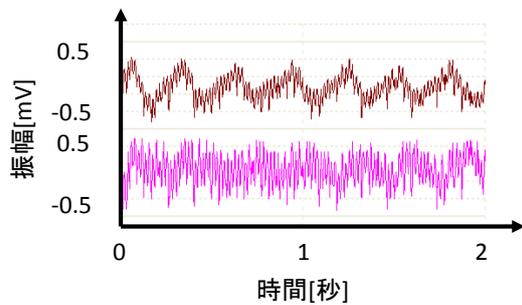
筋電信号の代表的計測法として皮膚表面の筋電を測定する方法があり、測定には皮膚表面に取り付けた表面電極を用いる。

筋電信号は筋を収縮させる原因を反映しており、筋収縮の結果ではない。筋を押しても、筋電信号が発生するわけではない。したがって、筋電信号は筋収縮信号が筋に到達して観測され、筋活動の駆動命令の様子と捉えることができる。

筋繊維に筋活動駆動命令を伝達する神経経路は神経筋接合部でつながる。神経筋接合部は筋によって、あるいは個人によって色々な分布をしているが、筋電信号が筋繊維の両端に向かって秒速約4mで伝達される。

皮膚表面でのインピーダンスは高く、皮膚表面での筋電信号の振幅は大きくて数mVであるため、雑音の混入に細心の注意を要する。特に、計測機器の電源に影響される可能性がある。

作業時における手、指及び腕の動作による力の入れ具合を推定するため、腕の筋活動を計測した。図は、右手の人差し指と中指を軽く動かしたときの前腕の表面筋電図である。そして、接触物体や接触環境など様々な条件で計測を行い、特徴を効果的に抽出できるか試した。しかし、筋活動に付随する雑音が多く、適切に特徴抽出することが難しいことがわかった。



図：前腕の表面筋電図

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 0 件)

[学会発表] (計 6 件)

1. Kikuo Asai, and Makoto Sato, Haptic interaction for uneven textures on surface in 3D objects using SPID AR-mouse, Asia-Pacific Conference on Computer Human Interaction, 2012年08月28日～2012年08月31日, Matsue
2. Masashi Okubo, Takuhiro Fujii and Satoshi, Tanaka, Influence of Anonymity on Group Discussion Based on Brainwriting Method, International Conference on Humanized Systems, 2012年8月16日～18日, Daejeon, Korea
3. 浅井紀久夫, 高瀬則男, 佐藤誠, 分子間力体感のための簡易な触覚インタフェース, 電子情報通信学会総合大会, 2012年3月21日, 岡山大学
4. Kikuo Asai, Yuji Sugimoto, Mark Billingham, Exhibition of lunar surface navigation system facilitating collaboration between children and parents in science museum, International Conference on Virtual Reality Continuum and its Applications in Industry (VRCAI 2010), 2010.12.12, Seoul, Korea
5. Masashi Okubo and Akiya Togo, Difference between mathematical and Kansei complexity, International Symposium on Flexible Automation, 2010.07.14, University of Tokyo

6. Masashi Okubo and Akiya Togo, Creating curve based on mathematical complexity and its Kansei evaluation, International Design Engineering Technical Conference & Computers and Information in Engineering Conference, 2010.08.16, Fairmount Queen Elizabeth, Montreal, Canada

[図書] (計 1 件)

1. Masashi Okubo, Shape evaluation properties in real space and virtual space, Emotional Engineering, Chapter 13, Ed. Shuichi Fukuda, Springer, 2010, 15 pages

6. 研究組織

(1) 研究代表者

杉本 裕二 (SUGIMOTO YUJI)
同志社大学・文化情報学部・教授
研究者番号：90311167

(2) 研究分担者

大久保 雅史 (OKUBO MASASHI)
同志社大学・理工学部・教授
研究者番号：10233074

浅井 紀久夫 (ASAI KIKUO)

放送大学・ICT活用・遠隔教育センター・
准教授
研究者番号：90290874

(3) 連携研究者

()

研究者番号：