

## 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 7日現在

機関番号：32508

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2012

課題番号：21300318

研究課題名（和文） 技能伝承のための触力覚協調インタラクションによる分散訓練環境の構築

研究課題名（英文） Development of distributed environments with haptic cooperative interaction for skill training

研究代表者

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

研究成果の概要（和文）：

学習者が体感的インタラクションを通して学習する環境を構築するため、触力感覚を提示する触力覚インタフェースを整備し、視覚の提示と整合するマルチモーダル・インタラクションを実現するための仕組みを構築した。まず、触力感覚を再現する触力覚インタフェースについて刺激の種類及び提示方式を検討した。次に、触力覚制御の手法及び触力覚情報を分散環境で共有するための方式を検討した。その上で、体感的インタラクションを効果的に共有し、視覚刺激と整合したマルチモーダル・インタラクションを構成する触力覚インタフェースについて、性能評価を行った。

研究成果の概要（英文）：

The haptic interface has been prepared for presenting haptic sensation, so that an environment would be constructed for learning through experiences of the learners' interactions. The multimodal interaction has been designed to create a balance between visual representation and haptic interaction. First, we studied on a kind of stimuli and a way of presentations about haptic interfaces for simulating haptic sensations. Second, we studied on haptic control methods and information sharing methods in the distributed environments. Then, we evaluated the performance on the haptic interface system to share haptic interaction and create multimodal interaction with visual representations.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2010年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2011年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2012年度	2,600,000	780,000	3,380,000
年度			
総計	10,200,000	3,060,000	13,260,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学・教育工学

キーワード：インタラクション、触力感覚、力覚フィードバック、高臨場感、立体表示

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に

よって技術・技能伝承の機会が減少し、これらの衰退が懸念されていた。そこで、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見聞きする機会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になり、主観的な経験や体験に基づく知識を扱う必要があった。

## 2. 研究の目的

学習者が体感的インタラクションを通して学習する環境を構築するため、触力感覚を提示する触力覚インタフェースを整備し、視覚の提示と整合するマルチモーダル・インタラクションを実現する。

高度な体感的インタラクションを提供するには、感覚情報の大部分を占める視覚情報とその触力覚情報との相互連携が重要になる。そこで、三次元情報を高い臨場感で提示するシステムを構築する。

## 3. 研究の方法

まず、触力感覚を再現する触力覚インタフェースについて刺激の種類及び提示方式を検討した。触力覚フィードバック・デバイスの要求仕様を製作容易性、接続容易性、安価性、力覚提示能力として、どの方式が学習環境に適しているか調べた。

次に、触力覚制御の手法及び触力覚情報を分散環境で共有するための方式を検討した。人間の接触刺激への反応は速いので、衝突に伴う干渉計算及び分散環境での情報交換を如何に高速に処理できるかがポイントになる。三次元物体の衝突を力覚刺激により提示するアプリケーションを整備し、制御手法や共有方式を吟味する基盤とした。

その上で、分散環境で体感的インタラクションを効果的に共有し、視覚刺激と整合したマルチモーダル・インタラクションを構成するため、性能評価を行った。

現実環境に情報を重畳提示する拡張現実感とは現実物体による触知感覚を与えることから、拡張現実感インタフェースも検討対象に含めた。視覚的な臨場感を創出するため、三次元物体の提示は立体表示することにし、その立体像再生方式を検討した。また、3Dテレビで一般的になりつつある立体視表示について、人間の奥行き知覚とその奥行き提示位置との関係を評価した。

## 4. 研究成果

触力感覚を再現する触力覚インタフェースとして、張力で力覚フィードバックを提供し、安価で、汎用的な部品で構成できるデバイスを利用することとした。これは、高精度の力覚デバイスは高価過ぎて、教育現場への実装が難しいからである。デバイスの安価性を優先し、力覚提示の自由度を削減した。この自由度削減の影響は、可視化技法によって

補償することとした。

力覚の制御手法や共有方式を検討する基盤として、三次元物体同士、あるいは現実空間と仮想物体との衝突を力覚提示するアプリケーションを利用した。衝突に伴う力覚フィードバックの発生では、物体の剛体近似や不安定性を避けるための処理を行った。実装では、力覚フィードバックの反応性を高めるため、力覚制御の処理をマウス・カーソルの操作に基づく制御とは別のスレッドにした。

分散環境で力覚フィードバックを相互に行うため、力覚情報を共有する。伝送情報量を削減するため、力情報を直接交換するよりも、位置情報を交換し、各端末で力を計算する仕組みとした。

### (1) 分子間力体感のための簡易な力覚インタフェース

現象を視覚的に捉え、かつ、触知感覚を伴って体験できることは、学習にとって有効であると考えられる。しかし、システムが高価であると、普及の妨げになる。そこで、分子間に働く力を体感するための触覚インタフェースとして安価なシステムを構築した。

システム構成において最も高価と考えられる部分は、力覚デバイスである。ここでは、力覚デバイスとして、安価な汎用部品から組み立てることができる SPIDAR-mouse を採用した。SPIDAR-mouse は力覚提示を2次元に限定するため、分子構造のような3次元物体を扱うには不利であるものの、モータでワイヤを引っ張る仕組みになっており、力の応答性に優れる。また、ハードの要求仕様として、製作容易性、接続容易性、安価性、力覚提示能力を掲げており、本システムに整合すると考えた。

本システムでは、分子間に働く静電相互作用力と分子間の接触に伴う接触反力の2種類の反力を提示する。前者は、分子間の距離や極性によって働く引力や斥力である。後者は分子の外形が仮想的に衝突していることを示す反力で、分子の静電ポテンシャルの立体形状を把握するために用いられる。

本システムは、Windows XP 上で動作する。マウスの更新レートは 120 Hz 程度しか出ていないため、干渉計算や反力計算をマウス入力や描画処理とは別の処理にして、力覚デバイスへの力情報の出力更新レートを速くしている。

静電相互作用力は、形状の頂点に置いた法線ベクトルが別の形状を貫通する状態に基づいて求められる。また、接触反力は、形状の頂点のうち別の形状に埋まった頂点の分布具合に基づいて求められる。反力は、矢印を提示して大きさと方向を表現した。

力覚デバイスへの力情報の出力は、反力3次元ベクトルの2成分だけを用いて2次元ベ

クトルとして与えられる。2次元ベクトルの大きさは、SPIDAR-mouseの最大反力2.2Nを超えないように調整される。

## (2) 拡張現実感を利用した分子構造観察システム

近年、マルチメディアを利用したコンテンツが教材として使われるようになった。生化学や生物学の分野でも、分子構造を視覚的に閲覧するための三次元可視化が行われるようになった。しかし、系統的な学習として印刷教材が使われることが多く、三次元構造を提示するマルチメディア学習環境とは物理的に不連続であった。つまり、映像音声によるマルチメディア教材と紙媒体による印刷教材はそれぞれ別の学習環境となっており、学習者はそのメリットを別々に受け取っていた。そこで、マルチメディア教材と印刷教材との隔たりを埋め、両学習環境の併用に留まらず、両者を融合することができれば、その相乗効果が得られるのではないかと考えられる。

これを解決する方策の一つとして、こうした学習環境を拡張するという考えから拡張現実感が利用されるようになった。拡張現実感は現実世界をコンピュータによって拡張、強化しようというアプローチを取り、現実の日常環境にコンピュータの機能を組み込もうとしている。印刷物と仮想物体とを融合させるシステムは、実物の本のページにCG（コンピュータ・グラフィックス）を重畳提示した MagicBook として提案されている。

拡張現実感は現実空間に仮想物体を重畳提示することにより、物理的な空間と仮想空間とのインタラクションに連続性を持たせている。そのため、現実空間に存在する実物体を手で扱うことによる触覚を伴って、仮想物体の操作を行うタンジブル・インタフェースを提供する。タンジブル・インタフェースは直感的で、触覚による存在感を持ったインタラクションを実現することから、多くのアプリケーションに採用されてきた。そのいくつかは、教育を対象にした拡張現実感システムとして開発されている。

我々の開発した分子構造観察システムでは MagicBook と同じアプローチを採用し、分子構造を学習する環境としてマルチメディア教材と印刷教材を組合せ、両者の内容が空間的に関連付けられるようにした。本分子構造観察システムは学習用に自由に使えるツールとして提供されることを前提とし、教授者は学習素材を作成しやすく、学習者はこれを学習に活かしやすい環境を提供することを目指している。そのために、研究者が研究発表用に準備する分子構造データを、教材の素材として流用しやすい仕組みを取り入れている。また、分子構造を観察するための基

本機能を搭載しており、学習環境の拡張として三次元分子構造を簡便に観察することを可能にしている。

本分子構造観察システムでは、研究者から提供される分子構造データが面倒な修正や追加のプログラミング作業を伴うことなく、学習者の学習を支援する教材的役割を果たすための枠組みを考慮している。そのため、分子生物学等で使われる分子構造可視化ツールなどで作成される分子構造のデータ形式に対応するようにした。また、PDBなどの分子構造データを読み込んで、分子表現形式の編集や三次元空間での注釈情報の付与など、分子構造可視化に必要な機能が搭載されている。

## (3) 臨場感を創出するための立体表示

大きな立体像を広い視域で観察できるようにするには、空間投影型のホログラフィ再生法が立体像表示法として有効であると考えられている。一般的に、多点数物体からホログラム・パターンを生成した場合、その情報は莫大となり、膨大な画素数が必要になることが知られている。そのため、画素数が制限される表示素子では、この膨大な画素情報を表示しきれず、結果的に多点数物体の像再生を困難にすることが報告されている。

この問題を解決する一つの方法として、同一の表示素子に複数のホログラムを高速に切換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がある。時分割再生法では再生像の品質はパーツホログラムに記録する入力図形の設定条件の影響を大きく受けると考えられる。しかし、従来の方法では、パーツホログラムを構成する物体点の間隔が均一ではなく、結果的に再生像に輝度むらが多く発生する原因になっていたと考えられる。したがって、輝度むらを低減させるためには、入力図形の点配置条件と再生像特性の関係について検討することが重要となる。そこで、パーツホログラムを構成する物体点の配置条件について検討した。

時分割多重再生法は、図形を複数のパーツ図形に分割し、時間単位で高速で切り替えながら多重再生する方法である。高速で切り替えることにより、残像効果で各パーツ図形は識別できず、分割前の図形が再生されているように知覚されるという特性を利用する。しかし、分割数が増え、表示素子で切り替え時可能な fps 値を超えてしまうと、ちらつきの原因となる。従って、ちらつきが生じない条件内に収まるようにパーツ分割を施し、多重再生する必要がある。

従来方法では入力図形をパーツに分割する時に、横方向のみに物体点の間隔を広げていた。そのため、縦方向と斜め方向の物体点間隔の条件によっては、CGH 自体が壊れ、結

果的に再生像に輝度むらや、ゴースト像が発生する原因になっていたと考えられる。そこで、提案手法では縦方向、斜め方向に対しても物体点間隔を広げられるように分割方法を変更した。これにより、任意の入力図形をパーツに分割する場合にも、物体点間隔を一樣に設定できるようになった。さらに、各パーツプログラムから再生した再生像の輝度むらが発生した箇所の特定も容易となるため、像輝度が補正しやすいという利点もあると考えられる。

#### 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)

- (1) 高野邦彦, 松田隼, 堀岡考遊, 円谷華陽, 渡部真史, 佐藤甲癸, 浅井紀久夫, 大木眞琴, 多点数物体のホログラフィック再生像の特性改善について, 画像電子学会誌, 査読有, vol.41, 2012, pp. 52-58
- (2) Kikuo Asai, Norio Takase, Learning molecular structures in a tangible augmented reality environment, International Journal of Virtual and Personal Learning Environments, 査読有, vol.2, 2011, pp.1-18

[学会発表] (計 20 件)

- (1) Kikuo Asai, and Makoto Sato, Haptic interaction for uneven textures on surface in 3D objects using SPIDAR-mouse, Asia-Pacific Conference on Computer Human Interaction, 2012年8月28日~2012年8月31日, Matsue
- (2) Kikuo Asai, Norio Takase, and Makoto Sato, Supporting haptic interaction for compatibility of molecular docking in visualizing molecular structures, The 4th International Conference on 3D Systems and Applications, 2012年06月25日~2012年06月27日, Hshichu, Taiwan
- (3) 小林秀明, 浅井紀久夫, 立体視ディスプレイを用いた奥行き知覚と瞳孔間距離の一考察, 電子情報通信学会総合大会, 2011年3月14日, 東京都市大学
- (4) Kikuo Asai, Tomotsugu Kondo, Akira Mizuki, Mark Billingham, Lunar surface collaborative browsing system for science museum exhibitions, International Conference on E-learning and Game (Edutainment

2010), 2010年8月16日, Changchun, China

[図書] (計 1 件)

Kikuo Asai (分担執筆), The horizon of virtual and augmented reality: the reality of the global digital age (Chapter 11: Visualization based on geographic information in augmented reality), In-Tech Education and Publishing, 2010, 19 pages (pp.185-204)

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

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

##### (2) 研究分担者

大西 仁 (OHNISHI HITOSHI)

放送大学・ICT活用・遠隔教育センター・准教授

研究者番号: 40280549

大澤 範高 (OSAWA NORITAKA)

千葉大学・融合科学研究科・教授

研究者番号: 30251721

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