

平成 21 年 5 月 28 日現在

研究種目：基盤研究 (C)
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18500754
 研究課題名（和文） 三次元教材のための触覚インタラクションによるマルチモーダル可視化システムの開発
 研究課題名（英文） Development of multimodal visualization system with haptic interaction for 3D learning content
 研究代表者
 浅井 紀久夫 (ASAI KIKUO)
 独立行政法人メディア教育開発センター・研究開発部・准教授
 研究者番号：90290874

研究成果の概要：

本研究では、三次元仮想物体の操作感覚を向上させて存在感を増すための触覚インタラクション技法を開発し、視覚・聴覚・触覚によるマルチモーダル情報可視化システムを構築した。仮想物体との接触感を提示するデバイスとして振動子付き手袋を利用し、インタラクション・システムに実装するための仕組みを構成した。現実物体を触ることにより仮想物体を操作する手法について被験者実験による評価を行った。その結果、触知インタラクションが仮想物体の操作性向上に寄与することが示唆された。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	1,300,000	0	1,300,000
2007 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2008 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	690,000	4,290,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学

キーワード：三次元教材、触覚、インタラクション、マルチモーダル、可視化

1. 研究開始当初の背景

教育分野でもマルチメディア化が進み、三次元マルチメディア教材が利用されるようになった。しかし、マルチメディア教材の利用に関する調査から、マルチメディアの普及は進んでいるものの、三次元教材の利用には慎重であるという結果が出た。その慎重論は、1) 従来のインタフェースでは効率的に操作できない、2) 現実味が欠如している、3) 安易な三次元描像は学生の想像力欠如につながる、といった指摘に基づくものである。その

ため、三次元仮想物体を効率的に操作するインタフェースが必要であり、三次元仮想物体が単なるモデルに留まるのではなく実体を伴った存在として認識できるようにするためのインタラクション技法が必要である。

2. 研究の目的

人とコンピュータとの情報交換では、多様なモダリティ（コミュニケーション様式）を利用する方が情報認識を深めることができ

ると考えられる。本研究では、触覚インタラクションを三次元情報の操作に取り入れ、視覚・聴覚・触覚による情報を統合したマルチモーダル情報可視化システムを構築することを目的とした。

3. 研究の方法

接触インタラクション技法として、有線デバイスを手に装着して触覚提示を行う手法と仮想物体を現実物体上に重畳する手法の異なる二種類のインタフェースを研究した。

まず、仮想物体との接触感を提示するデバイスとして振動子付き手袋を利用し、インタラクション・システムに実装するための仕組みを構築した。また、拡張現実感環境とのマルチモーダル・インタラクションを試行した。

次に、三次元素材を対象にマルチモーダル可視化システムとしてこれらのインタフェースを組み込むための設計、構築、実装を行った。拡張現実感ツールを利用し、主に現実環境における仮想物体及びそのインタラクションの現実感に着目して、コンテンツを制作した。ナビゲーション、情報提示などの機能を実装した。マルチメディア・コンテンツの情報提示システムとして動作するようにした。

さらに、情報提示システムとして組み込んだ拡張現実感インタフェースを通して、現実物体を触ることにより仮想物体を操作する手法について被験者実験による評価を行った。

4. 研究成果

従来、マルチモーダル拡張現実感インタフェースは主に、インタラクションの入力系に焦点を当ててきた。臨場感のある環境を創り出すには、出力系も支援しなければならない。ハプティック・ディスプレイとして、PHAMToM (SensAble Technologies) のような力覚フィードバック装置が使われ、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している。

しかし、力覚フィードバック・デバイス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触知感覚を再現することが難しい。そこで、CyberTouch (Immersion) という手に振動刺激を与える振動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拡張するハプティック拡張現実感環境を構築した。

システム設計

ハプティック拡張現実感環境へのアプローチとして、移動に基づく振動と交差に基づ

く振動という二つのインタラクション・モードを導入した。

(1) 移動に基づく振動

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

(図1)。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、次式で計算される。

$$a = k \cdot d / t^2 \quad (1)$$

ここで、 k は定数、 d は探知ポイントが時間 t の間に動いた距離である。振動の周波数は、設定を単純化するために定数にした。探知ポイントは初期パラメータとして、仮想物体の相対座標系の z 軸に沿って、マーカに垂直な直線上に取られた。これは、位置だけではなく姿勢の変化も検出するためである。

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。この仕組みは、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。

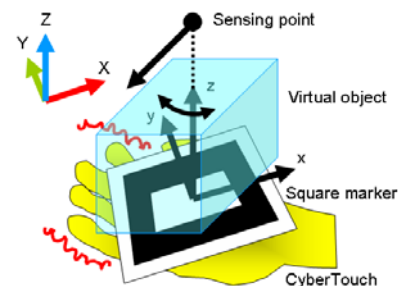


図1: 移動に基づく振動の仕組み

(2) 交差に基づく振動

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(図2)。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、次式で与えられる粘性力で制御される。

$$f_v = c \cdot v_p \cdot d_p \quad (2)$$

ここで、 c は粘性率で定数パラメータとして

設定される。また、 v_p はプローブのスピード、 d_p はプローブの交差距離である。この式によれば、粘性率の値によって仮想物体の内部密度が変化する様子を再現する。ただし、プロトタイプ・システムでは単純化するために、内部密度を一定値に設定した。プローブが仮想物体を素早く深く貫くとき、振動刺激が強くなる。これは、利用者に仮想物体が体積を持っていることを実感させる。なお、振動周波数は定数とした。

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。

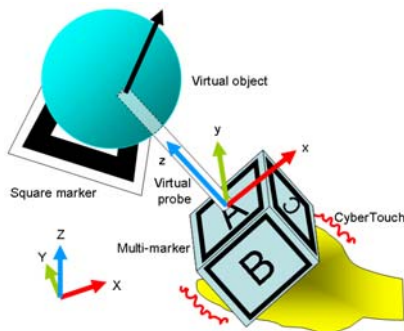


図 2: 交差に基づく振動の仕組み

実装

(1) 構成

図 3 に、プロトタイプ・システムの構成を示す。ヘッド・マウント・ディスプレイ (HMD) は視覚ディスプレイとして、Web カメラは頭部視点からの映像取得カメラとして使用された。四角いマーカが映像シーンに提示されると、対応する仮想物体がそのマーカに重畳表示される。振動刺激はマーカを動かすと、振動触覚フィードバック装置の振動子によって発生する。

実装した PC は 2.8 GHz Pentium IV CPU、1 GB RAM メモリ、nVidia GeForce 6800 シリーズ GPU を搭載した。HMD [Z800, eMagin] は画素数 800 x 600 の解像度、画角約 40 度を持つ。ビデオ映像は、640 x 480 画素の Web カメラ [Qcam, Logicool] で取得された。四角いマーカは、現実シーン中の物理物体を識別するのに使われる。マーカの大きさは、マルチ・マーカで一辺 4.5 cm、単一マーカで一辺 7.5 cm とした。CyberTouch [Immersion] は、各指と手のひらに振動子を持つ手袋で、振動触覚フィードバック装置として使われた。プロトタイプ・システムでは、振動の振幅は四

角いマーカの動きに従って変化し、振動周波数は 110 Hz 固定とした。

図 4 は、ソフトウェア・プログラムの視覚、聴覚、触覚提示に関する処理の流れを示す。映像取得モジュールはカメラ映像を取得し、それを画像処理ライブラリ ARToolkit に送る。ARToolkit は四角いマーカを検出し、その位置と姿勢を導出する。この位置と姿勢の情報は、マトリックス観察モジュールに送られる。

移動に基づく振動モードでは、マトリックス観察モジュールは振動データを CyberTouch の制御ユニットに送り、音声データを音声出力装置に送る。交差に基づく振動モードでは、衝突検出モジュールがこのデータ転送前に働く。衝突検出モジュールは OP CODE によって振動を検出する機能を持ち、仮想プローブに対する粘性力を計算する。振動データ及び音声データは、この粘性力に基づいて処理される。

シーンは描画インタフェースで描画され、仮想物体の三次元モデルがビデオ映像上に重畳表示される。仮想物体の位置及び姿勢のデータは、マトリックス観察モジュールから転送される。VRML ファイルのロード及び描画は、C++ ライブラリ libVRML97 (現在 OpenVRML) を通して実行された。

OPCODE は衝突検出ライブラリで、幾何学物体間の交差試験機能を持っている。プロトタイプ・システムでは、仮想物体の幾何学データは処理の初期段階に描画インタフェースから転送される。なお、プロトタイプ・システムではポリゴン削減処理を行わなかった。

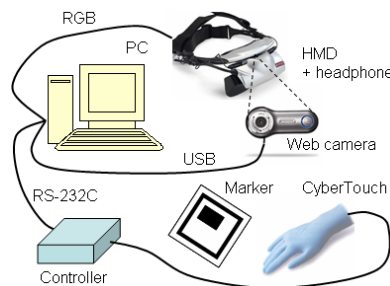


図 3: システム構成

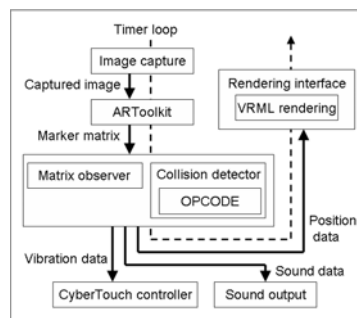


図 4: 処理の流れ

(2) 例示

図5及び6に、移動に基づく振動と交差に基づく振動の各モードに対する振動触覚インタラクションの様子を示す。

空間移動に基づく振動の例では、ミニチュア・カーがマーカ上に置かれており、マーカと共に移動する(図5)。振動刺激はマーカの移動によって発生し、ミニチュア・カーが動いているように感じさせる。交差に基づく振動の例では、タンパク質とプローブが互いに交差する(図6)。振動刺激は交差によって発生し、交差線の積分値ではあるが、タンパク質の内部状態を把握できる。実際には、粘性力に応じてビープ音が発生する。



図5: 移動に伴って振動する物体

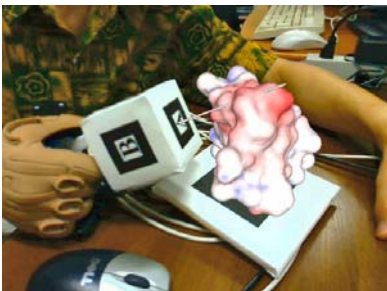


図6: 振動で感じる内部構造

今後の展望

手のひら上のハプティック環境は、触知拡張現実感インタラクションにおけるアプリケーションの娯楽性を向上させる潜在性を持つ。本プロトタイプ・システムでは仮想物体の移動に伴って振動刺激が与えられたが、仮想物体自体は変化しなかった。仮想物体自体がアニメーションを伴うとき、振動パターンをそのアニメーションに応じて変調させれば、より臨場感を伴ったハプティック拡張現実感環境を構築できると考えられる。

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 3 件)

- ① 浅井紀久夫, 近藤智嗣, 拡張現実感を利用した分子構造観察システム, メディア教育研究, 査読有, vol.4, pp.37-43, 2008
- ② 浅井紀久夫, 視線情報に基づく機器操作支援システムの構築と評価, NIME研究報告, 査読無, pp.1-24, 2007
- ③ 小林秀明, 浅井紀久夫, 立体視ディスプレイの奥行呈示位置に関する心理物理的測定, 月刊ディスプレイ, 査読無, vol.10, pp.8-13, 2007

[学会発表] (計 17 件)

- ① Kikuo Asai, Hideaki Kobayashi, Tomotsugu Kondo, Yuji, Sugimoto, Subjective evaluation of a lunar surface browsing tool using map-based AR, International Conference on Computers in Education, 2008.10.30, 台北
- ② 浅井紀久夫, 小林秀明, 高瀬規男, 振動刺激によるハプティック拡張現実感環境の構築, 電気学会電子・情報・システム部門大会, 2008.8.20, 函館
- ③ Kikuo Asai, Tomotsugu Kondo, Hideaki Kobayashi, Akira Mizuki, A geographic surface browsing tool using map-based augmented reality, International Conference Visualization, 2008.7.10, ロンドン
- ④ Kikuo Asai, Hideaki Kobayashi, Norio Takase, Palm-on haptic environment in augmented reality, International Conference on Human Computer Interaction (IASTED-HCI2008), 2008.3.15, インズブルック
- ⑤ Kikuo Asai, Hideaki Kobayashi, Tomotsugu Kondo, Norio Takase, Learning molecular structures using augmented reality, International Conference on Computers in Education (ICCE2007), 2007.11.6, 広島
- ⑥ Kikuo Asai, Hideaki Kobayashi, Comparative characteristics of head-up display for computer-assisted instruction, Human-Computer Interaction International (HCII 2007), 2007.7.24, 北京

- ⑦ Kikuo Asai, Hideaki Kobayashi, Tomotsugu Kondo, and Akira Mizuki, User study of augmented reality display interfaces for a lunar surface navigation system, Human-Computer Interaction International (HCII2007), 2007.7.24, 北京
- ⑧ Kikuo Asai, Hideaki Kobayashi, Comparative experiment of body-position based navigation in immersive virtual environments, International Conference on Computer Graphics Theory and Applications (GRAPP 2007), 2007.3.11, リスボン
- ⑨ 小林秀明, 浅井紀久夫, 立体視ディスプレイの提示位置に関する心理物理学的検討, 電子情報通信学会研究会, 2006.12.15, 琉球
- ⑩ Kikuo Asai, Tomotsugu Kondo, Hideaki Kobayashi, and Akira Mizuki, Tangible navigation system for learning the lunar surface, International Conference on Interactive Computer Aided Learning (ICL2006), 2006.9.30, フィラハ
- ⑪ 小林秀明, 浅井紀久夫, 月面体感型VRシステムのためのマップ提示機能, 科学教育学会, 2006.8.18, つくば
- ⑫ Kikuo Asai, Tomotsugu Kondo, Hideaki Kobayashi, and Norio Takase, Augmented instructions for learning molecular structures, EUROMEDIA2006, 2006.4.20, アテネ
- ⑬ Kikuo Asai, and Hideaki Kobayashi, Augmented reality environment using a Web browser, - Content presentation with a two-layer display, International Conference on Web Information Systems and Technologies (WEBIST2006), 2006.4.16, セツーパール
- ⑭ 浅井紀久夫, 近藤智嗣, 小林秀明, 水木玲, 有田寛之, 拡張現実感を利用した月面探索システム-科学博物館でのデモ展示とその評価-, 電子情報通信学会教育工学研究会, 2007.12.20, 九州大学
- ⑮ 小林秀明, 浅井紀久夫, 3種類の立体視ディスプレイを用いた奥行知覚実験における印象の違い, 日本バーチャルリ

アリテイ学会VR心理学研究委員会研究会, 2007.12.14, 東京

- ⑯ 小林秀明, 浅井紀久夫, 立体視ディスプレイにおける提示位置が及ぼす影響, 映像情報メディア学会研究会, 2007.03.14, 東京
- ⑰ 小林秀明, 浅井紀久夫, 立体視ディスプレイの提示位置に関する心理物理学的測定, 電子情報通信学会研究会, 2007.1.26, 東京

[図書] (計 2 件)

- ① Kikuo Asai, The role of head-up display in computer-assisted instruction, Chapter 2 in Human Computer Interaction - New Developments (Ed. K. Asai), I-Tech Education and Publishing KG, pp.31-48, 2008.10
- ② 小林秀明, 浅井紀久夫, 立体視ディスプレイの奥行き呈示位置に関する心理物理学的評価, 立体視テクノロジー --次世代立体表示技術の最前線--, NTS出版, pp.602-611, 2008.10

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)

[その他]

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

浅井 紀久夫 (ASAI KIKUO)

独立行政法人メディア教育開発センター・研究開発部・准教授

研究者番号: 90290874

(2) 研究分担者

大西 仁 (OHNISHI HITOSHI)

独立行政法人メディア教育開発センター・研究開発部・准教授

研究者番号: 40280549

大澤 範高 (OSAWA NORITAKA)

独立行政法人メディア教育開発センター・研究開発部・教授

研究者番号: 30251721

(3) 連携研究者