

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 4 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25330227

研究課題名(和文) 拡張現実感における視覚・触覚・聴覚のクロスモダリティを用いた感覚提示方式

研究課題名(英文) Cross-modal Stimulation Methods Using Visual, Tactile, and Auditory Sensation in Augmented Reality

研究代表者

小川 剛史 (OGAWA, Takefumi)

東京大学・情報基盤センター・准教授

研究者番号：60324860

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は視覚、触覚、聴覚のクロスモダリティを用いて各感覚の知覚を強化し、拡張現実感における仮想オブジェクトのリアリティを向上させるための感覚提示方式の研究開発を行った。提案方式の発展として、触覚の他にも平衡感覚や深部感覚など体性感覚とのクロスモダリティにも着目してヒトの知覚特性について検討し、刺激の提示方式について明らかにするとともに、クロスモダリティを用いることで錯覚の生起を制御できることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：This research established stimulation methods of visual, tactile, and auditory sensation which enhance each perception by cross modality in order to improve reality of virtual object in augmented reality environments. As the development of the proposed method we studied human perceptual characteristic to cross modality of somatic sensation such as vestibular sensation and deep sensation. This research also clarified that we can control occurrence of haptic illusion by using cross modality.

研究分野：ヒューマンインタフェース・インタラクション

キーワード：ユーザインタフェース 拡張現実感 クロスモダリティ 視覚 触覚 聴覚 電気刺激

1. 研究開始当初の背景

拡張現実感 (AR) 技術によって現実シーンに重畳表示された仮想オブジェクトのリアリティ向上を目的とした研究が行われており、視覚的な提示だけでなく、聴覚や触覚、嗅覚、味覚など、複数の感覚を用いるアプローチが注目されている。利用者に複数の感覚を提示するためには、感覚毎にその刺激装置が必要となるだけでなく、例えば触覚では提示する部位の広さによって刺激装置の数が膨大になるなどの問題がある。今後、AR 技術を人々の日常生活に積極的に活用するためには、効果的な刺激方法の確立が必要になると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、複数の感覚を提示する際に、各感覚における知覚のリアリティを高めることが大きな目的である。しかし、リアリティを高めるために感覚提示装置が利用者の全身を覆うようなスーツになってしまうと日常生活の中で利用することは不可能で、エンターテインメントなど特別な環境における応用となってしまうため、人々の日常生活を妨げない装置にすることが、汎用的に利用できるシステムとなると考えられる。

3. 研究の方法

本研究では、ヒトの五感の中で、視覚、触覚、聴覚を中心に刺激方法の検討を行った。身体に装着しなければならない物理デバイスの数を低減するために感覚間相互作用 (クロスモダリティ) や錯覚を活用し、単一の感覚刺激では提示が不可能な感覚を利用者に提示する。視覚、触覚、聴覚の組み合わせだけでなく、触覚を含む体性感覚には、振動覚、圧覚、温覚、冷覚、痛覚、運動覚といったさまざまな感覚が存在するため、歩行や荷物の運搬など日常生活において、多く見受けられる作業を支援することも検討する。

4. 研究成果

(1) 視触覚のクロスモダリティを用いた感覚提示技術

ユーザが仮想物体を叩いたときの衝撃や仮想物体がユーザの体の上を移動するときの感覚を提示することで、ユーザの仮想物体に対するインタラクションのリアリティを向上させることができるが、一般的にユーザに触覚を提示できる場所はデバイスを装着している場所に限定されるため、ユーザの体の上を自由に動き回る仮想物体からの触覚を提示するには全身にデバイスを装着しなければならないなど多くの問題があった。

本研究では、デバイスを装着していない場所に触覚を提示するため、視触覚のクロスモダリティと触錯覚を用いた方式を確立した。利用した触錯覚は、体の二点を同時に刺激した際、その刺激位置の距離がある閾値以内であれば、二点が刺激されたとは感じずに、そ



図1 振動モータによる上腕への視触覚提示

の中間の一点が刺激されると知覚する現象で、ファントムセンセーションと呼ばれる。図1に示すように振動モータを上腕に配置した実験装置を構築し、視覚刺激を触覚刺激と同時に与えることで、触覚を知覚する位置の精度向上と、触覚を知覚する範囲を拡大させる条件を明らかにした。

(2) 視覚刺激による触錯覚の制御技術

視覚刺激が触覚に影響を与えるという視触覚のクロスモダリティを用いた感覚提示技術の研究成果を進展させ、視覚刺激によって触錯覚の生起を制御する方式を確立した。本研究で扱うファントムセンセーションという触錯覚は、二点に提示された刺激を区別できないことにより発生する錯覚であるため、複数の仮想オブジェクトから得られる触覚フィードバックを提示しても、人は正しく知覚できないことを示している。そこで、提案方式では、視覚刺激によるクロスモダリティを活用して、二点に提示した刺激の弁別を補助/妨害することで、触錯覚の生起を制御する。図2に示す視触覚提示装置を構築し、刺激を提示したところ、同一の触覚刺激を提示しても、視覚刺激を変更すると触覚が変化することが確認された。提案方式を用いることで、複数の触覚刺激を伴うコンテンツも提示することが可能となり、視触覚メディアとしての表現を広げることに成功した。

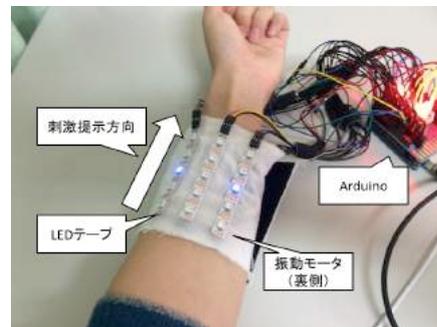


図2 LEDを用いた視触覚ディスプレイ

(3) 視聴覚のクロスモダリティを用いた感覚提示技術

本研究では、スピーカアレイのような大規模な装置を用いずに、実空間内に設置した少数のスピーカからの聴覚刺激とHMDに表示する視覚刺激を用いて、空間の任意の位置に

音像を定位するシステムの構築を目指し、刺激の提示方法を提案した。図3に示すように、受聴者の前方等間隔の位置に配置した2台のスピーカで音場を構築し、受聴者の頭部を中心として、左右、遠近、上下の3方向に分解して音像を定位させる。視覚刺激としてHMDには球を表示したとき、聴覚刺激のみを与えた時よりも正確な位置に音像を知覚することが明らかになった。また、上下方向の音像定位には聴覚刺激の周波数の変化が、遠近方向の音像定位には音量の変化が影響することが明らかになった。

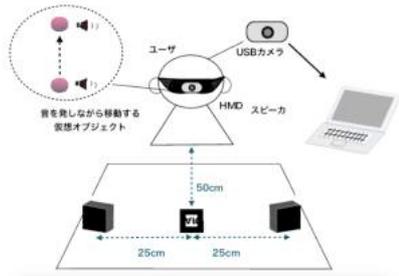


図3 視聴覚提示実験

(4) 視覚と体性感覚のクロスモダリティを用いた感覚提示技術

本研究では、視覚と前庭感覚のクロスモデルを用いることで、ユーザの歩行を支援するシステムの実現を目指している。具体的には、傾斜の急な上り坂を擬似的に緩やかな傾斜に見せることで、坂道を登った際の精神的な疲労感を低減したり、逆に緩やかな傾斜を急な傾斜に見せることで、普通に登るよりも肉体的な負荷を増加させたりできれば、トレーニングやリハビリなどに応用できると期待している。また、床面を擬似的に左右に傾斜させることで、ユーザが直進しているつもりでも、横方向に擬似的な力を感じることができれば、ナビゲーションなどへの応用が期待できる。

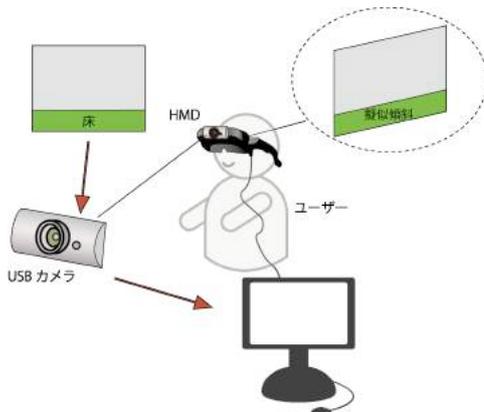


図4 擬似傾斜提示システム

図4に構築したプロトタイプの概略図を示す。左右方向の傾斜に関しては、アフィン変換を用いて、視界の鉛直方向は変化させずに水平面だけを傾斜させた。進行方向の傾斜に関しては、廊下の床面と壁面が交わる直線に注目した時の消失点の位置が途中で変化する

るように画像処理を行い、床面の傾斜が途中で変化しているようなシーンを作成した。左右の擬似傾斜に関して、知覚の有無を検証したところ、5度から10度程度の傾斜で多くの被験者が、視界が斜めになっていることに気付くことが分かった。この結果に基づき左右に20度まで5度刻みで傾斜させたシーンを見ながらの歩行実験を行い、仮想傾斜がユーザの歩行軌跡に影響をあたえることが確認された。進行方向の擬似傾斜に関しては、擬似的に見せられた坂の昇り降り、精神的および肉体的な影響があるかどうかを調べるために、アンケートによる主観評価と表面筋電図による客観評価を行い、擬似的に提示した強い下り坂、弱い下り坂、平坦な道(変形なし)、弱い上り坂、強い上り坂で、視覚的に認知する傾斜の感じ方に有意差が見られたが、表面筋電図には有意な差は見られなかった。

(5) 視覚と筋運動感覚のクロスモダリティを用いた感覚提示技術

日常生活において、家事や買い物、家具の移動など、物体を持ち上げたり、運んだりする作業が頻繁に行われている。特に高重量の物体を扱う作業を支援するために、パワードスーツに関する研究が進められているが、パワードスーツは高出力の駆動装置を使用しており、日常生活において使用するにはその運用やメンテナンスのために必要なコストが問題となる。本研究では、日常生活における物体の持ち上げ作業に注目し、電気的筋肉刺激を用いて重量知覚を制御する方式を確立した。具体的には電気的筋肉刺激により筋肉の運動量に直接影響を与えることで、重量知覚の変化を提示する。

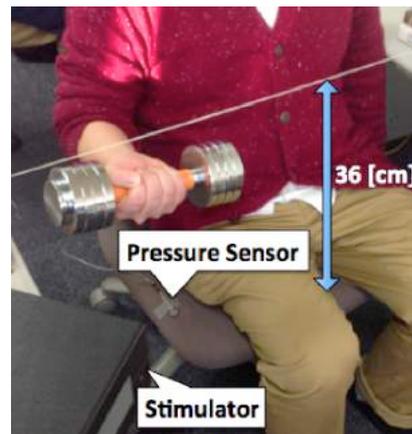


図5 持久力調査実験の様子

図5に示すように椅子に腰掛けた状態で被験者にダンベルを上下するよう指示したところ、筋肉に電気刺激を与えることで、ダンベルを上下できる回数が有意に増加することを発見した。電気的筋肉刺激により物体の重量を約10%軽く知覚することも実験によって確認しており、視覚的には変化がなくても筋肉運動感覚に変化を与えることで、作業に

おける持久力が向上することが明らかになった。

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 6 件)

- [1] 新島 有信, 小川 剛史: 視覚刺激を用いたファントムセンセーションの生起の制御に関する検討, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 21, No. 1, pp. 93-100, 2016, 査読有.
- [2] 朴 燦鎬, 小川 剛史: 携帯端末の利用環境に依存しない端末把持姿勢認識手法, 情報処理学会論文誌(デジタルコンテンツ), Vol. 4, No. 1, pp. 10-18, 2016, 査読有.
- [3] 燧 暁彦, 小川 剛史: 拡張現実感のためのRandom Forestを用いた輪郭検出手法, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J98-D, No. 9, pp. 1201-1211, 2015, 査読有.
- [4] 米澤 和也, 小川 剛史: 仮想平面を用いた飛行ロボット操作手法の提案と評価, 情報処理学会論文誌(デジタルコンテンツ), Vol. 3, No. 2, pp. 32-41, 2015, 査読有.
- [5] 吉村 圭悟, 小川 剛史: 大画面ディスプレイのための両眼視差を考慮した指差しインタフェース, 情報処理学会論文誌(デジタルコンテンツ), Vol. 3, No. 2, pp. 42-51, 2015, 査読有.
- [6] 佐川 俊介, 小川 剛史: バブルディスプレイ: 水中の気泡を用いたインタラクティブ映像システム, 情報処理学会論文誌(デジタルコンテンツ), Vol. 2, No. 1, pp. 16-23, 2014, 査読有.

[学会発表] (計 37 件)

- [1] 新島 有信, 小川 剛史: 電気刺激を用いたバーチャル食感提示手法に関する一検討, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 115, No. 493, MVE2015-62, pp. 49-54, 名桜大学(沖縄県名護市), 2016/3/7-8.
- [2] 向井 寛人, 小川 剛史: 視線による描画動作を用いた個人認証手法に関する一検討, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 115, No. 493, MVE2015-58, pp. 25-30, 名桜大学(沖縄県名護市), 2016/3/7-8.
- [3] 中張 遼太郎, 新島 有信, 小川 剛史: 疲労軽減を目的とした電氣的筋肉刺激による重量知覚制御に関する一検討, VR 学研報, Vol. 21, No. CS-1., CSVC2016-7, pp. 35-39, 京都産業大学(京都府京都市), 2016/2/29.
- [4] 北原 俊, 小川 剛史: 自然なしぐさを利用した視覚拡張システムにおけるキ

ャプチャインタフェースの評価, 情報処理学会研究報告, Vol. 2016-DCC-12, No. 32, 天草市民センター(熊本県天草市), 2016/1/21-22.

- [5] 朴 燦鎬, 小川 剛史: ユーザの姿勢を考慮した携帯端末の把持姿勢認識に関する一検討, 情報処理学会研究報告, Vol. 2016-DCC-12, No. 33, 天草市民センター(熊本県天草市), 2016/1/21-22.
- [6] 北原 俊, 小川 剛史: 自然なしぐさを利用した視覚拡張システムにおけるキャプチャインタフェース, VR 学研報, Vol. 20, No. CS-4, CSVC2015-34, pp. 21-24, キャンパスイノベーションセンター(東京都港区), 2015/12/3.
- [7] Chanh Park and Takefumi Ogawa: A Study on Grasp Recognition Independent of Users' Situations Using Built-in Sensors of Smartphones, Proc. of ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST2015), Charlotte, NC, USA, pp. 69-70, 2015/11/8-11.
- [8] 中張 遼太郎, 新島 有信, 小川 剛史: 電氣的筋肉刺激が重量知覚に及ぼす影響に関する一検討, 情報処理学会研究報告, Vol. 2015-DCC-11, No. 13, 多摩美術大学(東京都八王子市), 2015/11/9.
- [9] 新島 有信, 小川 剛史: 視触覚融合コンテンツにおける視覚刺激と振動刺激のクロスモーダル知覚に関する一検討, 情報処理学会研究報告, Vol. 2015-DCC-11, No. 12, 多摩美術大学(東京都八王子市), 2015/11/9.
- [10] 向井 寛人, 小川 剛史: 視線の軌跡情報を用いた個人認証手法に関する一検討, 情報処理学会研究報告, Vol. 2015-DCC-11, No. 11, 多摩美術大学(東京都八王子市), 2015/11/9.
- [11] 北原 俊, 小川 剛史: 自然なしぐさを利用した視覚拡張システムにおけるズームインインタフェース, VR 学研報, Vol. 20, No. CS-3, CSVC2015-24, pp. 87-92, 小樽市観光物産プラザ(北海道小樽市), 2015/10/8-9.
- [12] 朴 燦鎬, 小川 剛史: 携帯端末の利用環境に依存しない端末把持姿勢推定に関する一検討, 情報処理学会研究報告, Vol. 2015-DCC-10, No. 3, 日本大学(東京都千代田区), 2015/6/5.
- [13] Kazuya Yonezawa and Takefumi Ogawa: Flying Robot Manipulation System Using a Virtual Plane, Proc. of IEEE Virtual Reality Conference (VR2015), Arles, Camargue, Provence, France, pp. 313-314, 2015/3/23-27.
- [14] Keigo Yoshimura and Takefumi Ogawa: Binocular Interface: Interaction Techniques Considering Binocular

- Parallax for a Large Display, Proc. of IEEE Virtual Reality Conference (VR2015), Arles, Camargue, Provence, France, pp. 315-316, 2015/3/23-27.
- [15] 新島 有信, 小川 剛史: 視覚刺激を用いたファントムセンセーションの生起の制御に関する一考察, VR 学研報, Vol. 20, No. CS-1, CSV2015-1, pp. 1-6, 島根大学 (島根県松江市), 2015/3/20.
- [16] 王 夢, 小川 剛史: マルチディスプレイシステムにおけるモバイル端末の移動を考慮したインタラクション手法に関する評価, VR 学研報, Vol. 20, No. CS-1, CSV2015-4, pp. 19-24, 島根大学 (島根県松江市), 2015/3/20.
- [17] 燧 暁彦, 小川 剛史: 拡張現実感におけるユーザの首振りを考慮した輪郭検出手法に関する一検討, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 114, No. 454, PRMU2014-119, pp. 43-48, 東北大学 (宮城県仙台市), 2015/2/19-20.
- [18] 吉村 圭悟, 小川 剛史: 大画面ディスプレイのための両眼視差を考慮したコンテンツ操作手法, 情報処理学会研究報告, Vol. 2015-DCC-9, No. 7, 壱岐文化ホール (長崎県壱岐市), 2015/1/26-27.
- [19] 王 夢, 小川 剛史: CoCoMo: マルチディスプレイシステムにおけるモバイル端末の移動を考慮したインタラクティブシステム, VR 学研報, Vol. 19, No. CS-4, CSV2014-33, pp. 9-12, キャンパスイノベーションセンター (東京都港区), 2014/12/4.
- [20] Arinobu Nijima and Takefumi Ogawa: Visual Stimulation Influences on the Position of Vibrotactile Perception, Proc. of AsiaHaptics 2014, Tsukuba, Japan, pp. 29-36, 2014/11/18-20.
- [21] 燧 暁彦, 小川 剛史: 拡張現実感のためのRandom Forestを用いた輪郭検出手法に関する一検討, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 114, No. 230, PRMU2014-59, pp. 27-32, 幕張メッセ国際会議場 (千葉県千葉市), 2014/10/9-10.
- [22] 王 夢, 小川 剛史: モバイルデバイスを用いたマルチディスプレイシステムにおける端末の移動を考慮したインタラクション手法, VR 学研報, Vol. 19, No. CS-3, CSV2014-30, pp. 149-154, 洞爺湖文化センター (北海道虻田郡), 2014/10/9-10.
- [23] 岡崎 成晃, 小川 剛史: 拡張現実感を用いた床面の擬似傾斜が歩行者に与える影響の検証, VR 学研報, Vol. 19, No. CS-3, CSV2014-24, pp. 57-62, 洞爺湖文化センター (北海道虻田郡), 2014/10/9-10.
- [24] Arinobu Nijima and Takefumi Ogawa: A Study of Changing Locations of Vibrotactile Perception on a Forearm by Visual Stimulation, Proc. of the 7th International Conference on Collaboration Technologies (CollabTech 2014), Santiago, Chile, pp. 86-95, 2014/9/7-10.
- [25] 米澤 和也, 小川 剛史: 仮想平面を利用した飛行ロボット操作システム, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOM02014) 論文集, pp. 1904-1909, ホテル泉慶 (新潟県新潟市), 2014/7/9-11.
- [26] 吉村 圭悟, 小川 剛史: 大画面ディスプレイのための両眼視差を利用したユーザインタフェースの評価, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOM02014) 論文集, pp. 1910-1915, ホテル泉慶 (新潟県新潟市), 2014/7/9-11.
- [27] 新島 有信, 小川 剛史: 生体情報を利用した振動刺激知覚測定方法に関する一考察, VR 学研報, Vol. 19, No. CS-2, CSV2014-14, pp. 73-77, 福岡工業大学セミナーハウス (大分県由布市), 2014/6/12-13.
- [28] 吉村 圭悟, 小川 剛史: 両眼視差を考慮した大画面ディスプレイのための指差しインタフェースの提案, VR 学研報, Vol. 19, No. CS-2, CSV2014-13, pp. 67-72, 福岡工業大学セミナーハウス (大分県由布市), 2014/6/12-13.
- [29] 佐川 俊介, 小川 剛史: バブルディスプレイの表示性能とインタラクション手法に関する評価, 信学技報, Vol. 113, No. 468, MVE2013-90, pp. 133-138, 別府国際コンベンションセンター (大分県別府市), 2014/3/6-7.
- [30] 米澤 和也, 小川 剛史: 飛行ロボット操作性向上のための仮想平面を利用した操作手法, VR 学研報, Vol. 18, No. CS-4, CSV2013-31, pp. 5-8, キャンパスイノベーションセンター (東京都港区), 2013/12/5.
- [31] 佐川 俊介, 小川 剛史: SoundROKA: 日常生活における言葉の伝達を視覚的に提示する水槽, エンターテインメントコンピューティング 2013 論文集, pp. 62-63, サポートホール高松 (香川県高松市), 2013/10/4-6.
- [32] Xueting Lin and Takefumi Ogawa: Blur with Depth: A Depth Cue Method Based on Blur Effect in Augmented Reality, Proc. of IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR2013), IEEE, Adelaide, Australia, pp. 1-6, 2013/10/1-4.
- [33] 米澤 和也, 小川 剛史: 仮想平面を利用した飛行物体操作手法の提案, VR 学研報, Vol. 18, No. CS-3, CSV2013-24,

pp. 107-112, 利尻町交流促進施設「どんと」(北海道利尻郡), 2013/9/26-27.

- [34] Xueting Lin and Takefumi Ogawa: An Estimation Method for Blurring Effect in Augmented Reality, Proc. of ACM SIGGRAPH 2013 Posters, ACM, Anaheim, CA, U. S. A., Article 69, 2013/7/21-25.
- [35] 佐川 俊介, 小川 剛史: バブルディスプレイにおける水の特性を考慮したインタラクション手法, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOM2013) 論文集, pp. 170-174, ホテル大平原(北海道河東郡), 2013/7/10-12.
- [36] 王 夢, 小川 剛史: 視覚と聴覚のクロスモーダル知覚を用いた音像定位システムに関する基礎検討, 情報処理学会研究報告, Vol. 2013-DCC-4, No. 7, 神奈川工科大学 (神奈川県厚木市), 2013/6/27-28.
- [37] 岡崎 成晃, 小川 剛史: 拡張現実感による床面傾斜提示が歩行者に及ぼす影響, VR 学研報, Vol. 18, No. CS-2, CSVC2013-14, pp. 79-83, たざわ湖芸術村 (秋田県仙北市), 2013/6/6-7.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

研究室ホームページにて研究成果を公開
<http://www.ogawa-lab.org/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小川 剛史 (OGAWA, Takefumi)
東京大学・情報基盤センター・准教授
研究者番号: 60324860

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし