

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 4 月 18 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25540083

研究課題名(和文) 身体を直観観測する投影型複合現実インタフェースでの擬似力触覚生起の研究

研究課題名(英文) Pseudo-Haptics in Spatial Augmented Reality

研究代表者

岩井 大輔 (Iwai, Daisuke)

大阪大学・基礎工学研究科・准教授

研究者番号：90504837

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、投影対象および身体が見えてしまう投影型複合現実感環境において、視覚情報のみで力触覚(すなわち、擬似力触覚)が生起するかどうかを調査した。具体的には、映像投影によって、形状(高さ)と曲率)および柔らかさの2種類の触知覚を変調可能かどうか、そしてそれが可能な場合、どの程度正確にそれを操作できるのかを実験により明らかにした。特に、柔らかさの触知覚に関しては、平均して、人が知覚できる柔らかさの差の80%程度の誤差で、所望の柔らかさ触知覚を映像投影によって呈示できるシステムの開発に成功した。

研究成果の概要(英文)：This research investigated whether pseudo-haptics is elicited in spatial augmented reality (AR) environment. In particular, it focused on the shape and softness sensations. Projection systems were built, in which psychophysical experiments were conducted for the investigation. As a result, it was confirmed that pseudo-haptics was elicited by projected imagery onto user bodies and touched objects. Especially for the softness perception, a computational model was developed, which estimates perceived softness when the visual effects are projected. It was confirmed that this model could work with an accuracy of less than the just-noticeable difference of human softness perception.

研究分野：拡張現実感

キーワード：擬似力触覚 プロジェクションマッピング 投影型複合現実感

1. 研究開始当初の背景

擬似力触覚は、人に複雑な電気機械的装置を装着させる必要なしに、その身体像を視覚的に移動させるだけで力触覚を提示できる現象である。そのユーザインタフェース (UI) 応用は、簡便に直感的なコンピュータ操作環境を構築できるため、世界中で活発に研究されている。擬似力触覚の生起には、ユーザに気付かれること無く身体を視覚的に操作する必要がある。

一方、研究代表者らが研究を進めてきた投影型複合現実 (Mixed Reality: MR) UI は、プロジェクタ投影により対象の見え (反射色) を制御し、その形状や質感を視覚的に操作することを実現しており、ユーザがディスプレイを介さずに身体と操作対象を直接観察しながら作業できる身体性の高い UI である。しかしながら、直接身体が見えてしまうため、ユーザに気付かれない身体の視覚的操作が必要な擬似力触覚の利用は困難であった。

2. 研究の目的

本研究課題では、操作対象だけでなくユーザの身体にもプロジェクタから映像を投影して身体の見えかたを変調することで、擬似力触覚を生起させることを目指す。具体的に、本研究では以下の2種の擬似力触覚について研究を進める。すなわち、(1) あたかも身体が移動したかのようにその見えを制御する手法を開発し、形状知覚を変調させることと、(2) 接触対象の変形具合を視覚的に強調・抑制することで、その柔らかさ知覚を変調させること、の2点である。

上記に記すような接触対象および身体の視覚的変調を実現するための映像投影システムの構築と、様々なパラメータに応じて生起する擬似力触覚の強度の調査を行い、投影型 MRUI に擬似力触覚を組み込む際の設計指針を明らかにすることを目指す。

3. 研究の方法

(1) 形状知覚を変調する研究

形状を変形させる接触対象と接触する身体の双方に、視覚的に形状が変形しているように整合する映像を投影する。これを実現するためには、ユーザ視点、接触対象の形状、身体の形状、およびプロジェクタの位置姿勢の情報を利用する。これにより生起される擬似力触覚について調査を行い、視覚的に呈示される形状と触覚的に知覚される形状との関係を求めた。

具体的には、映像投影によって視覚的な高さを変えた際に知覚される触覚的な高さ、および、視覚的な曲率を変えた際に知覚される触覚的な曲率を調査した。得られたデータから、元形状・投影形状・触覚知覚形状の関係をモデル調査した。

(2) 柔らかさ知覚を変調する研究

柔軟物体を押し込むと、押し込んだ地点に

向かって、物体表面のテクスチャが変形する。この視覚的特徴を活かし、ユーザが指先で柔軟物体を押し込んだ際に、テクスチャの変形具合を変調することで、その物体の柔らかさ知覚を操作する。さらに、予備実験によって、押しこむ指先の色を赤色に変化させることで柔らかさ知覚に影響を与えられることが確認できたことから、これらを組み合わせ、柔らかさ知覚の操作を実現した。

具体的には、テクスチャの変形量を変えながらその際に知覚する触覚的な柔らかさを調査して、元の柔らかさ・投影変形量・触覚する柔らかさの関係をモデル化した。これにより、元の柔らかさが既知で、目的となる柔

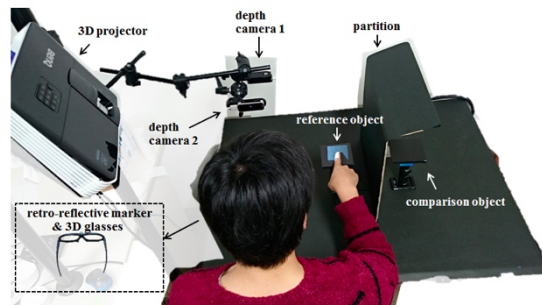


図1: 形状知覚変調を調査するシステム



図2: 視覚的形状変形の例

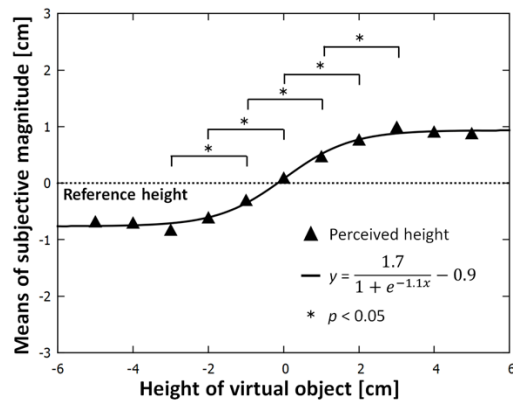


図3: 高さ知覚の実験結果

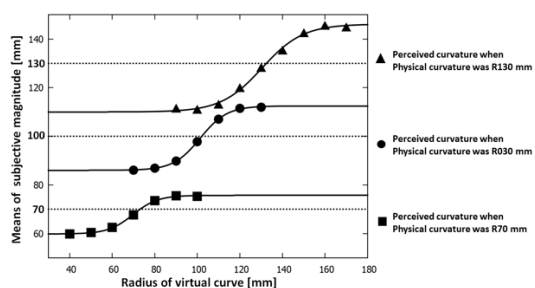


図4: 曲率知覚の実験結果

かさを設定すると、投影すべきテクスチャの変形量を求めるシステムを開発した。さらに応用システムを構築し、正確に目標となる柔らかさを知覚させることができるかどうかを確認した。

4. 研究成果

(1) 形状知覚を変調する研究

図1に示すシステムを構築し、実験を行った。図2に同システムで提示した視覚的形狀変形例を示す。この実験では、被験者は接触対象の高さが視覚的に変形した像を見つ対象に触れたあと、その知覚した高さを申告する。申告は、パーティションによって被験者からは見えない位置に置かれた、高さ可変の平面を用いて行った。被験者はこの平面を観察することなく、知覚した高さにそれを調節することで回答を行う。次に、曲率の異なる曲面を視覚的に提示した際に知覚する曲率を調査する。曲率の申告には触覚呈示デバイス Phantom を用いる。

図2および図3に、呈示された視覚情報に対する、知覚された高さおよび曲率をプロットした結果を示す。これらより、映像投影による視覚情報によって、触知覚される高さおよび曲率を変調可能であることが確認できた。また、変調できる量には限界があることも確認できた。具体的に、高さ変調については、2cm程度の視覚的変調で、1cm程度の触覚的高さ知覚の操作が可能であったが、それ以上視覚的に変調させても、触知覚される高さは変わらない、ということが確認できた。曲率変調では、3種類の曲率をもつ実物体(7cm, 10cm, 13cm)を用いて実験を行ったが、いずれの曲率においても、高さ知覚と同様、ある程度の曲率操作は可能であるものの、その操作量には限界が有ることが確認できた。

(2) 柔らかさ知覚を変調する研究

図5に示すシステムを構築し、柔軟物体を押し込む際に、映像投影によって、柔軟物体表面のテクスチャを押し込んでいく地点に向かって変形させる視覚効果と、押しこむ指先を赤く変色させる映像投影を行った際に、触知覚される柔らかさがどの程度操作されるかを調査した。3種類の柔らかい実物体を用意し、視覚効果の相対的な変形量を3種類用意し、実験を行った。その結果、図6のように、触知覚される柔軟物体の柔らかさと、元の柔らかさ・投影変形量の関係が得られた。

この関係をもとに、所望の柔らかさ触知覚を設定すると、投影すべき視覚的変形量を算出する計算モデルを構築した。このモデルの妥当性を検証するため、タオル地やクッション等、6種類の異なる実物体を用意し、それに対する柔らかさ触知覚をどの程度正確に操作できるかを実験した。その結果、平均して、人が知覚できる柔らかさの差 (JND: Just Noticeable Difference) の80%程度の誤差で、所望の柔らかさを提示できることが確認でき

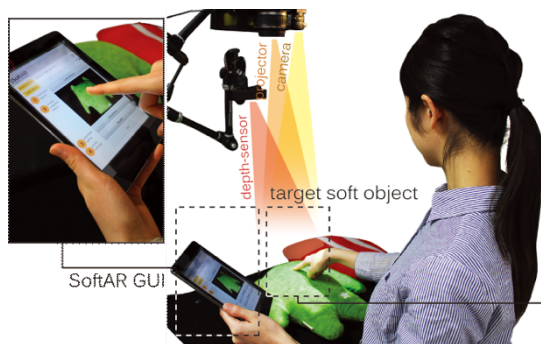


図5: 柔らかさ触知覚変調システム外観

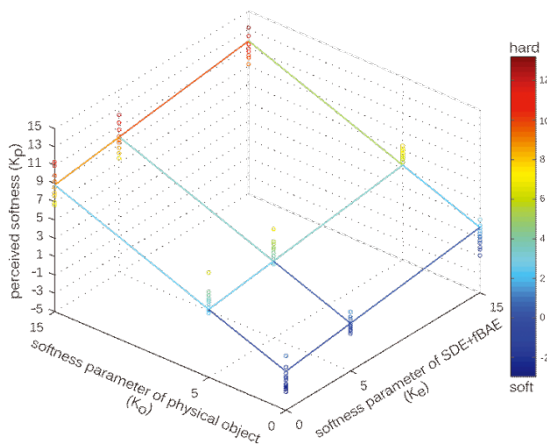


図6: 投影変形量と柔らかさ触知覚の関係

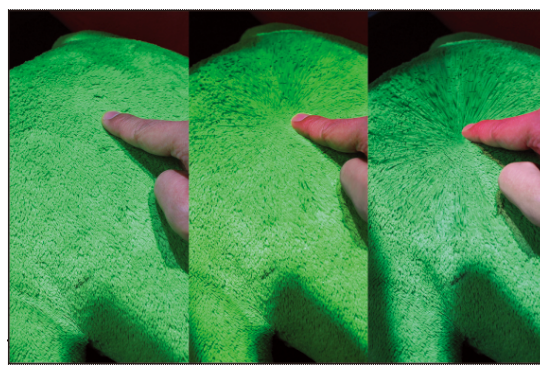


図7: 投影結果例

た。

以上より、直接身体が見えてしまうため、擬似力触覚を利用したUIの構築が困難と考えられてきた投影型MRにおいて、擬似力触覚の生起を確認し、さらに、所望の触知覚を与えるための計算モデルの構築を実現した。すなわち、これらによって、今後の投影型MRUIのさらなる応用可能性の拡大に寄与することができた。

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 5 件)

① P Punpongsanon, D Iwai, and K Sato,

"SoftAR: Visually Manipulating Haptic Softness Perception in Spatial Augmented Reality," IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 査読有, Vol. 21, No. 11, pp. 1279-1288, 2015.

- ② 金森俊雄, 岩井大輔, 佐藤宏介, "重畳投影する手映像の位置ずれによる形状触知覚変調," 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 査読有, Vol. 20, No. 3, pp. 263-266, 2015.
- ③ 岡原浩平, 小川修平, 新明拓也, 岩井大輔, 佐藤宏介, "身体拡張型インタフェースのための前腕の投影表現に関する基礎検討," 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 査読有, Vol. 19, No. 3, pp. 349-355, 2014.
- ④ 武内真梨奈, 五十川麻里子, 岩井大輔, 佐藤宏介, "影のメタファを利用したポインティングインタフェースにおける影の制約緩和による操作性の向上," 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 査読有, Vol. 19, No. 2, pp. 207-214, 2014.
- ⑤ 吉川佑生, 岩井大輔, 佐藤宏介, "視温覚融合投影インタフェースにおける視覚が温覚に与える作用の基礎検討," 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 査読有, Vol. 18, No. 4, pp. 527-530, 2013.

[学会発表] (計 11 件)

- ① E Guy, P Punpongsanon, D Iwai, K Sato, and T Boubekeur, "LazyNav: 3D Ground Navigation with Non-Critical Body Parts," In Proceedings of IEEE Symposium on 3D User Interfaces, 査読有, pp. 43-50, 2015.
- ② T Kanamori, D Iwai, and K Sato, "Manipulating Haptic Shape Perception by Visual Surface Deformation and Finger Displacement in Spatial Augmented Reality," In Proceedings of IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 査読有, pp. 190-191, 2015.
- ③ 青木芽衣, 渡邊淳司, 岩井大輔, 佐藤宏介, "身体プロジェクションによる触質感操作," NICOGRAPH 2015, P-08, 2015.
- ④ 青木芽衣, 渡邊淳司, 岩井大輔, 佐藤宏介, "身体へのテクスチャ投影によるなぞり触質感の操作," 第 59 回システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集, 313-1 (4 pages), 2015.
- ⑤ 金森俊雄, 岩井大輔, 佐藤宏介, "重畳投影する指先映像の空間的ずれによる形状触知覚の操作," 第 59 回システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集, 313-2 (3 pages), 2015.
- ⑥ M Takeuchi, M Isogawa, D Iwai, and K Sato, "Weak Perspective Shadow Interface for Seated User's Pointing

on Large Wall Display," In Proceedings of IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII), 査読有, pp. 316-321, 2014.

- ⑦ 武内真梨奈, 吉川佑生, 岩井大輔, 佐藤宏介, "視温覚融合投影インタフェースにおける視覚情報の動的変化が温覚に与える影響の基礎検討," 第 19 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp. 29-32, 2014.
- ⑧ 金森俊雄, 岩井大輔, 佐藤宏介, "投影型複合現実感における身体重畳投影による Pseudo-Haptics 提示," 第 58 回システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集, 115-3 (4 pages), 2014.
- ⑨ P Punpongsanon, D Iwai, and K Sato, "A Preliminary Study on Altering Surface Softness Perception in Spatial Augmented Reality," In Proceedings of IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), 査読有, pp. 301-302, 2014.
- ⑩ K Okahara, S Ogawa, D Iwai, and K Sato, "Camera Based Hand Recognition for the Graphically Extended Hand," In Proceedings of IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), 査読有, pp. 120-121, 2013.
- ⑪ Y Yoshikawa, D Iwai, and K Sato, "A Study of Thermal Sensation with Visuo-Thermal Projection Interfaces," In Proceedings of IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), 査読有, pp. 118-119, 2013.

[その他]

ホームページ等

<http://www.sens.sys.es.osaka-u.ac.jp/users/iwai/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岩井 大輔 (IWAI, Daisuke)

大阪大学・大学院基礎工学研究科・准教授
研究者番号：90504837