



把持操作可能な動的プロジェクションマッピングにおける 対象物体と提示情報の形状認識に関する検討

A Study on Shape Recognition between Target Object and
Projected Appearance in Dynamic Projection Mapping

吉田 祥子, 橋本 直己

Shoko YOSHIDA and Naoki HASHIMOTO

電気通信大学 大学院情報理工学研究科 情報学専攻

(〒 182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, yoshida@hashimoto.lab.uec.ac.jp, hashimoto@uec.ac.jp)

概要: 本研究では, 遠隔環境等において目の前に存在しない物体を実際に把持操作しているような体験を可能にすることを目的としている. そこで, 動的プロジェクションマッピングを用いて手元にある物体の内部に多様な形状の物体を表示することで, 投影コンテンツを自在に把持操作して観察できるシステムを構築した. 本稿では, 投影対象となる物体と投影によって提示される仮想物体の形状が一致しないことからユーザが感じる, 違和感や存在感への影響について検討を行う.

キーワード: プロジェクションマッピング, インタラクティブコンテンツ, 汎用ディスプレイ

1. はじめに

現在, 新型コロナウイルスの感染拡大による影響を受けて遠隔でのコミュニケーション需要が急激に増加し, 学習環境などで理解を促進するための教材に実際に触れて体験するような機会が失われつつある. その一方で, スマートフォンの普及や小中学校でのタブレット配布などによって, 遠隔環境において様々な情報を平面ディスプレイ上で確認することが身近になっており, 映像情報や AR・VR 技術によってディスプレイ上で教材等を観察できるようになりつつある. しかし, それらはすべて平面ディスプレイ内部に提示される情報であって直接形状を触知することはできず, 物体を提示したときの平面感が, 立体的な物体の提示情報をユーザが認識する妨げになり得る.

そこで本研究では, 身近に存在する把持操作可能な物体に対して, 多様な形状の物体を投影することによってその見た目を変化させて, 様々な物体を把持操作しているような体験を実現することを目指している. 本稿では, 動的プロジェクションマッピングシステム技術を用いた提案システムの構築を行い, 把持操作する投影対象物体と提示情報となる投影コンテンツの形状認識として, それぞれ異なる形状の知覚に関するアンケートを実施することで, 触覚と視覚の違いによる違和感や提示情報の立体的な存在感に対する影響について検討を行う.

2. 関連技術

動的に位置及び姿勢が変化する立体的な物体を対象として, 投影によってその見た目を変化させる動的プロジェクションマッピングを用いたコンテンツの提示手法として, Miyashita

ら [1] は, 白色の対象物体形状に合わせたテクスチャの提示と, 対象物体の動きに基づく弾性力の再現を実現している. 投影コンテンツに対して実在する物体に近い質感や変形の情報を適用することによって, 実際に対象を把持操作しているようなインタラクションを提供している. 提示したい情報である投影コンテンツの形状に沿った投影対象物体を作成することで, 現実に近い情報提示を可能にしているため, 提示情報に合わせて実際にその形状を持った物体を用意する必要がある.

把持操作可能な立体ディスプレイに, 提示情報となる多様な形状の物体があたかもその内部に存在するような立体的なコンテンツの提示を可能にする手法として, Stavness ら [2] は, ケーブル接続部を除く 5 面に液晶パネルを配置したキューブ型ディスプレイ pCube を提案した. これは 5 面のディスプレイにユーザの視点位置に合わせた透視画像をそれぞれ表示するもので, その動きに対応する物理法則に基づいたインタラクティブな動きをコンテンツに対して適用している. ディスプレイを把持操作して直感的に立体的なコンテンツを観察することが可能であるが, 液晶パネルのベゼル部分や接続されたケーブル, 立体ディスプレイの重さが提示した物体を実際に把持操作している感覚を損ねる可能性がある.

Berard ら [3, 4] は, 把持操作可能で軽量の白色の球体をディスプレイとなる投影対象物体とし, その内部にコンテンツが存在するような立体視映像を投影するシステムを構築した. 球体や平面のような投影対象物体の形状によらない投影コンテンツの立体的な提示を可能にし, その操作方法による物体情報の認識について評価研究を行っているが,

対象物体の形状と投影コンテンツの形状に基づく認識の違いについては及んでいない。

3. 提案システム

本研究では、自由な形状で把持操作可能な剛体を対象物体とし、視点位置に対して歪み補正を適用した動的プロジェクションマッピングを実現することによって、ユーザーの手元に多様な仮想物体を提示するシステムを提案する。これによって、現実空間で実際に対象物体に触れて観察するような体験を再現する。

本提案システムの構成を図1に示す。現実空間にプロジェクタ、Webカメラ、3次元位置計測装置（赤外線を発するベースステーションと、それを受光して位置姿勢を算出するトラッカ）で構成される。現実空間の構成をゲームエンジンであるUnityのシーン上で作成した仮想空間に再現することで、対象物体の位置姿勢に合わせた投影画像を生成する。

Webカメラとプロジェクタ及びベースステーションは事前のキャリブレーションによって相対位置を取得しておく。また、トラッカは投影対象物体に固定した状態で使用するため、ベースステーションを基準としたトラッカの位置姿勢は対象物体の位置姿勢と等しくなり、仮想空間上ではこの位置姿勢を、コンテンツ及びディスプレイ（投影対象物体）の位置姿勢とする。仮想カメラ①、仮想プロジェクタは視点位置に配置し、仮想カメラ②は実空間のプロジェクタ位置に配置し、そのパラメータを適用している。本システムで

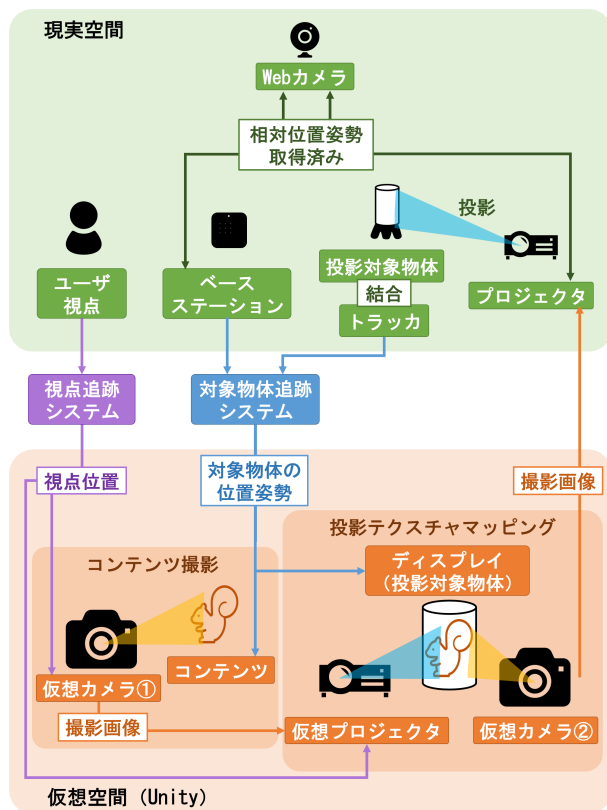


図1: 提案システムの構成図

は、対象物体の投影面が平面ではないため、投影されたコンテンツを観察すると歪みが生じる。この歪みを取り除くために歪み補正が必要であり、これを TwoPassRendering にて実施する。この TwoPassRendering は、仮想空間上のコンテンツ撮影と投影テクスチャマッピングの2処理を毎フレーム行うことで実現する。以上の情報から得られる仮想カメラ②の撮影画像をプロジェクタから投影することによって、視点位置に対して歪み補正が適用された投影映像の提示が可能となる。

4. コンテンツの投影実験

4.1 実験の目的と概要

提案システムにおいて様々な形状のコンテンツを用いた投影を体験してもらい、投影対象物体形状と投影コンテンツ形状の不一致から触覚と視覚の間で起こる違和感や、把持操作に追従するコンテンツの平面的もしくは立体的な存在感のような、仮想空間と現実空間の乖離による影響を調査するアンケートを行った。

投影対象は、トラッカを底面に固定した図2左側の円柱（直径70mm、高さ100mm）とした。また、投影コンテンツは図2右側にあるCube（立方体）、Cat（三毛猫）、Squirrel（リス）、Baking Soda（円柱状の容器）の3次元モデル4種類を使用した。

また、投影環境としては、プロジェクタ（ViewSonic PX701-4K、解像度1920×1080、更新レート240fps）、Webカメラ（Logicool HD Pro Webcam C920、解像度1920×1080）、ベースステーションを用いて図3のように構成されている。

本実験では、ユーザー視点を図3に示す視点位置に固定して行った。被験者には自由に把持操作可能な投影対象物体となる円柱の表面に投影した4種類のコンテンツを、それぞれ約30秒ずつ観察する体験を行ってもらい、5段階のリッカード尺度によるアンケートを実施した。

アンケート内容としては、コンテンツ評価を4項目と比較評価を4項目の全8項目実施した。



図2: 投影対象物体と投影コンテンツ [5]

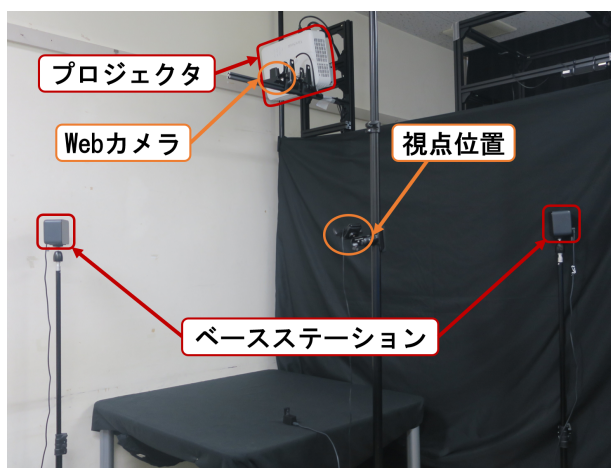


図 3: 実験環境

コンテンツ評価では、投影を行った 4 種類のコンテンツそれぞれに対し、投影コンテンツを対象物体内部に投影した円柱を持って動かしている感覚を強く感じる場合を 1、投影コンテンツ自体を実際に持って動かしている感覚を強く感じる場合を 5 として、どちらに近いかを 5 段階で回答してもらった。

比較評価では、ひとつ前に観察した投影コンテンツを 1、現在観察している投影コンテンツを 5 として、投影したコンテンツ自体を実際に持って動かしている感覚に対して違和感がなく感じる方はどちらかを 5 段階で回答してもらった。比較コンテンツは、コンテンツ形状の縦横比が対象物体形状に近似している Squirrel, Baking Soda, 近似していない Cube, Cat, 凹凸などの形状が複雑な Cat, Squirrel, 複雑でない Cube, Baking Soda, 以上の 2 条件で分類した 4 組のペアとした。

4.2 実験結果

片手で把持した投影対象物体（円柱）の側面に 4 種類の投影コンテンツを投影した様子を図 4 に示す。



図 4: 投影結果（視点位置から撮影）

投影対象物体となる円柱を把持操作して投影コンテンツを観察する体験と、それに基づくアンケートを 20 代の男女 9 名に行ってもらった。アンケートの結果として、コンテンツ評価を図 5、比較評価を図 6 に示す。

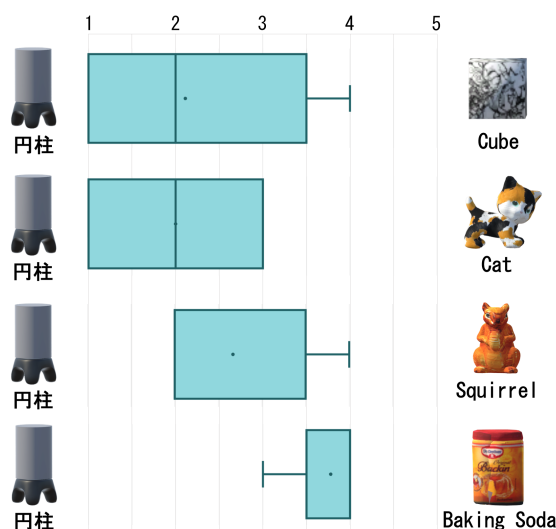


図 5: コンテンツ評価の結果（箱ひげ図内の点は平均値）：実際に把持操作しているような感覚が強い方を選択

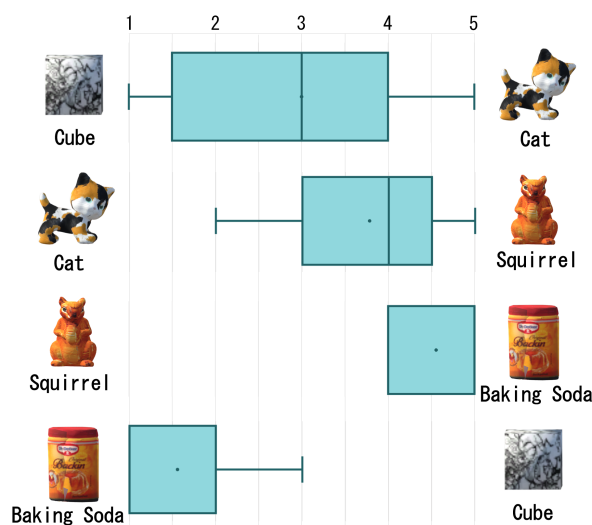


図 6: 比較評価の結果（箱ひげ図内の点は平均値）：把持操作している感覚を強く感じた方を選択

Baking Soda のコンテンツ評価における平均値は他の 3 種類を上回っており、最も分散が小さい。この理由として被験者からは、手に触れている円柱の感触と近似していることや、投影対象物体における投影コンテンツ表示領域が大きい、すなわちコンテンツが投影されていない余白領域が少ないことから、違和感が少ないという意見が多く得られた。

Cube や Cat と比較すると Squirrel の評価も高い傾向が見られたが、これに関しても同様の意見が得られた。一方で、投影コンテンツの複雑な凹凸形状に対して円柱の側面が滑らかであることや、円柱に対して若干小さく投影されて

いることから Baking Soda 程ではないという意見もあった。

Cube と Cat の比較に関しては Cube のコンテンツ評価における平均値が Cat を上回っている。理由として投影対象物体を持つ手の輪郭と観察された投影コンテンツの表示領域における輪郭が近似している方が違和感を覚えにくいという意見があったことから、円柱の側面が長方形に類似した形状で観察されるために、Cube の辺と近似した輪郭として違和感を覚えにくかったのではないかと考えられる。この考察を踏まえると、投影対象物体における把持部分に近い側の余白領域の影響は、手で触れていない側の余白領域の影響に比べて大きいのではないかと推測される。

また、Cat の縦横比は円柱を横向きに持った場合の形状に近いので、この条件で観察してもらった際に円柱を縦向きに持った場合に比べて余白部分の面積が減少し、評価が上がると推測される。

興味深い意見として、手に持っている投影対象物体の触感を最も強く意識することから類似形状でなければ違和感を強く感じるというものに対して、投影されているコンテンツに集中して観察をしている際に持っている投影対象物体の形状をほとんど意識しないというものがあつた。前者の意見は本研究において課題としている部分であるため、視覚で補うことが困難な触覚に対する違和感を低減させる投影対象物体形状の検討が必要になる。後者の意見については、円柱と立方体では触覚で得られる触感が大きく異なるにもかかわらず、評価として Cube を把持操作している感覚の方が強く感じる体験者がいたことから、視覚情報に意識を集中させることで違和感を低減させることが可能なコンテンツの提示について検討が必要になる。

以上のアンケート評価から得られた知見によって、投影対象物体と投影コンテンツの形状が異なる場合における投影コンテンツの把持操作と観察を、今回実施した体験より違和感なく行えるのではないかと考えられる。

5. おわりに

本稿では、投影によって把持操作可能で物体の見た目を多様な形状の物体に変化させることで、提示した様々な物体を把持操作しているような体験を実現する動的プロジェクションマッピングシステムを構築し、対象物体と提示情報の形状認識における違和感の条件について検討を行った。

今後は、触覚に対する意見をふまえて対象物体の形状を変化させることや、位置姿勢が同期して表示されるだけではない投影コンテンツのインタラクティブ性を高めることなど、投影コンテンツの把持操作を違和感なく観察できる条件について調査と実験を進めていきたい。また実験を行う中で、投影時に投影コンテンツの位置がずれる影響によって発生する投影歪みが気になるという意見が多くあったため、この課題を改善する必要がある。改善した提案システムにおける実験では、被験者を増やして実験データを統計的に解析していきたい。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP19H04152 の助成を受けた。

参考文献

- [1] Leo Miyashita, Kentaro Fukamizu and Masatoshi Ishikawa : Simultaneous Augmentation of Textures and Deformation Based on Dynamic Projection Mapping, SIGGRAPH Asia 2021 Emerging Technologies, Article No. 16, pp. 1–2, 2021.
- [2] Ian Stavness, Billy Lam and Sidney Fels : PCubee: a perspective-corrected handheld cubic display, In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 1381–1390, 2010.
- [3] Francois Berard and Thibault Louis : The Object Inside: Assessing 3D Examination with a Spherical Handheld Perspective-Corrected Display, In Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 4396–4404, 2017.
- [4] Thibault Louis, Jocelyne Troccaz, Amélie Rochet-Capellan, Nady Hoyek and François Bérard : When High Fidelity Matters: AR and VR Improve the Learning of a 3D Object, Proceedings of the International Conference on Advanced Visual Interfaces. Association for Computing Machinery, Article No. 39, pp. 1–9, 2020.
- [5] http://cvmr.mi.hs-rm.de/research/RBOT/files/RBOT_dataset.zip