



空中像のCGキャラクターの動きによる 擬似触覚提示手法の評価

大里袖衣¹⁾, 小泉直也^{1),2)}

1) 電気通信大学 (〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, koizumi.naoya@uec.ac.jp)

2) JST さきがけ (〒332-0012 独立行政法人科学技術振興機構さきがけ川口市本町 4-1-8)

概要: 本研究ではタッチパネルの反射を用いた空中像の表示手法における, 力覚提示及びインタラクションに取り組む. 力覚提示には空中像を結像する光の経路を阻害せず, 装着型の触覚提示装置を使用しない設計を検討した. 本稿では空中像で表示された CG キャラクターの動作と実物体の動きを通して擬似触覚を提示する方法を提案する. また, 空中像の動きによる視覚と実物体が提示する力覚の感覚間相互作用を評価した.

キーワード: 空中像, CG キャラクター, インタラクション, 擬似触覚

1. はじめに

CG キャラクターとのインタラクションには, 現実世界に存在しないキャラクターと遊んだり, 作業したりすることができる魅力がある. CG キャラクターはアニメや映画などに様々な場面で使われ, 人々は CG キャラクターに対して親しみやすさを感じるようになってきた. CG キャラクターと手軽にインタラクションできる商品として, *Pokémon GO*[1] が広く知られている. この CG キャラクターとのインタラクションの魅力の一つは, アニメや映画に登場する架空の世界にしかいなかった CG キャラクターが, 現実世界にいるように感じさせることである.

本研究では, 現実世界で CG キャラクターとのインタラクションに取り組む. CG キャラクターを現実世界にいるように投影する方法として, シースルーHMD を用いる方法や, ディスプレイとカメラを用いる方法, 空中像を用いる方法が挙げられる. 空中像とは, 光源から発せられた光が光学系によって反射, 屈折することにより空中に結像した像のことである. 空中像は実物の隣に映像を投影できるので, CG キャラクターを表示すれば, 現実世界に存在しているように見せることができる. よって, CG キャラクターを現実世界にいるように投影でき, インタラクションに適している方法は, 空中像であると考えた.

本研究の目的は, CG キャラクターとのインタラクションであり, 空中像による視覚提示に力覚提示を組み合わせることで行った. 空中像に超音波触覚ディスプレイを用いて力覚提示を加えた研究に *HaptoClone*[2] がある.

Yui OSATO and Naoya KOIZUMI

HaptoClone[2]の実験結果より, 力覚提示は空中像をより現実にあるように感じさせる効果を持つことが分かった. 図 1 に示すように, 空中像による CG キャラクターの表示と力覚提示を行うことで, 空中像の視覚提示のみの場合より, CG キャラクターが現実世界にいるような表現ができる可能性が十分にある.



図 1 空中像キャラクターによって力覚提示をしている様子

2. 関連研究

2.1 現実世界での CG キャラクターとのインタラクション

力覚提示を用いて, 現実世界で CG キャラクターとのインタラクションを行った研究に *Kobito*[3]がある. *Kobito* では, CG キャラクターとのインタラクションのために, ディスプレイによる視覚提示と, ハプティックデバイスである *SPIDER* の機構を用いて, 実物体を通じた間接的な力覚提示を行っている. ユーザーの行動観察より, 実物体を用いた間接的な力覚提示することで, ユーザーは *Kobito* を実物体で潰そうとするなど, 積極的なインタラクションを試していた.

空中像で CG キャラクターとのインタラクションを行った研究として *MARIO*[4]がある. *MARIO* は実物体の最も高

い場所に、空中像のCGキャラクターが乗るよう、空中像を投影するインタラクション設計を用いている。ユーザーの行動観察より、ユーザーは実物体を用いることで、実物体で空中像を攻撃するなどといったインタラクションをしていた。

本研究では、空中像を用いたインタラクションに適した間接的な力覚提示手法を設計するために、MARIO[4]の実物体を用いたインタラクションと、Kobito[3]の実物体による間接的な力覚提示の手法を採用した。

2.2 力覚提示手法

CGキャラクターの動作を操作するために、手で持ち上げやすいサイズ及び形状の実物体を力覚提示装置として用いる。MARIO[4]でユーザー行動観察の際に、自分の持っていた電車のおもちゃを用いて、インタラクションをしたという報告があった。このことから、CGキャラクターの動作が、実物体に起因することをユーザーが理解し、人が感覚的に楽しめるインタラクションになると考えた。しかし、手で持ち上げられやすいサイズの実物体で、複雑な力覚提示を行うことは難しい。

そこで、力覚提示に視覚提示を加えることで、擬似的な触覚を作り出す擬似触覚を用いる。擬似触覚とは、視覚と触覚との間に不整合を生じさせると、脳の特性上、視覚による情報の方が優勢になり、視覚の情報にあった擬似的な触覚が生起される現象である。例えば、同じ物体でも物体の見た目を変化させることで、物体の重さが変化するように知覚させることができる。R-V Dynamics Illusion[5]では、物体に液体の映像を投影することで、重さの知覚を変化させることができた。Yuki Taima らの研究[6]では、物体の色を変化させることで、重さの知覚を変化させることができた。このように、視覚提示によって、重さの変化を知覚させることができることが分かる。そのため、視覚提示にCGキャラクターが押ししたり、引いたりする動作を用いることで、力覚提示ができる可能性は十分にある。

3. 提案手法

提案手法には、タッチスクリーンと、力覚提示に使用する小型ロボットを使うことができる EnchanTable[7]の設計を用いる。力覚提示手法には、振動のみの力覚提示と、CGキャラクターが押ししたり、引いたりする動作の視覚提示を組み合わせることで生じる擬似触覚を用いる。

3.1 実装

空中像を表示する光学系設計には、先に述べたように EnchanTable の設計を参考にした。実装した様子は図 2 に示す。AIP(Aerial-Imaging Plate)はミラーアレイが2層構造になっており、入射光がそれぞれの層で1回ずつ反射することで、AIPを軸としたとき面対象の位置に空中像を結像することができる光学素子である。

iPad, AIP, タッチスクリーンによって空中像を表示する。iPadからの光はAIPの入射光となり、面対象の位置にI'の位置に結像するように進む。その光がタッチスクリーンによって反射することで空中像を結像する。空中像から

AIPまでの距離とiPadからAIPの距離は等しいため、XYプロッタによってiPadの位置を前後に移動したとき、空中像は同じ距離だけ移動する。iPadの位置を左右に移動したときも、AIPは面対象の位置に空中像を結像にさせるので、空中像は同じ距離だけ左右に移動する。

視界制御フィルム LF(Louver Film)は机の奥の光学系を見せない役割を果たす。上方向へ進む入射光を拡散し、下方向へ進む入射光を透過する。

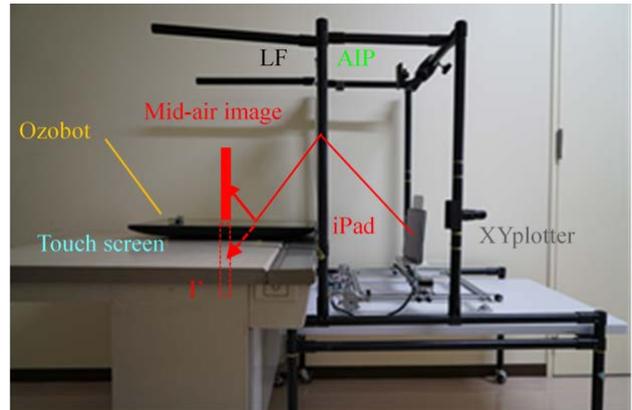


図 2 実際の装置

用いた機器は以下のとおりである。AIPはASUKANET製のピッチ0.5mmのミラーアレイを用いた。タブレットはApple製のiPadPro(10.5インチ)を用いた。LFはLintec製のW-0055(上向き0°~55°:拡散, それ以外:透過)を用いた。タッチスクリーンはDell製のP2314Tを用いた。XYプロッタはSmartDIYS製のFABOOL Laser Miniを用いた。

3.2 力覚提示

力覚提示装置の条件はコードがないもの、手で把持できる大きさのもの、装置の位置を把握できるものとした。以上の3つを満たしているOzobot&Evolv製Ozobot Bitとタッチスクリーンを選択した。このロボットはあらかじめプログラムされた動作を、光センサによって読み取った下部の色に対応して実行する約3cmのロボットである。

4. 映像設計

4.1 CGキャラクターの選定

本実験に用いたCGキャラクターには球に近い形のものを選定した。選定理由の一つ目は縮む、回転するなどの動きを付け足した際、CGキャラクターの動きに違和感が生じないようにするためである。二つ目は、AIPを通して結像した空中像の解像度は、細かい描写ができないためである。

4.2 CGキャラクターの動きの設計

実験を行うにあたって、CGキャラクターがOzobotを押している動き2種類と、引いている動き2種類を作成した。押している動き2種類は、CGキャラクターが縮みながらOzobotを押す動き(伸縮押し, 図3左上)と、回転しながらOzobotにぶつかって跳ね上がる動き(回転押し, 図3右上)である。伸縮押しは、図3左上の矢印1のように左方向へ縮みながら左方向へ移動し、その次に矢印2のよう

に元の幅に伸びながら元の位置に戻る動作を交互に繰り返している。力覚提示装置が振動する時間は0.8秒間である。伸縮押しは文献[8]にある、キャラクタがぶつかるときに縮む表現を参考に作成した。回転押しは、図3右上の矢印1のように回転しながらぶつかり、矢印2のように回転しながら跳ね返るといった動きを繰り返す。力覚提示装置が振動する時間は0.4秒間である。回転押しはタッチ！カービィ[9]のカービィの移動や攻撃の際に回転していること、攻撃を受けた際に跳ね上がることを参考に作成した。

引いている動き2種類は、CGキャラクタがOzobotを回転しながら引く動き(回転引き、図3左下)と、縮みながら引く動き(伸縮引き、図3右下)を作成した。回転引きは、まず図3左下の矢印1のように参加者に顔を向ける。次に矢印2のように回転しながら右に移動し、矢印3のように元の角度に戻りながら元の位置に戻る。その後、矢印2と矢印3を交互に繰り返す。力覚提示装置が振動する時間は0.6秒間である。回転引きは筆者間で議論を行い選定した。伸縮引きは、まず図3右下の矢印1のように参加者に顔を向ける。次に矢印2のように縮みながら右に移動し、矢印3のように元の高さに伸びながら元の位置に戻る。その後、矢印2と矢印3を交互に繰り返す。力覚提示装置が振動する時間は0.7秒間である。伸縮引きは文献[8]にある力を籠める表現に、キャラクタが縮む表現が使用されていたので参考にした。

予備実験として、これらの動きに違和感がないことを、大学オープンキャンパスでの展示と聞き取りで確認した。

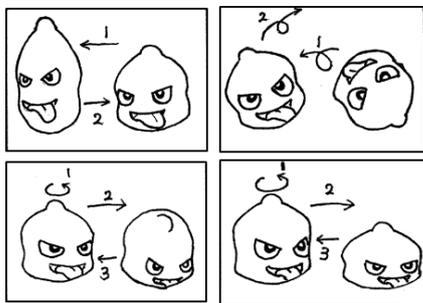


図3 CGキャラクタの動き

5. 実験

5.1 実験目的

CGキャラクタの動作による視覚提示と、Ozobotの振動による触覚提示を組み合わせることで生起する擬似触覚の効果を検証する。さらに、内観報告によって参加者のCGキャラクタの動作に対する解釈が、力覚方向の知覚に与える影響を明らかにする。

5.2 実験条件

先ほど述べた光学系設計を用いて実験を行った。

4.2CGキャラクタの動きの設計で説明した空中像で表示するCGキャラクタの動き4種類、XYプロッタを動かして提示するCGキャラクタの移動は3種類の条件を組み合わせ、計12パターンで評価した。CGキャラクタの大きさはOzobotの約1.2倍の大きさにした。CGキャラクタ

の移動の3種類のそれぞれの方向は、参加者から見て右からOzobotに向かう水平方向(a)と、参加者の右手手前から左手奥の方向(b)、参加者の右手奥から左手手前の方向(c)の3種類である。それぞれ角度は水平方向(a)を 0° とすると、bの角度は -45° 、cの角度は 45° である。移動距離はどの移動も15cmである。水平方向(a)の速度は2.1cm/sであり、それ以外の方向の速度(b,c)は1.7cm/sである。

Ozobotの位置は、CGキャラクタが最もOzobotに近づいた時、参加者から見てOzobotに触れる程度の位置にした。実験開始時に実験者が位置を合わせた。

Ozobotの振動は、参加者から見て左側へ50mm/sで10ms間進み、右側へ50mm/sで10ms間戻るといった動作を、交互に繰り返した振動である。振動開始のタイミングは、CGキャラクタがOzobotに力を籠め始めたタイミングである。

5.3 実験手順

実験では参加者にOzobotが力を加えていると感じた方向を回答させる方法にした。

実験前に、参加者の体や顔がタッチスクリーンの幅の中心に位置するように、椅子を移動させるよう参加者に指示をした。さらに参加者には、実験中は図1のようにOzobotを左手の親指と人差し指で軽くつかみ、肘をタッチスクリーンに軽く乗せる姿勢にするよう指示をした。その後実験に慣れさせるため、テストを1回行った。

実験時にCGキャラクタの動作をランダムに提示し、動作に合わせてOzobotを5回振動させたのちに、CGキャラクタの動作を終了させた。その後、タッチスクリーンにOzobotを中心に、放射線状にのびる矢印を $0^\circ \sim 360^\circ$ の範囲内で 45° 間隔に計8本表示し、感じた力覚の方向に近いものを回答させた。各動作終了後、参加者にCGキャラクタが、Ozobotに対してどのような動作をしているように見えたかを自由回答させた。試行回数は参加者1名に当たり全12パターンそれぞれ1回ずつの12回であり、参加者は10名(男性8名、女性2名)である。



(a)実験全体の様子



(b)矢印を提示する様子

図4 実験の様子

6. 結果

実験の結果を図5に示す。図中の縦軸は正答率、横軸はCGキャラクタの動作を表している。本実験における正答率は、4.2CGキャラクタの動きの設計の意図に合致した力覚の方向とした。例えばa方向でCGキャラクタが押す動作をした場合、力覚を感じる方向は図4(b)の矢印の番号の6番になる。

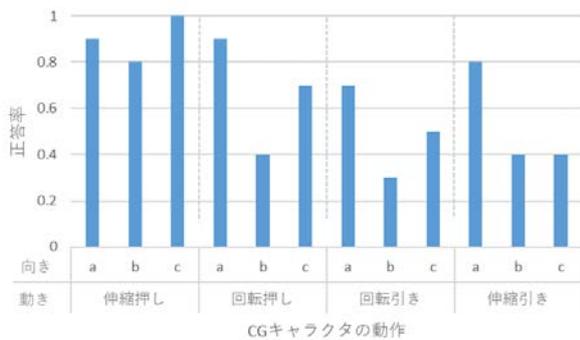


図 5 正答率

7. 考察

CG キャラクタの動きが伸縮押しのときの正答率は他の動きに比べて高いことは、CG キャラクタが Ozobot に触れる表現する時間と、振動時間に起因すると考えられる。伸縮押しは CG キャラクタが Ozobot に触れている視覚表現をする時間が、最も長い動き(1.5 秒間)であり、さらに振動の長さも最も長い(0.8 秒間)

CG キャラクタが力を加える向きが b のときの正答率が低いことは、CG キャラクタの位置と Ozobot の位置の距離に起因する。力を加える向きが b のとき、両者の距離が他の向きのときよりも離れてしまったことが原因に挙げられる。これは EnchanTable を用いると、実物体より手前側に空中像の結像ができなためである。よって、CG キャラクタの位置と力覚提示装置の位置が離れてしまうと、両者の対応関係が弱くなり、擬似触覚の効果が減少したためだと考えられる。

参加者が CG キャラクタの動作を、筆者が意図しない解釈で理解してしまったことにより、正答を導き出せなかった事例があった。伸縮押しかつ力の向きが a の向きの動作を提示した時、参加者 10 名の内 1 名のみが正答(矢印の番号 6 番)とは反対の方向である矢印の番号 2 番を選択した。その参加者は内観報告で、CG キャラクタが Ozobot を食いちぎっているように見えたと言った。そのため、矢印の番号 2 番の方向に力覚を知覚したことが予想される。したがって、参加者間で CG キャラクタの動作の解釈が異なる視覚表現でない、参加者に意図する力覚の方向を知覚させることが難しいと考えられる。

8. まとめ

本研究の目的は、CG キャラクタとのインタラクションを行う手法の設計である。そこで、空中像による視覚提示と、小型ロボットによる擬似触覚を組み合わせた。提示手法には、空中像の光学設計としてタッチスクリーンと、力覚提示に使用する小型ロボットを使うことができる EnchanTable[7]の設計を用いた。力覚提示手法としては、振動のみの力覚提示と、CG キャラクタの動作の視覚提示を

組み合わせて生じる擬似触覚を用いた。実験では、擬似触覚の効果の検証として、力覚の方向知覚を評価した。実験条件は、CG キャラクタの動き 4 種類と、力の向き 3 種類の計 12 パターンである。その結果、伸縮押しの正答率が他の動きよりも高いことが分かった。これは刺激提示時間が長い表現であることが理由として考えられる。したがって、CG キャラクタの動作映像による視覚提示によって、同一の振動提示にも関わらず、知覚する力覚の方向を変えられることが示唆された。

謝辞 本研究は、科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業 (さがかけ, JPMJPR16D5) によるものである。

参考文献

- [1] Niantic <http://www.pokemongo.jp> (2016)
- [2] Yasutoshi Makino, Yoshikazu Furuyama, Seki Inoue, Hiroyuki Shinoda: HaptoClone(Hapto-Optical Clone) for Mutual Tele-Enbironment by Real-time 3D Image Transfer with Midair Force Feedback, . CHI '16 Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.1980-1990, 2016.
- [3] 青木孝文, 三武裕玄, 浅野一行, 栗山貴嗣, 遠山喬, 長谷川晶一, 佐藤誠: 実世界で存在感を持つバーチャルクリーチャーの実現 Kobito-Virtual Brawnies-, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.11, No.2, pp. . 313-321, 2006
- [4] Hanyuool Kim, Issei Takahash, Hiroki Yamamoto, Satoshi Maekawa, Takeshi Naemura: MARIO: Mid-air Augmented Reality Interaction with Objects , Entertainment Computing 5, pp. 233-241, 2014.
- [5] 橋口哲志, 片岡佑太, 柴田史久, 木村朝子: R-V Dynamics Illusion: 実物体と仮想物体の異なる運動状態が重さ知覚に与える影響, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.21, No.4, pp.635-644, 2016.
- [6] Yuki Taima, Yuki Ban, Takuji Narumi, Tomohiro Tanikawa, Michitaka Hirose: Controlling Fatigue while Lifting Objects using Pseudo-haptics in a Mixed Reality Space, IEEE Haptics Symposium, pp.175-180, 2014.
- [7] 山本紘暉, 梶田創, 小泉直也, 苗村健: EnchanTable: テーブルの面の反射を用いた直立空中ディスプレイ, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.21, No.3, pp.401-410, 2016.
- [8] リチャードウィリアムズ(2004)『アニメーターズ・サバイバルキット』株式会社グラフィック社.
- [9] Nintendo <https://www.nintendo.co.jp/ds/atkj/> (2005)