



人形モーションキャプチャによる空中像キャラクターの操作

福岡 美結¹⁾, 安藤 将平¹⁾, 小泉 直也¹⁾

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

概要: 本研究では, 空中像の CG キャラクターの身体動作を平易に操作することを目的として, 人形モーションキャプチャと人の身体動作を組み合わせた融合的操作手法を提案する. これは人や人形の身体動作を介して CG キャラクターを操作する手法における課題であった, 空間移動の操作や複数部位の平易な同時操作が困難な点を解決しつつ, 空中像の特徴である飛び出す動きを平易にするものである. 本研究では, 操作手法を試作し, 操作可能なキャラクターの動きを検討した.

キーワード: 空中像, 人形, モーションキャプチャ

1. はじめに

人形や CG キャラクターは, 映像コンテンツやコミュニケーション・教育ツール・テーマパークのパフォーマンスなど様々な場面に使われ, 動作や表情などの振る舞いで魅力的に感情を表現する役割をになっている. このようなキャラクターたちをインタラクティブに操作しキャラクターの表現を豊かにすることはエンタテインメントやコミュニケーションにおいて重要である.

本研究では, ユーザーが人形に触れて操作することで空中像キャラクターの動作を操作するシステムを設計した. 具体的には, 人形をモーションキャプチャし空中像キャラクターの腕の動きや姿勢・空間的位置を操作することで, 空中像の CG キャラクターの様々な振る舞いを平易な操作で表現可能にすることを目指した.

人形や CG キャラクターの身体動作をインタラクティブに操作・表現する手法としては, 操作者の全身または上半身をモーションキャプチャする手法や人形の身体をインタフェースとする手法がある. 操作者の身体をモーションキャプチャする手法では, 自身の動きを直接キャラクターに反映させることができるが, 大きな空間移動をすることは困難である. 人形の身体をインタフェースとする手法では, 人形の身体形状を介してキャラクターの身体動作を操作できるが, 平易に同時操作できる身体の部位に限界があり, 空間移動の操作や複雑な身体動作の表現が難しい. また, これらの手法はロボットや人形, バーチャルキャラクターの操作手法であり, 空中像キャラクターの身体動作を操作するインタフェースは提案されていない.

本研究では, 空中像で表示した CG キャラクターを操作する手法として, 人形モーションキャプチャと人の身体動作を組み合わせた融合的操作手法を提案する. 具体的には, 人形の掌の位置および身体位置の操作と操作者自身の首の動作を組み合わせることで, 両腕と首の動作の同時操作と自由な空間移動を可能にし, 自由度の高い身体動作の実現を試みた.

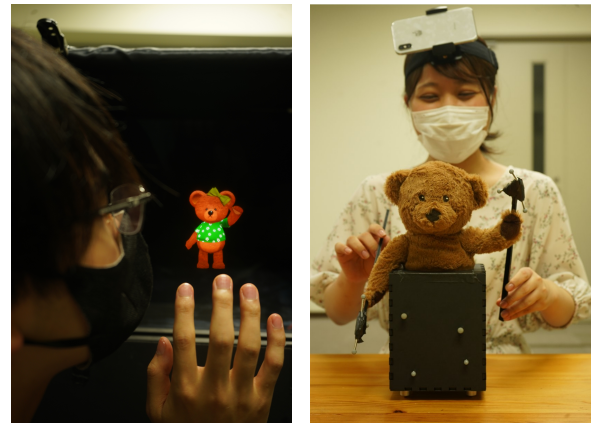


図 1: 本システムで空中像キャラクターを操作している様子

2. 関連研究

2.1 空中像光学系

空中像は, 光源から出た光が光学素子によって反射・屈折し, 空中に結像した像のことである. 空中像光学系として再帰透過光学系があり, Micro Mirror Array Plate (MMAP) [1], Aerial Imaging by Retro-Reflection (AIRR) [2] などがあげられ, 空中像を裸眼で観察できる.

再帰透過光学系によって表示された空中像は, 光源位置の移動により奥行方向に移動可能であるという特徴を持つ. 奥行方向を含む 3 次元空間で空中像を移動させるインタラクションとして Kim らの MARIO[3] があげられる. これは 3 次元のインタラクション空間に置かれたブロックのほとんど高い位置に空中像キャラクターが飛んでいくシステムであり, 空中像の奥行方向を含む 3 次元の動きを可能にしている. しかし, 空中像キャラクターの動作は身体位置の移動に限られており, キャラクターの腕や首の動作といった身体動作を操作するインタフェースは検討されていない.

2.2 身体動作を用いた CG キャラクターの操作手法

これまでに, CG キャラクターの身体動作をインタラクティブに操作する手法が多く提案されている. CG キャラクターの身体を別の身体に置き換えて操作する手法として,

操作者自身の身体を用いる手法と物理的な人形の身体を用いる手法がある。

操作者自身の身体を用いる手法として、モーションキャプチャシステムがあり、インタラクティブな用途ではライブ配信キャラクターやVRアバターなどに使われている。Leiteら [4] は身体動作を人形劇のコントローラーとし、人や動物のバーチャルシルエットをインタラクティブに操作する手法を提案している。しかし、操作者自身の身体をCGキャラクターの身体として操作する手法では、CGキャラクターの動作が操作者の身体能力内に制限されてしまう。

物理的な人形の身体を用いる手法として、関節にアクチュエータを搭載した人形を用いて身体動作を入力する手法が提案されている [5]。アクチュエータをぬいぐるみに内蔵し身体性を持たせた把持型の力覚提示装置 [6] やハンドパペット型 [7] のものがある。また、Johnsonら [8] はぬいぐるみのジェスチャーを入力として文脈を解釈したモーションを再生する手法を提案している。

これらの研究はバーチャル空間のキャラクターのための操作手法であり、空中像キャラクターの動作を操作する手法として Levitar [9] が提案されている。Levitar では鑑賞者の行動を観察しながらキャラクターの姿勢を操作することを可能にしている。しかし、この手法は首または姿勢の操作に限られており、腕や足の動作の操作はできない。

3. 空中像キャラクターの身体動作の仕様設計

提案するシステムでは、空中像キャラクターの腕の動作・首の動作・空間移動に伴う足の動作を可能にした。空中像キャラクターの身体動作は、人形劇の操作マニュアル [10] や着ぐるみの動きを参考に重要度の高い動作要素を決定し実装した。表現豊かなキャラクター操作を操作者1人で行うために、各動作要素をそれぞれ異なる方法で生成した。両腕の動作は物理的な人形を用いた操作、首の動作は操作者の首の動作による操作、空間移動に伴う足の動作はモーション再生によって生成した。

3.1 腕の動作

非言語コミュニケーションの1つであるジェスチャーにおいて、腕の動作は様々な状況を表現するための重要な要素である。たとえば、歓迎を表す手を振る動作・羞恥を表す目を隠す動作・驚きを表す口を手で覆う動作などがある。

腕の動作の多くが掌の位置に付随する動きであり、人形の掌の位置を操作することで自由度の高い腕の動きを表現可能である。棒遣い人形では人形の掌の部分に棒を取り付け、掌の位置を操作することで生き生きとした腕の動作を表現している。これより、システムの要件として掌の位置を検出することが必要となる。

3.2 首の動作

感情表現において首の動作は重要である。たとえば共感を表す首を縦に振る動作・興奮を表す首を激しく動かす動作・悲しみを表す首を前に倒す動作・否定を表す首を左右に振る動作などがある。これらの首の動作を表現するには、ロー

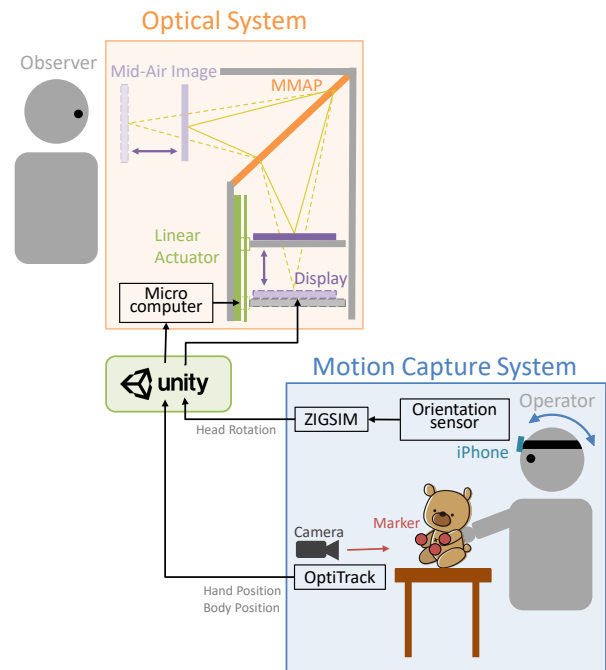


図 2: システムの流れ

ル（首をかしげる回転）・ピッチ（首を縦に振る回転）・ヨー（首を左右に振る回転）の3自由度が必要である。

提案システムではキャラクターの首の動作の操作を操作者自身の首の動作で行う。人形の首ではなく操作者の首の動作を用いるのは、人形の頭を動かして首を操作する方法では両腕の操作と同時に行うことが困難なためである。電話越しに思わずうなずいてしまうように、首の動作を操作者自身の頭を動かして操作することでより自然な動きが可能となる。

3.3 空間移動

空中像には奥行方向に飛び出す動きをさせることができるという利点があり、左右上下の2次元的な移動に加え、キャラクターが実空間上で近づく動きが表現可能である。空間移動によって、歩く動作やジャンプの動作が可能となる。

空間移動に伴い、歩行時の足の動作が必要である。身体の動きにおいて、腕や首といった上半身の動きは意識的な動きであるのに対し、下半身の動きは自動的な動きであるという考え [11] をもとに、足の動作は空間移動に伴う足のモーションを再生することで十分であると判断した。

4. システム構成

提案システムの全体構成を図2に示す。提案システムは大きく分けて、身体動作を入力する装置と空中像を表示する光学装置で構成される。身体動作入力装置によって検出された動きをCGキャラクターの動きに対応させ、光学装置によってCGキャラクターの空中像を表示している。

4.1 身体動作入力手法

身体動作入力装置によって、空中像キャラクターの腕の動作・空間移動・首の動作に対応する動きを取得する。

空中像キャラクターの腕の動作および空間移動の操作のために、操作する人形の掌の位置および全身の位置を光学的

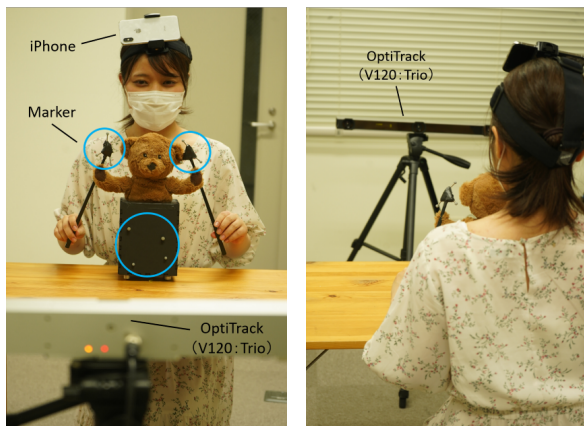


図 3: 身体動作入力装置

モーションキャプチャで取得する。光学式モーションキャプチャシステムには OptiTrack の V120:Trio を用いた。両腕の操作には、図 3 のように人形の掌に再帰性反射マーカを固定し、棒を介して操作した。棒を介した操作にすることで、マーカが人形や操作者の手で遮蔽されるのを防いだ。また、棒遣い人形と同じ操作手法を用いて操作性の向上を図った。空間位置の取得には、人形の全身位置のデータを安定して取得するために人形の下半身に箱を装着し、箱の前面にマーカを取り付けた。さらに、机上で動きやすくするために箱の下にはローラーを取り付けた。

空中像キャラクターの首の動作の操作を、頭に姿勢センサを装着した操作者が頭を動かすことで実現する。姿勢センサには iPhone に内蔵されたセンサを用いた。iPhone はヘッドバンドに固定され、首の 3 自由度の動作の操作が可能である。

4.2 CG キャラクターの身体動作の生成

身体動作入力装置によって取得した身体動作データを CG キャラクターの動きとして適用させた。CG キャラクターを動作させるプラットフォームとして Unity を用いた。

CG キャラクターの腕の動作の生成は、入力装置で取得した掌の位置・姿勢データをもとに IK (Inverse Kinematics) 制御で実現する。IK システムには Unity アセットの Final IK を用いた。取得した掌の位置が CG キャラクターの掌の位置に合うように、CG 空間のキャラクターのスケールを調整した。

また、CG キャラクターの空間移動は、入力装置で取得した人形の全身位置・姿勢データを CG キャラクターの位置・姿勢とすることで実現する。取得したデータは箱の前面の位置のデータであるため、CG キャラクターの中心位置に合うように補正した。

空間移動に伴う足の動作の生成は、キャラクターが前後左右の移動をしたときに歩くモーションを再生させることで実現する。このとき、移動速度に合わせて歩くモーションの再生速度を変化させる。

CG キャラクターの首の動作の生成は、iPhone の姿勢センサから取得した操作者の頭の姿勢データを CG キャラク

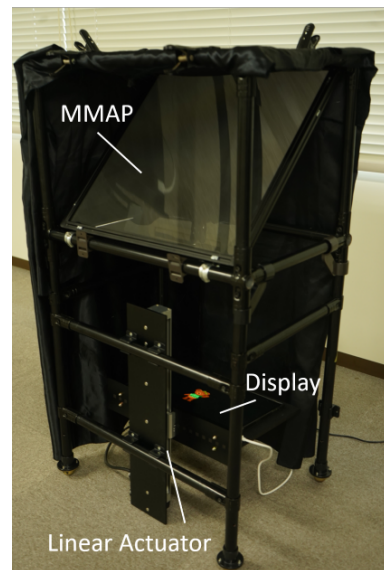


図 4: 光学装置 (装置側面の暗幕を取り除いたもの)

ターの首の回転値と対応させることで実現する。iPhone 内では、機器のセンサデータを取得するアプリケーションとして ZIG SIM を動作させる。取得したセンサデータは 60 fps の UDP 通信で Unity に送信される。

4.3 表示設計

空中像キャラクターを表示するための光学設計を図 2 の Optical System に示す。空中像を奥行方向に移動させる手法として、MARIO の手法を援用した。本システムはディスプレイ、MMap、暗幕、リニアアクチュエーター、マイクロコンピュータから構成される。マイクロコンピュータはリニアアクチュエーターとの通信に用いられる。リニアアクチュエーターに固定されているディスプレイを鉛直方向に上下させることで、空中像の結像位置を奥行方向に移動させる。また、キャラクターの上下左右の移動は、ディスプレイ上のキャラクターの 2 次元的位置を移動させることで行う。

実装した光学装置を図 4 に示す。用いた機器は以下の通りである。ディスプレイとして INNOCN PU15-PRE (15.6 inch, 3840 × 2160 px)、MMap として ASUKANET 製 ASKA3D-488 (488 × 488 mm, ピッチ幅 0.5 mm)、リニアアクチュエーターとして Orientalmotor 製 EAS4RNX-E040-ARAKD-1、マイクロコンピュータとして MKR ZERO を用いた。

5. 動作確認

提案システムによって操作可能な空中像キャラクターの身体動作の例を以下に示す。空中像キャラクターの腕の動作では、図 5 に示すとおり掌の回転と肘の曲げが可能であることを確認できる。また、空中像キャラクターの首の動作は図 6 のように 3 自由度で操作可能である。空中像キャラクターの奥行方向の移動では、図 7 に示すとおり足の動作と結像位置の変化を確認できる。また、図 8 のように横移動とジャンプの動作も可能である。そして、本システムでは

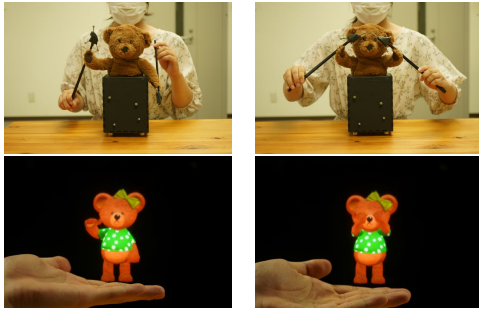


図 5: 空中像キャラクターの腕の動作の例

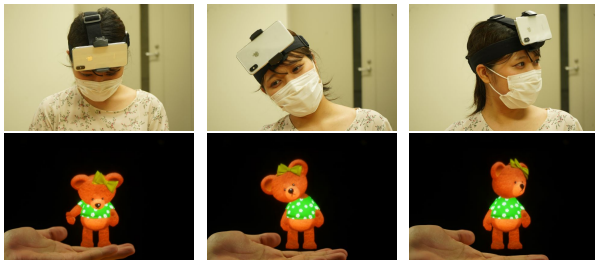


図 6: 空中像キャラクターの首の動作の例

これらの基本動作を組み合わせた同時操作も可能である。

6. おわりに

本稿では、実空間上で飛び出す映像を提示できる空中像の特徴を活かしたキャラクターの身体動作の操作手法として、人形モーションキャプチャと人の身体動作を組み合わせた融合的操作手法を提案した。空中像キャラクターの腕の動作および空間移動を物理的な人形の操作で行い、首の動作を操作者自身の首の動きと同期させることで実装した。提案手法によって空中像キャラクターの様々な身体動作を表現できることを確認した。

今後の展望としては、音声入力による CG キャラクターの口の動作の操作や顔認識による表情の操作、さらには鑑賞者の行動を認識し鑑賞者の視線を考慮した空中像キャラクターの操作があげられる。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP21K19821 の助成を受けた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] Satoshi Maekawa, et al. Transmissive optical imaging device with micromirror array. In *Three-dimensional TV, video, and display V*, Vol. 6392, pp. 130–137. SPIE, 2006.
- [2] Hirotsugu Yamamoto, et al. Floating aerial led signage based on aerial imaging by retro-reflection (airr). *Opt. Express*, Vol. 22, No. 22, pp. 26919–26924, Nov 2014.
- [3] Hanyuool Kim, et al. Mario: Mid-air augmented reality interaction with objects. *Entertainment Computing*, Vol. 5, No. 4, pp. 233 – 241, 2014.

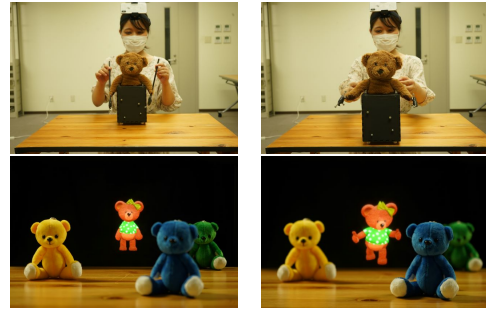


図 7: 空中像キャラクターの奥行方向の移動の例

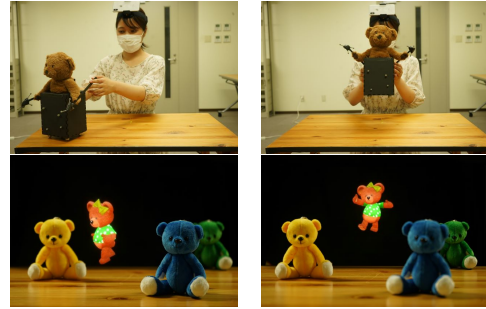


図 8: 空中像キャラクターの左右上下方向の移動の例

- [4] Luís Leite, et al. Shape your body: control a virtual silhouette using body motion. In *CHI'12 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1913–1918. 2012.
- [5] Wataru Yoshizaki, et al. An actuated physical puppet as an input device for controlling a digital manikin. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, p. 637–646, 2011.
- [6] 清水紀芳ほか. 保持型ロボティックユーザインタフェースの研究. *知能と情報*, Vol. 17, No. 2, pp. 212–221, 2005.
- [7] 小泉直也ほか. ハンドパペット型ロボティックユーザインタフェースの開発. *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol. 11, No. 2, pp. 265–274, 2006.
- [8] Michael Patrick Johnson, et al. Sympathetic interfaces: Using a plush toy to direct synthetic characters. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, p. 152–158, 1999.
- [9] Kei Tsuchiya, et al. An optical design for avatar-user co-axial viewpoint telepresence. In *2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, pp. 108–116, 2020.
- [10] Puppet Vision Dan Martin. Puppet manipulation. https://www.puppetvision.co.nz/site_files/11326/upload_files/Manipulationmaster.pdf?d1=1, 2007.
- [11] 稲見昌彦ほか. 自在化身体論 超感覚・超身体・変身・分身・合体が織りなす人類の未来. 株式会社エヌ・ティー・エス, 2021.