

顔認識と拡張現実を用いたキャラクターフィギュアの 表情変化とその応用

吉崎翔大^{†1} 飯田勝吉^{†2} 高井昌彰^{†2}

概要: 本研究では、アニメに登場するキャラクターを現実世界に表現した人形の一つであるキャラクターフィギュアに注目し、カメラ撮影されたキャラクターフィギュアが表情を変えながら発話の様子を実時間で描画する拡張現実アプリケーションを開発した。姿勢や表情が固定されたフィギュアに表情変化をとまなう発話動作を加えることで、仮想の存在であるキャラクターが実際にそこに存在しているかのように感じる実在感を高め、仮想と現実の効果的なインタラクションを生み出す可能性がある。フィギュアに表情変化を起こすためには、まず表情を付加するフィギュアの顔を認識する必要がある。そのため、人間に対して用いられる顔認識手法をもとに、フィギュアの顔認識を行い、顔パーツの輪郭抽出を行う。次に、顔パーツの輪郭周囲に3層メッシュモデルを構築し、その変形によって得られるモーフィング画像を撮影画像に重畳する。また、口形状の変形は発話内容とリップシンクさせる。本システムは、リアルタイムに体験可能なアプリケーションとして PC およびスマートフォンで実装し、これを用いてキャラクターフィギュアの実在感等に関する主観評価実験を行った。

キーワード: キャラクターフィギュア, 顔認識, 表情, 拡張現実

Face Morphing of ANIME Character Figures Using Face Detection and Augmented Reality

SHOTA YOSHIZAKI^{†1} KATSUYOSHI IIDA^{†2}
YOSHIAKI TAKAI^{†2}

1. はじめに

本研究は仮想の存在との親密さを高めるインタラクションの実現を目的としている。仮想の存在とのインタラクションとは、実在しない人物、あるいは漫画・アニメーションのような創作物に登場するキャラクターとのインタラクションである。仮想のキャラクターに対するインタラクションの例として、テキストを介したものではチャットボット、視覚的にキャラクターの姿と動きを見せるものものではキャラクターを3DCGのアバタで表示するものがある。

本研究では、実体を持った造形物のひとつであり、キャラクターの表情的な特徴が色濃く表現されているキャラクターフィギュアを媒体として用いることで目的の達成を試みる。キャラクターフィギュアそのものが実際に表情を変えながら話しかけてくるようにユーザーが感じ取ることができれば、仮想のキャラクターとのインタラクションがより親密になるものと期待する。

本稿では、カメラ画像からフィギュアをリアルタイムに認識して画像をモーフィングすることでフィギュアに表情変化をもたらす拡張現実システムの基本的手法とその実装詳細について述べ、そのシステムの利用における主観評価実験の結果を考察する。

2. 関連研究

2.1 現実では動かない物体に視覚的变化を与える技術

プロジェクションマッピングの技術を応用したシステムの一つに変幻灯[1]がある。これは投影画像で対象物体を上書きするものではなく、濃淡画像を重畳することで対象が変形しているように錯視させるものである。この手法では、顔領域において口角を上げたり目じりを下げるなど、対象を部分的に歪ませる変形は可能だが、開いている目を閉じるといったような隠滅的な変化を施すことはできない。

また、フィギュアの首の動きを錯視させる研究として[2]がある。フィギュアの前髪と顎によって生じる影を変化させることでフィギュアが首を振っているように見せかける。影はプロジェクターの光を操作することで変化する。この研究では、首を縦に振るか横に振るかによって「肯定」または「否定」の意思表示の可能性を検証している。

2.2 3DCGによるアバタを表示する拡張現実 (AR)

現実空間を撮影したカメラ入力画像への3DCGモデルの重畳は、現実空間とモデルとの幾何学的整合性を実現するための位置合わせ処理にARマーカーを用いたり、あるいは撮影画像から抽出される自然特徴点を利用することで実現されている。近年はマーカー認識・画像認識ライブラリ

^{†1} 北海道大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Science and Technology, Hokkaido University
^{†2} 北海道大学情報基盤センター
Information Initiative Center, Hokkaido University

が広く普及したことにより、簡易な AR アプリケーションの開発の敷居は下がっている。また赤外線センサーや複数のカメラによる視差を利用した深度計測が可能な携帯端末が登場しており、周囲の空間の形状を考慮して 3DCG モデルを重畳することが容易になりつつある[3]。

3DCG の重畳表示では、描画されるキャラクターの形状や動きに制約がなく、自由なキャラクターデザインが可能であるというメリットがある。しかしながら、そのキャラクターの実在感という観点においては、触覚再現と光学的整合性に困難さが存在する。重畳された CG は現実世界には存在しないため、対象に触れた際の触覚フィードバックにはグローブなどのデバイス装着が必要となり、手軽とは言えない。また、実時間で多様に変化する現実世界の照明環境に適応して、十分な光学的整合性を実現するように 3D モデルのレンダリングを行うことは一般的に容易ではない。

3. システムの概要

3.1 利用のイメージ

本システムの利用イメージを図 1 に示す。本システムはキャラクターフィギュアにカメラをかざすことによって、ディスプレイ越しにそのフィギュアが表情を変化させながら発話する様子を描画し、ユーザーとキャラクターフィギュアとのインタラクションを実現するものである[4,5]。本システムの動作環境としては Web カメラを接続した PC 並びにスマートフォンを想定している。また、画像出力デバイスとして通常のディスプレイに限らずビデオシースルー型 HMD の使用も可能である。

対象とするキャラクターフィギュアは一般的な 5cm 以上の身長サイズで、両目が開いており眼鏡などの遮蔽物がないものを前提としている。また、口についても手などの遮蔽物がないものが望ましい。

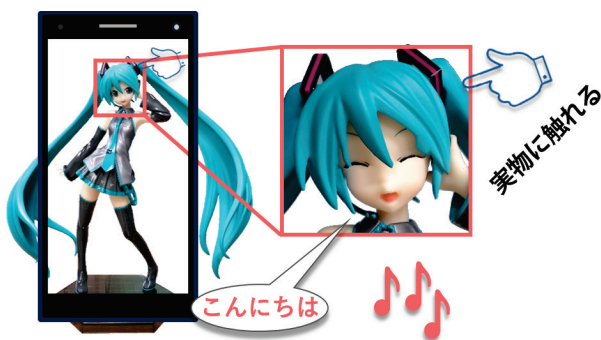


図 1 システムの利用イメージ

Figure 1 An overview of the system

撮影対象フィギュア:キャラクター・ボカル・シリーズ 01 初音ミク,
株式会社グッドスマイルカンパニー, © Crypton Future Media, Inc.

3.2 表情の定義

3.2.1 顔パーツ形状の基本パターン

本システムにおいて表現可能なフィギュア表情の形状について述べる。変形された目の形状には、3 種類（閉じる、微笑む、ジト目）を定義している（図 2）。前提として目を開いたフィギュアを対象としているため、変形結果として閉じた形状のみが必要である。口の形状は発話動作に必要な日本語母音の 5 音に対応する形状と開閉の計 7 種類を定義している（図 3）。

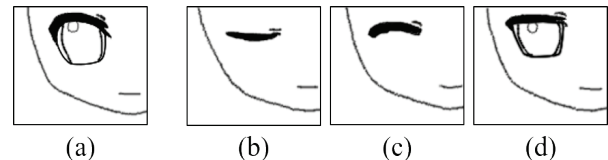


図 2 目の形状パターン（右目例）

(a)元形状 (b)閉じる (c)微笑む (d)ジト目

Figure 2 Morphed shape patterns of eyes (right eye)

(a) base (b) closed (c) smile (d) scornful

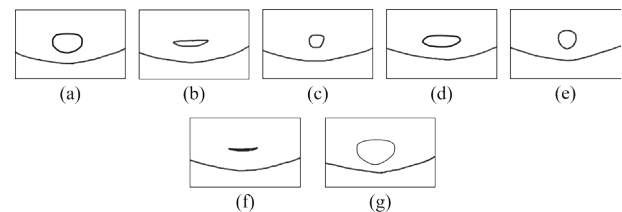


図 3 口の形状パターン

(a)あ (b)い (c)う (d)え (e)お (f)閉 (g)開

Figure 3 Morphed shape patterns of mouth

(a) a (b) i (c) u (d) e (e) o (f) closed (g) open

3.2.2 表情のパターン

フィギュアの表情は顔パーツ形状の組み合わせとその時間的変化で定義される。目の表情パターンは表 1 の定義に従う。口の表情パターンは発話文に対応して変化する。

表 1 目の表情変化パターン

Table 1 Patterns of eyes expression

パターン名	右目形状	左目形状	速度
瞬き	閉じる	閉じる	短
閉じ	閉じる	閉じる	長
微笑み（短）	微笑む	微笑む	短
微笑み（長）	微笑む	微笑む	長
ジト目（短）	ジト目	ジト目	短
ジト目（長）	ジト目	ジト目	長
右ウィンク	微笑む	なし	短
左ウィンク	なし	微笑む	短

3.3 実体に対するインタラクション

フィギュアの撮影画像に写りこむユーザーの指先を認識し、その位置をもとにしたフィギュアとのインタラクションを実現する。フィギュアの顔に指先を運ぶことでフィギュアを撫でる動作を示すとキャラクターは喜びの表情を表す。また、目を覆う位置にあるときには悪戯に相当する動作として認識され、キャラクターは不快な表情を表す。

4. システムの実装

4.1 実装概要

本システムの処理フローを図 4 に示す。

初めに表情変形対象のフィギュアを設定する初期化処理を行う。初期化処理ではカメラ画像から検出したフィギュアの顔から口の開閉状態を識別する。そして、口形状に対応する顔パーツ認識用の識別器からフィギュアの顔形状を取得する。最後に顔形状に応じた表情テンプレートを構築することで初期化処理を終える。

初期化が終了すると主要処理に入る。システムはカメラ画像からフィギュアの顔と、変形する部分である目と口、並びに顎の輪郭を認識する。取得した輪郭からモーフィング処理のために平面のメッシュを構成し、カメラ画像をテクスチャとして貼り付ける。メッシュは変形パーツの特性に応じて階層的に配置する。最後に、表情決定処理を経てメッシュを変形し、カメラ画像上に重畳描画する。

システムの実装は主に C++ を用いた。描画 API にはマルチプラットフォームでの動作と表情変形にメッシュを用いていることから OpenGL を選択した。

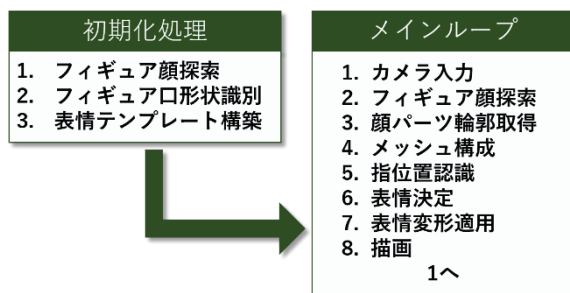


図 4 システムの処理フロー

Figure 4 Processing flow of the system

4.2 顔領域検出

フィギュアの顔領域検出には LBP 特徴量に基づいたカスケード分類器[6,7]を用いた。分類器は OpenCV 付属のツールで作成する。分類器を作成するための学習データとしては、任意のキャラクターフィギュアの顔位置をラベル付けした正例画像を 5,000 枚（顔領域数）とフィギュアを含まない負例画像 7,000 枚、及びそれらを左右反転した画像データを用いた。

4.3 口形状識別

本システムはフィギュアの口の開閉状態により顔パーツ認識と描画処理が異なる。そのため初期化処理で対象とするフィギュアの口形状を識別する。口形状の識別には SVM を用いた。

4.4 顔パーツ認識

本システムにおけるフィギュアの顔パーツ認識とは、フィギュアの撮影画像からフィギュアの目、口、顎の輪郭を取得する処理を意味している。輪郭は頂点列で表現される。唇がある人間の口形状と異なり、デフォルメされたアニメ調であるフィギュアでは閉じた口が単純な一本の曲線で表現されることが多く、口の開閉状態により画像的特徴が大きく異なる。そのため、取得する輪郭はフィギュアの口の元形状に依存して 2 種類定義されている（図 5）。

ここで、輪郭を形成する各頂点をフィギュアの顔画像の特徴点とする。目の特徴点数は 9、顎輪郭は 5 である。また口の特徴点数は開閉状態によって異なり、開いた状態での特徴点数は 8、閉じた状態では 3 である。これらの特徴点は 2 次元平面上にあるので、口を閉じた顔のモデルは 52 次元、口を開いた顔のモデルは 62 次元のベクトルとして表現される。

撮影画像だけで認識可能なキャラクターフィギュアの範囲に制約を設けないためには、フィギュア毎の事前のモデル定義を行わず、汎用性のある特徴点抽出手法を用いることが必要である。また、本システムではキャラクターフィギュアとユーザーが対面してインタラクションを行うことを想定しているため、フィギュアの顔はカメラのほぼ正面にあり、回転の影響は限定的であると仮定した。

そこで本研究では特徴点抽出に Constrained Local Models (CLM)[8]を用いた。CLM は特徴点列を、特徴点の位置に関する知識を持つ形状モデルと各特徴点周辺の画像的知識を持つパッチモデルで表現する。形状モデルは各フィギュアの特徴点列のバリエーションに対して主成分分析を行って次元圧縮されたモデルであり、フィギュア群の顔の平均形状と固有ベクトルである。パッチモデルは特徴点ごとに生成される。パッチモデルはフィギュアの顔画像内での適切な特徴点の位置を探索する識別器の集合である。本システムでは SVM を用いて特徴点ごとの探索を行う。

パーツ認識では、はじめに検出した顔領域に対して初期頂点モデルを割り当てる。割り当てられた位置からパッチモデルに基づいて各頂点が周囲を探索し、評価値の高い位置へと移動する。不適切な頂点の探索を抑制するために形状モデルを適用して全体形状を補正する。以後の入力フレームでは直前の探索結果を初期状態として探索を続ける。

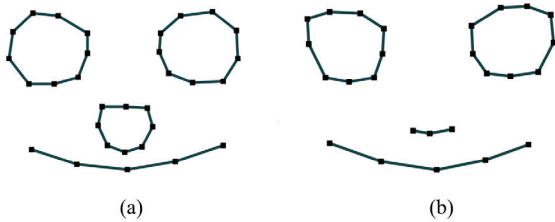


図 5 顔頂点定義 (a)口が開いている (b) 口が閉じている
Figure 5 Defined vertices on a figure's face
(a)Open Mouth (b)Closed Mouth

4.5 表情テンプレート

デフォルメされたキャラクターフィギュアでは、キャラクターの性格付けはパーツの形状の特徴として表現される。例えば、釣り目は強気な性格を、たれ目は穏やかな性格を表している。このパーツ形状の基本的な特徴を瞬きなどの表情変形後も保持することによって、そのキャラクターの性格付けを損ねない表情変形が実現できると考えられる。そこで、本システムは認識したフィギュアの顔形状に応じて表情の形状パターンテンプレートを構築する。

4.4.1 目

目の特徴としてまぶたの傾斜を用いる。目の特徴点からまぶたの両端の点の組をもとに勾配を求める(図 6)。上まぶたの勾配を m_{upper} 、下まぶたの勾配を m_{lower} とする。このとき目の形状テンプレートに適用する勾配 $m_{template}$ を以下の式で定義する。

$$m_{template} = k(\alpha m_{upper} + (1 - \alpha) m_{lower})$$

$$0 \leq k \leq 1, 0 \leq \alpha \leq 1$$

ここで係数 k はフィギュアの目のまぶたの勾配を考慮する度合いを表すパラメータである。係数 α は下まぶたに対する上まぶたの勾配の重みである。

形状テンプレートのパラメータ値を表 2 に示す。瞬き及び微笑みはまぶたを閉じた表情であるため、上まぶたと下まぶたの双方の影響が大きいと考え、係数 α は上まぶたにやや重みがある程度に設定している。またジト目では下まぶたの影響が少ないことから、係数 α は上まぶたに重きを置いた値に設定している。ただし、ジト目は上まぶたの勾配が少ない表情であるので係数 k により勾配を抑えている。

図 7 は $m_{template}$ に基づく形状パターンの配置の例である。勾配 $m_{template}$ の直線を基準線として形状パターンを適用する。直線の配置位置は上まぶたと下まぶたのそれぞれの頂点列からなす重心間の距離の縦方向成分の大きさ h を用いて設定する。瞬きと微笑みの直線の縦方向の配置位置はフィギュアの目の頂点列の重心から h の 10% 分だけ上方に移動させている。これは上まぶたの変動量が大きいと歪みも大きくなるためである。ジト目は目を深く閉じないので基準線の配置位置は目の頂点列の重心から h の 40% 分上方に設定している。

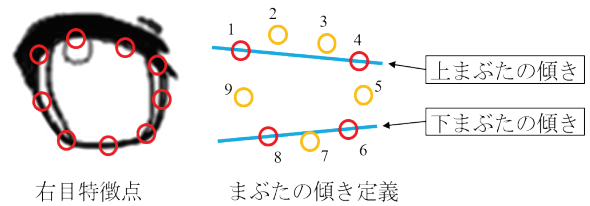


図 6 まぶたの傾き
Figure 6 The gradient of the eyelid lines

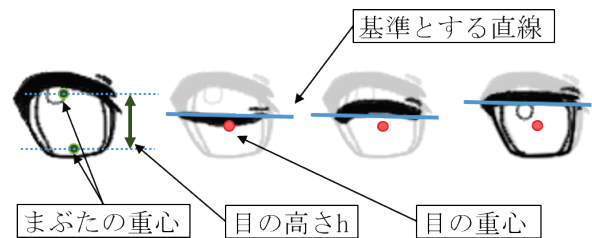


図 7 形状テンプレート例
Figure 7 Examples of expression shape patterns

表 2 目の形状テンプレートのパラメータ

Table 2 Parameters for eyes expression templates

パターン名	k	α
瞬き	1.0	0.6
微笑み (短)	1.0	0.6
ジト目	0.5	0.8

4.4.2 口

口の形状パターンについてはフィギュアの元の顔形状に影響されないものと想定している。従って予めシステム内に用意された口形状パターンを、識別したフィギュアの口の位置と大きさに基づいて単純に配置する。

4.6 モーフィングのためのメッシュ構成

3DCG モデルのキャラクターではモデル全体を構成するメッシュの頂点位置を個々に移動することで 3 次元形状を変化させている。本システムでは変形部位にのみ 2 次元のメッシュモデルを生成して頂点を移動することで画像をモーフィングする。

図 8 はフィギュアの顔の特徴点列から構築されるメッシュの例である。目と口それぞれの領域に対して、輪郭の内側のメッシュと、外側に向けて 3 層のエッジを有するメッシュを構成する。輪郭の外側のメッシュの頂点数は、目領域が 27 点、口領域が 24 点である。口を閉じたフィギュアの場合には取得した 3 点から位置を推定してメッシュを構成する。

表情変化時におけるメッシュ各頂点の移動方法の例を図 9 に示す。最も外側の頂点を固定し、最も内側の頂点を決定された表情の目標形状になるように移動する。中間のエッジの頂点は最も内側の頂点の移動量に従って同量の移

動を行う。これにより目の輪郭に近い領域に含まれるまつ毛などの特徴的部分の形状を保持しつつ、領域周囲の皮膚の伸縮を表現している。



図 8 目と口のメッシュ

Figure 8 Meshes of eyes and mouth

撮影対象フィギュア

左: SNOW MIKU 2014 雪祭初音鑑 入場記念チャーム」(©Crypton Feature Media, Inc.)

右: ねんどろいど ぶち 魔法少女リリカルなのは The MOVIE 1st フェイト・テストロッサ (私服)」(©NANOHA The MOVIE 1st PROJECT)

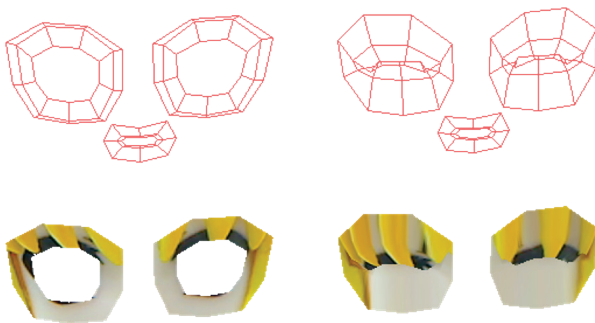


図 9 メッシュの頂点の移動

Figure 9 Vertices move on the mesh

撮影対象フィギュア: 同図 8 右

4.7 指位置検出

フィギュアと共にカメラに写りこむユーザーの指先やペン等を認識するため、同色の領域を有する細長い物体を対象とする色域追跡を行う。本システムでは CamShift 法を用いた。

色域追跡では初期位置と色を指定する必要があるため、ユーザーは最初に追跡対象の初期位置を設定する操作を行う必要がある。検出した色域のバウンディングボックスの短辺中央点のうち、フィギュアの顔領域に近いものを指の先端として扱う。

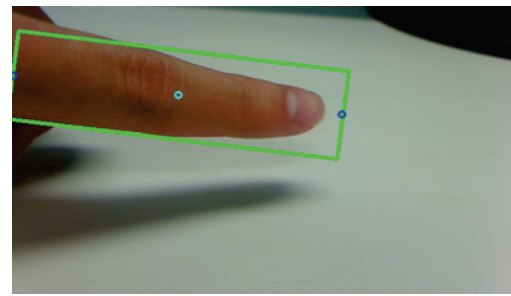


図 10 検出した指の矩形領域

Figure 10 Bounding box of detected finger area

4.8 表情決定

本システムの現段階での実装では、目の表情は表情パターンの中からランダムに選択される。また、口の形状は発話文と同期するように変化する。発話文は予めシステムに登録されているデータベースからランダムに選択される。発話文は画面表示のためのテキストと口形状を定義したデータから構成されている。

加えて、任意の表情の変化を定義したモーションデータによって楽曲と同期してフィギュアが歌っているような動作を行うことも可能である。

ユーザーとのインタラクションとしては、指の認識位置に基づいて、喜びや不快を示す表情を見せることができる。

4.9 描画

描画処理において、フィギュアのカメラ撮影画像は OpenGL のテクスチャとして取り扱う。モーフィングのメッシュは概念的には 3 次元空間内に階層的に配置される。最背面に入力画像 (カメラ画像) を配置し、その上に平面のメッシュを並べる。目領域は背景、瞳のメッシュ (輪郭の内側)、まぶたのメッシュ (輪郭の外側) の順に配置し、まぶたが瞳を覆う構造を形成する。口領域は背景、口の輪郭外側のメッシュ (唇がある場合とない場合がある) と口の輪郭内側のメッシュの順に配置する。目領域と異なる配置順序とする理由は、口の内側のメッシュを覆い隠さずに輪郭外側のメッシュとともに変形を施すからである。

口を閉じたフィギュアの場合は口の輪郭内側のメッシュに予め作成した口テクスチャを適用する。口テクスチャは複数のフィギュアの口画像を平均化した画像である。

5. 評価・考察

5.1 表情変形・実行結果

本システムによる表情のモーフィング結果を図 11、図 12 に示す。これらはフィギュアの顔並びにパーツ認識が適切に行われた場合の結果である。目にかかる前髪を変形から除外する処理は行っていないことによる歪みが現在の課題である。

使用したキャラクターフィギュアは、図 11 が株式会社グッドスマイルカンパニーの「ねんどろいど ぶち 魔法少

女リリカルなのは The MOVIE 1st フェイト・テストロッサ (私服) (©NANOHA The MOVIE 1st PROJECT), 図 12 が「SNOW MIKU 2014 雪祭初音鑑 入場記念チャーム」(©Crypton Future Media, Inc.) である。撮影に使用したカメラは Logicool 2-MP Portable Webcam C905m (解像度 VGA) である。

システムは Windows のアプリケーションとして実装し、Core-i5 6200U(2.3GHz)を搭載したノート PC で 30fps を実現した。

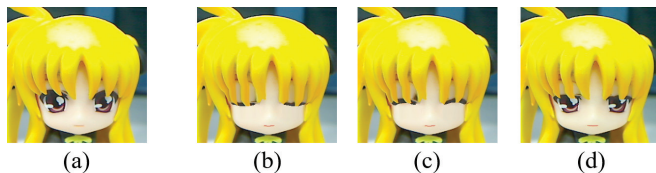


図 11 目の変形結果

(a)元形状 (b)閉じる (c)微笑む (d)ジト目

Figure 11 Results of morphed eyes

(a)base (b)closed (c)smile (d)scornful

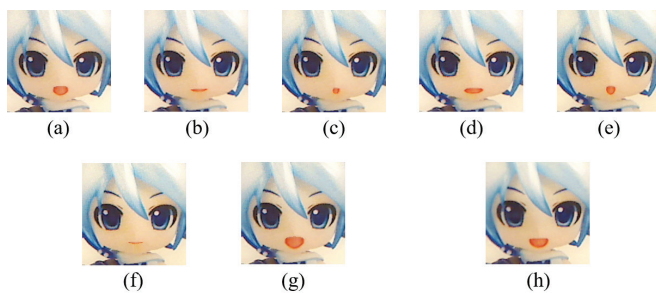


図 12 口の変形結果

(a)あ (b)い (c)う (d)え (e)お (f)閉 (g)開 (h)元形状

Figure 12 Results of morphed mouth

(a) a (b) i (c) u (d) e (e) o (f)closed (g)open (h)base

5.2 システムの主観評価

5.2.1 比較対象と評価項目

以下の既存手法 (A) と本システム (B) を比較して、キャラクターとのインタラクションにおけるユーザーの印象がどのように異なるかをアンケートによって検証した。

- A) 表情を変える 3DCG のアバタを AR 表示するシステム
- B) 実体のあるフィギュアの表情をモーフィングで変化させる AR システム

システム A 及び B について以下の 1 と 2 の動作を被験者が体験し、その後にアンケートを行う。

1. キャラクターの発話と表情変化を見る
2. 指で触れたときのキャラクターの反応を見る

アンケートの評価項目は以下の 3 点である。各項目について 5 段階評価 (A, やや A, 同等, やや B, B) と自由記述を求めた。

- (ア) どちらのアプリケーションが面白いと感じたか
- (イ) どちらのキャラクターに対して親しみを感じたか
- (ウ) どちらのキャラクターに対して実在感や存在感を感じたか

5.2.2 実験方法

実験環境を図 13 に示す。タブレット PC に接続したカメラをユーザーに向けてことでディスプレイを鏡に見立てている。3DCG のアバタを表示するシステム A は、アバタの位置同定のためにカメラに向けられたマーカー画像をもとに 3DCG モデルを重畳描画する。システム A はゲームエンジン Unity で開発した。システム B はカメラに向けられたフィギュアの顔をモーフィングし、表情を変化させる。

キャラクターとしては初音ミクを用いた。初音ミクはキャラクターのライセンスに二次創作が許可されているため、個人による 3DCG モデルの公開及び入手が他のキャラクターより容易であったので採用した。初音ミクの 3DCG モデルには 3DCG アニメーション作成及びレンダリングツールである MikuMikuDance[9]向けのモデルである“箔鳥居”氏が作成した「MikuMikuDance 用モデル 初音ミク 1052C-Re Ver.1.8a」[10]を使用した。実体のフィギュアは株式会社グッドスマイルカンパニーの“キャラクター・ボイス・シリーズ 01 初音ミク” (© Crypton Future Media, Inc. ALL RIGHTS RESERVED) を使用した。

被験者は実験前にシステム A 及び B の使用方法の説明を受けている。ユーザーの指先によるインタラクションのための初期位置設定等の操作は実験者の指示により行った。

5.2.3 実験結果と考察

20 代前半の 9 人を被験者にした 5 段階評価の結果を表 3 に示す。各項目に対して、比較対象に比べておおむね本システムが有用であると評価された。

「項目 (ア) どちらのアプリケーションが面白いと感じたか」では、自由記述に以下の回答を示している被験者から、やや A (既存システムの方が良い) という評価を受けている。

- フィギュアに触れる機会がない
- モーフィングの描画が不自然

一方、「項目 (イ) どちらのキャラクターに対して親しみを感じたか」では、システム B (本システム) の方により親しみを感じたという評価が高く、システム B を好評価する被験者の自由記述の例としては、以下の意見が見られる。

- 目の前のフィギュアに触れて反応を見ることができたから
- 撫でた時に触覚にフィードバックがある分、よりリアルにコミュニケーションが取れたと感じた

「項目 (ウ) どちらのキャラクターに対して実在感や存在感を感じたか」についても、上記の項目 (イ) と同様の意見が被験者から得られている。実際に目の前にキャラクターの存在を感じ取れたことで、キャラクターに対する親

しみも増しているものと考えられる。

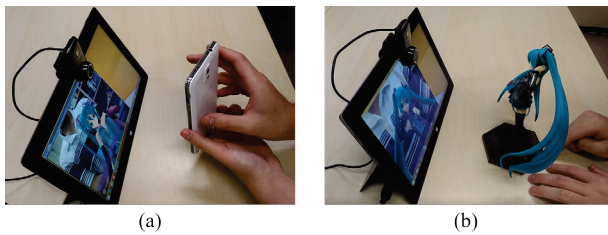


図 13 主観評価実験の環境
(a)3DCG のキャラクター (b)フィギュア

Figure 13 Environment for evaluation experiments

(a) 3DCG Character

表 3 主観評価実験の結果
(A:3DCG アバタ, B:本システム)

Table 3 Results of the subjective evaluation

項目	A	やや A	同等	やや B	B
(ア)	0	2	0	1	6
(イ)	0	1	0	6	1
(ウ)	0	0	0	3	6

6. まとめと今後の課題

本稿では仮想のキャラクターとの親密なインタラクションの実現を目指すため、キャラクターフィギュアの表情をモーフィングで変化させる拡張現実システムを開発し、主観評価実験による検証を行った。限定的な被験者グループではあるが、本システムによってキャラクターに対して親しみと実感が向上する可能性を示唆する結果が得られた。

今後の課題としては、主観評価における被験者数の増加に加え、フィギュアの認識精度の定量的評価、モバイルデバイス実装での評価実験、ユーザーのシチュエーションに対応した発話内容及び表情の多様化等があげられる。

参考文献

- [1] “世界で初めて、写真や絵に動きを与える不思議な照明『変幻灯』を開発”。
<http://www.ntt.co.jp/news2015/1502/150217a.html>, (参照 2017-12-24)
- [2] Yoshihisa Ishihara, Kazuki Kobayashi, and Seiji Yamada.. Behavioral Expression Design onto Manufactured Figures, Proc. of HAI '16, ACM, NY, USA, pp.243-244 (2016)
- [3] “iPhone 8 and iPhone 8 Plus: A new generation of iPhone”.
<https://www.apple.com/newsroom/2017/09/iphone-8-and-iphone-8-plus-a-new-generation-of-iphone/>, (参照 2017-12-24)
- [4] 吉崎翔大, 高井昌彰: “キャラクターフィギュアの表情変化を伴う AR コミュニケーションシステム”, 第 15 回情報科学技術フォーラム (FIT2016), J-021, Vol.3, pp.317-318 (2016)
- [5] 吉崎翔大, 高井昌彰: “キャラクターフィギュアに表情変化と発話動作を付加する拡張現実システム”, 情報処理学会第 79 回全国大会, 7Y-05, Vol.4, pp.263-264 (2017)
- [6] P. Viola and M. Jones.. Rapid object detection using a boosted

cascade of simple features. Proceedings of CVPR 2001. 2001, vol. 1, p. 511-518

- [7] T. Ojara, M. Pietikainen and T. Maenpaa.. Multiresolution gray-scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2002. Vol. 7, p. 971-978
- [8] Xiaoguang Yan.. “Constrained Local Model for Face
- [9] Alignment, a Tutorial Version 0.7”.
<https://sites.google.com/site/xgyanhome/home/projects/clm-implementation/>, (参照 2017-12-24)
- [10] 樋口優: “MikuMikuDance”. <http://www.geocities.jp/higuchuu4/>, (参照 2017-12-24)
- [11] 箔鳥居: “MikuMikuDance 用モデル 初音ミク 1052C-Re Ver.1.8a”. <https://bowlroll.net/file/10219>