3D キャラクタのスケッチベース表情生成手法

Sketch-based Synthesis of Facial Expression for 3D Character Models

大場 誉幸[†], 正会員 土 橋 宜 典^{††}

Takayuki Oba[†] and Yoshinori Dobashi^{††}

あらまし CG による 3D キャラクタの表現は映画やアニメ、ゲームなど多くの場面で用いられており、感情の表現や自然な演出のために表情アニメーションが実現されている。しかし、そのような自然な表情の生成は容易ではなく、手作業により時間をかけて作成しているのが現状である。そのため、その作業を軽減する手法が数多く開発されている。しかし、それらの各手法は 3D ソフトに関する知識や技術を熟知していなければ、思い通りの表情を作成することは難しい。そこで本研究では、ユーザにより与えられる 2D スケッチから 3D キャラクタの表情を生成する手法を提案する。ユーザは、目的とする口や目の形をスケッチとして与えるだけで、3D モデルを操作することなく、さまざまな表情を作成することができる。

キーワード：CG, 表情アニメーション, ブレンドシェイプ

1. ま え が き

近年、映画やゲームなどの CG 映像作品においては、3D キャラクタの映像表現は欠かせない要素となっている。その際、3D キャラクタによる豊かな感情を表現するためには、様々な表情を合成することが求められる。そのため、3D キャラクタの表情アニメーションを生成する手法は多く存在し、Autodesk MAYA¹⁾ などの商用のソフトウェアにも関連した機能が搭載されている。

そのような機能のなかでもブレンドシェイプは映像制作現場において多用されており、表情合成の代表的かつ有効な手法として知られている。この方法では、事前に用意した様々な表情を表す複数の 3D モデルの線形和として多様で自然な表情を合成できる。しかし、その習熟には長い時間がかかり、不慣れなユーザが多くのパラメータを操作し、思い通りの表情を作ることは難しい。また、そもそも事前に用意されていない表情を合成することは難しい。この場合、顔のメッシュを直接操作して変形することで表情を作成する必要があり、極めて煩雑な作業となってしまう。

本稿では、上記の問題を解決するため、2 次元スケッチから 3D キャラクタの表情を合成する方法を提案する。本研究は、ブレンドシェイプ法に基づく表情アニメーションの制作を行う初心者から専門のアニメーターまで幅広いユーザ全般を想定している。ブレンドシェイプや関連ソフトウェアに不慣れなユーザにとっては、スケッチ入力により簡単

に自然な表情合成を行うことができる。一方、それらに熟知したユーザであっても、事前に用意されたブレンドシェイプのみでは表現できない新しい表情をスケッチ入力によって直感的かつ簡便に作成できる。

提案手法では、ブレンドシェイプを拡張した Direct Manipulation Blendshape²⁾ と Laplacian Surface Editing³⁾ を組み合わせる。ユーザは 3D キャラクタの口や目など、表情の表現に重要な要素の形を画面上に 2 次元のスケッチとして描く。提案システムは、スケッチと 3D キャラクタモデルとの対応関係を計算し、Direct Manipulation Blendshape により自動的に 3D モデルの表情を生成する。しかし、ユーザにより与えられたスケッチに完全に一致する表情が事前に用意された表情の組み合わせで表現できるとは限らない。そこで、まず、ユーザの描いたスケッチに可能な限り一致するようブレンドシェイプに関するパラメータの最適化を行う。その後、Laplacian Surface Editing を用いて局所的な補正を施すことで、目的とする表情を合成する。これにより、口や目などの特徴的な部分に関する形状を直接指定するだけで自然な表情の合成を可能とする。

本研究では与えられた単一の視点から観察した場合の表情を合成することを第一の目的とする。実際、3 次元 CG のセルアニメ等への応用においては、特定の方向から見た場合のみを考慮した表情合成が行われることも多く、そのような用途への利用を念頭に置いている。したがって、指定した視点と異なる方向から観察した場合には不自然な表情が生成されることがある。複数の視点位置から見た映像を制作する場合は、提案法を視点位置ごとに適用し、その間を補間することが考えられる。

以降、2 節で関連研究の解説を行った後、3 節において

2020 年 10 月 8 日受付, 2021 年 2 月 15 日再受付, 2021 年 4 月 13 日採録

[†] 北海道大学大学院 情報科学院

(〒060-0814 札幌市北区北 14 条西 9 丁目 TEL 011-706-6531)

^{††} 北海道大学大学院 情報科学研究院

(〒060-0814 札幌市北区北 14 条西 9 丁目 TEL 011-706-6531)

提案手法の基礎となるブレンドシェイプについて概説する。そして、4節にて提案手法について詳しく述べる。5節にて提案手法を用いた実験結果と考察について述べ、最後に6節でまとめを行う。

2. 関 連 研 究

本節では、スケッチベースでの顔の表情操作に関する既存研究について議論する。ユーザに与えられる二次元スケッチを入力として、3D キャラクタモデルの顔形状を変化させる研究は多く存在する。

Cetinaslan らの手法⁶⁾では、スケッチ操作によって顔の表面に曲線を描き、その曲線をユーザが操作することで、それに合わせて曲線付近のメッシュを変形させることができる。この手法では、本稿の提案手法と同様にブレンドシェイプによる変形を行っており、煩雑なブレンドシェイプのパラメータ操作を直感的に行うことができる。しかし、提案手法のようにスケッチに正確に合わせるということには注目しておらず、変形の目安としてスケッチを利用しているのみにとどまっている。また、ブレンドシェイプを用いているため、事前に用意されていない表情を合成することは難しい。

Nealen らの手法⁷⁾では、Laplacian Surface Editing³⁾を用い、スケッチに合わせてメッシュ形状を変形することができる。この手法では、ユーザのスケッチに対して、正確にメッシュを変形できる。しかし、スケッチとして与えられた曲線付近しか変形されず、口や目など、表情に表現に重要な部分のみのスケッチを与えるだけでは不自然な顔形状が生成されてしまう。そのため、自然な表情を合成するためには、多数のスケッチを指定して顔を表すメッシュを細かく編集しなくてはならず、手間がかかる。

Han らの手法⁸⁾では、深層学習によってスケッチと同じ表情をした顔モデルを生成することができる。この手法は、2次元スケッチから3次元の顔モデルを生成することが目的であり、与えられた顔モデルの表情の編集には適していない。

3. ブレンドシェイプ

本節では、提案手法の基礎となるブレンドシェイプの概要を述べる。ブレンドシェイプは、3D モデルの表情変化や筋肉変形アニメーションなどに多用されている。さまざまな表情が表現された形状モデルを事前に複数用意する。これらをターゲットモデルと呼ぶ。ターゲットモデルの頂点数はすべて同一とする。そして、これらのターゲットモデルの線形和によって新しい表情を作成する。それぞれの形状を加算する際の係数をブレンドシェイプウェイトと呼ぶ。

本稿では、ターゲットモデルの数を n_b とし、 i 番目のターゲットモデルの j 番目の頂点を $\mathbf{v}_{ij} = (x_{ij}, y_{ij}, z_{ij})$ と表す。また、 i 番目のターゲットモデルの全頂点をまとめたベクトルを $\mathbf{B}_i = (\mathbf{v}_{i1}, \dots, \mathbf{v}_{in_v})^T$ (n_v は頂点数) と表す。この

とき、ブレンドシェイプによって表現できる表情は次式によって表される。

$$\mathbf{S}(\mathbf{w}) = \bar{\mathbf{B}}\mathbf{w} + \mathbf{S}_0 \quad (1)$$

ここで、 $\mathbf{S}_0$ は初期状態として与える平均的な表情を表すメッシュ形状を表す。 $\bar{\mathbf{B}}$ および $\mathbf{w}$ は、それぞれ、次式により与えられる。

$$\bar{\mathbf{B}} = \left(\mathbf{B}_1, \dots, \mathbf{B}_{n_b} \right), \quad \mathbf{w} = \begin{pmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_{n_b} \end{pmatrix} \quad (2)$$

$\mathbf{w}$ はブレンドシェイプウェイトをまとめたベクトルである。

4. 提 案 手 法

本研究の目的は、ユーザにより与えられるスケッチに一致する自然な表情を合成することである。提案手法では、これを実現するため、Direct Manipulation BlendShape²⁾とLaplacian Surface Editing³⁾を組み合わせる（以降、それぞれ、DMB および LSE と略す）。DMB はユーザの指定した制約条件を満たすようブレンドシェイプウェイトを計算する方法で、本研究では、ユーザにより与えられるスケッチを制約条件として用いる。このとき、スケッチに合わせて表情の変形を行うためには、モデルの頂点がそれぞれスケッチ上のどの位置に対応するかを決める必要がある。これをモデルとスケッチとの対応関係と呼ぶ。提案手法では、できるだけスケッチとの誤差が小さくなるよう最適な対応関係を算出する。また、DMP 法によって得られる表情はターゲットモデルの線形和で表現されるため、ユーザに与えられるスケッチに完全に一致した表情が合成されるとは限らない。そこで、DMB で生成した顔形状に対して、部分的に LSE を適用することで、自然な表情を保ったままユーザのスケッチに一致した表情合成を実現する。

提案手法の概略を図1に示す。ユーザは目的の表情を表す口や目の輪郭形状をスケッチとして入力する。提案手法は入力されたスケッチ形状に一致する自然な表情を合成する。ただし、3次元モデル上の口や目を表す頂点列は事前に指定されているものとする。以下、本節では、スケッチの入力方法(4.1節)、スケッチを制約としたDMBによる表情合成(4.2節)、LSEによる変形(4.4節)について説明する。

4.1 ユーザのスケッチ入力

ユーザは透視投影により表示された3D キャラクタモデルに対して、口の形状など、目的の表情を表すスケッチを入力する。スケッチはマウス操作により画面上で2次元曲線を描くことで入力する。

提案法では、まず、入力されたスケッチを3次元モデル上に投影する。このとき、ポリゴン数を削減することで微小な凹凸を排除して作成した転写用モデルの表面に投影す

図 1 提案手法の概要.

る. 具体的には, 画面上の2次元曲線を一定間隔でサンプリングし, 各サンプル点と視点位置を結ぶ直線と転写用モデルとの交点を求める. そして, 各交点を結ぶNURBS曲線を生成することで, 3Dモデルの表面に曲線を生成する. 以降, この処理によって生成された曲線をスケッチ曲線と呼ぶ. スケッチ曲線をDMB(4.2節)とLSE(4.4節)での変形のための目的位置として利用する.

なお, 本研究では, ユーザは顔の輪郭線の外部にスケッチを描画する場合は考慮していない. これについては, 例えば, Nealsen らの手法⁷⁾を利用することで対応できると思われる. ただし, 輪郭外部に配置されたスケッチの奥行座標の決定については検討の余地が残るため, 今後の課題としたい.

図 2 転写の例. (a) 変形させたい 3D モデル. (b) (a) から作成した投影用モデル. (c) スクリーンと入力スケッチ.

4.2 ブレンドシェイプによる表情合成

スケッチ曲線の各点を目的位置としてDMB²⁾により変形を行う. DMBは, 目標位置を与えてブレンドシェイプウェイトを自動計算する手法で, ブレンドシェイプによる直感的な変形を可能とする. 提案手法では, この方法を応

用し, モデル上の頂点群が対応するスケッチ曲線上の各点に近づくようブレンドシェイプウェイトを計算する.

具体的には, 以下の式を最小化するブレンドシェイプウェイト $\mathbf{w}$ を最小二乗法により求める.

$$E(\mathbf{w}) = \sum_{p \in M} \|\bar{\mathbf{B}}_p \mathbf{w} - \mathbf{s}_q\|^2 + \alpha \|\mathbf{w}\|^2 \quad (3)$$

$$\bar{\mathbf{B}}_p = \begin{pmatrix} \mathbf{v}_{1p}, \dots, \mathbf{v}_{nbp} \end{pmatrix}, \quad (4)$$

ここで, M は口や目などの輪郭を構成する頂点で, モデル上のスケッチに一致させたい頂点の集合を示す. 以降, これらの頂点を注目頂点と呼ぶ. 前述したとおり, 注目頂点はあらかじめユーザが指定する必要がある. $\bar{\mathbf{B}}_p$ は注目頂点 p に対応する全てのターゲットモデルの頂点座標 $\mathbf{v}_{ip}$ をまとめたベクトル, $\mathbf{s}_q$ は注目頂点 $\mathbf{v}_p = \bar{\mathbf{B}}_p \mathbf{w}$ に対応する入力スケッチ上の点の座標, α はユーザの指定する係数を示す. 式3は変形後の注目頂点の位置がスケッチにできるだけ近く, ブレンドシェイプウェイトがより小さい場合に最小となる. 式3の最小化は連立一次方程式の解に帰着され, 高速に解くことができる²⁾. 提案手法では, 3Dモデル上での注目頂点は事前に与える. 口や目, 眉を構成する頂点を注目頂点として指定する. 各注目頂点に対応するスケッチ曲線上の点 $\mathbf{s}_q$ は次節に述べる方法により最適な対応関係を求めることで算出する.

あらかじめ適切なブレンドシェイプが登録されていれば, スケッチに合わせた変形によって顔全体の形状も変化する. これによってスケッチによって直接指定されていない箇所についても疑似的に筋肉や歯の動きを再現することができる(図3). しかし, 与えられたスケッチ曲線と完全に一致した形状を得ようとする, 図3(c)のように顔全体の形状が崩れてしまう. そこで, ブレンドシェイプウェイトの値に上限と下限を設け, スケッチ曲線と注目頂点との一致度を操作するパラメータ(式3中の α)を0.1に設定することで, 入力スケッチとの一致度は低い, 顔全体として自然な表情のメッシュを作成する.

図 3 (a) 事前に用意されたターゲットシェイプ. 口が開くと顎の位置も下がる. (b) 入力スケッチ(赤線)を用いたDMB法による変形例. (c) パラメータ α を大きくして一致度を高めた例. 入力スケッチとの一致度は高くなるが, 顔全体の形状が破綻している.

4.3 スケッチ曲線と注目頂点との対応関係の計算

DMB および次節で説明する LSE を適用するためには、注目頂点 $\mathbf{v}_p$ とスケッチ曲線上の点 $\mathbf{s}_q$ との対応関係 $R = \{(p, q)\}$ を求める必要がある。不適切な対応関係を用いると破綻した顔形状が生成されてしまう (図 5(a) 参照)。そこで、変形後の注目頂点位置がスケッチ曲線にできるだけ一致するような対応関係を求める。類似の問題に対する解決策として、Sederberg らの手法⁴⁾ が挙げられる。この手法では二つの 2 次元閉曲線間の対応関係を求めている。しかし、この手法では曲線間の幾何学的特徴しか考慮されておらず、表情の自然さは評価できない。本研究では、ブレンドシェイプ法によって合成された顔形状の下で曲線間の類似性を評価することこの問題を解決する。すなわち、提案手法は、式 3 と曲線同士の幾何学的類似性を同時に最適化することで最適な対応関係を求める。以下に詳しく説明する。

提案手法は以下に示す最小化問題を解いて対応関係 R を決定する (図 4 参照)。

$$\arg \min_{(p,q) \in R} \frac{1}{n_p} \sum_p \|\mathbf{v}_p - \mathbf{s}_q\|^2 + c \|\theta_p - \theta_q\|^2 \quad (5)$$

ここで、 $\mathbf{v}_p$ は対応関係 R を用いて 4.2 節の処理を行った後の注目頂点位置、 θ_p は $\mathbf{v}_p$ とその隣接頂点を結ぶベクトル間のなす角、 θ_q は同様に $\mathbf{s}_q$ でのなす角を表す (図 4(a) 参照)。また、 n_p は注目頂点の数である。式中の c は重み係数を示し、本手法では $c = 400$ とした。式 5 の第一項は注目頂点座標とスケッチ曲線との位置の誤差を表し、第二項は注目頂点に対応するスケッチ曲線上の点における曲率の誤差に相当する。式 5 の最小化問題を解くためには、 p と q の全ての組み合わせについて 4.2 節の処理による誤差評価を行って最適な対応関係を求める必要がある。しかし、この処理には非常に高い計算コストがかかってしまう。そこで、提案手法では以下の方法により探索の効率化を図る。

まず、口や目、眉を表す注目頂点の中で特徴的な点をそれぞれ二点ずつ指定する。例えば、口角に相当する二点、目がしらと目じり、眉の両端点などを事前に指定しておく (図 4(b))。そして、これらの特徴的な二点についてのみスケッチ曲線上の対応点を探索する。それ以外の点については等間隔にスケッチ曲線上に対応点を生成する。以下では、口の形を例にとって説明する。目や眉などについても、それぞれ、同様の処理を施す。いま、口の輪郭を表す 3D モデル上の注目頂点を $\mathbf{v}_p^m (p = 1, \dots, n_p)$ とする。このうち、口角を表す二点を $\mathbf{v}_k^m$ および $\mathbf{v}_l^m$ とする。次に、スケッチ曲線上に n_q 個のサンプル点 $\mathbf{s}_q (q = 1, \dots, n_q)$ を生成する。そして、式 5 を最小化するように、 (k, l) に対応するスケッチ曲線上のサンプル点 (q_k, q_l) を求める。この場合、考えられる対応点の組み合わせの数は $n_q \times n_q$ となる。この中から、 $\mathbf{v}_k^m$ と $\mathbf{v}_l^m$ の位置関係が反転するような対応関係は排除する。また、 $\mathbf{s}_{q_k}$ と $\mathbf{s}_{q_l}$ の距離が指定した値より小さくな

るような対応関係も排除する。その後、スケッチ曲線を粗くサンプルしてより少ないサンプル点を用いて全探索を行い、暫定的な最適解を求める。この暫定的な最適解を初期解として、より密なサンプル点による高精度な探索をネルダーミード法により行い、最終的な最適解を算出する。

図 4 (a) 注目頂点とスケッチ曲線の対応関係の計算。(b) 顔全体の注目頂点と特徴的な点。

図 5 (a) 誤った対応関係を用いた例。(b) 提案手法により最適化を行った例。

図 5(b) は以上の方法により最適化を行った結果を示している。スケッチ曲線によく一致した顔形状が得られていることがわかる。計算時間について検討を行った結果を表 1 に示す。使用した計算機は、Intel Core i7-8565U 1.8GHz (CPU) および 16GB メモリを搭載した PC である。注目頂点数を変更した場合について計算時間を計測した。比較として、スケッチのサンプル点数を 30 として全探索のみを行い、対応関係を求めた場合でも計測を行った。ただし、提案手法では、初期探索で用いるスケッチのサンプル点数は 15 としている。いずれの場合も提案手法がより精度の高い結果が得られており、また、約 2 倍から 3 倍の高速化が達成されていることがわかる。また、注目頂点の数は計算時間にあまり影響を与えないことがわかる。

表 1 計算時間の比較。目的関数値は式 5 の収束値を示す。

注目頂点数	全探索 [s]		提案手法 [s]	
	処理時間	目的関数値	処理時間	目的関数値
4	6.10	537	2.33	464
8	7.03	227	2.98	207
12	7.69	221	2.46	189

4.4 Laplacian Surface Editing を用いた変形 DMB による変形を行った後、より入力スケッチと出力

メッシュとの一致度を向上するために、LSE³⁾を用いた変形を行う。この手法では、凹凸などの3Dモデルの詳細を維持したまま、指定した頂点の移動に追従した変形を実現できる。提案手法では、注目頂点の周辺の頂点に限定してLSEによる変形を行う。周辺頂点は、注目頂点から指定した距離以内に存在する頂点とした。これによって、DMBによって得られた顔全体の自然な形状を崩すことなく、入力スケッチに忠実に合わせた局所的な変形が可能になる。

具体的には、まず、各頂点 $\mathbf{v}_i$ に接続する頂点の位置の平均との差を用いて、次の式に示すラプラシアン座標 $\mathcal{L}(\mathbf{v}_i)$ を定義する。

$$\mathcal{L}(\mathbf{v}_i) = \mathbf{v}_i - \frac{1}{d_i} \sum_{j \in \mathcal{N}_i} \mathbf{v}_j \quad (6)$$

ここで、 d_i は頂点 $\mathbf{v}_i$ に接続する頂点の数、 $\mathcal{N}_i$ は頂点 $\mathbf{v}_i$ に接続する頂点の集合を示す。そして、4.3節の方法により求めた注目頂点と入力スケッチとの対応関係を用いて、以下の式が最小になるよう変形後の頂点座標 $V' = (\mathbf{v}'_1, \dots, \mathbf{v}'_{n_v})$ を求める。

$$E(V') = \sum_{i \in M_{all}} \|T_i(V')\delta_i - \mathcal{L}(\mathbf{v}'_i)\|^2 + \sum_{p \in M} \|\mathbf{v}'_p - \mathbf{s}_p\|^2 + \sum_{p \in M'} \|\mathbf{v}'_p - \mathbf{v}_p\|^2 \quad (7)$$

ここで、 T_i は回転や拡大・縮小を示す変換行列、 $\mathbf{s}_p$ は注目頂点 p に対応するスケッチ曲線上の点、 M_{all} および M はそれぞれ全頂点の集合および注目頂点の集合を示し、 M' は周辺頂点と注目頂点以外の頂点を示す。 δ_i 、 $\mathcal{L}(\mathbf{v}'_i)$ はそれぞれ変形前および変形後のラプラシアン座標を示している。これによって、指定した頂点が目的位置に近くなり、かつ全ての頂点についてできるだけラプラシアン座標の変化が少なくなるような変形が可能になる。図6にこの方法によって変形を施した例を示す。

図6 (a) 4.2節の処理のみを行った場合。(b) LSEを適用した場合。赤線は入力スケッチを示す。

5. 実験結果・考察

提案システムの実装はAutodesk Maya2019¹⁾を用いた。また、性能評価のためにインターネット上で公開されている3Dキャラクタモデル⁵⁾を使用した。使用したモデルには、口角を上げる、口を開く、唇を持ち上げる、などのブレンドシェイプターゲットモデルを登録した。

5.1 評価実験

DMB(4.2節)とLSE(4.2節)を併用する効果について

検証する(図7参照)。図7(b)は図7(a)にDMBのみを適用した結果である。口の動きに合わせて頬や目も変形し、顔全体が違和感なく変化しているが、赤線で示した入力スケッチとの一致度は低い。次に、図7(c)にLSEのみを適用した結果を示す。この場合、入力スケッチとの一致度は高いが、顔全体が補正されることはなく、違和感のある形状になっている。これは、この処理が3Dモデルの凹凸のみを考慮した局所的な変形であり、顔全体としての表情は考慮されないためである。図7(d)は両者を併用した結果である。入力スケッチと一致し、なおかつ顔全体の形状が違和感なく変形している。図7(b)、図7(d)について、口の形状を表す3Dモデル上の注目頂点とスケッチ曲線をスクリーンに投影し、その差分面積を計算した。スクリーン上でのスケッチ曲線のバウンディボックスに対してそれぞれ、7.2%、1.7%であり、数値的にもLSEを併用することの妥当性が示されている。

図7 比較結果の例。図中の赤線は入力スケッチの形を示す。

5.2 応用例

提案手法を用いて、漫画調のキャラクタモデルなどで用いられる誇張された表現についても実験を行った(図8)。いずれも、図の左側がDMBのみを適用した結果、右側が提案法による結果を示している。図8(a)および(b)は、それぞれ、波打った口形状と口角のみを極端に引き下げた形状が指定されている。これらの形状はあらかじめ登録してあるターゲットモデルでは想定されていないため、DMBのみでは入力スケッチとは異なった形状となっている。提案手法によりLSEと併用することで与えられたスケッチ形状に一致した形状が表現されていることがわかる。

次に、図9は、口だけでなく、目や眉についてもスケッチを入力し、顔全体の表情を合成した結果である。このとき、複数の注目頂点列に対し、ラベルを付与することで口・目・眉、それぞれのスケッチとのマッチングを行い、それぞれ提案法を独立に適用した。これにより、表情に関する特徴的な部位についてのスケッチを与えるだけで、顔全体としてユーザの求める表情を合成できることがわかる。

図10は、さまざまな方向からスケッチを指定した例を示している。図10(a)および(b)は、それぞれ、横方向および下方向から観察した場合にも口の形状がよくわかるような指定を行っている。いずれの場合もスケッチに一致した自然な顔形状が得られている。ブレンドシェイプのみではこのような形状は生成できない。図10(c)は、図10(a)

に示す顔形状を正面から観察した画像であるが、不自然な形状とっていることがわかる。このような場合には、改めて正面から指定しなおす必要がある。

最後に、提案手法をアニメーション生成に用いた例を図 11 に示す。スケッチを与えて新たに作成した表情を新しいターゲットモデルとして登録して作成し、ブレンドシェイプ法のみを用いて生成した。新しい表情を含む自然なアニメーションを生成できる。このアニメーションのフレーム数は 24 で、フレーム 0,5,10 にそれぞれスケッチによって得られる表情を登録した。作成には 3 分程度を要した。

図 8 漫画的な誇張表現。赤線はスケッチ入力。左側は 4.2 節の処理のみ、右側は提案手法による結果。4.2 節の処理だけでは再現が難しい形状も提案手法により再現が可能。

図 9 (a) 顔全体にスケッチ曲線 (赤線) を入力した例。 (b) 提案手法によって変形した様子。

(a) 横側から入力。 (b) 下側から入力。 (c) (a) の正面画像。

図 10 様々なアングルからスケッチを入力した例。

6. む す び

本稿では 入力スケッチに完全に一致し、なおかつ顔形状として自然な表情モデルを生成する手法を提案した。提案手法では、Direct-Manipulation Blendshapes²⁾ と Laplacian Surface Editing³⁾ という二つの手法を併用することで、この目的を実現した。入力スケッチと 3D モデルの最適な対応関係を計算する方法についても提案した。

今後の課題として、提案手法の高速化が考えられる。アニメーションの作成現場での活用を考えると、アニメータ

図 11 提案手法を用いて作成したアニメーションの例。赤線は入力スケッチの形を示す。

がスケッチを描画しながらリアルタイムに顔形状が変形されれば、ユーザが納得のいくまでスケッチを描き直すことが容易になり、利便性が著しく向上する。また、提案手法では、3D モデルの口や眉などを構成する注目頂点を事前に指定する必要がある。これらの注目頂点を自動的に決定することも今後の課題である。Nealen らの手法⁷⁾ らの手法により動的に輪郭線を生成する手法の利用が考えられる。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP20H05954 の助成を受けたものです。

〔文 献〕

- 1) “Autodesk MAYA”, <https://www.autodesk.co.jp/products/maya/overview> (2019)
- 2) J.P. Lewis, Ken Anjyo: “Direct manipulation blendshapes”, IEEE Comput. Graphics & Appl. Mag. **30**, 4, pp.42-50 (July 2010)
- 3) O. Sorkine, D. Cohen-Or, Y. Lipman, M. Alexa, C. Rössl, H.-P. Seidel: “Laplacian Surface Editing”, In Symposium on Geometry Processing, ACM SIGGRAPH / Eurographics pp.179-188 (July 2004)
- 4) Thomas W Sederberg and Eugene Greenwood. 1992. “A physically based approach to 2-D shape blending”, ACM SIGGRAPH Computer Graphics **26**, 2, pp.25-34 (1992)
- 5) “Vincent For Blender 2.8x Eevee and Cycles Render”, <https://cloud.blender.org/p/characters/5718a967c379cf04929a4247> (2016)
- 6) Ozan Cetinaslan, Verónica Orvalho: “Direct Manipulation of Blendshapes Using a Sketch-Based Interface”, Web3D '18: Proceedings of the 23rd International ACM Conference on 3D Web Technology, 14, pp.1-10 (June 2018)
- 7) Andrew Nealen, Olga Sorkine, Marc Alexa, Daniel Cohen-Or: “A Sketch-Based Interface for Detail-Preserving Mesh Editing”, SIGGRAPH '07: ACM SIGGRAPH 2007 courses, pp.42-(August 2007)
- 8) Xiaoguang Han, Chang Gao, Yizhou Yu: “DeepSketch2Face: A Deep Learning Based Sketching System for 3D Face and Caricature Modeling”, ACM Transactions on Graphics **36**, 4, Article 126 (July 2017)

おおば たかゆき
大場 誉幸 2020 年、北海道大学工学部卒業。2020 年、同大学情報科学院に入学。

どい よしのり
土橋 宣典 1992 年、広島大学工学部卒業。1994 年、同大学院工学研究科博士課程前期修了。1997 年、同大博士課程後期修了。同年、広島市立大学情報科学部助手。2000 年、北海道大学大学院工学研究科助教授。2004 年、同大学院情報科学研究科助教授。2008 年、同大学院情報科学研究科准教授。2020 年、同大学院情報科学研究科教授。工学博士。主としてコンピュータグラフィックスに関する研究に従事。正会員。