

## ホモトピー掃引法に基づく曲面変形を用いた口唇表情の生成

足立 裕昭 田中 弘美

立命館大学 理工学部 情報学科 コンピュータビジョン研究室

{ adachi, hiromi }@cv.cs.ritsumeai.ac.jp

あらまし イメージ系の視覚情報を中心とした臨場感通信は次世代3次元画像通信として社会的に大きな期待がかけられている。このためコンピュータビジョン等の分野において顔表情の分析・合成の研究が精力的に進められている。本論文では、ホモトピー掃引法に基づく曲面変形により、時系列顔画像からサンプリングされた少数の口唇輪郭と、輪郭に沿って計測された3次元速度ベクトルを用いて、自然で滑らかな3次元口唇表情を効率的に生成する手法を提案する。本研究の対象とする口唇表情は、口と唇周辺の環状筋（口輪筋）の変形により生成されている。そこで本論文では、従来的一般化円筒生成のためのホモトピー掃引法を、その中心軸を空間軸から時間軸に置き換えることにより、つまり、2次元輪郭の空間的連続変形から時間的連続変形に置き換えることにより、滑らかに形状を変形させる曲面変形法に拡張した。次に、環状の口輪筋とその変形を、輪郭線とその変形に対応させることにより、筋肉構造とその動きを考慮した滑らかで効率的な3次元口唇表情を生成する。最後に提案手法を実時間口唇表情生成システムに応用し、その有効性を確認した。

キーワード：ホモトピー掃引法，曲面変形，3次元表情アニメーション，口唇表情

## Homotopy based Surface Deformation for Mouth/Lips Expression Generation

Hiroaki ADACHI Hiromi T. TANAKA

Computer Vision Laboratory, Dept. of Computer Science, Ritsumeikan University

{ adachi, hiromi }@cv.cs.ritsumeai.ac.jp

**abstract** Recent study of facial expression has been received growing attention in the fields of human interface, virtual reality and computer vision. In this paper, we propose a smooth surface deformation method based on the homotopy sweep technique, which deforms a surface by interpolating continuous transition using coarsely sampled time-varying cross-section contours with three dimensional velocity vectors. The homotopy sweep method was originally proposed for solid surface generation using the continuous transition among a set of two cross-section contours. In this work, we extend the homotopy sweep method applicable only to solid surface generation, to be applicable to surface deformation by replacing the interpolation along "the space-trajectory" by that of "time-trajectory". We then successfully apply the proposed method to real time animation of mouth/lips expression. Experimental results demonstrate the efficiency and robustness of the proposed method for real time mouth/lips animation. **Key words:** Homotopy Sweep Method, Surface Deformation, 3D Facial Expression, Mouth/Lips Expression

## 1 はじめに

イメージ系の視覚情報を中心とした臨場感通信は次世代3次元画像通信として社会的に大きな期待がかけられている。このため、コンピュータビジョンやヒューマンインターフェースの分野では、顔表情の分析・合成の研究が精力的に進められている。3次元画像通信における画像の送受信は、VR技術に基づくモデルベース符号化の実現であり、対象の幾何構造とその動きの特徴を簡潔に記述し、忠実に再現する効率的な3次元モデルが必要である。つまり、顔動画像を対象とした場合には、送信側と受信側で対象人物の3次元モデルを共有し、送信側では表情の変化の分析を行い、受信側では分析結果に基づき、対象の3次元モデルを変形することにより、忠実な顔表情を効率的に再現する立体視画像を合成する必要がある。

顔表情の代表的な研究として、心理学の分野において顔表情の分類のために提案されたFACS (Facial Action Coding System) が挙げられる [1]。FACSは、顔表情筋の位置と動きの方向を顔表面に現れる変化を基に分類した運動単位 (AU: Action Unit) から成り立っている。FACSに基づき任意の表情を生成するためには、必要なAUを選択し、その動きを定量的に指定する必要がある [2]。しかし、顔表情を生成している眼、鼻、口、頬などの主要な顔部品を構成する筋肉構造やその動きの複雑さは均一ではなく、各部品毎に異なった特徴を持っている。特に、眼領域のように複雑な感情や意志の変化情報が凝縮されている領域では、モデルの3次元形状変形のみにより微妙な表情変化を実時間で再現するには限界がある [3, 4]。

また口唇表情を表した視覚情報が、音声認識に重要な役割を果たしていることが報告されている [5, 6, 7]。つまり、発話時における口形状やその動きを表した視覚情報の存在が、音声認識の精度に大きな影響を与えている。したがって口唇表情生成においては、口唇領域の筋肉構造とその動きに基づいて、正確な3次元口唇形状を効率的に再現することが必要とされる。

そこで本論文では、ホモトピー掃引法 [8] に基づく曲面変形により、時系列顔画像からサンプリングされた少数の口唇輪郭と、輪郭に沿って計測された3次元速度ベクトルを用いて、自然で滑ら

かな3次元口唇表情を効率的に生成する手法を提案する。本研究の対象とする口唇表情は、口と唇周辺の環状筋 (口輪筋) の変形により生成されている。そこで本論文では、一般化円筒生成のためのホモトピー掃引法を、その中心軸を空間軸から時間軸に置き換えることにより、つまり、2次元輪郭の空間的連続変形から3次元遷移方向の情報を用いた時間的連続変形に置き換えることにより、滑らかに形状を変形させる曲面変形法に拡張した。次に、環状の口輪筋とその変形を、輪郭線とその変形に対応させることにより、筋肉構造とその動きを考慮した滑らが効率的な3次元口唇表情を生成する。

以下、2. でまず従来のホモトピー掃引法 [8] を示す。3. で scaling 関数の拡張による自由曲面の生成、4. でホモトピー掃引法に基づいた曲面変形法への拡張、5. で提案手法の口唇領域への応用を示し、6. で実行結果を示す。

## 2 ホモトピー掃引法

ホモトピー掃引法は、位相幾何の分野で定義されたホモトピーと、CADの分野で使用される掃引の技術を統合した一般化円筒生成法として提案された [8]。位相幾何の分野においてホモトピーは、2値間の連続写像として定義され [9]、これをホモトピー掃引法では輪郭の連続変形を制御する手法として利用する。一方、掃引は断面を空間曲線に沿って移動した際に得られる軌跡により立体を記述する手法である [10]。ホモトピー掃引法はこれらホモトピーと掃引といった2つの手法を統合し、一本の3次元空間曲線と曲線に直角に定義された一対の2次元閉輪郭から、空間曲線を軸とする滑らかな表面を持った一般化円筒を生成する。

### 2.1 パラメータ定義

3次元空間曲線  $T$  はパラメータ  $v (0 \leq v \leq 1)$  によって定義された1次関数とする。ここで、図1に示すような座標系  $(O, X, Y, Z)$  において、 $T(v)$  は次のように与えられる。

$$T(v) = [T_x(v), T_y(v), T_z(v)] \quad (0 \leq v \leq 1) \quad (1)$$

また、輪郭  $C_1$  と  $C_2$  が同じ変数  $u (u_i \leq u \leq u_f)$

によって連続な2次元輪郭として定義される時、以下のように与えられる。

$$\left. \begin{aligned} C_1(u) &= [C_{1x}(u), C_{1y}(u)] \\ C_2(u) &= [C_{2x}(u), C_{2y}(u)] \end{aligned} \right\} \quad (2) \quad (u_i \leq u \leq u_f)$$

特に、 $C(u_i) = C(u_f)$  である時、輪郭が閉輪郭となる。

空間曲線  $T$  に直角に定義された輪郭は、輪郭を定義するパラメータ  $u$  と空間曲線を定義するパラメータ  $v$  を用いて  $C(u, v)$  と表される。

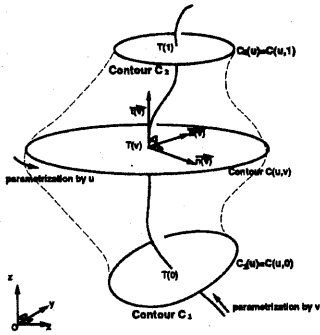


図1: ホモトピー掃引法のパラメータ定義

## 2.2 掃引

図1に示すように空間曲線  $T$  の点において、式(3)で表される  $n(\vec{v})$ ,  $b(\vec{v})$ ,  $t(\vec{v})$  を単位ベクトルとする局所座標  $(T(v), n(\vec{v}), b(\vec{v}), t(\vec{v}))$  が定義される。すなわち、この局所座標は空間曲線上の各点において、 $n(\vec{v})$ ,  $b(\vec{v})$  を単位ベクトルとする直交平面を与える。

$$\left. \begin{aligned} t(\vec{v}) &= \frac{T'(v)}{\|T'(v)\|} \\ b(\vec{v}) &= \frac{T'(v) \times T''(v)}{\|T'(v) \times T''(v)\|} \\ n(\vec{v}) &= b(\vec{v}) \times t(\vec{v}) \quad (0 \leq v \leq 1) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

ただし、 $T'(v)$  は  $T(v)$  の1次微分を、 $T''(v)$  は2次微分を示す。

空間曲線  $T$  に直交する輪郭  $C(u, v)$  を、空間曲線に沿って掃引した時、生成される一般化円筒の表面  $S(u, v)$  は次のように表される。

$$S(u, v) = T(v) + C_n(u, v)n(\vec{v}) + C_b(u, v)b(\vec{v}) \quad (0 \leq v \leq 1) \quad (4)$$

ただし、 $C_n(u, v), C_b(u, v)$  は、それぞれ輪郭  $C(u, v)$  の  $n(\vec{v})$  成分,  $b(\vec{v})$  成分を表す。

## 2.3 ホモトピー

ホモトピーは、輪郭  $C_1$  から輪郭  $C_2$  への輪郭の連続変形を制御する関数であり、blending 関数  $R_n(v)$  と輪郭  $C_1, C_2$  の scaling 関数  $Sc_1, Sc_2$  を用いて式(5)のように表される。ここで、blending 関数とは輪郭  $C_1$  と  $C_2$  の輪郭混合率を与える関数であり、scaling 関数とは各軸方向に縮尺を与える関数である。また、ホモトピーを用いて生成される輪郭  $C(u, v)$  は、パラメータ  $v$  が0から1まで連続的に変化する時、輪郭  $C_1$  から  $C_2$  へ連続的に変形する。

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} C_n(u, v) \\ C_b(u, v) \end{bmatrix} &= (1 - R_n(v))(1 + Sc_1(v)) \begin{bmatrix} C_{1n}(u) \\ C_{1b}(u) \end{bmatrix} \\ &\quad + R_n(v)(1 + Sc_2(v)) \begin{bmatrix} C_{2n}(u) \\ C_{2b}(u) \end{bmatrix} \quad (5) \\ &\quad (0 \leq v \leq 1) \end{aligned}$$

ただし、 $C_1(u) = [C_{1n}(u), C_{1b}(u)]$ ,  $C_2(u) = [C_{2n}(u), C_{2b}(u)]$  である。

## 2.4 blending 関数

blending 関数  $R_n(v)$  は、空間曲線  $T$  を定義するパラメータ  $v(0 \leq v \leq 1)$  の各点において、輪郭  $C_1$  と  $C_2$  の輪郭混合率を与える関数であり、式(6)のように表される。また、blending 関数の輪郭混合率は、 $-1 \leq n$  の範囲で選択されるパラメータ  $n$  を用いて任意な制御が可能である。

$$R_n(v) = \frac{(1+n)v^2}{(1+n)v^2 + (1-n)^2} \quad (6) \quad (0 \leq v \leq 1, -1 \leq n)$$

図2は、blending 関数においてパラメータ  $n$  を変化させた時のグラフを示している。グラフは  $0 \leq R_n(v) \leq 1$  の範囲で変化し、 $R_n(v) = 0$  の時輪郭  $C_1$  を表し、 $R_n(v) = 1$  の時輪郭  $C_2$  を表す。

また、パラメータ  $n$  を変化させた時の一般化円筒の形状は、例えば輪郭  $C_1$  に円を  $C_2$  に正方形を輪郭として与えた時、パラメータ  $n=9$  では図3(a)のような表面形状を生成し、パラメータ  $n=-0.9$  では図3(b)のような表面形状を生成する。すなわ

ち、パラメータ  $n$  の値が大きくなる程、輪郭  $C_2$  の影響を強く受けた一般化円筒を生成し、パラメータ  $n$  の値が小さくなる程、輪郭  $C_1$  の影響を強く受けた一般化円筒を生成する。

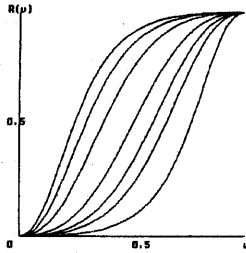
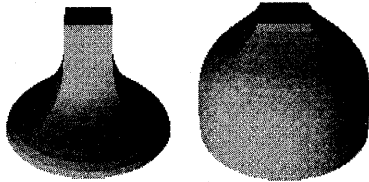


図 2: Blending 関数  $R_n$   
(右側から  $n=-0.9,-0.7,-0.2,0,2,5,9$ )



(a)  $n=9, S_{C_1} = S_{C_2} = 0$  (b)  $n=-0.9, S_{C_1} = S_{C_2} = 0$

図 3: Blending 関数のみを用いた一般化円筒 ( $C_1$ : 円,  $C_2$ : 正方形)

### 3 scaling 関数の拡張による自由曲面の生成

自然界に存在する一般化円筒の多くは、任意の自由曲面により構成されている。しかし、このような一般化円筒を複数の輪郭を用いたホモトピー掃引法により生成した時、各輪郭近傍(境界輪郭)において図 5(a) に示すような波打ちを生じる。

これは図 4 に示すような 3 つの輪郭において、輪郭  $C_1, C_2$  間に生成される表面を  $S^A(u, v)$ 、輪郭  $c_1, c_2$  間に生成される表面を  $S^B(u, v)$  とした時、ホモトピー掃引法が与える表面  $S^A(u, v), S^B(u, v)$  (cf. 図 4 左側表面) の傾きが、境界輪郭  $C_2, c_1$  において常に  $\frac{dS^A(u, v)}{dv}|_{v=1} = \frac{dS^B(u, v)}{dv}|_{v=0} = T^v \vec{v}$  となることに起因する。すなわち、境界輪郭において表面  $S^A(u, v), S^B(u, v)$  の傾きが局所的に空間軸  $T$  の接線方向に拘束される。そこで、本論文

では境界輪郭近傍において、生成される表面に任意な方向で局所拘束を与えることのできる scaling 関数を提案する。

文献 [8] において scaling 関数は、各軸方向に縮尺を与える関数として紹介されたが、blending 関数のように定式化された関数ではない。このため他研究において、方向ベクトルと制御点を用いて一般化円筒の表面に任意な方向で局所的な拘束を与える試みが提案されている [11]。これに対し本論文では、方向ベクトルのみを用いて一般化円筒の表面に局所的な拘束を与える scaling 関数を提案する。

図 4 (右側表面) のように輪郭上の各点において、生成すべき表面  $S(u, v)$  の傾きに一致する制御ベクトル  $p_1(\vec{u}), p_2(\vec{u})$  を新たに定義する。すなわち、制御ベクトルとは表面  $S^A(u, v), S^B(u, v)$  の境界輪郭において、 $P_2(\vec{u}) = \frac{dS^A(u, v)}{dv}|_{v=1}, p_1(\vec{u}) = \frac{dS^B(u, v)}{dv}|_{v=0}$  となるベクトルであり、特に  $P_2(\vec{u}) = p_1(\vec{u})$  の時、2 つの表面は境界輪郭において連続となる。

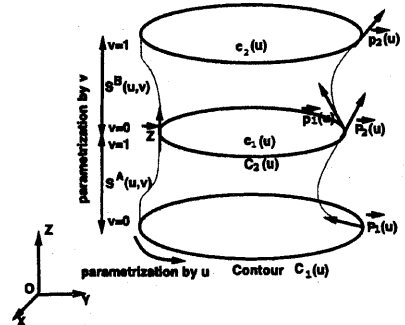


図 4: 制御ベクトルを用いた scaling 関数

制御ベクトルを用いて生成される表面の傾きを局所的に制御する scaling 関数を以下に示す。

$$\left. \begin{aligned} S_{C_1}(u, v) &= (v^3 - 2v^2 + 1) \frac{P_1(\vec{u})}{C_1(u)} \\ S_{C_2}(u, v) &= (v^3 - v^2) \frac{P_2(\vec{u})}{C_2(u)} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

ただし、 $P_1(\vec{u}), P_2(\vec{u})$  は輪郭  $C_1, C_2$  に与えられた制御ベクトルを表す。図 5(b) は本提案手法により生成した顔モデルを示している。ただし、輪郭データは人間の顔を 3 次元計測装置を用いて計測し、その距離データを基に 10 輪郭を選択して使用した。また、制御ベクトルとしては各輪郭に近接する点から傾きを算出して使用した。



(a)blending 関数による 顔形状  
(b)scaling 関数による 顔形状  
図 5: ホモトピー掃引法による顔形状生成

## 4 ホモトピー掃引法に基づく 3次元制御ベクトルを用いた曲面変形法

本研究では、一般化円筒を生成するホモトピー掃引法を、その中心軸を空間曲線から時間軸に置き換えることにより、つまり、2次元輪郭間の空間的連続変形から時間的連続変形に置き換えることにより、変形軌跡が制御可能な輪郭変形法に拡張した。さらに、輪郭の連続変形を与えるホモトピーを3次元各方向で新たに定義することによって、曲面の3次元連続変形を可能とした。

### 4.1 曲面変形法への導入

図 6に示すような  $O$  を原点とする3次元空間座標  $(O, X, Y, Z)$  において3次元輪郭  $C_1$  上の点を  $A$ 、 $A$  の移動後の点を  $B$  とする。3次元空間座標系  $(O, X, Y, Z)$  で表された点  $A, B$  は、 $U_r(\theta) = \frac{OA'}{|OA'|}$ 、 $U_\theta(\theta) = \frac{B'B''}{|B'B''|}$ 、 $U_z(\theta) = \frac{AA'}{|AA'|}$  を単位ベクトルとする局所円柱座標系  $(O, U_r(\theta), U_\theta(\theta), U_z(\theta))$  を用いて、次のように表される。

$$\left. \begin{aligned} C_1(\theta) &= A = [C_{1r}(\theta), 0, C_{1z}(\theta)] \\ C_2(\theta) &= B = [C_{2r}(\theta), C_{2\theta}(\theta), C_{2z}(\theta)] \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

ただし、 $C_{1r} = |OA'|$ 、 $C_{2r} = |OB''|$ 、 $C_{2\theta} = |B'B''|$ 、 $C_{1z} = |AA'|$ 、 $C_{2z} = |BB'|$  である。また、パラメータ  $t(0 \leq t \leq 1)$  は時間軸を表すパラメータであり、パラメータ  $\theta$  は輪郭を定義するパラメータである。

この局所円柱座標系  $(O, U_r(\theta), U_\theta(\theta), U_z(\theta))$  において、 $U_r(\theta)$  成分のホモトピーを  $r(\theta, t)$ 、 $U_\theta(\theta)$

成分のホモトピーを  $\theta(\theta, t)$ 、 $U_z(\theta)$  成分のホモトピーを  $z(\theta, t)$  とする。この時、パラメータ  $t$  を用いて輪郭  $C_1$  上の点  $A$  から輪郭  $C_2$  上の点  $B$  への変形軌跡  $M(\theta, t)$  は次のように表される。

$$M(\vec{\theta}, t) = r(\theta, t)U_r(\vec{\theta}) + \theta(\theta, t)U_\theta(\vec{\theta}) + z(\theta, t)U_z(\vec{\theta}) \quad (9)$$

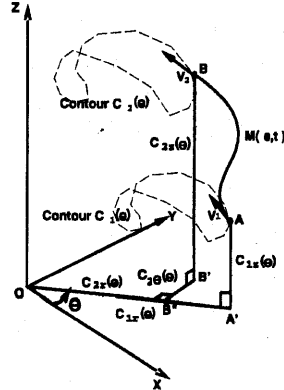


図 6: 円柱座標系

### 4.2 ホモトピーによる3次元曲面変形

従来のホモトピー掃引法は2次元輪郭の変形を制御するものであったが、本項では3次元輪郭の連続変形を目的とし、このため局所円柱座標系  $(O, U_r(\theta), U_\theta(\theta), U_z(\theta))$  の各成分においてホモトピー  $r(\theta, t)$ 、 $\theta(\theta, t)$ 、 $z(\theta, t)$  を新たに定義する。以下、各成分のホモトピーについて示す。

$U_r(\theta)$  成分のホモトピー  $r(\theta, t)$  は輪郭  $C_1$  の成分  $C_{1r}$  と  $C_2$  の成分  $C_{2r}$  の2つの値を用いて、次の式で補間する。

$$r(\theta, t) = (1 - R_n(t))(1 + S_{c1}(\theta, t))C_{1r}(\theta) + R_n(t)(1 + S_{c2}(\theta, t))C_{2r}(\theta) \quad (10)$$

$U_\theta(\theta)$  成分のホモトピー  $\theta(\theta, t)$  は輪郭  $C_1$  の成分  $C_{1\theta}$  と  $C_2$  の成分  $C_{2\theta}$  の2つの値を用いて、次の式で補間する。

$$\theta(\theta, t) = (1 - R_n(t))(1 + S_{c1}(\theta, t))N + R_n(t)(1 + S_{c2}(\theta, t))(C_{2\theta}(\theta) + N) - N \quad (11)$$

ただし、 $N$  は一時的に使用する値であり  $t = 0$  における scaling 関数を有効にするために定義する。

$U_x(\theta)$  成分のホモトピー  $z(\theta, t)$  は輪郭  $C_1$  の成分  $C_{1x}$  と  $C_2$  の成分  $C_{2x}$  の2つの値を用いて、次の式で補間する。

$$z(\theta, t) = (1 - R_n(t))(1 + S_{c1}(\theta, t))C_{1x}(\theta) + R_n(t)(1 + S_{c2}(\theta, t))C_{2x}(\theta) \quad (12)$$

時間軸を表すパラメータ  $t$  の範囲は  $0 \leq t \leq 1$  で、blending 関数  $R_n(t)$  としては式 (6) を、scaling 関数としては式 (7) を使用する。また、scaling 関数として制御ベクトルを導入することにより、変形軌跡  $M(\theta, t)$  を任意方向に制御することが可能となる。

### 4.3 3次元速度ベクトル

scaling 関数 (式 (7)) の制御ベクトル  $P_1(\theta)$ ,  $P_2(\theta)$  に時間遷移を考慮して、3次元速度ベクトルを使用する。図 6において点  $A$  における3次元速度ベクトルを  $\vec{v}_1$ ,  $B$  における3次元速度ベクトルを  $\vec{v}_2$  とした時、 $\vec{v}_1$ ,  $\vec{v}_2$  は局所円柱座標系  $(O, U_r(\theta), U_\theta(\theta), U_z(\theta))$  で以下のように定義される。

$$\begin{cases} v_1(\theta) = [v_{1r}(\theta), v_{1\theta}(\theta), v_{1z}(\theta)] \\ v_2(\theta) = [v_{2r}(\theta), v_{2\theta}(\theta), v_{2z}(\theta)] \end{cases} \quad (13)$$

ただし、 $C_1(\theta) = [C_{1r}(\theta), N, C_{1z}(\theta)]$ ,  $C_2(\theta) = [C_{2r}(\theta), C_{2\theta}(\theta) + N, C_{2z}(\theta)]$  である。

この3次元速度ベクトルを用いて scaling 関数 (式 (7)) を算出し、曲面の変形を制御する。

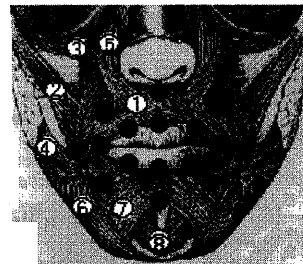
## 5 口唇表情生成法

本論文では、ホモトピー掃引法に基づく曲面変形法を、リアルタイム口唇表情生成システムに応用する。本研究の対象とする口唇表情は、図 7に示すような輪状筋である口輪筋の変形によって構成されている [12]。この口輪筋の形状とその動きをホモトピー掃引法における輪郭線とその変形に対応させることにより、筋肉構造を考慮した口唇表情生成が可能である。

また、リアルタイム処理を考えた場合、計算量やデータ量が少ないことが前提となる。しかし、この点においても本法は時系列顔画像からサンプリングされた少数の口唇輪郭と、輪郭に沿って計測

された3次元速度ベクトルのみを用いて、口唇表情を効率的に再現できるのでリアルタイム処理を行う手段として適していると言える。

図 8に、本研究が提案する口唇表情生成システムの概要を示す。システムは送信部と受信部からなり、送信部では人物の発話および表情表出時における口輪筋の動的変化を分析し、その形状と変形情報をパラメータとして受信部へ送信する。一方、受信部では送信部における分析結果に基づいてあらかじめ用意された対象人物の3次元顔モデルを変形させることにより、口唇表情を3次元生成・表示する。また、送信部から受信部へのデータの送受信は、TCP/IP プロトコルを用いたプロセス間通信を用いて行う。



1. 口輪筋 2. 大頬骨筋 3. 小頬骨筋 4. 笑筋 5. 上唇挙筋 6. 口角下制筋 7. 下唇下制筋 8. オトガイ筋 ● マーカ位置

図 7: 口唇領域における筋肉構成

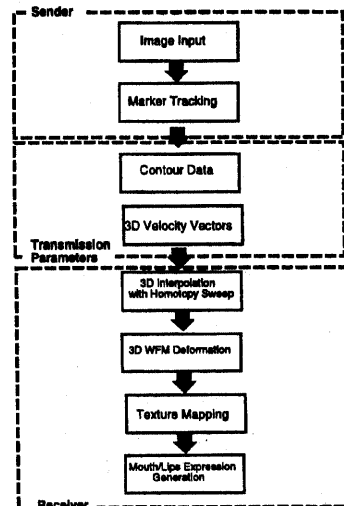


図 8: 処理の概要

## 5.1 送信部

送信部では、口輪筋の筋肉動作を捉えやすくするため、図 7 に示すような筋肉の内側輪郭および外側輪郭それぞれ 8 点にマーカーを貼付し、(1) 発話および表情表出を観測したビデオ映像を実時間入力する。(2) このビデオ映像を基にマーカー追跡処理を行うことにより、口輪筋の位置座標(輪郭データ)を獲得、(3) 時刻  $t$  における輪郭データと時刻  $t-1$  における輪郭データとの差分により速度ベクトルを算出して、(4) 得られた輪郭データと速度ベクトルをパラメータとして受信部に送信する。

ただし、ビデオ映像を獲得する際、対象人物の任意な頭部の動きに対して固定の映像を得るため、入力装置として対象に固定されたカメラを試作し、本研究ではこの装置から得られる映像を入力として使用する。

## 5.2 受信部

受信部では、予め 3 D Digitizer を用いて獲得した全周型距離・カラー画像を基に対象人物の 3 次元顔モデルを生成しておき、補間処理・顔モデル変形処理に基づき顔モデルを変形することにより、口唇表情を 3 次元生成・表示する。

### 5.2.1 補間処理

送信部から受信部に送信されるパラメータは時間的に不連続なデータである。しかし、本研究ではホモトピーに基づいた曲面変形、すなわち時間軸の補間処理を行うことで連続な変形を与える。

補間処理では、送信部より送信されたパラメータ(輪郭データ・速度ベクトル)をキーフレームとして、ホモトピーに基づく曲面変形によりマーカー点 16 点の変形軌跡を算出する。

### 5.2.2 顔モデル変形処理

図 9 は口輪筋モデルを示している。この口輪筋モデルは口輪筋が層構造をした筋肉繊維の集合によって成り立っているのに基づき、4 層構造を持った筋肉モデルである。ただし、外側輪郭および内側輪郭における  $P_0$  がそれぞれ図 7 のマーカー位置に対応する。

外側輪郭、内側輪郭において口輪筋モデルの制御点  $\forall p_i \in [p_1, p_4]$  は、マーカー点  $P_0$  間の線形ホモトピー  $((1-v)g(u) + vt(u))$  を用いて補間により算出する。

また、外側・内側輪郭間の点  $A_1, A_2$  は  $\frac{A_0A_1}{A_0A_3} = \frac{1}{3}$ 、 $\frac{A_0A_2}{A_0A_3} = \frac{2}{3}$  として算出する。

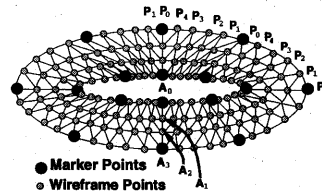


図 9: ワイヤフレームモデル

## 6 実験結果

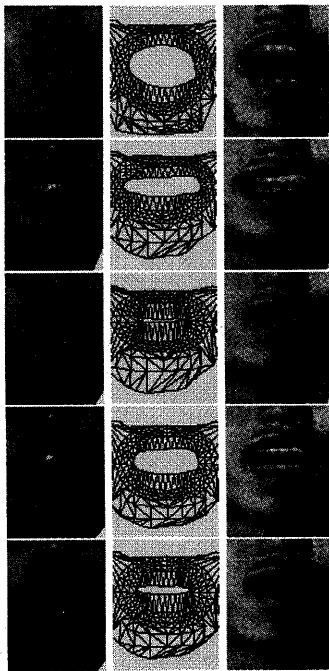
実験は、以下のような条件の下で行った。

顔の 3 次元 CG モデルは、Cyberware 社の 3D Digitizer を用いて獲得した全周型距離・カラー画像 (512x512) を用いて作成した。表情変化を観測したビデオ映像は、マーカー貼付の対象人物が装着したヘルメットに取り付けた SONY CCD-MC5(25 万画素,  $f=26\text{mm}$ ) CCD カメラから獲得し、ビデオキャプチャボードを用いて SGI O2 グラフィックワークステーションに実時間で入力した。受信部においても、SGI O2 上で口唇表情を実時間生成・提示した。

図 10 に CCD カメラから獲得した口唇表情 (図 10(a)) と提案手法を用いて顔モデルを変形した生成結果 (図 10(b)(c)) を示す。また、図 11 は滑らかに変化する時系列による口唇表情生成結果を示し、表 1 に各プロセスの処理速度を示す。

表 1: 処理速度

	Process	FPS
Sender	Video Image Input	30 FPS
	Marker Tracking	8 FPS
Receiver	Parameters Transmission	8 FPS
	Expression Generation	20 FPS



(a) Original (b) Model (c) Synthesized

図 10: ホモトピー曲面変形による口唇表情生成

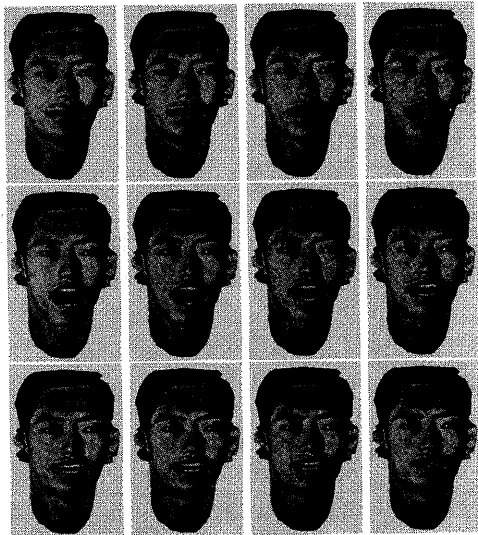


図 11: 時系列による口唇表情生成結果

## 7 おわりに

本論文では、空間的連続変形を行うホモトピー掃引法を時間的連続変形を行う曲面変形法に拡張した。また、口唇表情は形状変化が大きいため3次元モデルの変形が必要である。このため、提案手法を自然で滑らかな3次元口唇表情アニメーションを効率的に生成する手法に応用した。

最後に実時間システムを実装してその有効性を示した。

## 参考文献

- [1] 工藤 力訳, P. Ekman and W. V. Friesen 著, “表情分析入門,” 誠信書房, 1987.
- [2] 崔 昌石, 原島 博, 武部 幹, “顔の3次元モデルを用いた顔面表情の分析,” 信学論 (D-II), Vol.J74-D-II, No.6, pp.766-777, Jul. 1991.
- [3] Kazuyoshi ONO and Hiromi T. TANAKA, “Adapting Color Properties for Smooth Merging of Real and Virtual Spaces,” ACCV, No.3, pp.788-792, Dec. 1995.
- [4] 相澤 清春, 原島 博, 齊藤 隆弘, “構造モデルを用いた画像の分析合成符合化方式,” 信学論 (B-I), Vol.J72-B-I, No.3, pp.200-207, Mar. 1989.
- [5] H. Mcgurk and J. MacDolald, “Hearing lips and seeing voices,” Nature, 264, pp.746-748, Dec. 1976.
- [6] 間瀬 健二, アレックス ベントランド, “オブティカルフローを用いた読唇,” 信学論 (D-II), Vol.T73-D-II, No.6, pp.796-803, Jul. 1990.
- [7] 松岡 清利, 古谷 忠義, 黒須 顕二, “画像処理による読唇の試み,” 計測自動制御学会論文集, pp.67-74, Feb. 昭 61.
- [8] Chiew-Lan Tai, Kia-Fock Loe, and Toshiyasu L. Kunii, “Integrated Homotopy Sweep Technique for Computer-Aided Geometric Design,” Computer Vision, pp.583-595, Springer-Verlag, 1991.
- [9] 西田 吾朗著, “ホモトピー論,” 共立出版株式会社.
- [10] 鳥谷 浩志, 千代倉 弘明, “3次元CADの基礎と応用,” 共立出版株式会社.
- [11] ハッサン ムバラキ, 田中 弘美, 北村 泰一, 大谷 淳, 岸野 文郎, “Homotopyに基づく表情の3次元アニメーション,” 信学技法, IE94-37, pp.9-16, Jul. 1994.
- [12] 越智 淳三訳, “解剖学アトラス I,” pp.314-317, 文光堂, 1994.
- [13] 金子 正秀, 小池 淳, 羽鳥 好律, “テキスト情報に対応した口形状変化を有する顔動画像の合成,” 信学論 (D-II), Vol.J75-D-II, No.2, pp.203-215, Feb. 1992.
- [14] 金子 正秀, 羽鳥 好律, 小池 淳, “形状変化の検出と3次元形状モデルに基づく顔動画像の符合化,” 信学論 (B), Vol.J71-B, No.12, pp.1554-1563, Dec. 1988.