

形状の自動変形による表情を持つ顔画像の生成方法の検討

秋本 高明 問瀬 健二 末永 康仁
NTT 電気通信研究所

顔は我々人間にとって最も身近なものであり、リアルな顔画像が自動的に合成できれば各種の分野へ応用できると考えられる。本文では、いろいろな表情を持つ顔画像の生成方法の一つとして、顔の3次元形状を自動変形させそれから陰影画像を生成することにより、容易に異なる表情を持つ顔画像を生成する方法を示す。さらに、顔画像生成のいくつかの用途について検討する。

顔形状の変形は、あごの骨格の動きと顔が変形するときに位置が変る代表的な点の移動を与えることにより行う。実際にこの方法を用いていくつかの顔画像を作成し、わずかなデータを与えるだけで異なった表情を持つ顔画像が生成できることを確認した。

Expressive Facial Image Generation by Automatic Shape Modification

Taka-aki AKIMOTO, Kenji MASE and Yasuhito SUENAGA

NTT Electrical Communications Laboratories
1-2356 Take Yokosuka-shi Kanagawa 238-03

The facial image generation technique is applicable to various fields because human faces are very familiar to us. This paper describes a facial image generation method that allows us to generate easily various expressive facial images by automatic 3D shape modification. The 3D shape of face is modified by the jaw rotation and the feature points translation, which are based on a facial structural model. The feature points are selected so that they represent the facial movement sufficiently. Experimental results show this method can generate various facial images by a few parameters. We also discuss a few applications of the facial image generation system.

1. まえがき

コンピュータを使用してリアルな画像を生成する技術が盛んに使われている。はじめは物珍しいということで、テレビ番組や映画など娯楽用の画像作成に使われたり、芸術的な絵の作成に使われたりしただけだったが、最近では製品の完成予想図の作成や景観シミュレーションなど、本当に役に立つ用途に使われ始めている。

一方、画像生成技術の適用分野をさらに拡げて、画像通信、医学、教育などに利用しようとした場合、それらが対象としているものの中心である人間について画像の生成が重要である。例えば、画像通信では、人物の外見上の特徴と動きを取り出し、その特徴と動きのみ伝送して、受信側ではそれらから人物像を生成することにより、伝送路の帯域を非常に狭くすることができる。このとき、送られた情報からリアルな人物像を容易に生成する技術が必要である。

そこで、画像生成技術を上述したような分野へ応用することを考え、そのときに中心となる対象物体として人間の顔を取り上げ、各種の表情・動きが表現できる顔画像の生成を試みた。

本文では、各種の表情を持つ顔の画像生成方法として、顔の3次元形状を変形情報に従って変形しそれから画像を生成する方法について具体的に述べる。さらに、顔画像生成技術の用途をいくつか考え、そのときの問題点を検討する。

2. 顔画像の生成方法

顔はいろいろな表情や動きを持っており、同一人物のものでもその形状が複雑に変形する物体である。従って、顔画像生成技術を各種の分野へ応用する場合、単にリアルな顔画像が生成できるだけでなく、種々の表情を持った動きのある顔画像が容易に生成できなければならない。

様々な顔画像を生成する方法としては、①顔の各部分の2次元画像(部分画像)をいくつか用意しておき、それらの中から適当な部分画像を選択し、重ね合せ・組み合わせさせて各種の顔画像を作る方法[1](図1a)や、②顔の各部分の3次元形状(部分形状)をいくつか用意しておき、それらの部分形状を組み合わせさせて顔全体の形状を作り、それから濃淡画像を生成する方法[2](図1b)などが考えられる。

これらの方法は構成が単純であり容易に実現できる。

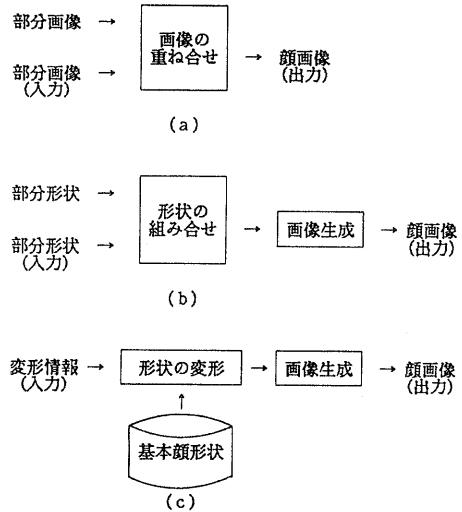


図1 顔画像生成系の構成方法

しかし、異なる人物のいろいろな表情の顔画像を生成する場合や、同じ人物の顔でも異なる表情、動きを新たに追加する場合、それらの顔の各部分の画像または3次元形状を作成または計測しなければならない、柔軟性に乏しい。しかも、顔画像を得るためには画像や形状データといった多量のデータを与えなければならない。

もう一つの顔画像生成方法として、顔の3次元形状(基本顔形状)を外から与えた変形情報に従って変形していろいろな状態の顔の3次元形状を作り出し、それから画像を生成する方法[3]がある(図1c)。変形情報は、顔の各状態の形状を表わす特徴量(口の開いた角度や変形したときに位置が変わる代表的な部分の移動方向と量など)や、表情・動きを表わす抽象的な情報(口を少し開ける・笑うなど)である。

この方法は、

①変形情報である顔の変形の特徴量のデータ量は、部分画像や部分形状のデータ量に比べ少ない。つまり、与えるデータ量を少なくできる、

②変形情報として抽象的な情報を与えることにより、違う人物の顔でも同じ表情・動きに対しては同じ変形情報を与えればよい、

などの利点を持つ。そこで、変形情報により基本顔形状を変形し各種の顔画像を生成する構成方法について、具体的に検討した。

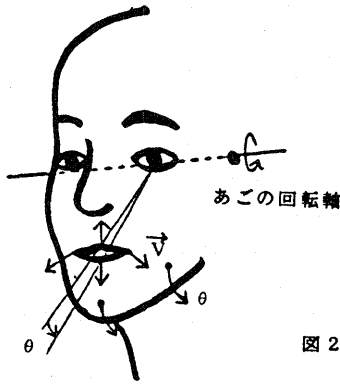


図2 変形モデル

3. 顔形状の変形による顔画像生成方法

3. 1 顔形状の変形

顔形状を変形情報に従って変形しているいろいろな表情の顔画像を作る場合、変形情報と変形方法の決定が最も重要である。ここでは、顔形状の変形を単純化してモデルを作り、そのモデル上で変形方法と変形情報について検討する。なお、顔の3次元形状は多数の三角形を張り合わせて表現した。従って、形状の変形はこれらの三角形の頂点座標を移動させることになる。

変形のモデル化の方法として、顔の変形を解剖学的にとらえ、骨格と筋肉の動きをシミュレートするモデル化方法(4)が考えられる。しかし、多数の筋肉の伸縮量から顔の表皮の形状を求めることは困難である。さらに、そのモデルを作成しても実際の筋肉の伸縮量を計測することは難しく、正確な変形情報を与えることができない。

そこで、顔を大きく変形させるあごの骨格の動きと、顔が変形するとき位置が変わる代表的な点(特徴点と呼ぶ)の移動により、顔の表皮の各部分が移動または伸縮して顔形状が変形するモデルを考えた。このモデルでは、あごの回転角度と特徴点の移動ベクトルが変形情報となる。図2にあごの3次元モデルを図示する。

具体的には、図3のようにいくつかの適当な特徴点(F1~F15)と、あごの回転に従って同じ回転をする部分(部位1, 16, 17)とあごの回転又は特徴点の移動により伸縮する部分(その他の部位)を定め、あごの回転角度 θ と特徴点の移動ベクトル $V1 \sim V15$ を使って各部分を回転または伸縮させて顔形状を変形させる。ここでは、特徴点はあごの回転につられて回転する点(F4, F14, F15)や口の回り(F2, F3, F8, F9)など顔形状が変形したときにその移動が最も目立

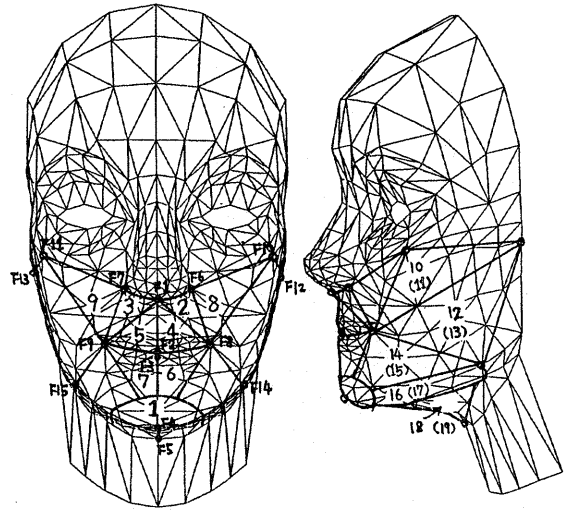


図3 顔形状中の特徴点と部位
(F1~F15:特徴点、1~19:部位の番号、
(n)は左側同部位の番号)

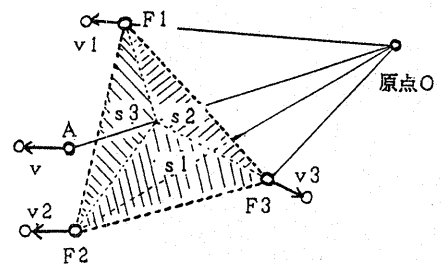


図4 伸縮部分の変形方法
(F1~F3:特徴点、 $v1 \sim v3$:移動ベクトル、
A:移動させたい頂点)

つ位置の点と、変形してもほとんど移動しないと考えられる点(その他の8点で固定特徴点と呼ぶ)を選んだ。特徴点F12とF13はあごの回転軸としても使われる。伸縮により変形させる部位は、次に説明するような変形方法を用いるために、3つの特徴点により囲まれる領域とした。

このモデルの実際の変形は次のように行なう。

- ①あごの回転角度 θ と特徴点の移動ベクトル($V2, V3, V8, V9$)を与える。特徴点の中で固定特徴点と、あごの回転につられて回転する特徴点の移動ベクトルを与える必要はない。
- ②あごの付け根(図3ではF12, F13)を結ぶ軸を中心として、あごの回転につられて回転する特徴点(F

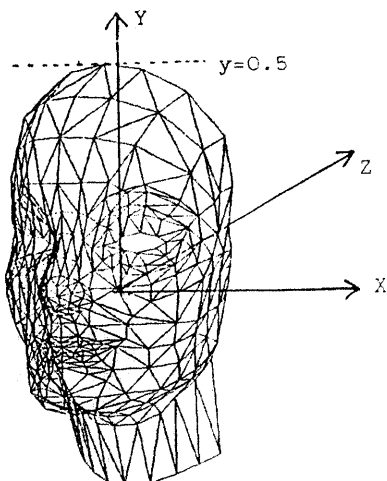


図5 座標系と入力されている顔形状の位置・大きさ



図6 生成画像
(顔形状の変形なし)

4, F14, F15)を角度 θ 回転させて、もとの位置から回転後の位置へのベクトル(V_4, V_{14}, V_{15})を求める。そのベクトルをその特徴点の移動ベクトルとする。

③あごの回転につられて回転する部位(部位1, 16, 17)の中の頂点を(2)と同じく回転させる。伸縮により変形させる部位(1, 16, 17以外の部位)をその回りの3つの特徴点の移動ベクトルを用いて伸縮させる。例えば図3で、部位6に含まれるすべての頂点の座標をF3, F4, F8の移動ベクトル V_3, V_4, V_8 を用いて求め、移動させる。

伸縮する部位の中の頂点座標の計算は、図4のようにまわりの3特徴点の移動ベクトルを次式で補間してその頂点の移動ベクトルを求め、それを頂点座標に加えることにより行なう。

$$V = \frac{1}{S_1+S_2+S_3} \{S_1 \cdot V_1+S_2 \cdot V_2+S_3 \cdot V_3\} \quad (1)$$

$$X' = X + V \quad (2)$$

ここで、 V は移動される頂点の移動ベクトル、 V_1, V_2, V_3 は特徴点の移動ベクトル、 S_1, S_2, S_3 は図4に示す三角形の面積、 X, X' はそれぞれ頂点の移動前の座標と移動後の座標である。

注意すべきことは、一般に伸縮する部位内の頂点は、特徴点を頂点とする三角形の上に乗ってはいないことである。そこで図4のようにある点 O を定めておき、頂点を点 O に向かって特徴点を3頂点とする三角形上に投影し、投影点における移動ベクトルをその頂点の移動ベクトルとする。投影の中心である点 O は、すべての部位に共通とする。図3のように隣り合った2つの部位を伸縮させるために使用する特徴点として2つの特徴点を共通に使用することと、投影の中心 O を一点とすることで、部位の境界付近の移動ベクトルの連続性が保てる。

ここでは示していないが、顔の上半分と目とまぶたについての変形情報と変形方法も同様にして決めることができる。例えば、目は2軸の回りの角度を与えて回転させる、まぶたは回転と伸縮を組み合わせる、その他の部分は伸縮させる等により変形できる。また、ここで示した特徴点最適とは限らない。最適な特徴点を得るためには、実際の顔の変形で顔の表皮の多数の点がどのように移動するかの測定及び解析が必要である。

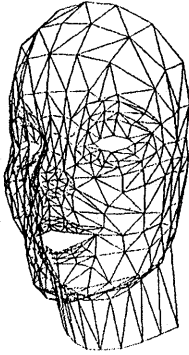
3. 2 顔画像生成実験

以上に述べてきた方法を使用して、実際に変形情報を与え顔形状を変形させ、いろいろな顔画像を生成した。顔の基本顔形状は、図3に示されるような約650枚の三角形パッチで作った。変形された形状から画像を生成するアルゴリズムはZバッファ法を使用した。擬似的になめらかな曲面に見えるようにするために、法線ベクトルを補間して輝度計算する手法を使用した。画像生成はVAX11/780を使用し、512x512画素のカラー画像一枚の生成に約1分かかった。

図5に変形されていない顔形状とそれが定義されている座標系、大きさ、位置を示す。図6に変形されていない顔形状(図3)から生成された画像を示す。図7、図8、図9にいくつかの変形情報を与えて変形させた形状と、それから生成された顔画像を示す。図7、図8、図9で、(a)は変形情報として与えたデータ、(b)は変形された形状、(c)は生成された画像である。前に述べたように、図3で示した特徴点の内、F1, F5, F6, F7, F10, F11, F12, F13は固定特徴点として選んだので、その移動ベクトルは(0, 0, 0)と

あごの回転角度	= 10度
F2の移動ベクトル	= (0.0, 0.0, 0.0)
F3の移動ベクトル	= あごの回転と共に回転させる
F8の移動ベクトル	= (0.0, -0.02, 0.0)
F9の移動ベクトル	= (0.0, 0.02, 0.0)

(a) 変形情報



(b) 変形後の形状

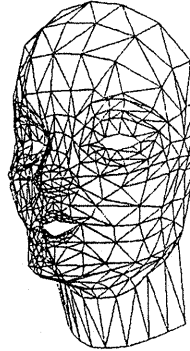


(c) 生成画像

図7 変形された顔形状と生成画像1

あごの回転角度	= 0度
F2の移動ベクトル	= (0.0, 0.04, 0.0)
F3の移動ベクトル	= (0.0, -0.04, 0.0)
F8の移動ベクトル	= (-0.07, 0.0, -0.07)
F9の移動ベクトル	= (0.07, 0.0, -0.07)

(a) 変形情報



(b) 変形後の形状



(c) 生成画像

図8 変形された顔形状と生成画像2

して変形情報としては与えない。さらに、特徴点F4、F14、F15はあごの回転により移動する特徴点なので、移動ベクトルを与えない。従って、変形情報はあごの回転角度と、F2、F3、F8、F9の移動ベクトルV2、V3、V8、V9のみである。

図7はあごを10度回転させると共に、特徴点F3をあごの回転に合わせて移動させたときの形状と顔画像である。図8はあごを回転させずに、口の回りの4特徴点をそれぞれ移動させたときの形状と顔画像である。図9は口元の2特徴点F8、F9を両側に引っ張ったときの形状と顔画像である。

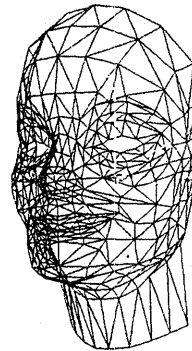
このように顔の下半分のみであるが、わずかな量の変形情報を与えるだけで各種の表情の顔画像を生成できる。さらに、前に述べた方法でアニメーションを作成すれば、きわめてわずかのデータを与えるだけで動画を作成することができる。

3.3 変形情報の与え方

3.2で述べた実験では、変形情報としてあごの回転角度と特徴点の移動ベクトルといった具体的なデータを与えた。しかし、これでは変形情報は変形対象の顔形状に依存したものになる。変形情報を顔形状に依存しないものにするためには、もっと抽象的なデータを変形情報としなければならない。

あごの回転角度	= 0度
F2の移動ベクトル	= (0.0, 0.0, 0.0)
F3の移動ベクトル	= (0.0, 0.0, 0.0)
F8の移動ベクトル	= (0.04, 0.04, 0.04)
F9の移動ベクトル	= (-0.04, 0.04, 0.04)

(a) 変形情報



(b) 変形後の形状



(c) 生成画像

図9 変形された顔形状と生成画像3

例えば、変形情報として、FACS (Facial Action Coding System)[4]のAction Unit(AU)のような、顔の各部分の基本的な動きを与えることが考えられる。さらに抽象化して、「笑う」や「おどろく」など顔全体で表現される表情名を変形情報とすることもできる。

このような抽象的な変形情報を与えて顔画像を生成するシステムを図10に示す。図10に示すように、最も抽象

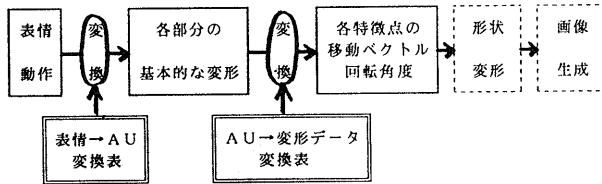


図10 表情名を変形情報とする顔画像生成システム

的な変形情報である表情名は、表情→AU変換表によっていくつかのAUの組合せに分解される。さらに、各AUは、AU→変形データ変換表によって特徴点の移動ベクトルやあごの回転角度などの具体的な変形データに変換され、そのデータに従って顔形状が変形される。各個人の表情のくせを表現しようとする場合は、各個人ごとに異なる表情→AU変換表が必要である。

変形情報としてより抽象的な情報を使うと、変形情報を具体的な顔形状から独立させることができるので、異なる人物の顔であっても、同じ表情に対して同じ変形情報が適用できる。また、変形情報のデータ量も少なくすむ。しかしその反面、こまかく表情を変化させることができなくなる。どのレベルの変形情報を与えるべきかは、用途によって選択する必要がある。

4. 顔画像生成技術の応用

以上述べてきた顔画像生成技術の用途として、①超狭帯域画像通信、②医用、③娯楽用アニメーション等が考えられる。

①はまえがきで述べたように、人物像から表情や動きを抽出しそれを伝送して受信側で画像を生成することにより、伝送するデータ量を少なくしようとする試みである。このとき、対象人物の顔形状やその他の画像生成に必要なデータは、通信を始める前に計測して相手側に送るか、予めデータベースとして持っておく必要がある。

送るデータは、抽象的な情報の方がデータ量が少なくすむが、受信側で生成される画像はいつでも同じ様な表情や動きになりかねない。情報伝達に画像を使用する一つの理由は、画像の持つ余分な情報が人間にとって有益だからである。つまり、送信側で冗長さをそぎ落とす

た後の情報から、はたして画像を生成する意味があるのかという疑問が残る。従って、データ量は多くなっても、特徴点の移動ベクトルやあごの回転角度などの具体的なデータを送ることになるであろう。

また、実用とするためには、1)実時間で人物像の3次元空間における動き・変形を検出する技術、2)頭髮、衣服などを含めてリアルな画像を生成する技術、などが必要である。

②は、整形外科や歯科などにおける治療のシミュレーションへの利用である。画像生成処理の高速性や生成画像のリアルさは必要としないので、いまの技術でも適用可能である。ただし、正確な形状測定方法と解剖学的な顔の構造を考慮した顔形状の変形方法が必要となるであろう。

③は、立体的なアニメーションの作成を自動化しようとする応用である。[5]で試みられているように、顔だけでなくいろいろな状態の全身の画像が生成できなければならないが、登場人物の形状・表情と動き方のくせなどのデータをそろえておけば、専門家なしでアニメーションが作成可能である。ただし、実用に耐えうるものとするには、①と同様に頭髮、衣服などの画像生成技術が必要となる。

5. むすび

容易にいろいろな表情や動きを持つ顔画像を生成する方法として、顔の3次元形状を変形情報に従って変形し、それから顔画像を生成する方法について述べると共に、ここで示した方法を使用していくつかの顔画像を作成し、わずかなデータを与えるだけで様々な顔画像が生成できることを確認した。さらに、顔画像生成技術の応用分野および問題点について検討した。

いくつかの応用が考えられるが、実用に耐えうるものにするには、①実際の顔の変形の様子の調査による変形方法の再検討、②頭髮、衣服などの画像生成手法の開発、が必要である。

- 文献
- [1] 永井、小松、齊藤、原島、宮川：“知識に基づく画像の符号化・合成法の基礎検討”、昭60信学全大、1183。
 - [2] 根本、大町：“顔の3次元アニメーション作成システム”、日経CG夏号、pp58-65、1985。
 - [3] F.I.Parke：“Parameterized Models for Facial Animation”、IEEE CG&A、pp61-68、Nov、1982。
 - [4] S.M.Platt、N.I.Badler：“Animating Facial Expressions”、Computer Graphics、Vol.15、No.3、pp245-252、1981。
 - [5] 小松：“自然な形状変形可能な人体皮膚モデルの開発”、16回画像工学コンファレンス予稿、7-1、pp123-126。

討 論

14. 形状の自動変形による表情を持つ顔画像の生成方法の検討

秋本 (NTT)

浜川：全体のパッチ数が約650枚ということでしたが、そのうち顔の変形で変形するパッチは何枚ぐらいですか。

秋本：顔の下半分ですから200~300枚といったところです。

川合：参考文献の5でNHKの方がBezier曲面でやってましたが、やはり最初からパッチでやった方が簡単ですか。

秋本：パッチの方が取っつきやすいですけども、実際に絵を作るためにはBezierなどのパラメトリックな曲面の方が、画面の解像度によって表示するときのパッチ分割を細かくすることができるので、なめらかな絵が作れると思います。

福井：最初のデータはどうやって入れたのですか。

秋本：顔の正面図と側面図(米の文献からとった)からデジタイザで2点を1組として入れて、3次元の点を3点ずつとって面を張って行きました。

近藤(東芝)：あごの外形線のところには特徴点をたくさん与えているのですか。

秋本：そうでもないです。よく見るとがたがたです。

浜川：教育用の応用、例えば発声練習などに使えるのではないのでしょうか。

秋本：そうですね、使えると思います。発音の場合は、舌の形も関係するので難しいかもしれません。

村上：CGの応用としてオリンピックの体操のウルトラCのシミュレーションなどをしてみてもいいのでは・・・
(笑い)

秋本：NHKも全身をやっているんで、そのうち始まるかもしれませんね。

村上：最近は筋肉のモデルを考慮してよりリアルな表情を出そうという試みがありますが、そのような発展はどうですか。

秋本：それも1つのやり方ですが、手っとり早く応用するのであれば、そこまで厳密にやらなくても良いのではないかと思います。