

レンジデータからの表情付け可能な顔面モデルの生成

花田, 武彦
九州大学システム情報科学研究院知能システム学部門

吉本, 廣雅
九州大学システム情報科学研究院知能システム学部門

有田, 大作
九州大学システム情報科学研究院知能システム学部門

谷口, 倫一郎
九州大学システム情報科学研究院知能システム学部門

<https://hdl.handle.net/2324/5912>

出版情報 : 火の国情報シンポジウム, 2004-03
バージョン :
権利関係 :

レンジデータからの表情付け可能な顔面モデルの生成

†花田武彦 †吉本広雅 ‡有田大作 ‡谷口倫一郎

†九州大学 大学院システム情報科学府

‡九州大学 大学院システム情報科学研究所

E-mail: {hanada,yosimoto,arita,rin}@limu.is.kyushu-u.ac.jp

近年、三次元仮想空間を用いたアプリケーションが多々研究開発されているが、その仮想空間に登場するユーザの身代りであるアバタは、予め用意されたものであることが多い。ユーザの感情移入を促す意味でアバタをユーザに似せることが求められるが、表情付け可能なアバタの顔面を作成する場合、モデリングソフトを用いてユーザの手によって様々な表情を表現可能な変形情報を顔面の形状モデルに付加するのは容易ではない。本論文では、表情による変形情報が付加されていない顔面のレンジデータに対して、予め用意しておいた変形情報を付加する事で表情付け可能な顔面モデルを生成する手法について述べる。

キーワード 三次元形状モデル、形状変形、表情

Generation of Facial-Expression-Attachable Face Models from Range Data

Takehiko Hanada, Hiromasa Yoshimoto, Daisaku Arita, Rinnichiro Taniguchi

Department of Intelligent Systems, Kyushu University

E-mail: {hanada,yosimoto,arita,rin}@limu.is.kyushu-u.ac.jp

Recently, many applications using 3D virtual environments are researched and developed. In such applications, almost of all avatars, which are users' substitute in the virtual environments are prepared beforehand, and not resemble the users. To realize natural interactions, avatars resembling the users are often required. Usually, such avatars are created manually using a CG character model, however it is time consuming task. In this paper, we, to solve the problem, present a system to create a facial-expression-attachable face models semi-automatically from range data for a human face.

Key words Facial expressions, shape deformation, 3D shape models

1. はじめに

近年、CG技術の発展により、よりリアルな映像を表現可能となった。しかし、コンテンツとなるCGモデルの生成には熟練した技術が必要となり、誰もが手軽にCGコンテンツを製作可能な状況にあるわけではない。特に人の顔面に関しては、顔面に対する人の認識能力の高さもあって、リアルな形状モデルを作成するのは容易ではなく、表情によって変形する顔面のCGモデルを生成するのはさらに困難である。

一方、仮想空間を介したコミュニケーションというものが研究されているが、そこでは、仮想空間におけるユーザの身代り、つまりアバタがCGキャラクタとして登場する。コミュニケーションを円滑に進める上で、有る程度の感情表現、感情移入できることが欠かせないが、アバタをユーザに似せることが一つの助けとなると考えられる。しかし、アバタに用いるユーザのCGキャラクタのモデリングは容易ではなく、ユーザに押し付けることは難しい。レンジファインダを用いることで、ユーザの頭部の形状を正確にモデリングすることはできるが、人の顔面は表情次第で何如様にも変形するため、レンジファインダでは動きを含めた人の顔面をモデリングすることも困難である。

これに対して、レンジデータを基に表情付け可能な顔面モデルを生成できれば、ユーザは容易に自分のアバタを容易に得る事ができる。本論文では、静的なレンジデータに対して、予め用意しておいた表情に関する動き、変形の情報を付加することで、表情付け可能な顔面モデルを生成する手法について述べる。

2. 顔面モデル

レンジファインダを用いて獲得した対象物体のデータは、三角形パッチの集合として扱うことができる。本論文では、この三角形パッチの集合で表された形状モデルを単に形状モデルと呼ぶ。 N 個の頂点 $\vec{p}_i (i = 1, \dots, N)$ と

L 個の面 $f_j (j = 1, \dots, L)$ で構成される形状モデル M を以下のように定義する。

$$M = ({}^M P, {}^M F) \quad (1)$$

$${}^M P = \{{}^M \vec{p}_i \mid i = 1, \dots, N\} \quad (2)$$

$${}^M F = \{{}^M f_j \mid j = 1, \dots, L\} \quad (3)$$

$${}^M f_j = \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$p_1, p_2, p_3 \in {}^M P \quad (5)$$

形状モデル M の頂点 \vec{p}_i を ${}^M \vec{p}_i$ 、面 f_j を ${}^M f_j$ と表記する。

レンジファインダは、一般に対象の変形の無い静的な形状モデルを獲得する。一方、人間の顔面は表情による変形を伴うが、レンジファインダでは表情付け可能な形状モデルを獲得する事は出来ない。そこで、幾つかの表情(表情の無いものも含む)をレンジファインダで撮影し、得られた各形状モデルを何らかの形で統合し、形状モデルを変形可能にする方法を提案する。

まず、幾つかの表情を予め決めておかなければならないが、FACS^[1]のAU(AU:Action Unit)と呼ばれる顔面の動作単位を用いる。FACSでは眉を上げる、眉を下げる、眉間に皺を寄せると言った44個の動作単位が定義されている。例えば、笑顔であれば頬を上げる、口端を引く等といった細かな動作に分解可能である。このように、どのような顔面の変形も動作単位AUに分解する事が可能である。よって、各動作単位AUが単体で発現した顔面の形状モデルを獲得し、それらを合成することで様々な顔面の変形を表現できる。本論文では、表情による変形が可能な顔面の形状モデルを顔面モデルと呼ぶことにする。

3. 顔面の形状モデルの変形と表情付け

本研究では、ユーザの顔面のレンジデータから獲得した形状モデルに合わせて、予め準備しておいた顔面モデル(誰の顔面モデルかは問わない)を変形させた結果を提案手法の成果物とする。よって、異なる顔面の形状モデル間の変形を行なう必要が出てくる。さら

に、顔面モデルは表情付け可能であるため、表情を付けるための変形も必要になってくる。本節では、これらの変形について説明する。

3.1 形状モデルの変形

形状モデルに表情をつけるには、形状モデルの口端が移動したり、頬を膨らませたりと、形状の変形を行わなければならない。ところが、適当な変形を行えば、唇だったところが鼻の頭に行ったり、エラが頬まで上がったりと顔が顔でなくなってしまう。そこで、口は口、鼻は鼻と言った具合に、各部位を保存しつつ無表情の形状モデル M_o (頂点数 N_o 、面数 L_o) を動作単位 u が発現した形状モデル M_u (頂点数 N_u 、面数 L_u) に合わせて変形した形状モデル $M_{o \rightarrow u}$ を求める必要がある。そのために以下に挙げる二段階の手法を取った。

● 第一段階

まず、予め顔面上に口端、目端、眉端、鼻頭といった特徴点をいくつか決めておき、その特徴点を結んで形状モデル M'_o 、 M'_u (頂点数 N') を得る。このように顔の形状モデルの特徴点を結んで得た形状モデルを特徴形状モデルと呼ぶことにする。形状モデル M_o と M_u に表情や人物の違いがあれば特徴点の座標は異なるので、変形の第一段階では M'_o の頂点を M'_u の対応する頂点の位置に並行移動させ、 M'_o に生じた変形を M_o に適用する。具体的には、頂点が移動するために生じる $M'_o f_j$ の変形に合わせて $M'_o f_j$ の近傍にある K_j 個の M_o に含まれる頂点 ${}^{M_o} \vec{P}_k ({}^{M'_o} f_j)$ ($k = 1, \dots, K_j$) (詳細後述) を移動させる。第一段階の変形後の形状モデルを $M_{o \sim u}$ とする。

● 第二段階

第一段階が完了しても、頬骨や目、鼻などの部位の位置が一致しているだけで、肉付き等の膨らみやへこみは再現できていない。そこで、 $M_{o \sim u}$ の頂点を M_u の面上まで移動させることで、目的の $M_{o \rightarrow u}$ を得る。

続いて、変形の各段階を詳しく説明する。なお、 ${}^{M'_o} f_j$ の近傍にある M_o の頂点の集合を ${}^{M_o} P ({}^{M'_o} f_j) = \{ {}^{M_o} \vec{P}_k ({}^{M'_o} f_j) | k = 1, \dots, K_j \}$ と表記する。また、変形対象の形状モデル M_o を対象形状モデル、変形目的の形状モデル M_u を目的形状モデルと呼ぶことにする。

第一段階では、頂点 ${}^{M_o} \vec{P}_k ({}^{M'_o} f_j)$ を ${}^{M'_o} f_j$ によって、以下のように媒介変数を用いて表現する。

$$\begin{aligned} \vec{P}_k ({}^{M'_o} f_j) &= t_{jk1} \cdot \vec{p}_{j1} \\ &\quad + t_{jk2} \cdot \vec{p}_{j2} \\ &\quad + t_{jk3} \cdot \vec{p}_{j3} + l_{jk} \cdot \vec{n}_j \quad (6) \\ \vec{n}_j &= (\vec{p}_{j2} - \vec{p}_{j1}) \times (\vec{p}_{j3} - \vec{p}_{j1}) \quad (7) \end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} \vec{p}_{j1} \\ \vec{p}_{j2} \\ \vec{p}_{j3} \end{bmatrix} = {}^{M'_o} f_j \quad (8)$$

これは、面 ${}^{M'_o} f_j$ 上に $\vec{P}_k ({}^{M'_o} f_j)$ を投影した座標 $h = t_{jk1} \cdot \vec{p}_{j1} + t_{jk2} \cdot \vec{p}_{j2} + t_{jk3} \cdot \vec{p}_{j3}$ と、そこから f'_{oj} の法線方向 \vec{n} の成分 $l_{jk} \cdot \vec{n}$ の和を意味する。

次に、頂点 ${}^{M_o} \vec{P}_k ({}^{M'_o} f_j)$ の変形後の座標 ${}^{M_{o \sim u}} \vec{q}_{jk}$ を、式??の ${}^{M'_o} f_j$ の代わりに面 ${}^{M'_u} f_j$ を用いて以下のように求める。

$$\begin{aligned} {}^{M_{o \sim u}} \vec{q}_{jk} &= t_{jk1} \cdot \vec{p}_{j1} \\ &\quad + t_{jk2} \cdot \vec{p}_{j2} \\ &\quad + t_{jk3} \cdot \vec{p}_{j3} + l_{jk} \cdot \vec{n}_j \quad (9) \\ \vec{n}_j &= (\vec{p}_{j2} - \vec{p}_{j1}) \times (\vec{p}_{j3} - \vec{p}_{j1}) \quad (10) \end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} \vec{p}_{j1} \\ \vec{p}_{j2} \\ \vec{p}_{j3} \end{bmatrix} = {}^{M'_u} f_j \quad (11)$$

以上で、変形の第一段階が完了し、以下のように $M_{o \sim u}$ を得る。

$$M_{o \sim u} = \{ {}^{M_{o \sim u}} P, {}^{M_o} F \} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} {}^{M_{o \sim u}} P &= \{ {}^{M_{o \sim u}} \vec{p}_i = {}^{M_{o \sim u}} \vec{p}_{jk} \\ &\quad | i = 1, \dots, N_o \} \quad (13) \end{aligned}$$

第二段階では、得られた頂点 ${}^{M_{o \sim u}} \vec{q}_{jk}$ を通り、 ${}^{M'_u} f_j$ の法線 \vec{n} を向きとする直線と目

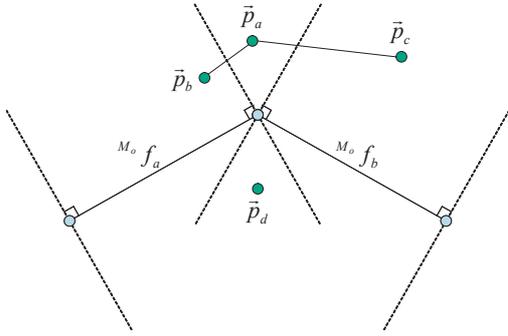


図 1: 頂点集合 $M_o P(M'_o f_j)$ を決定する際の
問題点

的形状モデルの面との交点 $\vec{r}_{jk} = \vec{r}_x (x = 1, \dots, N_o)$ が求まる。頂点の集合 $P_{o \rightarrow m} = \{\vec{r}_x \mid x = 1, \dots, N_o\}$ と M_o の面情報 F_o を合わせ、目的の形状モデル $M_{o \rightarrow m} = (P_{o \rightarrow m}, F_o)$ を得る。

3.2 頂点集合 $M_o P(M'_o f_j)$ の決定

変形の第一段階において、面 $M'_o f_j$ の変形に合わせて移動する頂点の集合 $M_o P(M'_o f_j)$ を具体的に決めておく必要がある。そこで、頂点 $M_o \vec{p}_i$ を面 $M'_o f_j$ によって媒介変数表示し、以下の条件に満たす場合に、面 $M'_o f_j$ の近傍に存在するとして、 $M_o P(M'_o f_j)$ に含めることとした。

$$0 \leq t_{jk1}, t_{jk2}, t_{jk3} \leq 1 \quad (14)$$

$$t_{jk1} + t_{jk2} + t_{jk3} \leq 1 \quad (15)$$

つまり、 $M'_o f_j$ に対して垂直に投影すると $M'_o f_j$ 上に投影される頂点を $M_o P(M'_o f_j)$ に含めるのである。ここで問題となるのは、図1の頂点 $M \vec{p}_a$ のようにどの面 $M'_o f_j$ にも属さなかったり、 $M \vec{p}_b$ のように複数の面 $M'_o f_j$ に属してしまう頂点が存在する事である。

前者の問題については、問題となっている頂点 $M \vec{p}_a$ に連結している頂点の中で最も近傍にある頂点 $M \vec{p}_c$ が含まれる点集合 $M P(M'_o f_j)$ に、 $M \vec{p}_a$ も含めてしまうことで解決した。後者の問題については、微小領域の問題であるため頂点がどの集合に含まれようと大した違

いはなく、処理上で先に処理される頂点集合に含める事にした。

3.3 表情付け

単一の動作単位を形状モデルに発現させるだけならば、3.1節で説明した変形手法を適用すればよいが、複数の動作単位が発現した状況、つまり表情が発現した場合は、複数の動作単位が発現した形状モデルを合成する必要がある。

まず、複数の動作単位を同時に発現させる前に、準備段階として単一の動作単位を発現させるため変形情報を獲得する。無表情の形状モデル M_o をある動作単位 u が発現している形状モデル M_u へ3.1節の手法によって変形させ、どのように変形したかを保存する。具体的には、特徴形状モデル M'_o の頂点 $M'_o \vec{p}_i$ を特徴形状モデル M'_u の頂点 $M'_u \vec{p}_i$ の位置へ移動させる際の変位 $disp_i^u = M'_o \vec{p}_i - M'_u \vec{p}_i$ (以下、特徴点の変位) と第一段階完了後の頂点座標 $M_{o \sim u} \vec{p}_i$ が $M_{o \rightarrow u} \vec{p}_i$ へ移動する際の変位 $disp_i^u = M_{o \sim u} \vec{p}_i - M_{o \rightarrow u} \vec{p}_i$ (頂点の変位) の二つの変位を保存し、動作単位 u の変形情報 D_u とする。

$$D_u = (Dis, Dis') \quad (16)$$

$$Dis = \{disp_i^u \mid i = 1, \dots, N_o\} \quad (17)$$

$$Dis' = \{disp_l^u \mid l = 1, \dots, N'\} \quad (18)$$

単一の動作単位 u を発現するには、特徴点の変移を特徴形状モデル M'_o の頂点 (特徴点) に加えて M_o を変形させ、続いて頂点 $M_o \vec{p}_i$ に変位を加えれば良い。動作単位 u の発現度合を α_u 、対象形状モデルの頂点 $\vec{P}_k(M'_u \vec{p}_j)$ の変形の第一段階後の頂点を \vec{q}_{jk} として、動作単位 u の発現を以下のように定式化できる。

$$M_{o \rightarrow u} = (M_{o \rightarrow u} P, M_o F) \quad (19)$$

$$M_{o \rightarrow u} P = \{M_{o \sim u} \vec{p}_i + \alpha_u \cdot disp_i^u \mid i = 1, \dots, N\} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} M_{o \sim u} \vec{p}_i &= \vec{q}_{jk} \\ &= t_{jk1} \cdot \vec{p}_{j1} \\ &\quad + t_{jk2} \cdot \vec{p}_{j2} \\ &\quad + t_{jk3} \cdot \vec{p}_{j3} + l_{jk} \cdot \vec{n}_j \end{aligned} \quad (21)$$

$$\vec{n}_j = (\vec{p}_{j2} - \vec{p}_{j1}) \times (\vec{p}_{j3} - \vec{p}_{j1}) \quad (22)$$

$$\begin{bmatrix} \vec{p}_{j1} \\ \vec{p}_{j2} \\ \vec{p}_{j3} \end{bmatrix} = M'_j f_j + \alpha_u \cdot \begin{bmatrix} disp_{j1}^u \\ disp_{j2}^u \\ disp_{j3}^u \end{bmatrix} \quad (23)$$

さて、以上で単一の動作単位の発現を可能にしたが、それを基に次のステップとして複数の動作単位の発現させる。複数の動作単位 u の変形情報 D_u を各発現度合 α_u を掛けて足し併せる事で、複数の動作単位の発現させる。よって、単一の動作単位の場合の式 20 を以下のように書き換え、

$$M_{o \rightarrow u} P = \{ M_{o \sim u} \vec{p}_i + \sum_u \alpha_u \cdot disp_i^u \mid i = 1, \dots, N \} \quad (24)$$

式 23 を以下のように書き換えることで、複数の動作単位の発現させる事が出来る。

$$\begin{bmatrix} \vec{p}_{j1} \\ \vec{p}_{j2} \\ \vec{p}_{j3} \end{bmatrix} = M'_j f_j + \sum_u \alpha_u \cdot \begin{bmatrix} disp_{j1}^u \\ disp_{j2}^u \\ disp_{j3}^u \end{bmatrix} \quad (25)$$

以上のように、表情付けには以下の情報が必要となる。

- 顔面の形状モデル M
- 顔面上の特徴点を結んで得た特徴形状モデル M'
- 各動作単位 u の発現に必要な変形情報 D_u

よって、表情付け可能な顔面モデル FM は以下のような式で表す事が出来る。

$$FM = (M, M', D) \quad (26)$$

$$D = \{D_u\} \quad (27)$$

4. 表情付け可能な顔面モデル生成システム

4.1 概要

本システムは、入力された顔面の形状モデルに合わせて、予めシステム内に準備してお

いた一つの顔面モデル (以下基本顔面モデルと呼ぶ) を 3.1 節の手法を用いて変形させることで、入力された形状モデルと同形状の顔面モデルを得る。システム内に用意しておいた基本顔面モデルは表情付け可能であるため、それを変形させて得た出力結果の顔面モデルも表情付けが可能である。

ユーザは、予めレンジファインダなどを用いて¹無表情な顔面の形状を一枚撮影し、形状モデルを獲得し、システムに入力するだけで良い。形状を獲得する手法によっては一度に顔面の形状を獲得する事が出来ないため、その場合は数回に分けて撮影し、得られた形状を統合して一つの形状モデルとする。

4.2 基本顔面モデルの生成

システム内部で予め保持しておく基本顔面モデルを作成する必要がある。基本顔面モデルは、入力されるユーザの顔面の形状とあまりにかけ離れた形状だと、システムが作動しないが、大抵の場合は基本顔面モデルに要求される特別な形状はなく、ある特定の人物の顔面モデルでも良い。基本顔面モデルを作成する手順は以下の通りである。

同一人物に各動作単位を実行してもらい、それぞれ形状モデルを作成する。次に??節の手法により、無表情の形状モデル以外の全ての形状モデルについて動作単位による変形情報を抽出し、無表情の形状モデルと合わせて保存することで、顔面モデルが生成できる。

最終的なシステムの出力となる顔面モデルはこの基本顔面モデルを変形させた物になるため、基本顔面モデル以上の解像度や動作単位の種類を出力結果に求める事はできない。よって、それを考慮してレンジファインダの解像度や用いる動作単位の種類を決める必要がある。

5. 実験

本実験では、研究の第一段階として、以下に挙げる基本的な動作単位について実験を行った。

¹システムは特にレンジファインダに限定しているわけではない

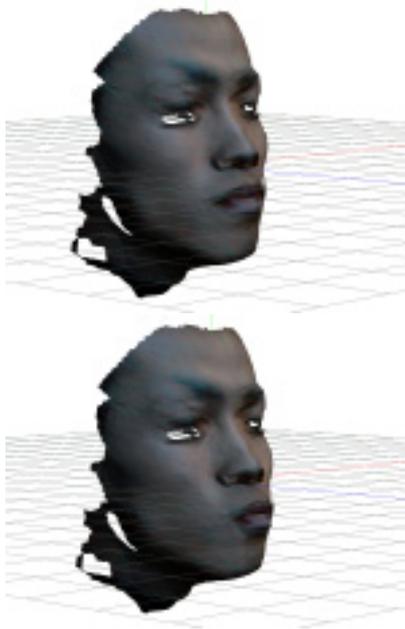


図 2: 基本顔面モデル。無表情(上)、口をすぼめた顔(下)

- (1) 眉を上げる
- (2) 眉を下げる
- (3) 頬を上げる
- (4) 口をすぼめる
- (5) 口端を引く

上記の動作単位を一つずつ被験者に発現してもらい、レンジファインダを用いて形状モデルを獲得した(無表情な形状モデルも含む)。

3.3節の手法により、無表情の形状モデルと各動作単位が発現した形状モデルから動作単位による変形情報を抽出し、顔面モデルを生成した。そして、表情づけを行なったところ、図2のような結果を得た。

次に、表情づけ可能な顔面モデル生成システムに無作為に選択した顔面モデルを基本顔面モデルとして与え、レンジファインダから得た形状モデルを入力したところ、図3のような結果を得た。

6. おわりに

本論文では、ユーザの顔面の形状モデルから表情づけ可能な顔面モデルを生成する手法

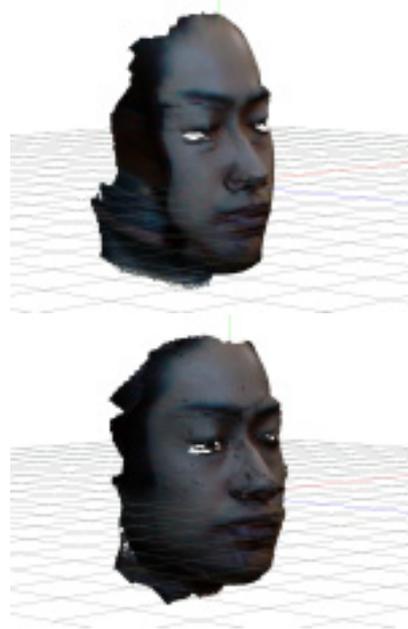


図 3: 入力した形状モデル(上)と出力された顔面モデル(下)

を提案した。本手法により、ユーザは自分の顔をレンジファインダで撮影し、得られた形状モデルをシステムに入力する事で、自分の顔の表情付け可能な顔面モデルを得る事が出来る。実験では、基本顔面モデルへの表情付けと基本顔面モデルの入力された形状モデルに合わせた変形を行ない、提案手法により表情付けが可能であり、かつ他人への変形が可能である事を示した。

参考文献

- [1] Ekman, Friesen 著, 工藤訳編, “表情分析入門”, 誠信書房、1987.