

ホモトピーに基づいた三次元顔画像の表情生成の一検討

2V-3

Time-varying Homotopy and the Animation of Facial Expressions for 3D Human Face Images

梶原創一

田中弘美

大谷淳

岸野 文郎

Souichi KAJIWARA, Hiromi T. TANAKA, Jun OHYA, Fumio KISHINO

ATR 通信システム研究所

ATR Communication System Research Laboratories

1. まえがき

筆者等は、臨場感通信会議システム[1]実現を目指し、3次元人物像の表情検出と生成の研究を進めている。すなわち、図1に示すように、顔の表情筋の構造と動作に基づく3Dワイヤーフレームモデル(図2)駆動法を検討している。本研究では、顔の生成に適する位相幾何学(トポロジー)におけるホモトピーに基づいた三次元顔画像の表情生成の検討を行った。

ホモトピーは、パラメーターを介することにより、両端を固定した任意曲線を他の任意曲線に移す際に用いる手法である。本研究ではこの応用例として、任意曲線の端点に輪郭線を設定し両輪郭間をブレンド関数で補間して形成される任意の原曲面を、他の異なる曲面に実時間で遷移させる時変ホモトピーに基づくシリンドラモデルを提案する。さらにこの形状変形を、臨場感通信会議における人物顔画像の実時間表情変化に適用し、その合成例として顔面の顔を動作させる際に生じる顔の発生法を検討する。

2. 時変ホモトピー(Time-varying homotopy)

本研究では対象となる物体の実時間における形状変化を考慮したホモトピーの概念を提案する。以後、これを時変ホモトピー(Time-varying homotopy)と称し、定義を以下に示す。

三次元空間に、時刻 t の時の、2つの異なる輪郭線 $\bar{C}_1(u, v, t)$, $\bar{C}_2(u, v, t)$ を設定し、両輪郭間を補間することにより構成される各断面の各ノードの点を $\bar{x}(u, v, t)$ とし、これらを次のように表す(図3)。

$$\bar{C}_1(u, v, t) = (C_{1x}(u, v, t), C_{1y}(u, v, t), C_{1z}(u, v, t))^T \quad (1)$$

$$\bar{C}_2(u, v, t) = (C_{2x}(u, v, t), C_{2y}(u, v, t), C_{2z}(u, v, t))^T \quad (2)$$

$$\bar{x}(u, v, t) = (x(u, v, t), y(u, v, t), z(u, v, t))^T \quad (3)$$

但し $0 \leq u \leq u_{\max}$, $0 \leq v \leq 1$, $0 \leq t \leq 1$ とし $\bar{C}_1(u, v, t)$, $\bar{C}_2(u, v, t)$ が y 軸に対して垂直になり、各々の y 座標が常に $C_{1y}(u, v, t) < C_{2y}(u, v, t)$ となるように設定する。

式(1), (2), (3)より時刻 $t=0$ の時の輪郭線 $\bar{C}_1(u, v, 0)$, $\bar{C}_2(u, v, 0)$ の間にある表面上の各ノード $\bar{x}(u, v, 0)$ を

$$\bar{x}(u, v, 0) = (1-v)\bar{C}_1(u, v, 0) + v\bar{C}_2(u, v, 0) \quad (4)$$

とする。また、 $t=1$ のときの輪郭線 $\bar{C}_1(u, v, 1)$ と $\bar{C}_2(u, v, 1)$ の間を後述のブレンド関数 $R_s(v)$ で補間して、これを

$$\bar{x}(u, v, 1) = (1-R_s(v))\bar{C}_1(u, v, 1) + R_s(v)\bar{C}_2(u, v, 1) \quad (5)$$

と表わす。

さらに、式(4), (5)で定義した $t=0, 1$ のときの位置ベクトル $\bar{x}(u, v, 0)$, $\bar{x}(u, v, 1)$ より時刻 t における各ノードの位置ベクトルを次のように定義する。

$$\bar{x}(u, v, t) = (1-R_t(t))\bar{x}(u, v, 0) + R_t(t)\bar{x}(u, v, 1) \quad (6)$$

但し、一般に $1 \neq n$ とし式(6)では常に式(8)のブレンド関数を用いるものとする。

従って、式(5)より変数 n の値を変えるだけで、 $t=1$ のときの対象となるモデルの形状を容易に変形させることができ、式(6)において変数 t の値を変えるだけで、このモデルの実時間における時間的遷移を容易に変更させることも可能である。

3. 時変ホモトピーの応用例

$\bar{C}_1(u, v, t)$ と $\bar{C}_2(u, v, t)$ の間の補間の際導入したブレンド関数 $R_s(v)$ は以下のように表わされる(図4)。

$$R_s(v) = \frac{(1+n)v}{1+nv}, \quad 0 \leq v \leq 1, n \geq -1 \quad (7)$$

変数 n は輪郭線 $\bar{C}_1(u, v, t)$ と $\bar{C}_2(u, v, t)$ のブレンド(混ぜ合わせ)の比率を決定する重要な媒介変数である。

図5に示すブレンド関数 $R_s(v)$ は以下のように表わされる。

$$R_s(v) = \frac{(1+n)v^2}{(2+n)v^2 - 2v + 1} \quad (8)$$

式(7), (8)より、これらのブレンド関数 $R_s(v)$ は、 $0 \leq R_s(v) \leq 1$ を満たす。式(7), (8)で定義したブレンド関数 $R_s(v)$ で相違する点は、 $v=0, 1$ のときにブレンド関数 $R_s(v)$ の微係数が

$$\left. \frac{dR_s(v)}{dv} \right|_{v=0} = 0 \quad \text{and} \quad \left. \frac{dR_s(v)}{dv} \right|_{v=1} = 0 \quad (9)$$

という条件を式(7)では必ずしも満足しないが式(8)では必ず満足することにある。

ここで、式(4), (5), (6)を用いて実時間における三次元の形状変化を考慮した時変ホモトピーに基づいたシリンドラモデルの例を図6, 7に示す。但し、このとき、3つの輪郭線 $\bar{C}_1(\theta, v, t)$, $\bar{C}_2(\theta, v, t)$, $\bar{C}_3(\theta, v, t)$ は以下のよう表わされる。

$$\bar{C}_i(\theta, v, t) = \begin{bmatrix} C_{ix}(\theta, v, t) \\ C_{iy}(\theta, v, t) \\ C_{iz}(\theta, v, t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_i(t) \cos \theta \\ y_i(v, t) \\ r_i(t) \sin \theta \end{bmatrix} \quad (10)$$

但し、 $i=1, 2, 3$, $0 \leq \theta \leq 2\pi$, $0 \leq v \leq 1$, $0 \leq t \leq 1$, $r_i(t)$ を輪郭線 $\bar{C}_i(\theta, v, t)$ の半径とし、常に

$$y_1(v, t) < y_2(v, t) < y_3(v, t) \quad (11)$$

$$\frac{y_2(v, t) - y_1(v, t)}{y_3(v, t) - y_2(v, t)} = 1 \quad (12)$$

を満足するものとする。さらに、図6では式(7)のブレンド関数 $R_s(v)$ を式(5)に代入し、図7では式(8)のブレンド関数を式(5)に代入することにより $t=1$ のときの形状を構成するものとする。

上述の時変ホモトピー(Time-varying homotopy)の応用例として図6のシリンドラモデルを図8のように変形し、各ノードの変位量に従い図9のように顔表情生成の際に顔に顔を動作させる際に容易に発生させることができる。

4. まとめ

本研究で考案された時変ホモトピー(Time-varying homotopy)を用いることにより、以下の利点を得た。

従来、解剖学的見地に基づいて筋肉モデルを構成した上で顔の表情を生成する場合、物理的定義が複雑になる傾向にあるが[2]、本手法では、そのような複雑な定義を必要としない。

従来の補間法(Integrated Homotopy Sweep Technique[3], B-spline等)では、基本的に静的な物体の形状生成に適用されるにとどまる傾向にあったが、本研究で考案された手法を用いると静的な物体の形状の生成に適用するだけでなく、対象となる物体の実時間における形状変化を生成することも可能である。

本研究における従来手法[4]では、皮膚表面の三次元的変形の際に、人物の表情変化に関連する筋肉に基づきモーションルールを定義した場合、その表情合成が極めて線形的な動作を表示するにとどまったが、本手法では、極めて非線形的な表情変化を生成することが可能である。

参考文献

- [1]岸野, "ヒューマンコミュニケーション 臨場感通信", テレビジョン学会誌 Vol.46, No.6, pp.698-702(1992)
- [2]D.Terzopoulos et al., "Physically-based facial modeling, analysis and animation," The Journal of Visualization and Computer Animation, Vol.1, pp.73-80(1990)
- [3]L.Kunii et al., "Integrated Homotopy Sweep Technique for Computer-Aided Geometric Design", CG International '92, pp.583-595
- [4]梶原, 大谷, 岸野, "3次元顔画像表示における皮膚表面変形法の一検討", 信学会春期大会, A-244, 1993



Figure 1: Facial muscles of expression



Figure 2: Wire frame model

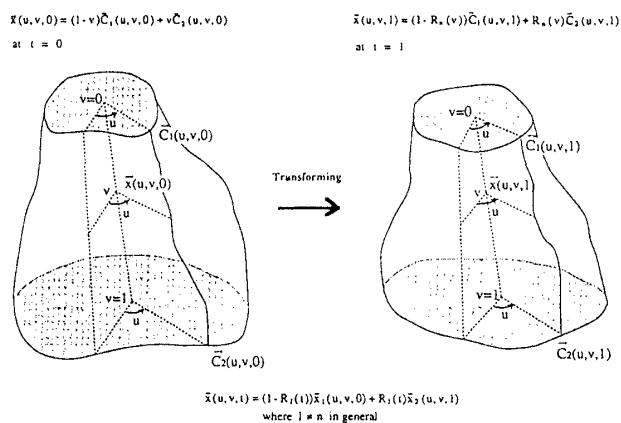


Figure 3: Proposed concept of time-varying homotopy

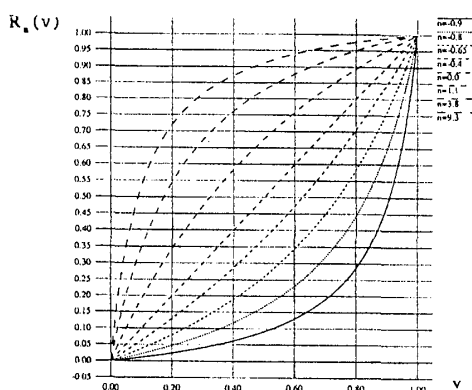


Figure 4: Blending functions which do not satisfy the condition equation (9)

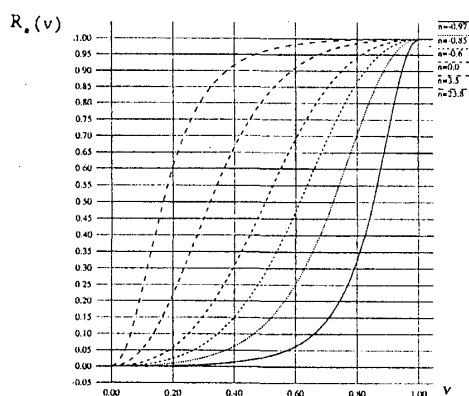


Figure 5: Blending functions which satisfy the condition equation (9)

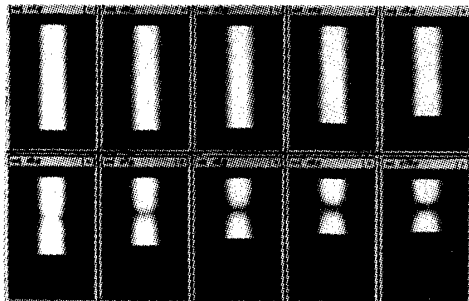


Figure 6: Time series of a deformed cylinder model, which does not satisfy conditional equation (9)

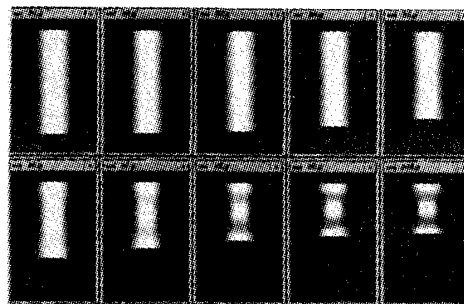


Figure 7: Time series of a deformed cylinder model, which satisfies conditional equation (9)

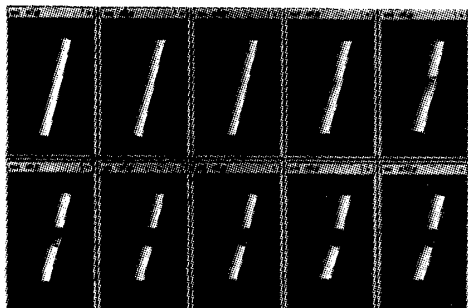


Figure 8: The deformation over time of the cylinder model corresponding to motion of forehead muscles

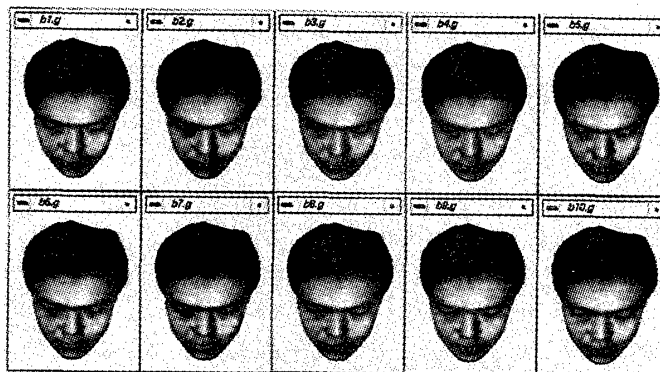


Figure 9: The motion of a wrinkle on the forehead