

曲面のリアルタイム変形による CG ロボットの表情変化の実現

保坂悠太[†] 杉本裕介[†] 西陽一郎[†] 加藤清敬[†]

東京理科大学[†]

1. 緒論

人間の表情を表現するには、顔の3次元モデルを変形させて表情を作り出すが、これには大きく分けて物理的な手法と幾何的な手法の二つの流れが存在する。前者は筋肉モデル¹⁾などを用い、運動方程式を解いてモデルを変形させる手法があるが、各種パラメータの調整が困難であり、計算量が膨大になるという問題点がある。後者は直接幾何学的な変形を施して表情を作成する手法²⁾であり、三角形メッシュの頂点の移動からモデルを変形させるため、処理が高速である。しかし、各頂点をそれぞれ考慮する必要があるため、直感的な制御が困難であるという問題点がある。そこでスプライン曲面を導入することで、制御点の操作から三角形メッシュを一括して大域的な変形が可能になると考えられる。ところが、従来の NURBS などの曲面では顔を構成する各部位を局所的に変形させることが難しい。

本研究では、離散化制御点曲面³⁾を用い、これを高速に変形させることで表情変化を生み出す手法を提案する。本手法では離散化制御点曲面から頭部を構築し、さらに曲面変形の処理を高速に行うシステムを構築する。そして要所に設けた制御点を順次更新することで顔の大域的な動きと細部を表現し、表情を変化させる。本稿ではこの有効性と問題点を検証する。

2. CG ロボットの頭部実現方法

人間の頭部は、その部位によって凹凸の粗密が異なるため、必要に応じて制御点を離散的に配置することができる曲面が望まれる。また違和感のない表情変化を実現するには、柔軟で容易に形状を変えることができ、処理が高速でなければならない。そこで NURBS 曲面を拡張した離散化制御点曲面から頭部を構築し、高速に曲面を変形させることによりリアルタイムでの表情変化を試みる。

2.1 データ構造

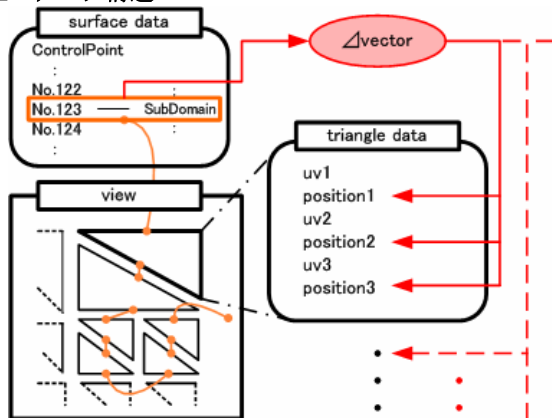


図1 データ構造

図1に本研究におけるデータ構造を示す。まず頭部を構成する曲面データを元に曲面を構成する最小単位の三角形を作成する。そして各制御点と影響する三角形との関連付けをリスト化し、制御点を変更したときにはその差分を直接差しこむことで高速な再演算を実現する。

2.2 離散化制御点による曲面創成

NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines) 曲面は、制御点の配置が隣同士ノットベクトルを共有し、拘束されたものとなっているため、ノットベクトルの一部の変更に対してほぼ面全体に影響を与えるという特性がある。そのような拘束をなくすため、新たにばらばらに散在した制御点から曲面を創成する方法が提案された³⁾。これは制御点及びノットベクトルの変更が局所的であり、NURBS 曲面を包含する性質をもつ。この離散化制御点曲面は、1つの制御点が u, v 定義空間においてその定義領域 (サブドメイン) とブレンド関数を独立にもっており、それらを変化させることでより自由度の高い曲面を形成することができる。この曲面は以下の式で表現される。

$$S(u, v) = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} b_i(s_i(u, v), t_i(u, v)) w_i P_i}{\sum_{i=0}^{N-1} b_i(s_i(u, v), t_i(u, v)) w_i} \dots (1)$$

ここで b_i はパラメータ s_i, t_i から定義される2変数のブレンド関数であり、これはノットベクトルによって定義される。すなわち、離散化制御点1つが座標値、重み、ノットベクトルをパラメータとして有しており、これとサブドメインの変化によって曲面創成を行う。

2.3 制御点密度に応じた三角形の分割

本曲面は、 uv 空間における定義領域をある程度細分化して得る三角形を三次元座標上に描画するものである。この分割が細かいほどより詳細な表現が得られるが、その分データ量と再演算量が増えて高速処理への障害となる。頭部には、制御点を密にして細かな凹凸を構成する複雑な部分と、そうでない比較的起伏の少ない部分が存在し、このうち後者では細分化の必要性は低いと考えられる。そこで Quad Tree による方法を用い、範囲内の制御点の数が所定数以下になるまで uv 空間上で四等分割を繰り返して三角形を作成した。

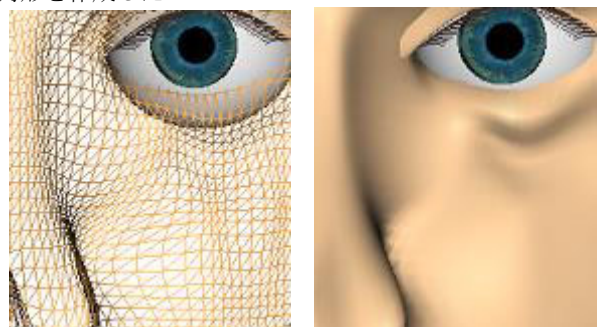


図2. 分割数を一定にしたときの曲面表現

「Facial expression for a CG robot using real-time surface modification」

[†]Yuta Hosaka, Yusuke Sugimoto, Youichirou Nishi, and Kiyotaka Kato, Tokyo University of Science

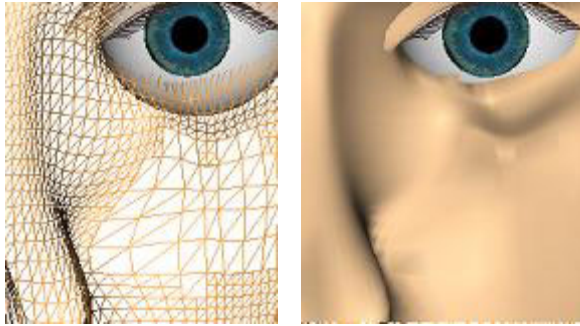


図3. 密度により分割数を変えたときの曲面表現

図2, 3に分割数一定のときと密度により分割数を変えたときの様子を示す. これにより 50.2%のデータ量を削減しつつ, ほぼ同等の曲面表現を実現した.

2.4 制御点と影響する三角形のリスト化

従来の NURBS 曲面では, ノットベクトルの一部の変更に対してはほぼ面全体に影響を与える性質を有しており, 容易に曲面形状を変えることができなかった. これに対し離散化制御点曲面では, 各制御点が独立した定義領域とノットベクトルを有しているため, 各パラメータを変えることで局所的な変更を可能とする. そこで曲面を構成する三角形に対し, 関連する制御点のリスト化を施しておく. すると, ある制御点を変更した際, リストを元に影響する三角形のみを再演算することで計算範囲を最小化することができる. ある制御点を変更させたとき, その影響範囲と変化の様子を図4に示す.

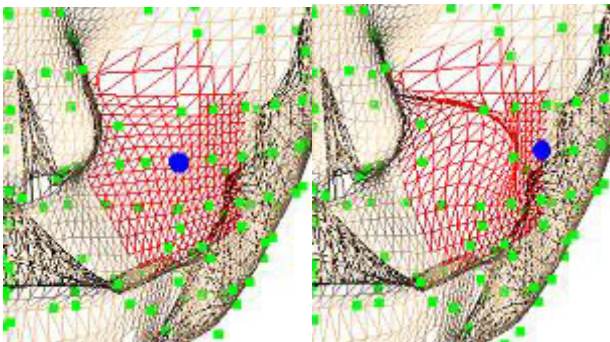


図4. 制御点変更における曲面変化

2.5 差分足し込みによる曲面創成

また曲面を構成する各三角形に対し, 頂点座標とその除算前の値, すなわち式(1)の分子分母の値をもたせておく. するとある制御点 n を変更したときの値は, 次式で表すことができる.

$$S = \frac{\sum_{i=top}^{tail} B_i w_i P_i + B_n w_n \Delta P}{\sum_{i=top}^{tail} B_i w_i} \dots (2)$$

このうち, 右辺分母と右辺分子第一項は変更前の値と同じであるため, 右辺分子第二項の変更分を足し込むだけの計算となる. これにより高速な処理が可能となる.

3. 動作実験

3.1 実験方法

本システムの動作検証として, 複数の制御点を同時に変更したときの曲面変化の様子を観測した.

3.2 実験結果

複数の制御点を同時に変更した時の変化の様子を以下の図5に示す.

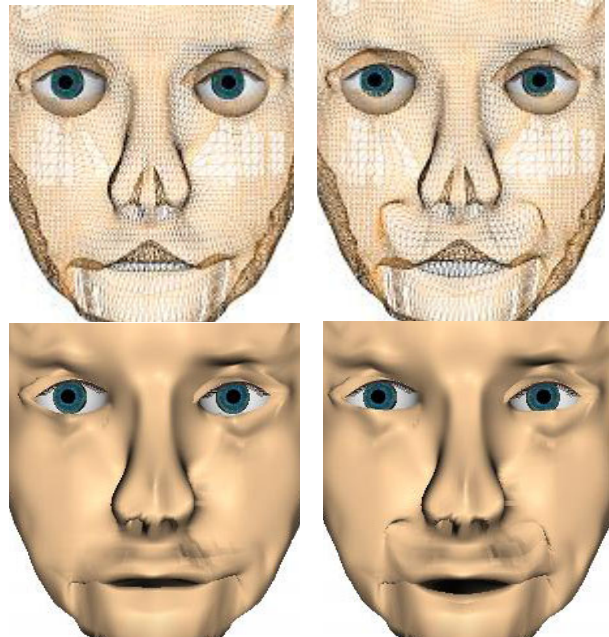


図5. 制御点変更における頭部の変化

3.3 考察

本実験により, 様々な箇所の複数の制御点を同時に変更することで皮膚の大域的な変化やそれに伴う皺の微妙な変化などを確認できた. そしてこの変化をおよそ 14.3fps ほどで表示できることから, 円滑な表情の変化を実現できたと言える.

4. 結論

本研究では, 柔軟で自由度の高い曲面を高速に変形させることで, CG ロボットの表情変化を生み出す手法を提案した. そして離散化制御点曲面から頭部を構築し, 高速に曲面形状を変える以下のシステムを構築した.

- 1)制御点密度に応じた三角形の分割
- 2)制御点と影響する三角形のリスト化
- 3)差分足し込みによる曲面創成

その結果, 三角形メッシュを一括して大域的に変形させることで, 直感的なモデルの変形が可能となり, 制御点を操作すると, 即座に関連領域が再演算され, 曲面の変形を高速に行うことが可能となった.

今後は変形に伴う制御点の関連付けを行い, 所望の表情変化を容易に得るためのシステムを構築する必要があると考えられ, 今後研究を進めていく次第である.

5. 参考文献

- 1)D.Terzopoulos and K.Waters, "Analysis and synthesis of facial expression using spring frame model," IEEE Trans. PAMI, vol.15, no.6, pp.569-579, June 1993
- 2)崔昌石, 岡崎透, 原島博, 武部幹, "顔の3次元モデルに基づく表情の記述と合成", 信学論(A), vol.J73-A, no.7, pp.1270-1280, July 1990
- 3)加藤清敬, 三上博, 小山宏峰, 西村敬介, 川面恵司, "離散化制御点による曲面創成方法," 情報処理学会論文誌, vol.44, no.1, pp.124-133, Jan 2003