

四二一七

早稲田大学大学院理工学研究科

博士論文概要

論文題目

解剖学的知見に基づいた
動的な顔の物理モデルの構築
及びその応用に関する研究

Physics-based Dynamical Face Modeling
Utilizing Anatomical Knowledge
and Its Applications

申請者

青木 義満

Yoshimitsu Aoki

物理学及応用物理学 情報工学

2000年10月

顔画像の分析・合成技術は、知的画像符号化・臨場感通信などのマルチメディア・コミュニケーションをはじめとして、マン・マシンインタフェースにおける擬人化エージェント等、顔の持つ個人情報や表情を媒介としてより自然なコミュニケーションを行うことを目的としたアプリケーションへの適用を目指し、各分野において盛んに研究が進められている。また、顔画像の分析・合成技術は、工学のみならずそれ以外の学際分野(心理学、人類学、化粧学、医学等)においても顔研究のためのツールとして利用されており、広範な分野にまたがる顔研究者によって、その有用性が確認されている。

特に、顔画像の合成については、超狭帯域テレビ会議システムの実現を目指した知的画像符号化技術に端を発し、これまで様々な手法が提案されている。最も一般的な顔画像の合成法では、まず人物の顔の形状を近似した標準的な3次元の顔形状モデル(ワイヤーフレームモデル)を用意し、これを正面顔画像などを用いて個人の顔形状に適合する処理(フィッティング処理)を施して、個人用の顔形状モデルを構築する。更にそれを何らかの手法によって変形した後(変形処理)、顔面のテクスチャ画像を貼り付けることで顔画像の合成を行うものである。

このようなモデルベースの顔画像合成手法における大きな課題としては、

- ① 顔形状モデルとしてどの程度の精度のものを用いるか。
- ② 個人の顔形状情報をどのようなデータから、如何にして抽出し、フィッティングを行うか。
- ③ 顔面の変形をどのような手法によって実現するか。

の3つが挙げられる。これらの課題について、その利用目的に応じて様々な方法とそれらの組み合わせが提案されている。

③については、予め定義された幾何学的な変形則を用いるものや、皮膚・筋肉をバネの集合体の弾性体として表現し、その収縮に伴う顔面変形を計算によって実現する物理的な変形手法などがある。

幾何学的変形則を用いた手法においては、顔面の動きを44個のAU(Action Unit)と呼ばれる基本動作に分類し、これらの複数のAUを重み付けして組み合わせることによって顔面を変形することが行われる。この手法は、比較的少ない計算量で汎用性に富んだ表情を合成できるが、解剖学的な顔の構造を考慮しているわけではなく、表情生成時における顔面の生理的なメカニズムを再現することは困難である。

一方、本研究で採用する物理的なモデリング手法では、顔面の筋肉や皮膚を物理的なバネで再現し、頂点の移動ルールを定める代わりに頂点にかかる力によってモデルを変形する。これは、実際の顔の表情が顔面皮膚下に走る筋肉(表情筋)の収縮によって生成されていることに着目した手法で、表情筋を表すバネを収縮させることによって表情を生成する。この手法では、計算コストがかかる反面、表情筋の動きを直接再現することが可能であり、顔の表情生成機構を解剖学的

に正確にシミュレートすることができるといった特徴がある。

本論文では、このような物理モデルの特徴を考慮した上で、CTやX線画像などの医用画像データを用いた解剖学的に精巧な頭部3次元モデルの構築手法、及び顔のダイナミクスを正確に再現した、動的な頭部の物理モデリング手法を提案する。そして、物理モデルの特性を生かし、単に現実感の高い表情画像を生成するにとどまらず、医学・歯学分野へと適用することを目的とする。特に、ここでは歯学分野における歯科矯正治療・診断の補助、及び外科的手術結果の予測を、3次元頭部物理モデルによって実現するシステムについて述べ、その有効性を示すこととする。

本論文は、基礎研究部分と応用研究部分の2つの部分から構成される。前半部分においては、解剖学に基づいた顔の物理モデリング手法に関する基礎研究について論じ、後半部分では、基礎検討の成果をもとに本手法を歯学・医学分野に適用する応用研究について述べる。本論文では、序論、顔の解剖学的構造の説明からはじめ、それぞれ基礎研究について全3章、応用研究について全3章を割いて論じ、その後全体を通しての考察や結論を述べることとする。本論文は以下の全10章によって構成される。

第1章ではまず、本研究の背景、特に従来から現在にかけて行われている顔画像合成に関する研究全般について概観し、それらの中における本研究の位置付けについて述べる。次に、本研究の独創的な点及び特色を挙げ、その意義・目的を明らかにする。章末において、本論文の構成を示す。

第2章では、人物頭部の解剖学的な構造を、頭蓋骨・顔面筋・顔表層の各部分についてそれぞれの形態及び性質をあげ、解剖学構造に基づいて物理的なモデリングを行うことの意義を述べる。また、本研究において、これらの構造・性質をどこまでモデリングするのかを明らかにする。

以降、3章から5章は解剖学に基づいた顔の物理モデリング手法に関する基礎研究について述べる。ここでは主に個人の3次元CTデータから構築した頭部モデルとそれを用いた表情生成シミュレーションについて論じる。

第3章では、CT画像からの個人頭部3次元形状モデルの構築方法を、頭部を構成する部分別(骨格、顔表面、筋肉)に詳細に述べる。

第4章では、顔のダイナミクスを物理的にモデル化する方法について述べる。まず、顔面運動を定量化するパラメータとして、筋肉の収縮程度を表す筋肉収縮率及び下頸骨の運動パラメータを定義する。次に、非線型バネによって皮膚・筋肉の弾力特性を表現する方法について述べ、提案モデルによる表情生成方法、特に運動方程式を逐次解くことによる顔面変形の実現方法について説明する。ここでは、顔表層モデルのCT撮影時における重力影響の補正処理についても述べる。

第5章では、開発した表情生成システムを示し、それを用いた表情生成実験の

概要を述べる。表情生成実験では、筋肉・骨格の代表的な運動に伴う表情生成と、「笑顔」や「怒り」などの基本表情の生成を行い、各表情生成時における顔面運動パラメータ値によって、顔面運動の定量化を試みた。また、これらの結果を評価するため、AUによる性能評価及び他方式との比較を行い、本手法の有効性を示すとともに、これまでの基礎研究の成果をまとめた。

以降、基礎研究における成果をもとに、歯科矯正学における臨床応用を目的とした頭部モデリングに関する研究について述べる。

第6章では、現在行われている歯科矯正治療・診断について、その概要を説明し、その中において本研究が果たす役割について述べる。

第7章では、まず、頭部モデルをX線規格画像及び顔画像から抽出した形状特徴に合わせて変形・適合処理を行い、患者の頭部形状モデルを構築する手法の概要を示し、その特徴について述べる。X線規格画像を用いる3次元形状の可視化手法は、3次元CTを用いるものに比べ、処理コストが低く安全であるため、より実用的であるという特長がある。次に、本手法にて用いる標準頭部モデルについて、新たに導入した骨格モデルを中心にその特徴を述べる。

更に、骨格モデルの整合に用いる正側面X線規格画像からの解剖学的計測点抽出処理、及び顔表面モデルの整合に用いる正側面顔面規格画像からの顔特徴点自動認識手法について述べ、それらから各モデルのフィッティングを行う手法、及びその結果を示す。X線画像からの計測点の3次元座標値取得には、回転・拡大補正処理を含んだ3次元セファログラム計測法によって実現する。また、正側面顔画像からの顔特徴点は、肌色情報、曲率情報などをもとに全自動で行われる。これら抽出した形状特徴データから、頭部モデルをフィッティングして個別の頭部形状を再現する手法について述べる。

第8章では、術前のX線規格画像及び顔画像から構築した患者の頭部モデルを用いた、外科的顎矯正手術の術後顔貌を予測するシミュレーション実験について、その概要及び結果を示す。このシミュレーションでは、下顎前突症の患者3名の手術前におけるX線規格画像、顔面規格画像から構築した頭部モデルを用い、下顎の矯正手術を行った後の顔面形状変化を、物理計算によって3次元的に予測した。また、モデルの動的な特性を用い、術前・術後の顔モデルを用いて表情生成実験を実施し、術前・術後の顔における表情表出過程の差異をシミュレートする実験も行った。特に、術後顔貌予測については、その予測精度誤差を実際の術後結果と比較することで定量的に評価し、従来のペーパーサージェリーによる予測結果などと比較した場合の本手法の有効性を示す。

第9章では、以上の基礎・応用研究で得られた知見や成果について、全体としての考察・評価について論ずる。

第10章において、本論文を包括的にまとめ、結論とする。