

令和 6 年 6 月 8 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K12193

研究課題名（和文）対話型3次元キャラクタのための実時間表情合成モデルの研究

研究課題名（英文）Research on real-time facial expression synthesis model for interactive 3D characters

研究代表者

向井 智彦（Mukai, Tomohiko）

東京都立大学・システムデザイン研究科・准教授

研究者番号：10432296

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本課題期間には、アニメーターが例示したスキン変形データを近似するための計算モデルとして、スキン変形の多重解像度モデル、および顔形状レイヤ間の運動関係モデルを自動構築する例示ベース技術を開発した。これらの技術により、アニメーターが例示したデータをもとにキャラクターリグを自動構築することを可能とした。また、ユーザーの表情変化に応じた対話表情生成の研究基盤として、3次元顔形状および発話音声の計測ソフトウェアを開発し、日本語発話運動データベースを構築した。さらに、ニューラルネットワークを用いた顔アニメーションリターゲット技術、補助骨リグを他キャラクタモデルに転写する技術も開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義  
開発した一連の技術群は、実時間アプリケーションにおけるデジタルキャラクタの皮膚変形アニメーションの高精度化を実現するための基盤技術である。これは、実時間CGアプリケーションにおけるキャラクタの存在感・実在感の向上につながるものであり、ひいてはVRやAR、ゲームやコンテンツ品質向上など、人型モデルやクリーチャーなどが登場するデジタルコンテンツを扱う様々な分野に寄与するものと考えている。

研究成果の概要（英文）：We developed example-based techniques to automatically construct a multi-resolution model of skin deformation and an interlocking relationship model between facial shape layers and control handles. These techniques enable animators to automatically construct character rigs by specifying the example skin deformations. We also developed software for measuring 3D facial shapes and speech sounds, and constructed a database of Japanese speech motions. Furthermore, we developed a facial animation retargeting technique using neural networks and an automated technique for transferring character rig with auxiliary joints to other character models.

研究分野：コンピュータグラフィックス

キーワード：コンピュータグラフィックス キャラクタアニメーション リギング

### 1. 研究開始当初の背景

CG キャラクタの顔表情技術は、コンピュータグラフィックスやロボット工学、コンピュータビジョンの分野などにおいて広く研究されており、深層学習をはじめとする機械学習手法の発展にともなって、2次元ビデオ画像を生成するための基盤技術が整いつつある。そうした従来技術では高品質な顔表情アニメーションを生成できるがデザイナーによる手動調整は難しい。一方、CG キャラクタの表情生成に関する先行研究では、発話音声に適した顔形状の実時間合成やキャラクタの感情を表現するためのメカニズムが提案されている。例えば映画などの映像作品制作では、数百個もの顔形状パターンを補間することで滑らかなアニメーションを生成する。しかし、リアルタイムCGでは計算資源の制限のため同様のアプローチは採れず、繊細な表情変化を表現できる技術は確立されていなかった。

### 2. 研究の目的

本研究では、顔面上に生じる詳細な変形も再現できるような、CG キャラクタのためのリアルタイム表情合成モデルの開発を目標とした。具体的には、顔の概形変形からシワの発生にいたる変形過程を模した多重解像度表現モデルの開発に取り組んだ。さらに、ユーザーの表情変化に応じてCG キャラクタの表情を自動制御することで、細やかなニュアンスまで伝えられるような実時間対話型システムへの発展を図った。

### 3. 研究の方法

研究目的の達成に向けて、本研究では以下2つの課題に取り組んだ。まず、皮膚形状変形を多段階の解像度成分に分解し、それぞれに形状変形を施したうえで合成するアプローチを試みた。その際、周波数帯域間の座標変換要素の連動関係を効率的に模倣する数理モデルについて検討した。その結果、顔全体の概形を指定するだけで精細な変形が自動的に合成されたり、あるいは顔の一部の変形を指定することで顔全体の運動を最適化できるようなインタラクティブシステムを目指した。

もう1つの課題は、微細な表情制御に最適なパラメータ表現にもとづく、顔変形計算モデルのための操作インターフェースの開発であった。その中でも特に、ユーザーの頭部運動や表情変化、視線運動に対して自然なリアクション表情を合成するための技術開発に取り組んだ。具体的には、ユーザーのビデオ映像から顔の特徴点運動を検出し、その時系列データの学習結果にもとづいて最適な顔形状変形パラメータを算出する計算モデルの開発に取り組んだ。

### 4. 研究成果

まず、スキニング変形の多重解像度モデルの開発に向け、二段階スキニング計算モデルの改良に取り組んだ。具体的には、既存のスキニング計算モデルに対して非負制約・総和制約・スパース制約の3つの制約条件を厳密に満たすための拡張を施すことで、普及しているグラフィックスハードウェア上での標準的な計算パイプラインとの親和性が高い技術を開発した。この研究成果は、コンピュータグラフィックス分野における代表的な国内シンポジウムである Visual Computing 2021 のフルペーパーとして公開した(図1)。

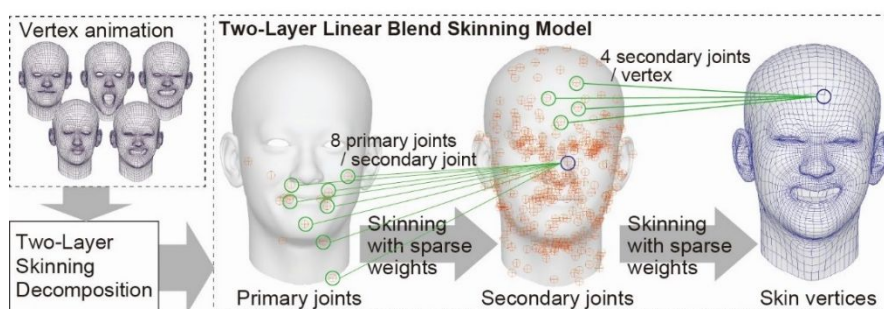


図1 開発した二段階スキニング計算モデルの概要

次に、多重解像度表現された顔形状レイヤ間の連動関係を記述するための数理モデルとして、Lie 代数とガウス過程モデルを応用した高精度な例示ベース補間法を開発した。この技術では、複数のスケール-回転-平行移動変換(SRT変換)の間の連動関係を記述する数理モデルを、多数の例示データをもとに自動推定する。例えば図2には、人型キャラクタの左肘の曲げを表わすSRT変換に応じて、肩や上腕の皮膚変形を駆動するSRT変換を制御する連動モデルの効果を示している。このように複数の関節に連動するようにスキニング変形を制御することで、自然なモデル

変形を実現できる。この技術により、アニメーターが例示した複数の連動制御結果を近似する制御計算モデルを自動構築できるため、作業コストの低減と映像品質向上を両立できると考えている。この成果は Visual Computing 2021 のフルペーパー、および国際オープンアクセスジャーナルである Journal of Computer Graphics Techniques の掲載論文として公表した。

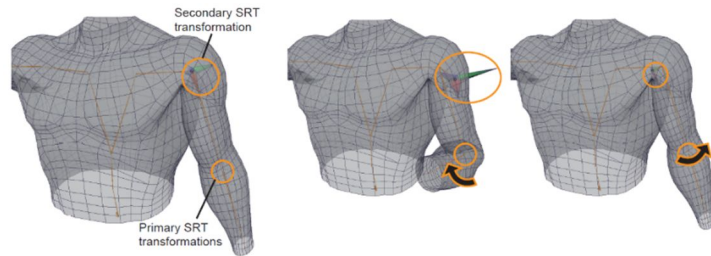


図 2 SRT 変換の連動制御モデルのキャラクタ皮膚変形への応用例

そして、ユーザーの表情変化に応じた対話表情生成に取り組んだ。まず対話表情生成の研究基盤として、3次元顔形状、眼球運動、および発話音声の計測ソフトウェアおよびワークフローを開発した。この計測システムにより、発話時の3次元顔形状・眼球運動・発話音声・ビデオデータを同期計測し、発話内容を半自動的に分析できる実験環境を整えた。その計測システムの応用として、人間同士の対話中の行動状態を反映した眼球運動生成メカニズムも開発した。この技術では、キャラクタの発話、思考、聴取の3つの行動状態に応じた眼球運動制御モデルを、特定個人の実測データにもとづいて自動構築することを可能とした。この成果については情報処理学会全国大会において報告した。



図 3 キャラクタの思考状態に応じた眼球運動生成モデルの実用例

さらに、ニューラルネットワークを用いて顔アニメーションデータを他のキャラクタ顔形状に転写する技術(図4)や、補助骨を用いて構築された皮膚変形リグを他キャラクタモデルに転写する技術(図5)を開発した。これらの技術により、単一のアニメーションデータを複数のキャラクターに転写することを可能とし、コンテンツ制作効率の向上を図った。これらの成果はそれぞれ NICOGRAPH International 2024 のフルペーパー、Eurographics 2024 Short Papers セッションにおける口頭発表を通じて公開した。

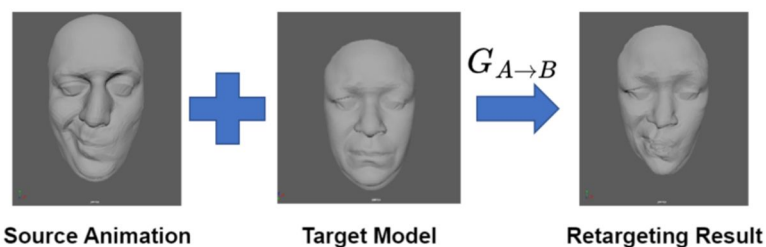


図 4 ニューラルネットワークによる顔表情転写の例

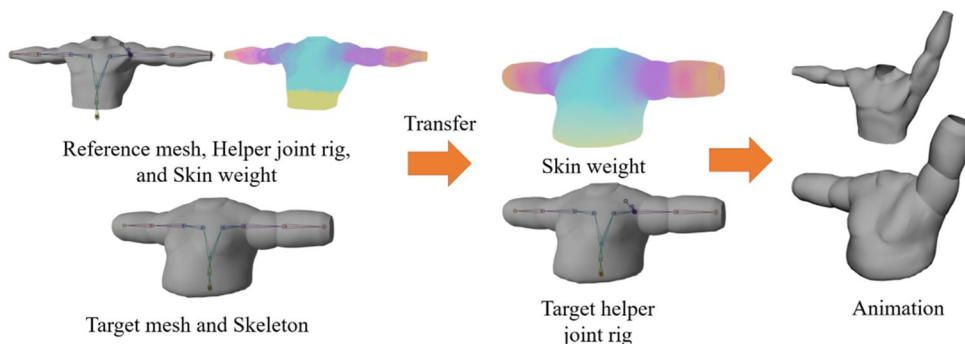


図 5 皮膚変形リグを他キャラクタモデルに転写する技術の概要

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Tomohiko Mukai	4. 巻 11(3)
2. 論文標題 Transformation Constraints Using Approximate Spherical Regression	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Computer Graphics Techniques	6. 最初と最後の頁 1-21
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Yuhao Dou and Tomohiko Mukai
2. 発表標題 Facial Animation Retargeting by Unsupervised Learning of Graph Convolutional Networks
3. 学会等名 Nicograph International 2024（国際学会）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Ziyuan Cao and Tomohiko Mukai
2. 発表標題 Skeleton-Aware Skin Weight Transfer for Helper Joint Rigs
3. 学会等名 Eurographics 2024 Short Papers（国際学会）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Yuhao Dong and Tomohiko Mukai
2. 発表標題 Human Facial Animation Retargeting by Unsupervised Neural Network
3. 学会等名 情報処理学会コンピュータグラフィックスとビジュアル情報学研究会報告,
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Ziyuan Cao and Tomohiko Mukai
2. 発表標題 Skin Weight Transfer for Human-like Characters with Helper Joint Rigs
3. 学会等名 情報処理学会コンピュータグラフィックスとビジュアル情報学研究会報告,
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 小南悠人, 向井智彦
2. 発表標題 音声データからの感情推定を用いたリップシンクモーションの自動生成
3. 学会等名 Visual Computing 2022 ポスター
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 曹梓源, 向井智彦
2. 発表標題 補助骨を用いた皮膚変形リグの転写に関する研究
3. 学会等名 Visual Computing 2022 ポスター
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 竇宇豪, 向井智彦
2. 発表標題 深層学習による顔アニメーションリターゲットングの検討
3. 学会等名 Visual Computing 2022 ポスター
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 向井智彦、岩本 尚也
2. 発表標題 二段階スキニング分解による頂点アニメーションの近似
3. 学会等名 Visual Computing 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomohiko Mukai
2. 発表標題 Geometric Deformation of Virtual Character Animation Using Cascaded Spacetime Constraints
3. 学会等名 Mini-symposium on Sensor Network Localization and Dynamical Distance Geometry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 胡 博文、安藤 大地、向井 智彦
2. 発表標題 Analysis and Synthesis of Eye Movements for Conversational Agent
3. 学会等名 第84回情報処理学会全国大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>Example-based Helper Bone Rigging  <a href="https://mukai-lab.org/projects/helper-bone-rigging/">https://mukai-lab.org/projects/helper-bone-rigging/</a>  SRT-RBF Node  <a href="https://github.com/TomohikoMukai/SrtRbfNode">https://github.com/TomohikoMukai/SrtRbfNode</a></p>
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------