

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 5 日現在

機関番号：32644

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K16110

研究課題名(和文) 例示データを用いた実時間皮膚変形アニメーション計算モデルの学習

研究課題名(英文) Example-based Learning of Computational Models for Real-time Skin Deformation

研究代表者

向井 智彦 (Mukai, Tomohiko)

東海大学・情報通信学部・准教授

研究者番号：10432296

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、制作者が所望する皮膚形状を例示することで、実時間計算に適した皮膚変形計算モデルを学習する手法を開発した。さらに、力学挙動を模倣した皮膚の揺れや、映像品質適応型の計算精度制御を行うモデルの学習法を開発した。いずれも標準的な制作工程と親和性が高く、高品質かつ低コストな制作環境の実現に寄与する技術である。その成果は、ACM SIGGRAPHを始めとする国外有力誌や有力学会議への論文採択されるとともに、そのうち一件に対しては国内誌論文賞が授与された。さらに、国内企業との連携にも着手しており、今後の研究計画遂行における有用な意見を得ている。

研究成果の概要(英文)：We have developed the example-based method to construct an efficient mathematical model to compute static skin deformations driven by character's internal skeleton pose, which is suitable for a realtime computer graphics applications. We have also developed the method to learn the computational model that approximates the dynamic skin deformation behavior such as jiggling. Both methods are designed to have high compatibility with the standard production pipeline and will contribute to the realization of a high quality and low-cost production environment. These research results have been published in ACM SIGGRAPH conference and other journals and conferences, one of which won a domestic journal paper award. In addition, we started collaborating with domestic companies.

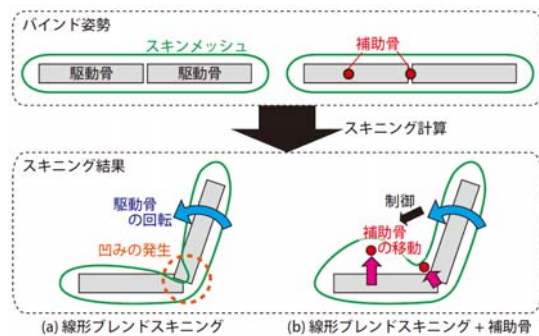
研究分野：コンピュータグラフィックス

キーワード：コンピュータグラフィックス アニメーション スキニング リギング 補助骨

### 1. 研究開始当初の背景

映画やTVなどの映像作品におけるCGキャラクターの皮膚変形アニメーションは、汎用CGソフトウェアの機能を駆使したデザイナーの職人技によって制作されている。一方、ビデオゲームをはじめとする実時間システムでは、複雑な計算や大量のデータの利用は難しい。特に、4K解像度以上の映像制作が標準となりつつある近年では、技術的難易度が飛躍的に高まっており、より高精細な皮膚変形表現を実現できるような実時間計算技術の確立が望まれている。

代表的な実時間皮膚変形技術としてLinear Blend Skinning (LBS法)が挙げられる。この手法には、関節の曲げ角が大きくなるにつれて皮膚変形が破綻する欠点もあるが、実装やデバッグが容易で計算効率にも優れることから実時間CGアプリケーションの標準技法となっている。また、補助骨と呼ばれる冗長な骨格を導入し、LBS法の欠点を改善する方法も提案された。そうした補助骨の挙動は、一般的にデザイナーによって記述された数式やプログラムコードを用いて制御される。さらに、補助骨の技法は動的な皮膚変形の表現にも応用可能である。例えば、脂肪の揺れを生じる部位に、単純な質点運動則に支配される補助骨を追加することで、力学則を模した皮膚揺れを表現できる。この技法は有限要素法のように物理的に正確な皮膚変形は与えないが、単純な計算で映像品質を大きく改善することから、実時間計算に非常に適している。さらに、骨アニメーションの扱いに慣れたデザイナーは多く、標準的な制作工程との親和性も高いことから、補助骨の技法は国内外の制作現場で広く採用されている。



補助骨リグの概要

ただし、補助骨の配置や制御モデルの記述は、全てデザイナーの手作業で行われている。そのため、商用品質のCGキャラクター1体を構築するだけで、熟練したデザイナーの十数日間にわたる作業が費やされている。特に、動的な皮膚変形を表現するためには、アニメーション結果を繰り返し確認しながらの試行錯誤的な設計が必要である。したがって、高度な補助骨機構の導入は、高コストに見合うような厳選された用途に留まっている。

### 2. 研究の目的

本研究では、制作者が所望する皮膚形状を例示することで、実時間計算に適した皮膚変形計算モデルを学習する手法の開発を目指す。さらに、力学挙動を模倣した皮膚の揺れや、映像品質適応型の計算精度制御を行うモデルの学習法についても研究する。その際、デザイナーによる演出・編集作業を考慮し、可能な限り直感的に扱える計算モデルの獲得を図る。その結果、標準的な制作工程と親和性が高いシステムを実現し、高品質かつ低コストな制作環境構築を目指す。

なお、いずれの課題についても、システムの出力結果をデザイナーが容易に編集できることを重視する。すなわち、例示データに対する近似精度の低下を許容しても、非技術者であるデザイナーが容易に理解できることを優先して計算モデルを選定する。これは、制作コストの削減や映像品質向上においては、システムの完全自動化や近似精度の向上よりも、むしろ使い勝手の良さが優先されるためである。こうした点も考慮し、本研究では代表的な商用CGソフトウェア上にプロトタイプシステムを実装することで、実際のデザイナーが試用・評価できる環境を整えることを目的とする。

### 3. 研究の方法

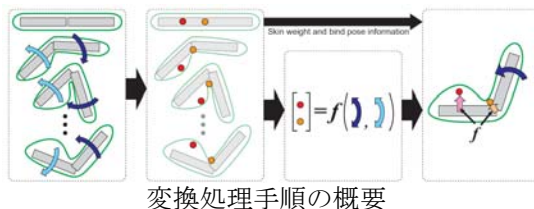
本研究では例示データを用いた実時間皮膚変形計算モデルの学習手法について研究する。基本的には、例示データ学習法を用いて補助骨の計算アプローチを抜本的に改良することで、高精細な実時間皮膚アニメーションの生成と、計算量およびデザイナーの手作業の最小化を両立する技術を開発する。具体的には下記の3つの研究課題に取り組む。

- (1) 実時間計算可能な皮膚変形モデルを例示データから学習するアルゴリズムを開発し、肩や肘の運動に応じた筋肉の隆起などの皮膚変形を精細に表現する。その際、手指を含めた全身の大規模データに対しても、安定的・効率的に処理できる技術を開発する。
- (2) たるんだ皮膚の揺れなど、力学的な挙動を模倣するような動的皮膚変形モデルを構築し、その計算パラメータを例示アニメーションから学習する手法を開発する。
- (3) 生成映像品質に応じて皮膚変形モデルの計算精度を適応制御することで、映像品質の劣化を最小化しつつ計算量を削減する技術を開発する。

### 4. 研究成果

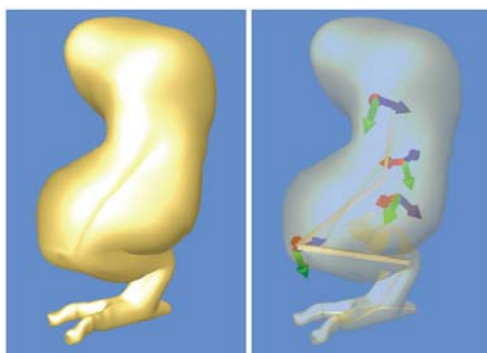
- (1) 二次計画法を用いた補助骨姿勢最適化アルゴリズムの開発、および、補助骨制御モデルの学習アルゴリズムの開発に取り

組んだ。まず例示データの皮膚形状の正確な再現を目的関数とし、例示データの骨格姿勢を制約条件として加えた、補助骨の配置および軌道を自由変数とするような制約付き最適化問題によって問題を定式化した。その上で、既存研究で提案されている反復的二次計画法を用いたアルゴリズムの処理手順を変更し、補助骨に特有の制約条件を導入した二次計画問題を解く方法を提案した。さらに、演算を並列化することで大幅な高速化にも成功した。続いて、この技術で推定された補助骨の軌道を、単純な数学モデルで近似する学習アルゴリズムを開発した。具体的には、圧縮センシングの分野で提案されている LASSO アルゴリズムを応用した重回帰モデルを構築した。その結果、高速な演算が可能としつつ、かつ例示データに類似した高品質な皮膚変形を与える補助骨制御器を実現している。



変換処理手順の概要

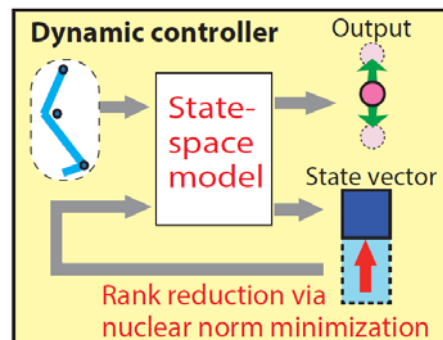
その有用性については、複数種類のデータに対する実験を通じて、実用化に十分に足る性能を持つことを確認している。以上の研究成果は、情報処理学会論文誌にて報告しており、同学会誌の特選論文および 2016 年度論文賞に選定された。さらに、同研究に対しては同学会より山下記念研究賞が授与された。



補助骨による皮膚変形の近似結果

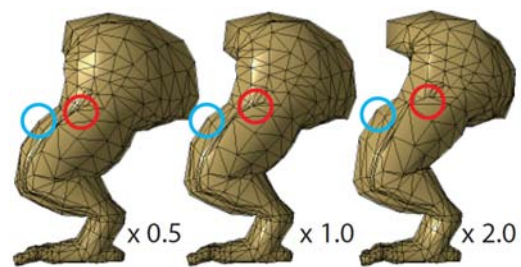
- (2) 慣性などの力学的特性に起因する二次的動作を含む皮膚変形を、制御工学分野で提案されている線形動的システムの状態空間表現によって数理モデル化する技術を開発した。さらに、スパースモデリング手法の一つである核ノルム最適化技法を導入することで、二次的皮膚変形を表す状態空間モデルのノルムを最小化し、

例示データの再現精度を保証しつつ計算コストを削減することに成功した。その有用性については各種データに対する実験を通じて検証しており、既存手法に対する優位性を確認している。



動的皮膚変形のための状態空間モデル

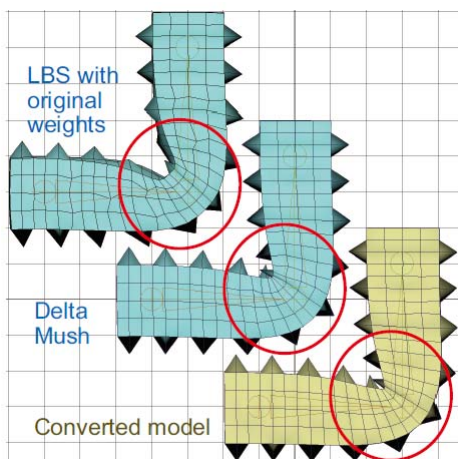
この研究成果は、コンピュータグラフィックス研究分野における最難関国際会議である ACM SIGGRAPH 2017 Technical Papers に採択され、またソフトウェア科学分野において著名な国際学術誌 ACM Transactions on Graphics にも収録された。さらに、本研究テーマに関わる学術研究や背景知識についての解説論文一編が、Springer 社の Handbook of Human Motion に収録された。また、国内のコンピュータグラフィックス実務者向けのカンファレンスや、国内シンポジウム等における招待講演等でも同成果について報告した。さらには、関連技術をインターネット上でオープンソースソフトウェアとして公開する等、技術情報の発信にも取り組んだ。



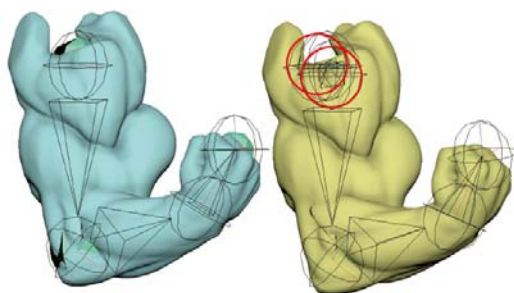
動的変形の誇張例

- (3) 補助骨姿勢最適化アルゴリズムおよび補助骨制御モデルの学習アルゴリズムを、ブレンドシェイプリグや仮想筋肉リグなどの既存のスケルトンベースリグから補助骨リグへの自動変換を行う技術に拡張した。具体的には、線形ブレンドスキニング法の理論的特性を踏まえた例示データの適応的サンプリングアルゴリズムを開発するとともに、計算の並列化・効率化に取り組むことで、高自由度なキャラクターモデルでも効率的にリグ変換できるシステムを実現した。その際、一部の研

究課題や実験を国内ゲーム開発企業との共同研究として実施することで、実制作現場における実用性を検証した。この成果は、コンピュータグラフィックスとゲーム開発技術に関する著名な国際会議である ACM SIGGRAPH Symposium on Interactive 3D Graphics and Games 2018 へ投稿している。



デルタマッシュリグからの変換例



仮想筋肉リグからの変換例

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① Tomohiko Mukai and Shigeru Kuriyama, Efficient Dynamic Skinning with Low-Rank Helper Bone Controllers, ACM Transactions on Graphics, Vol. 35, Issue. 4, 36:1-36:11, 2016. 7. (査読有)
- ② 向井智彦, 線形ブレンドスキニングのための例示ベース補助骨リグ構築, 情処論, Vol. 56, No. 11, pp. 2141 - 2150, 2015. 11. (査読有, 情報処理学会論文誌ジャーナル/JIP 特選論文, 情報処理学会 2016 年度論文賞)

[学会発表] (計 3 件)

- ① 有泉 静耶, 向井 智彦, 例示データに基づくスキニングウェイトの対話的な最適化, 情報処理学会第 80 回全国大会, 2018. 3.
- ② 有泉 静耶, 向井 智彦, 人型キャラクターの頬殴打時のアニメーション制作支援システム開発, 情処学コンピュータグラフィックスとビジュアル情報学研究報告, 2017-CG-166(14), pp. 1-2, 2017. 3.
- ③ 向井 智彦, 最適化された回転中心を用いた実時間スキニング技術の実装と評価, 情処学コンピュータグラフィックスとビジュアル情報学研究報告, Vol. 2016-CG-164, No. 14, pp. 1-1, 2016. 9.

[図書] (計 2 件)

- ① Tomohiko Mukai, Example-Based Skinning Animation, Handbook of Human Motion (Edited by Bertram Müller, Sebastian I. Wolf, Gert-Peter Brueggemann, Zhigang Deng, Andrew McIntosh, Freeman Miller, William Scott Selbie), Springer International Publishing, 2016. 12.
- ② 向井智彦, スキニング分解, Computer Graphics Gems JP 2015: 7, 2015. 9.

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://mukai-lab.org/>

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

向井 智彦 (MUKAI, Tomohiko)  
東海大学 情報通信学部 准教授

研究者番号 : 10432296