

「数学と諸分野の協働によるブレークスルーの探索」
平成22年度採択研究代表者

H24 年度 実績報告

安生 健一

株式会社オー・エル・エム・デジタル ビジュアルエフェクト/R&D スーパーバイザー

デジタル映像数学の構築と表現技術の革新

§1. 研究実施体制

(1)「映像数学」グループ(株式会社オー・エル・エム・デジタル)

① 研究代表者: 安生 健一 (株オー・エル・エム・デジタル 取締役 研究開発部門
ビジュアルエフェクト/R&D スーパーバイザー)

② 研究項目

人間の表情アニメーションに関する数理モデルの構築 (下記[1, 2])と、全身の動きや変形を制御できる CG アニメーションツールを構築する ([3]):

[1] 実際の人間の表情をキャプチャーする際に、重要となる点を定める方法の検討.

[2] 表情のデータベースが与えられたときに、それを有効活用して新しい表情アニメーションを効率よく作る方法の構築.

[3] 人間の動きをアニメーションとして作成するための基本 CG ツールの開発.

(2)「数学モデル」グループ(九州大学)

① 主たる共同研究者: 落合 啓之 (九州大学マス・フォア・インダストリ研究所 教授)

② 研究項目

デジタル映像技術(CG)の制作現場での演出にもとづく映像作りや経験の蓄積を、モデル化・理論化する. 併せて、モデル化された数学的構造の構造解析による体系化を行う. 具体的には、映像数学グループと CG グループが今年度提起する課題をもとに、

- ・ デジタル映像表現に適した記述様式の研究
- ・ 人間表現に適した記述様式の研究
- ・ CG アニメーションのための離散モデルの研究

を行う.

(3)「CG」グループ(北海道大学)

① 主たる共同研究者： 土橋 宜典 (北海道大学大学院情報科学研究科 准教授)

② 研究項目

- ・ GPU を利用した高速シミュレータの開発
- ・ データベースを利用した高精細流体映像の高速生成

§2. 研究実施内容

研究項目は前記の通りであるが、本セクションでは CG の具体的な課題を下記4つに分類し、各課題についてそれぞれ報告する:

- I. 人間やキャラクターの表情アニメーション
- II. 流体表現
- III. レンダリング(表示手法)
- IV. CG アニメーションの基礎: 変形・補間方法やデータベースの数学的構造

I. 人間やキャラクターの表情アニメーション

表情アニメーション作成の標準的な手段であるブレンドシェープ(blendshape) についての論文を発表した. 内容は、前年度以来開発してきた「学習」機能付きの直接操作法 (Learned Direct Manipulation Blendshape、以下 LDM) に関するもので、論文誌 *Journal of Graphics Tools* に採択され³⁾、掲載号の表紙を飾った (図 1). この論文は、入力として得た顔の動きのモーションキャプチャーデータから、目や唇の動きの相関を学び、それを反映してより簡単に顔のアニメーションを直接操作で作成できる技術を提案し、評価している (図 2). シンガポール大学での Joint Workshop of IMS and IMI on Mathematics for Industry や IMI 主催の Study Group Workshop 2012 にて、関連する問題提起も含めた講演も行った. また、キャラクターの表情アニメーションを他のキャラクターに“移植”する(retargeting) 手法を開発し、昨年度来論文文化を進めてきたが、今年度採択²⁾され SIGGRAPH2012 で発表する機会も得た.

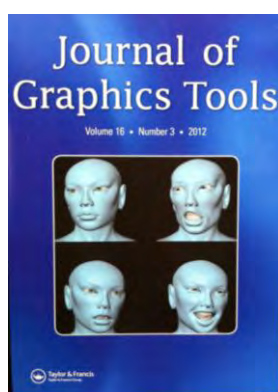


図 1 Journal of Graphics Tools Vol.16 No.3 の表紙



図 2 ブレンドシェープの学習版直接操作法
この画像は、唇の右端の点を直接操作で下に引っ張って赤い点まで移動した瞬間を示す. 画像中の緑の点は固定点を示す.
左の顔は従来の我々の手法による.
右は学習版による結果で、唇の動きの相関性により左右両方の唇の端が下がっているのがわかる.

人間の動きをアニメーションとして作成するための基本 CG ツールに関しては、数学モデル

Gr. と映像数学 Gr.の協同で進めている3次元変形手法（後述の IV.を参照）や上記技術を核に今後進めてゆくが、開発している技術の検証とデモンストレーションのために、3次元の人体モデルを作成した。また上記 LDM の開発中に得られた曲面編集法の1つは特許申請中である。

II. 流体表現

流体シミュレーションの効率化と演出表現の実現を目指し、流体シミュレーションの高解像度化、流れ場のインタラクティブなデザイン、流体シミュレーションの制御に関する研究を行った。以下、それぞれについて概要を述べる。

流体シミュレーションの高解像度化:昨年度から継続して行っているもので、本年度は計算効率と画質の向上を図った。流体シミュレーションは計算コストが高く、映像制作現場で必要とされる非常に高解像度の流体映像を得るまでには多大な時間がかかってしまう。そこで、事前に計算した速度場に対して主成分分析を施して作成したデータベースを用い、低解像度の流体シミュレーションを高解像度化する手法を開発した。この手法により、効率的に高解像度の流体アニメーションの作成が行えることを確認した⁴⁾。この手法を用いて炎、煙、雲の映像を高解像度化した例をそれぞれ図 3 に示す⁷⁾。左側の低解像度シミュレーション結果から右側の高解像度映像を生成している。

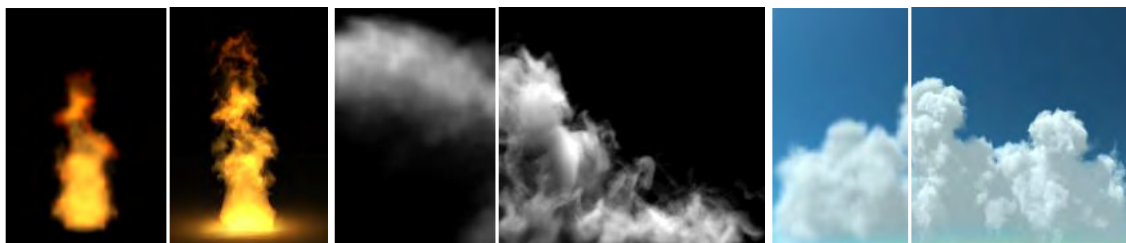


図 3 データベースを用いた流体映像の高解像度化

流れ場のインタラクティブなデザイン:映画やゲームなどの映像製作においては、ユーザの意図を反映したリアルな流れ場を生成することがしばしば求められる。しかし、既存の手法ではパラメータを試行錯誤的に調整しなければならず、非常に煩雑な作業を伴う。この問題を解決するため、CG Gr.と数学モデル Gr.の協同により、ラプラシアン固有関数を用いてインタラクティブに流れ場をデザインできる手法を考案した。この手法では、流れ場をラプラシアン固有関数の線形和により表現し、ユーザの意図を制約条件とする最適化問題を解くことで、リアルな流れ場を生成する。この手法の基礎的な実験を終え、良好な結果が得られることを確認した。今後さらなる画質とインタラクティブ性の向上を進める。

流体シミュレーションの制御:爆発および雲のシミュレーションの制御に関する手法を考案した。爆発に関しては、爆発後に任意の形状を形成するよう制御する方法を考案した。具体的に

は、まずシミュレーションパラメータの自動調整により爆発規模を最適化し、次にポテンシャル場の制御により任意形状の爆発を生成する。雲のシミュレーションに関しては、水平方向に流れる積雲を対象とし、指定した雲の分布となるよう制御する方法を考案した。これは、熱源の強さをコントロールすることで実現する。積雲は熱源からの上昇気流の影響により生成されるためである。いずれの手法についても、基礎的な実験を終了し、良好な結果が得られることを確認した。今後、これらの手法をさらに発展させる。

III. レンダリング

流体やキャラクタの映像化の際に必要な陰影計算における演出表現を目指し、髪的高速陰影計算、陰影のデザイン、雲の陰影の逆問題に関する研究を行った。以下、それぞれについて概要を述べる。

髪的高速陰影計算：リアルな髪を表示するためには、数万本の髪の毛それぞれについて陰影計算を行う必要があり、非常に高い計算コストを必要とする。そこで、球面調和関数を用いて高速化する手法を開発した⁹⁾。照明分布と髪による光の減衰関数を球面調和関数を用いて表現することで陰影計算に伴う積分計算の高速化を図った。提案法を用いることで、図 4 に示すようなリアルな髪を 0.3 秒以内に表示することが可能となった。



図 4 環境照明を考慮した高速な髪のレンダリング

陰影のデザイン：物体に陰影を施すシェーディング技術は仮想物体の見え方を決定する基礎的かつ重要な要素である。しかし、映画やゲームなどの映像表現においては、物理法則に従ったシェーディングモデルによって、必ずしもユーザが所望するシェーディング結果が得られるとは限らない。そこで、物理法則に従ったシェーディング結果に対して編集を施すことにより、目的の結果を実現する手法を開発した¹⁰⁾。ユーザに入力された輝度情報と陰影計算に利用される情報を用いて、シェーディングのための輝度計算関数を放射基底関数により構築し、インタラクティブに陰影をデザインする。その基礎実験として、拡散反射および環境光成分に着目し、図 5 に示す結果を得た。制御点位置でユーザに指定された色、光源情報、幾何情報等を用いて各点の陰影を計算する。今後はより複雑な反射モデルやボリュームデータへの拡張を図る。



図 5 陰影の編集例

雲の陰影の逆問題: 流体シミュレーション等によって得られた雲のリアルな画像を作成するためには、ボリュームデータのレンダリングを行う必要がある。しかし、その陰影計算は、複雑な積分方程式で表され、また、計算結果は多くのパラメータに依存する。写実的な画像を得るためには、それらのパラメータを適切に設定しなければならないが、容易な作業ではない。そこで、一枚の実写画像から雲のボリュームレンダリングにおけるレンダリングパラメータを自動推定する手法を開発した¹⁾。パラメータの探索には遺伝的アルゴリズムを用いるが、計算コストが高いため、前述の積分方程式の特性を解析し、パラメータに依存しない成分を予め事前計算して中間データとして保存しておくことで高速化を図った。これによりパラメータ探索処理に関して、6000倍の高速化を実現した。本研究で得られた結果を図 6 に示す。左上に示す実写画像からレンダリングパラメータを推定し、流体シミュレーションにより得られた雲のボリュームデータをレンダリングして CG 画像を生成した。

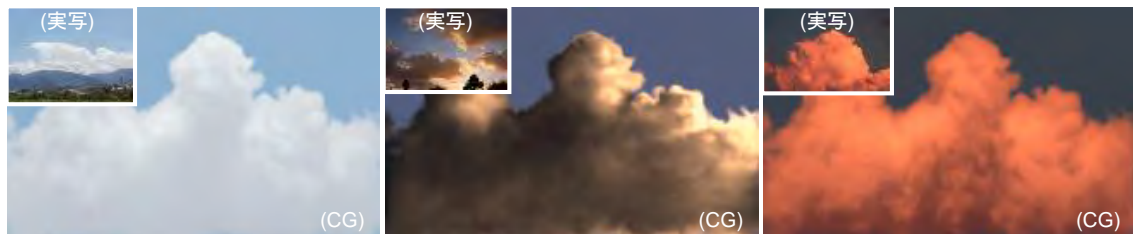


図 6 実写からレンダリングパラメータを推定した例

非写実的レンダリングのための Lit-Sphere 表現: 昨年度ライトベースマッピングという非写実的レンダリング手法を開発したが、今年度はさらにそれを進化させ、ペイント処理等による様式化された陰影のダイナミックな表現手法を開発した⁵⁾。従来の Lit-Sphere と呼ばれる手法では、カメラ(視点)からみた物体表面の法線の向きに依存する様式化された陰影表現しか対応できなかったが、本手法ではハイライトなど、複雑な光源の動きにも追従した自然で滑らかなアニメーションとして作成可能となる。

IV. CG アニメーションの基礎: 変形・補間手法やデータベースの数学的構造

数学モデルグループの流体表現についての貢献は既述の通りであるが、ここでは今後のキャラクター形状変形手法への展開を見込んだモーフィングに関する基礎検討結果を示す。

与えられた二つの図形を滑らかに補間する手法は、モーフィングとも呼ばれ、さまざまな映像表現に用いられている。我々は、CGの議論の様々な場面で現れる基本的な手法である行列のブレンド法に対して数学的な研究を押し進めた。従来法の、物体に意図しないつぶれが起こってしまう、あるいは滑らかな動きにならない、などの問題点に対してリー環の空間で行列をブレンドする手法を提案した(図7)。この図形の微視的な幾何をなるべく保ちながら変形するアルゴリズムについて、数学的なフレームワーク(新しいエネルギー関数)を設定することで、従来主観的であった比較に客観的根拠を与えた。さらに、この観点から従来手法を見直し、平面の変換群に対する不変性を考慮することにより、より優れたアルゴリズムを提案した⁶⁾。

現在は、3次元の場合への拡張を議論し、上記問題だけではなくスキニングなどにおいても有効な手法であることが確かめることができている。これらの結果は現在論文準備中である。

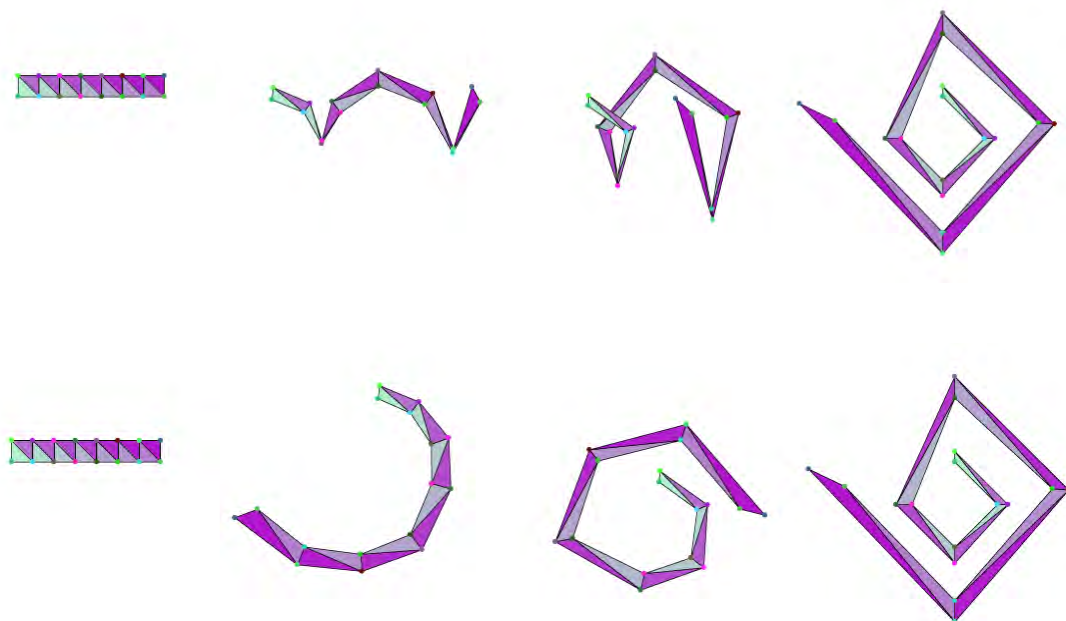


図7 エネルギー関数の差異によるモーフィング

上段、下段それぞれがモーフィングのアニメーションを示している。入力データとして、右端が初期形状、左端が最終形状を示す。この間を剛体変形として変化するようにアニメーションを構成するが、上段は従来法のエネルギー関数による結果であり、途中の動きが複雑であり自己交叉も起きている。我々の手法では自己交叉のないより自然な剛体らしい変形アニメーションが生成される。

§3. 成果発表等

(3-1) 原著論文発表

●論文詳細情報

1. Yoshinori Dobashi, Wataru Iwasaki, Ayumi Ono, Tsuyoshi Yamamoto, Yonghao Yue, Tomoyuki Nishita, “An Inverse Problem Approach for Automatically Adjusting the Parameters for Rendering Clouds Using Photographs”, ACM Transactions on Graphics, Vol. 31, No. 6, Article 145, 2012.11 (DOI: 10.1145/2366145.2366164)
2. Yeongho Seol, J. P. Lewis, Jaewoo Seo, Byungkuk Choi, Ken Anjyo, Junyong Noh, “Spacetime Expression Cloning for Blendshapes”, ACM Transactions on Graphics, Vol. 31, No. 2, Article 14, 2012.4 (DOI: 10.1145/2159516.2159519)
3. Ken Anjyo, Hideki Todo, J.P. Lewis, “A Practical Approach to Direct Manipulation Blendshapes”, Journal of Graphics Tools, Vol. 16, Issue 3, pp. 160-176, 2012.8 (DOI: 10.1080/2165347X.2012.689747)
4. 佐藤周平, 森田拓也, 土橋宜典, 山本強, “基本速度場による流体アニメーションの高解像度化”, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J96-D, No.2, pp. 338-345, 2013.2 (Online ISSN: 1881-0225)
5. Hideki Todo, Ken Anjyo, Shun'ichi Yokoyama, “Lit-Sphere Extension for Artistic Rendering”, accepted by the Visual Computer, the Int'l journal of computer graphics.
6. Shizuo Kaji, Sampei Hirose, Shigehiro Sakata, Yoshihiro Mizoguchi, Ken Anjyo, “Mathematical Analysis on Affine Maps for 2D Shape Interpolation”, Proceedings of SCA12 (the ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Computer Animation 2012), pp. 71-76, 2012.7 (DOI: 10.2312/SCA/SCA12/071-076)
7. Syuhei Sato, Takuya Morita, Yoshinori Dobashi, Tsuyoshi Yamamoto, “A Data-Driven Approach for Synthesizing High-Resolution Animation of Fire”, DigiPro '12 Proceedings of the Digital Production Symposium, Los Angeles, pp.37-42, 2012.8.4 (DOI: 10.1145/2370919.2370926)
8. Makoto Okabe, Ken Anjyo, Rikio Onai, “Extracting Fluid from a Video for Efficient Post-Production”, DigiPro '12 Proceedings of the Digital Production Symposium, Los Angeles, pp. 53-58, 2012.8.4 (DOI: 10.1145/2370919.2370928)
9. Xiaoxiong Xing, Yoshinori Dobashi, Tsuyoshi Yamamoto, Yosuke Katsura, Ken Anjyo, “Real-time Rendering Animated Hair Under Dynamic Environmental Lighting”, Proceedings of Virtual Reality Continuum and its Application in Industry (VRCAI 2012), pp. 43-46, 2012.12 (DOI: 10.1145/2407516.2407528)
10. Munehiro Tada, Yoshinori Dobashi, Tsuyoshi Yamamoto, “Feature-based Interpolation for the Interactive Editing of Shading Effects”, Proceedings of Virtual

Reality Continuum and its Application in Industry (VRCAI 2012), pp. 47-50, 2012.12 (DOI: 10.1145/2407516.2407529)

11. Makoto Okabe, Yuta Kawate, Ken Anjyo, Rikio Onai, “Video Retrieval based on User-Specified Appearance and Application to Animation Synthesis”, Proceedings of 19th International Conference on Multimedia Modeling, MMM 2013, Part II, pp. 110-120, Multimedia Retrieval and Management with Human Factors, Special Session Papers, Huangshan, China, 2013.1 (DOI: 10.1007/978-3-642-35728-2_11)
12. Takanori Nishino, Kei Iwasaki, Yoshinori Dobashi, Tomoyuki Nishita, “Visual Simulation of Freezing Ice with Air Bubbles”, SIGGRAPH ASIA 2012, Technical Brief, Article No. 1, 2012.11 (DOI: 10.1145/2407746.2407747)

(3-2) 知財出願

- ① 平成 24 年度特許出願件数(国内 1 件)
- ② CREST 研究期間累積件数(国内 1 件)