

# CGにおけるデータ駆動型モデリングと 映像数理への期待

藤堂 英樹<sup>†</sup>  
東京工科大学

## 概要

本講演では、コンピュータグラフィックス (CG) の分野で研究されているデータ駆動型モデリングの手法を紹介し、次元圧縮や特徴解析の観点から議論を行った。特に、表情編集、画像編集、流体アニメーションの研究対象を取り上げ、CGの問題で数理的な枠組みを使うことによる効果と今後の課題について議論した。

## 1 表情編集

表情編集のセクションでは、CGで一般的に用いられているブレンドシェープモデルを解説し、その技術拡張に関する研究を紹介した。ブレンドシェープモデルでは、初期顔  $\mathbf{f}_0$ 、表情変化基底  $\mathbf{B}$ 、混ぜあわせ重みベクトル  $\mathbf{w}$  を用いて  $\mathbf{f} = \mathbf{B}\mathbf{w} + \mathbf{f}_0$  の形で最終的な表情  $\mathbf{f}$  を表現する。

まず、文献 [6] で紹介されているピン&ドラッグによるブレンドシェープのための直接編集手法についての紹介を行った。この手法では、ピンによる位置制約  $\|\mathbf{B}\mathbf{w} - \mathbf{m}\|^2$  ( $\mathbf{m}$  はピンの移動ベクトル) と正則化項  $\|\mathbf{w}\|^2$  により、ピンでの直接編集を実現している。しかし、単純な正則化項のみでは補間形状が壊れやすくなるという問題があった。そこで、本講演では、文献 [7, 10] の手法を取り上げ、Laplacian 制約  $\|\mathbf{L}\mathbf{B} - \mathbf{D}\|^2$  や Bi-Laplacian 制約  $\|\mathbf{L}\mathbf{L}\mathbf{B} - \mathbf{L}\mathbf{D}\|^2$  を用いて補間形状の質を向上する技術を紹介した。会場からは、特に単純な正則化項のみの制約と Laplacian 制約による性質の違いについての質問があり、幾何形状に基づく制約を利用することの効果について解説した。

また、次元圧縮や特徴解析の観点から、アニメーション学習により全体的な表情を編集する手法 [2] を紹介した。この手法では、時間変化する表情  $\mathbf{f}_1, \dots, \mathbf{f}_n$  から、PCA 解析により表情変化基底  $\mathbf{U} = (\mathbf{u}_1, \dots, \mathbf{u}_p)$  を抽出することにより、全体的な表情変化のモデル  $\mathbf{f} = \mathbf{U}\mathbf{c} + \mathbf{e}_0$  を構築している。ここで、 $\mathbf{c}$  は各基底を混ぜ合わせるための重みベクトル、 $\mathbf{e}_0$  は時間変化する表情の平均顔に相当し、ブレンドシェープモデル  $\mathbf{f} = \mathbf{B}\mathbf{w} + \mathbf{f}_0$  と同様の式で表情変化をモデル化できる。得られた

---

<sup>†</sup>E-mail: [toudouhk@stf.teu.ac.jp](mailto:toudouhk@stf.teu.ac.jp)

Web-page: <http://www.cloud.teu.ac.jp/public/MDF/toudouhk/>

表情変化基底  $\mathbf{U}$  は、アニメーション中の特徴的な表情変化を表現しており、これにピンによる位置制約  $\|\mathbf{Uc} - \mathbf{m}\|^2$  を組み合わせることで表情調整が可能となる。本手法においても、表情変化の解析は特徴的な動きベクトルの抽出にとどまっており、表情変化のパターンを解析する等、時間発展を解析することは新たな研究につながる可能性があることを議論した。

## 2 画像編集

画像編集のセクションでは、画像の低次元表現に関する話題を取りまとめ、議論を行った。

まず、画像の低次元表現として、自己組織化マップによる画像の低次元埋め込み手法 [8] を紹介した。古典的な低次元埋め込み手法である PCA, MDS を利用した場合、分解の性質から元の色点群に含まれてない色がマップ上に現れてしまうことが問題となる。それに対し、本手法で提案されている自己組織化マップによる低次元埋め込みを用いた場合、元の色点群をマップ上に散りばめるというアプローチなので元の色点群が反映されたマップになりやすい。本手法は、画像の分析としては有効だが、画像編集の観点からは入力画像に含まれない色にどう変更するかという視点も必要となる。

そこで、画像編集に重点を置いたパレットベースの色編集システム [3] を紹介し、アプリケーションよりのパレット色抽出技術、色変換技術を解説した。提案手法では、色ヒストグラムを考慮したパレット抽出手法を提案し、既存の k-means のような減色手法と比べても良好な結果が得られている。パレット抽出として暗い色を事前に抜いておく処理が効いているため、同様の事前処理を行った場合の既存手法の結果については実験の余地がある。また、これらの手法では、位置情報が考慮されていないため、位置を考慮したパレット抽出手法も課題となる。

実際の画像編集では、位置を考慮したクラスタリングが必要とされる場合も多い。位置情報も含むように特徴ベクトル  $\mathbf{v} = (L, a, b, x, y)$  を構成し、クラスタリングする手法も多く提案されている。例えば、Super-Pixels[1] のような手法では、色と位置情報を考慮して領域を少ない数に分割することにより、画像の最適化計算を高速化することができる。

また、より Semantic な領域分割が必要な例として、Intrinsic Images[5] が挙げられる。この問題では、入力画像  $I$  を陰影成分  $S$ 、反射材質  $R$ 、ハイライト成分  $C$  を用いて、 $I = SR + C$  の形で分解する必要がある。Computer Vision 分野を中心として日々研究が進んでいるが、未だに人間の方が精度よく分類できる研究対象である。

会場からは、特に基礎的な低次元埋め込み・クラスタリングについての質問があり、既存の k-means 手法による低次元埋め込みの性質や位置情報を考慮するために必要な拡張についての議論を行った。

## 3 流体アニメーション

流体アニメーションのセクションでは、データベースによる高解像度化と渦度特徴を考慮した流体シミュレーション手法について着目した。

データベースによる高解像度化手法 [9] では、2D の高解像度シミュレーションをデータベースとして用意し、3D の低解像度シミュレーションと組み合わせることで高解像度化を実現する。2D 速度場のシミュレーション結果  $\mathbf{u}_1, \dots, \mathbf{u}_n$  に対し、PCA による次元圧縮を行い、 $\mathbf{b}_1, \dots, \mathbf{b}_p$  からなる速度場の基底をデータベースとして抽出する。3D でシミュレーションするには、低解像度のシミュレーション速度場  $\mathbf{v}_l$  に対し、低解像度 PCA 基底の当てはめ  $\min_{w_i} \|\mathbf{v}_l - \sum_i^p w_i \mathbf{b}_i\|^2$  を行い、同じ重みを用いて高解像度の速度場  $\mathbf{v}_h = \sum_i^p w_i \mathbf{b}_i$  を合成する。

また、渦度特徴を考慮した流体シミュレーション手法では、通常のグリッドベースの手法では扱いづらい細かい渦特徴も表現できる手法が提案されている。Filament ベースの手法 [11] や Schrödinger's Smoke [4] が提案されており、渦糸をベースにしたような流体表現が可能となっている。

単なる次元圧縮ではなく、数理的な枠組みを利用した新たな制御空間を導入することで、低解像度でも流体特徴を損なわないシミュレーションを実現できたり、アーティストにとっても扱いやすい制御方式を提案できる可能性があるのではないかと考えている。

## 4 まとめと今後の課題

本講演では、表情編集、画像編集、流体アニメーションの研究対象を取り上げ、CG の分野で研究されているデータ駆動型モデリングの手法について議論を行った。現状の研究では、単純な次元圧縮から少しずつ数理的な枠組みが追加されていっているという印象だが、表情編集の幾何制約や画像の低次元埋め込み、渦糸をベースにした流体表現等、それぞれの目的に応じて効果的なモデル化が行われている例も見られた。

今後の課題としては、人の手で制御することが大変な表情アニメーション・流体アニメーションといった時間変化する対象をどう効率的に扱っていくかという点が大きなテーマとなる。CG 分野でこれまで使われてきた数理的な枠組みを参考にしながら、時間発展の記述・新たな制御空間の提案に取り組むことで映像数理として新しい研究分野を開拓できるのではないかと期待している。

## 参考文献

- [1] Achanta, R., Shaji, A., Smith, K., Lucchi, A., Fua, P. and Süsstrunk, S.: SLIC superpixels compared to state-of-the-art superpixel methods, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 34, No. 11, pp. 2274–2282 (2012).
- [2] Anjyo, K., Todo, H. and Lewis, J.: A practical approach to direct manipulation blend-shapes, *Journal of Graphics Tools*, Vol. 16, No. 3, pp. 160–176 (2012).
- [3] Chang, H., Fried, O., Liu, Y., DiVerdi, S. and Finkelstein, A.: Palette-based Photo Recoloring, *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 34, No. 4, pp. 139:1–139:11 (2015).
- [4] Chern, A., Knöppel, F., Pinkall, U., Schröder, P. and Weißmann, S.: Schrödinger's Smoke, *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 35, No. 4, pp. 77:1–77:13 (2016).

- [5] Grosse, R., Johnson, M. K., Adelson, E. H. and Freeman, W. T.: Ground truth dataset and baseline evaluations for intrinsic image algorithms, *2009 IEEE 12th International Conference on Computer Vision*, IEEE, pp. 2335–2342 (2009).
- [6] Lewis, J. P. and Anjyo, K.-i.: Direct Manipulation Blendshapes, *IEEE Comput. Graph. Appl.*, Vol. 30, No. 4, pp. 42–50 (2010).
- [7] Ma, W.-C., Barbati, M. and Lewis, J. P.: A Facial Composite Editor for Blendshape Characters, *Proceedings of the Digital Production Symposium*, DigiPro '12, ACM, pp. 21–26 (2012).
- [8] Nguyen, C. H., Ritschel, T. and Seidel, H.-P.: Data-Driven Color Manifolds, *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 34, No. 2, pp. 20:1–20:9 (2015).
- [9] Sato, S., Morita, T., Dobashi, Y. and Yamamoto, T.: A Data-driven Approach for Synthesizing High-resolution Animation of Fire, *Proceedings of the Digital Production Symposium*, DigiPro '12, ACM, pp. 37–42 (2012).
- [10] Todo, H. and Anjyo, K.: Hybrid Framework for Blendshape Manipulations, *SIGGRAPH Asia 2011 Posters*, SIGGRAPH ASIA 2011, ACM, pp. 40:1–40:1 (2011).
- [11] Weißmann, S. and Pinkall, U.: Filament-based Smoke with Vortex Shedding and Variational Reconnection, *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 29, No. 4, pp. 115:1–115:12 (2010).