

2.5D キャラクターの顔造形デフォルメ解析

藤堂 英樹^{1,a)}

概要: アニメ・イラストのキャラクターでは、手描きによりデフォルメされた造形がデザインされている。デフォルメされた造形を解析する初期実験として、本稿では Live2D システム [7] で扱われている 2.5D のモデルデータに着目した。Live2D のモデルデータでは、疑似立体表現として視点に応じた 2 次元パーツの変形がデザインされており、解析に必要な特徴点を安定して追跡することができる。各視点でデザインされた特徴点群の 2 次元座標データを基に、ベースとなる 3 次元座標位置の推定を行う。推定した 3 次元座標データを各視点に合わせて再投影し、デフォルメされた造形をベース座標位置からのずれとして観測する。

キーワード: 2.5D, View-Dependent Geometry, 3 次元形状推定

1. はじめに

アニメ・イラストのキャラクターは 3 次元形状とは異なり、各視点での造形が手描きによりデフォルメされている。デフォルメされた造形は 3DCG アニメ制作においても需要があり、ベースとなる 3 次元形状を視点に応じて変形することで手描き同様の造形を表現している。3DCG アニメのデフォルメ表現に習い、本稿では、デフォルメされた造形をベース形状からのずれとして解析する。

アニメ映像のキャラクター造形を解析する場合、解析する特徴点を安定的に抽出・追跡する技術が必要となる。また、表情変化や誇張動作など視点による変形以外の要素も含まれるため、特徴点が得られたとしても解析は困難である。そこで、本稿では初期実験として Live2D システム [7] で扱われる 2.5D のモデルデータに着目した。

Live2D のモデルデータでは、図 1 で示されるように奥行情報を持ったレイヤー画像として各パーツが表現されている。視点に応じた変形動作を実現するため、複数視点において予めパーツ変形データがデザインされており、アニメーション作成時にはそれらを補間することで立体表現を合成している (図 2 参照)。各視点におけるパーツ変形データはモデルデータから直接参照することができるため、アニメ映像よりも簡単かつ安定に特徴点を追跡して解析することができる。

本実験の主な特色は以下の 2 点である。

- 3 次元形状としては矛盾するデフォルメ造形から最適

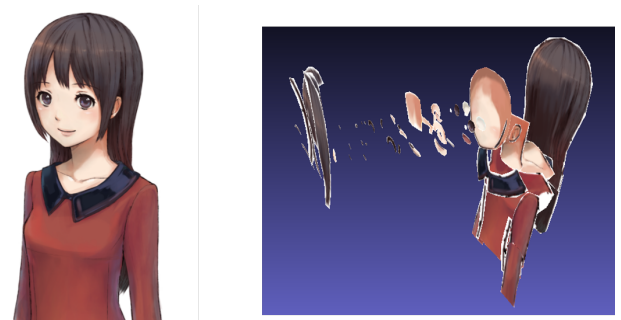


図 1 Live2D の 2.5D モデル表現。

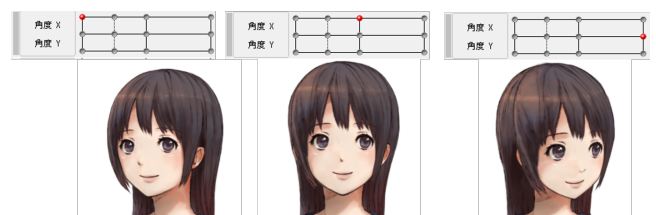


図 2 視点毎のパーツ変形データ。各回転パラメータに対して 2 次元パーツの変形がデザインされている。

化によりベース 3 次元特徴点座標値を推定する。

- 推定形状の再投影結果とデザインで設定された特徴点座標値を比較し、デフォルメが顔造形に含まれているかどうかを確認する。

観測された各視点の 2 次元特徴点座標値から造形を解析するため、まず 3 次元形状推定の技術を応用してベースとなる正面視点の 3 次元特徴点座標値を復元する。推定した正面視点の特徴点座標を各視点に合わせて再投影し、デフォルメされた造形をベース座標位置からのずれとして観測する。

¹ 中央学院大学
〒 270-1196 千葉県我孫子市久寺家 451 研究棟 708 研究室
a) todo@fla.cgu.ac.jp

2. 関連研究

解析対象とした Live2D システムと同様に, Rivers ら [2] も 2.5D のモデル表現を発表している. これらの手法では, 2次元レイヤーデータを視点に応じて立体的に変形することで, 3次元形状のような回転動作とデフォルメされた造形の両方を実現している.

3次元形状にデフォルメ造形を取り入れる試みは, View-Dependent Geometry [1] で基礎技術が発表され, 実制作でも似たような技術が用いられている. このように, アニメやイラストのデフォルメ造形は 3次元要素と組み合わせてモデル化されることが多く, 2D・3D の両面からアプローチが試みられている.

本研究と同様にアニメ映像の特徴点を解析する研究として, キャラクターの振り向き動作の描画を分析する技術 [5], [6], [8] が発表されている. これらの手法では, 2次元特徴点の軌跡の性質の議論, 比較対象の 3次元モデル特徴点の軌跡との比較の議論が主であり, 観測された特徴点自体の 3次元配置については議論の余地がある.

3次元要素の復元に目を向けると, ライティングを目的として 3次元形状を推定する研究 [3], [4] が行われている. しかし, 復元された形状はライティングを実現するための近似的な解となっており, 実際のアニメーションで想定される形状とは大きく異なる.

3. 提案手法

提案手法の概要を示す.

- (1) Live2D システムから回転動作に伴う 2次元パーツの変形データを取得する.
- (2) 2次元座標の移動データを点群データとして処理し, 正面位置における点群データの 3次元座標の推定を行う.
- (3) 推定した正面位置における 3次元座標データを回転パラメータに合わせて再投影し, 元のデザインとの比較からデフォルメ造形を分析する.
- (4) 元のデザインと合致するように 3次元座標位置データを補正し, 各視点での補正形状を構築する.

3.1 各視点のレイヤー変形データの取得

本研究では, Live2D システムのサンプルデータに含まれる顔振り向き動作のレイヤー変形データを取得した. 振り向き角度は, 方位角 $\theta \in [-30^\circ, 30^\circ]$, 仰角 $\phi \in [-30^\circ, 30^\circ]$ の値が取れるよう設定されており, その中から, 64 視点を均等間隔にサンプリングして解析を行った.

3.2 特徴点の 3次元座標推定

正面位置 $(\theta, \phi) = (0^\circ, 0^\circ)$ における特徴点群の 3次元座標データを \mathbf{P} とすると, 視点変更後の座標 \mathbf{Q} は回転行列

\mathbf{R} と平行移動ベクトル \mathbf{t} を用いて, $\mathbf{Q} = \mathbf{R}\mathbf{P} + \mathbf{t}$ の形で表される. ここで, 回転と関連の無い移動成分 \mathbf{t} が含まれているが, 中心化処理 $\mathbf{Q}_c = \mathbf{Q} - \bar{\mathbf{Q}}$, $\mathbf{P}_c = \mathbf{P} - \bar{\mathbf{P}}$ を行った座標では, $\mathbf{Q}_c = \mathbf{R}\mathbf{P}_c$ の形になり平行移動成分 \mathbf{t} の影響を除去できる.

ここで, 想定している入力データでは, 回転行列 \mathbf{R} , 変換前の 2次元座標 $\mathbf{p}_{2D} = (x, y)^t$, 変換後の 2次元座標 $\mathbf{q}_{2D} = (x', y')^t$ が既知である. したがって, 3次元座標 $\mathbf{p} = (x, y, z)^t$ の z 値を推定するためには, 以下のコスト関数を最小化すればよい.

$$E(z) = \|\mathbf{q}_{2D} - \mathbf{C}_{2D}\mathbf{R}(x, y, z)^t\|^2 \quad (1)$$

ここで, \mathbf{C}_{2D} は, 3次元座標 $(x, y, z)^t$ から 2次元の $(x, y)^t$ を取り出す射影行列である.

図 3 に単一視点における 3次元座標位置の推定結果を示す. 式 (1) の制約により, 顔形状を構成する点群の 3次元座標が推定されている.

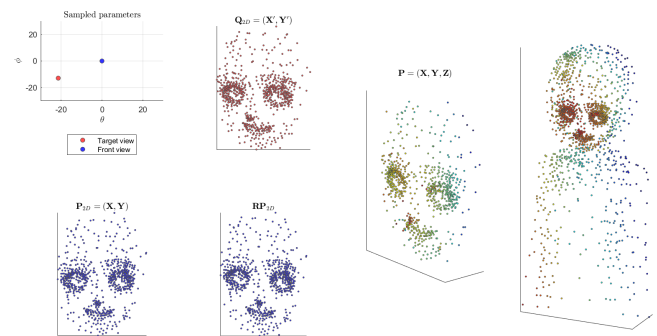


図 3 単一視点における 3次元座標の推定結果.

以上の 3次元座標推定の枠組みは, 各視点の回転行列 \mathbf{R}_i , その視点の 2次元座標 $\mathbf{q}_{2D,i}$ を考慮して複数視点からの推定に拡張できる. コスト関数を以下の形に修正して最小化を行う.

$$E'(z) = \sum_i \|\mathbf{q}_{2D,i} - \mathbf{C}_{2D}\mathbf{R}_i(x, y, z)^t\|^2 \quad (2)$$

図 4 に複数視点から正面顔の z 値を推定した結果を示す.

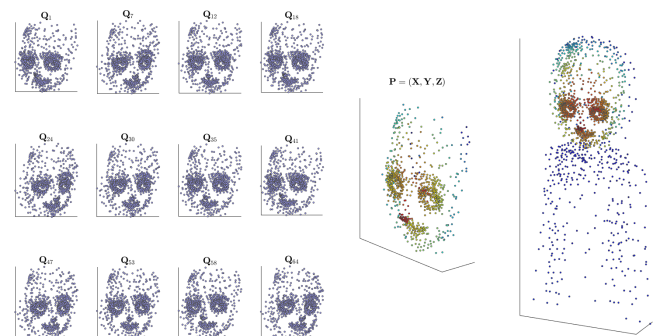


図 4 複数視点を考慮した 3次元座標の推定結果.

3.3 再投影によるデフォルメ造形の分析

推定された3次元座標値 \mathbf{p} , 各視点で与えられた回転行列 \mathbf{R}_i , その視点の2次元座標 $\mathbf{q}_{2D,i}$ を用いて, 再投影結果からのずれ $\mathbf{d}_i = \mathbf{q}_{2D,i} - \mathbf{C}_{2D}\mathbf{R}_i\mathbf{p}$ を計算することができる.

また, $\mathbf{R}_i\mathbf{p} = (x_i, y_i, z_i)^t$ の投影結果の z 座標を2次元座標 $\mathbf{q}_{2D,i} = (x'_i, y'_i)^t$ に追加することにより, $\mathbf{q}_i = (x'_i, y'_i, z_i)^t$ として特徴点の補正位置を計算することができる.

具体的な可視化結果については, 次節の実験結果で示す.

4. 実験結果

実験環境は, CPU が Intel Core i7-6600U 2.81GHz (メモリ 16GB) の PC である. 開発環境は Matlab を用い, 全て CPU 処理で計算を行っている.

実験データとして, Live2D のオフィシャルサイトに掲載されているモデルデータの内, 10 体で3節の造形解析処理を行った.

3次元形状推定では, どのモデルにおいても顔形状として認識できる推定結果が得られた (図5参照).

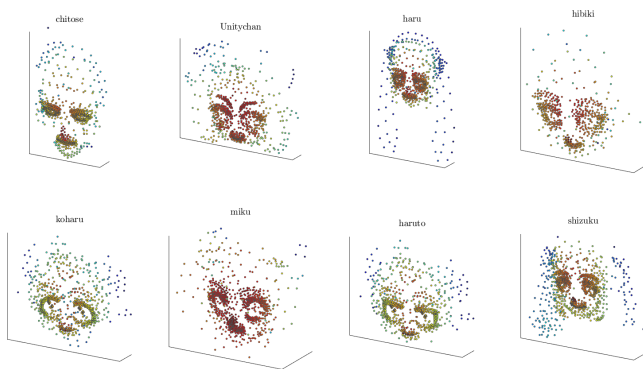


図5 各モデルデータにおける3次元形状推定結果.

図6に, 推定した3次元形状を視点に合わせて再投影した結果とデザインされた特徴点との比較を示す. 再投影結果とデザインされた特徴点にはずれがあり, 各視点においてデフォルメ造形が含まれていることが分かる. また, 再投影結果とデザインされた特徴点を基に補正位置を計算し, z 座標値を復元して各視点における補正形状を観察した.

図6(右)の補正形状は, 図6(左)のベース形状から少し変化しているが, 元の造形を大きく変えるような歪みは見られなかった.

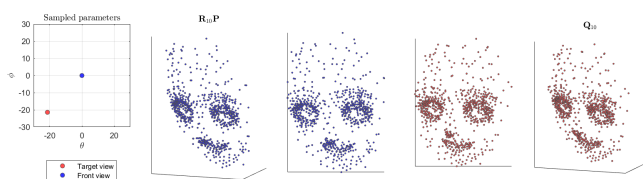


図6 再投影による造形のデフォルメの分析.

図7に提案手法の解析の失敗例を示す. 正面位置から離

れた視点では, 推定された3次元形状の再投影結果がデザインされた特徴点座標と大きくずれてしまい, 補正形状にも大きな歪みが見られた.

再投影結果が大きくずれる要因は, モデルデータのパラメータ (θ_i, ϕ_i) から得た回転行列 \mathbf{R}_i と実際の回転変換とのずれによると考えられる. この問題に対処するためには, Structure from Motion の問題で考えられているように, デザインされた特徴点座標を投影結果とした制約を考え, 回転変換を最適化して補正する必要がある.

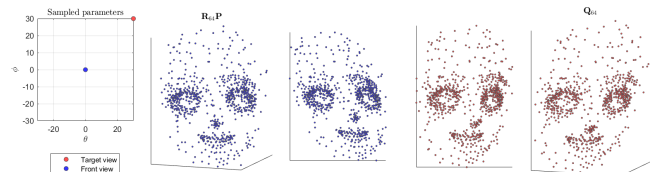


図7 再投影結果が大きくずれるケース.

5. まとめと今後の課題

本研究では, デフォルメされた造形を解析するため, 複数視点からの3次元位置推定と再投影結果のずれを観測するというアプローチを取った. 実験結果から, デフォルメされた造形からも顔形状と判別できるベース3次元形状を推定可能であることがわかった. また, 再投影結果とデザインされた特徴点にはずれがあり, 3次元座標変換だけでは説明できない要素がデフォルメ造形には含まれることがわかった. しかし, より詳細な解析・応用を行う上ではいくつか課題が残っている.

解析における課題は, 適切な回転変換を各視点で与えることであり, 3次元形状推定や再投影後の補正形状復元に大きく影響する. 推定3次元形状があれば回転変換を最適化可能であり, 相互最適化で精度を向上するアプローチを検討している.

応用における課題は, 解析した造形データを2D作画や3DCGで利用することである. 2D作画では, 作画でデザインされた造形が崩れていないか分析したり, 作画時に指定した視点のパーツ配置を提示する応用が考えられる. また, 3DCGでは, 解析したデフォルメ造形を3Dモデルに転写し, View-Dependent Geometryを自動で生成する手法を検討している. これらを実現するには, 単に再投影変換とのずれを観測するだけでなく, 視点パラメータに応じたデフォルメ造形のモデル化が必要である.

謝辞 本研究を進めるにあたり, 多数のモデルデータ・開発環境をご提供いただいた株式会社Live2Dに深く感謝いたします. また, 本研究プロジェクトは, 日本学術振興会科学研究費(15H05924)の助成を受けています.

参考文献

- [1] Rademacher, P.: View-dependent Geometry, *Proceedings of SIGGRAPH 1999*, ACM, pp. 439–446 (1999).
- [2] Rivers, A., Igarashi, T. and Durand, F.: 2.5D Cartoon Models, *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 29, No. 4, pp. 59:1–59:7 (2010).
- [3] Sýkora, D., Kavan, L., Čadík, M., Jamriška, O., Jacobson, A., Whited, B., Simmons, M. and Sorkine-Hornung, O.: Ink-and-ray: Bas-relief Meshes for Adding Global Illumination Effects to Hand-drawn Characters, *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 33, No. 2, pp. 16:1–16:15 (2014).
- [4] Todo, H. and Yamaguchi, Y.: Estimating reflectance and shape of objects from a single cartoon-shaded image, *Computational Visual Media*, Vol. 3, No. 1, pp. 21–31 (2017).
- [5] 宮田愛, 齋藤豪: 特徴点の軌跡を用いた日本のセルアニメーションの振り向き描画の分析, 第 77 回全国大会講演論文集, Vol. 2015, No. 1, pp. 67–69 (2015).
- [6] 宮田愛, 齋藤豪, 真野航: 3DCG アニメーションとの比較による日本のセルアニメーションの顔描画分析, 第 76 回全国大会講演論文集, Vol. 2014, No. 1, pp. 343–344 (2014).
- [7] 株式会社 Live2D: Live2D official web page, (online), available from <http://www.live2d.com/ja/> (accessed 2016-05-28).
- [8] 真野航, 齋藤豪: 日本のセルアニメーションにおける振り向き動作時の顔描画の分析, 第 75 回全国大会講演論文集, Vol. 2013, No. 1, pp. 269–270 (2013).