



# 色補償を用いたプロジェクションマッピングによる 顔の年齢変容に関する検討

袁 璐<sup>1)</sup>, 彭 浩倫<sup>1)</sup>, 林 隆介<sup>2)</sup>, 渡辺 義浩<sup>1)</sup>

Lu YUAN, Hao-Lun PENG, Ryusuke HAYASHI and Yoshihiro WATANABE

1) 東京工業大学 工学院 情報通信系 (〒 226-8503 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259-G2-31, yuan.l.ac@m.titech.ac.jp)

2) 産業技術総合研究所 (〒 305-8560 茨城県つくば市梅園 1-1-1)

**概要:** フェイシャルプロジェクションマッピングによって、人間の顔の外観を変えることができる。本稿では、同技術に基づいて年齢変容を実現するための手法を提案する。具体的には、StyleGAN を用いたモデルを新たに導入し、年齢属性を変更した顔画像を生成する。また、色補償によって、投影結果が生成した顔に近づくように制御する。実験では、シミュレーションと実際の投影によって、被験者の顔の見た目の年齢が変化することを確認した。

**キーワード:** 拡張現実, 複合現実, プロジェクタ

## 1. はじめに

年齢変容とは、顔の個性を保ったまま、異なる年齢の人物の姿を合成する手法である [1]。近年、この研究テーマは大きな関心を集めている。ヒューマンコンピュータインタラクションへの応用が期待されているが [2]、表示デバイスは平面のモニターやヘッドマウントディスプレイに限定されていた。

一方、プロジェクションマッピングとは、プロジェクタを使って物体の表面に映像を投影する技術である。特にフェイシャルプロジェクションマッピングは、顔を投影対象とするプロジェクションマッピングである [3]。前述の年齢変容を実世界の現実の顔に対して実現するために、本稿ではフェイシャルプロジェクションマッピングに注目する。従来の研究では、アニマトロニクスに対して、投影によって皺を再現する手法が報告されている [4]。その結果、ロボットの表情の表現力を向上させることができた。しかし、現実の人間の顔に対する年齢変容は実現されていない。また、顔には様々な特徴があるため、対象者ごとに年齢変容の画像を作る必要があると考えられる。

本稿では、フェイシャルプロジェクションマッピングにより、実際の人間の顔に対する年齢変容を実現することを目的とする。この目的を達成するために、我々は StyleGAN を用いた顔画像編集 [5] と特徴抽出手法を組み合わせたフェイシャルプロジェクションマッピングを提案した [6]。StyleGAN は、様々な属性を編集した画像を生成することができる。この StyleGAN が提供するセマンティクス編集を用いることで、年齢が変容された画像を生成する。また、フェイシャルプロジェクションマッピングのために、編集された顔画像から年齢変容に関わる投影テクスチャを抽出する方法を提案した。しかし、被験者の顔が笑顔や悲しみに変化すると、

投影されたテクスチャによる皺と実際の皺の 2 つがずれる問題を確認した。そこで、本稿では投影の品質を向上させるために色補償を用いたプロジェクションマッピング手法を新たに導入する。さらにシミュレーション結果と実際の投影結果の両方から、フェイシャルプロジェクションマッピングによって年齢変容が実現されることを確認した。

## 2. 関連研究

### 2.1 年齢変容

従来の年齢変容の手法は、デジタル画像処理に基づいている。例えば、ある画像から別の画像へ顔の特徴を転写する手法 (IBSDT: Image-Based Surface Detail Transfer) [7] が提案された。この方法は、老化現象の合成に適用できることが示された。具体的には、老人の皮膚表面の特徴を、若者の顔画像に転写することで、年齢変容できることが確認された。この手法では、入力に若者の顔画像と老人の顔画像の 2 つを必要とする。

近年、年齢変容の研究では、データ駆動型の手法が多く採用されている。これらの手法は、大規模な顔画像データセットを学習することで、入力画像を年齢変容された画像へ変換することができる。特に敵対的生成ネットワーク (GANs) [8] は顔の老化を理解し、顔画像合成に強い能力を発揮する。「年齢」を含むセマンティクス編集は、潜在空間におけるセマンティクスの特定と解釈の研究によってもたらされたものである。しかし、StyleGAN が提供する潜在空間は、「年齢」属性と「眼鏡」属性が絡む問題がある [9]。

この問題を解決するために、Alaluf らは Style-based Age Manipulation (SAM) モデルを提案した [10]。SAM は年齢変容を達成するための潜在空間における非線形経路を学習し、「年齢」属性と他の顔属性を分離する。他にも、年齢変

容を画像から画像への変換として実現する事例も報告されている [1, 11].

## 2.2 フェイシャルプロジェクションマッピング

フェイシャルプロジェクションマッピングは、人間の顔に映像を投影し、顔の外観を変化させるものである。機器を装着せずに裸眼で直接見ることができるため、より没入感のあるインタラクションを実現することができる。

Bermano らは、人間の顔をライブでダイナミックに拡張するシステムを提案した [12]. また、マルチプロジェクタによるフェイシャルプロジェクションマッピングが、Siegl らによって開発された [3]. しかし、上記のシステムでは、それぞれ 20 ms 程度の遅延があり、人間が投影像と顔のずれを知覚可能なレベルであった。高速化によって、このような遅延を解消するようなシステムも報告されている [13]. また、低遅延のフェイシャルプロジェクションマッピングをメイクシミュレータに転用する事例も実現されている [14]. 本稿では同システムを利用する。

また、我々はこれまでに、StyleGAN を用いたモデルと、前述の IBSDT を組み合わせた投影手法を提案し、顔のプロジェクションマッピングによる年齢変容を実現した [6]. しかし、投影の際にアーティファクトが発生することがあった。これは、対象の顔のディテールが考慮されていないためである。この問題を解決するため、本稿では新たに色補償手法を導入する。

## 3. 提案手法

### 3.1 概要

図 1 に本手法の概要を示す。まず、事前に、被写体の顔画像  $I^0$  を用意する。また、同画像  $I^0$  から StyleGAN に基づいたモデルである SAM [10] を用いて参照画像  $R$  を生成する。被写体の顔画像  $I^0$  の年齢属性は、SAM モデルによって編集することができる。参照画像  $R$  とリアルタイムに取得される  $n$  フレーム目の被写体の顔画像  $I^n$  とのピクセル対応比較のために、2つの画像  $R, I^n$  に対して顔追跡を適用する。同追跡結果を用いて、これらの画像を顔メッシュの形状に展開する。展開された結果をそれぞれ  $R_{uv}, I_{uv}^n$  とする。さらに、同展開画像間の差から色補償の手法に基づき、投影画像  $T_{uv}^{n+1}$  を生成する。特に色補償のステップの詳細を次節で述べる。

### 3.2 カメラフィードバックに基づく色補償

Nayar らは、連続的な投影の色補償手法を提案した [15]. この手法により、投影対象の外観が参照画像に近づくように補償することができる。  $n+1$  フレーム目の補償された表示画像  $\tilde{N}^{n+1}$  は下式で表される。

$$\tilde{N}^{n+1} = \tilde{N}^n + \alpha(N^n - M^n) \quad (1)$$

ここで、  $N^n$  は  $n$  フレーム目の目標画像であり、  $M^n$  は  $n$  フレーム目の被写体の画像である。  $\alpha$  ( $0 \leq \alpha \leq 1$ ) はフィードバック係数である。

この色補償手法を新たに導入し、展開された参照画像と投影対象の顔画像から、投影テクスチャを次式により取得

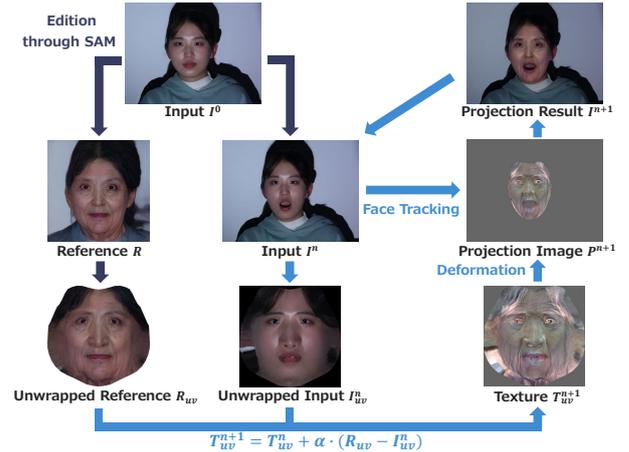


図 1: 手法の流れ

する。各フレームの投影テクスチャは、展開された参照画像と展開された被写体の顔画像の差分と前フレームのテクスチャから構成される。計算は以下の式で表される。

$$T_{uv}^{n+1} = T_{uv}^n + \alpha(R_{uv} - I_{uv}^n) \quad (2)$$

ここで、  $T_{uv}^n$  は  $n$  フレームの投影テクスチャであり、  $R_{uv}$  は展開された参照画像であり、  $I_{uv}^n$  は  $n$  フレームの展開された投影対象の顔画像である。

また、顔追跡時に推定した顔の 3 次元形状と、実際の 3 次元形状の間にはずれが生じる場合がある。これによって、色補償時の画素の対応関係にも誤差が生じ、正しい投影画像を取得することができない。このような誤差を低減するために、本稿では参照画像と投影対象の顔画像に標準偏差  $\sigma$  のガウシアンぼかしを適用する。

投影結果は順次、次のフレームの色補償にフィードバックされる。これによって、投影テクスチャは数フレームの繰り返しののちに収束する。

## 4. 実験

### 4.1 実験条件

検証のため、コンピュータ上でのシミュレーション実験と実際の投影を行う実験の両方を行った。フィードバックの係数  $\alpha$  は 0.1 とした。最初のフレームでの投影テクスチャ  $T_{uv}^0$  は、灰色の画像 ( $R, G, B = (100, 100, 100)$ ) とした。

シミュレーション実験では、人間の顔にテクスチャ画像を合成した。人間の顔の反射モデルはランバート反射と仮定した。シミュレーション実験では  $\sigma = 0$  として、ガウシアンぼかしを適用しなかった。

実際の投影実験では、2つのカメラと1つのプロジェクタを備えたシステムを使用した。システムの写真を図 2 に示す。システムには、最大フレームレート 947 fps でのカラー投影が可能なプロジェクタ [16] (解像度  $1024 \times 768$ ) を使用した。また、使用したカメラは、解像度が  $720 \times 540$  で、最大 500 fps の撮像が可能である。1台のカメラは赤外線画像を撮像し、顔追跡に利用する。もう1台のカメラは、可



図 2: 検証を行うシステム

視光の投影対象の顔を撮像する。実際の投影実験では、ガウシアンぼかしの $\sigma$ を11とした。

#### 4.2 実験結果

シミュレーションでの実験結果を図3に示す。投影シミュレーションを行った顔は、元の顔画像と比較して、皺や陰影がより強調されていることがわかる。また、各対象者の顔の個性が維持されていることも確認できる。さらに、提案された方法によって若い年齢への顔変容も実現することができた。

実際の投影による実験を図4に示す。白色画像で投影されたもとの顔に比べ、シワなどの肌表面のディテールが強調されていることが分かる。また、新たな特徴として、プロジェクションマッピングにより肌の色が変わっており、年齢変容の印象強化に役立っていると考えられる。ただし、ガウシアンぼかしのステップにより、皺は期待したほどははっきりとは見えづらい。

#### 5. 考察

ガウシアンぼかし前後の投影結果を図5に示す。ガウシアンぼかしは、同図左に示される色補償時の誤差を低減するために導入された。しかし、これによって投影された顔の特徴もぼかすため、皺が見えにくい問題を生じた。このため、投影結果は期待するほどの良い品質ではなかった。可能な解決策は、ガウシアンぼかしによるノイズの除去後に投影テクスチャのコントラストを改善することである。これにより、顔のディテールがよりはっきりと見えるようになると期待される。

#### 6. まとめ

我々は、色補償に基づく顔のプロジェクションマッピングによる年齢変容を実現する手法を提案した。投影対象の顔における再現結果をフィードバックすることで、生成された投影テクスチャの品質を向上させることができる。以前の特徴抽出の手法[6]と比較して、提案手法では肌の色の変化も実現される。ただし、コントラストを始めとして、投影の品質にはまだ改善の余地がある。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP20H05959 の助成を受けたものです。

#### 参考文献

- [1] Or-El, Roy and Sengupta, Soumyadip and Fried, Ohad and Shechtman, Eli and Kemelmacher-Shlizerman, Ira : Lifespan age transformation synthesis, European Conference on Computer Vision, pp. 739–755, 2020.
- [2] Ramanathan, Narayanan and Chellappa, Rama and Biswas, Soma and others : Age progression in human faces: A survey, Journal of Visual Languages and Computing, Vol. 15, pp. 3349–3361, 2009.
- [3] Siegl, Christian and Lange, Vanessa and Stamminger, Marc and Bauer, Frank and Thies, Justus: Faceforge: Markerless non-rigid face multi-projection mapping, IEEE transactions on visualization and computer graphics, Vol. 26, No. 11, pp. 2440–2446, 2017.
- [4] Bermanno, Amit and Brüschweiler, Philipp and Grundhöfer, Anselm and Iwai, Daisuke and Bickel, Bernd and Gross, Markus: Augmenting physical avatars using projector-based illumination, ACM Transactions on Graphics, Vol. 32, No. 6, pp. 1–10, 2013.
- [5] Karras, Tero and Laine, Samuli and Aila, Timo: A style-based generator architecture for generative adversarial networks, Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition, pp. 4401–4410, 2019.
- [6] 袁璐, 彭浩倫, 林隆介, 渡辺 義浩: プロジェクションマッピングによる顔の年齢変容に関する検証, 第68回複合現実感研究会, MR2023-4, 2023.
- [7] Liu, Zicheng and Zhang, Zhengyou and Shan, Ying: Image-based surface detail transfer, IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 24, No. 3, pp. 30–35, 2004.
- [8] Goodfellow, Ian and Pouget-Abadie, Jean and Mirza, Mehdi and Xu, Bing and Warde-Farley, David and Ozair, Sherjil and Courville, Aaron and Bengio, Yoshua : Generative adversarial nets, Advances in neural information processing systems, Vol. 27, pp. 2672–2680, 2014.
- [9] Shen, Yujun and Gu, Jinjin and Tang, Xiaoou and Zhou, Bolei: Interpreting the latent space of gans for semantic face editing, Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition, pp. 9243–9252, 2020.
- [10] Alaluf, Yuval and Patashnik, Or and Cohen-Or, Daniel : Only a matter of style: Age transformation using a style-based regression model, ACM Transactions on Graphics, Vol. 40, No. 4, pp. 1–12, 2021.

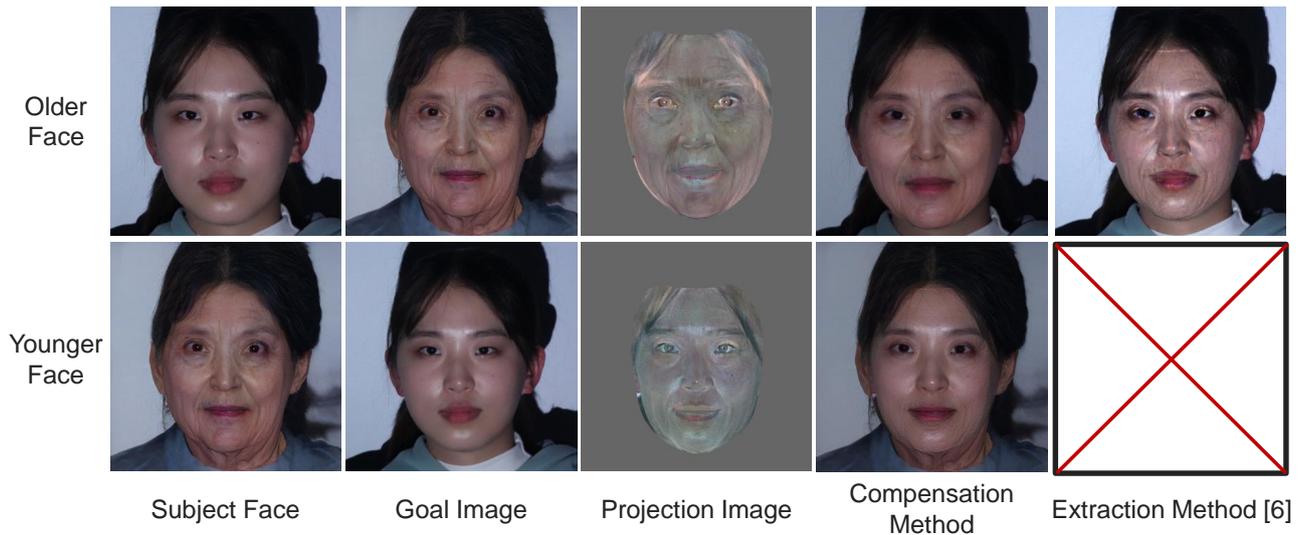


図 3: シミュレーション結果

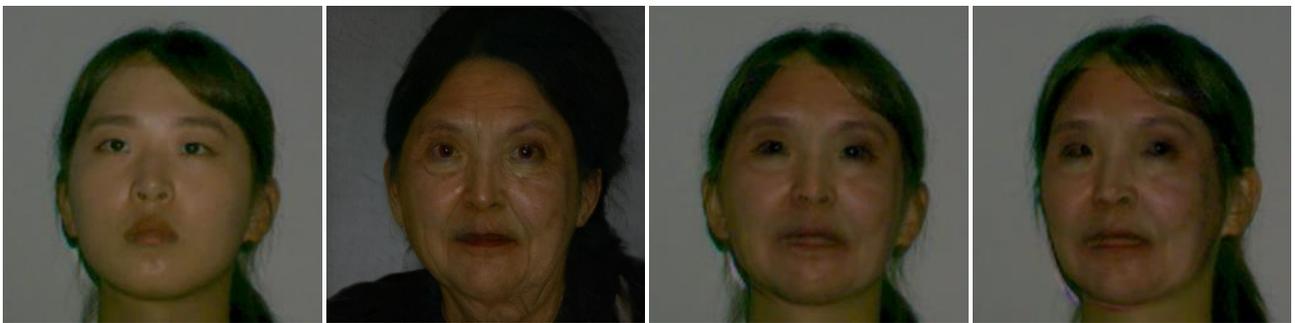


図 4: 実環境における投影結果. 左から順に, 一様光下のオリジナルの顔画像, 目標画像, 投影による年齢変容の結果.

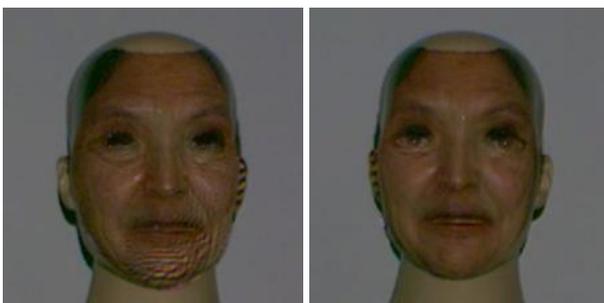


図 5: ガウシアンぼかし前後の投影結果. 左: ぼかし前, 右: ぼかし後.

- [11] Gaspard Zoss, Prashanth Chandran, Eftychios Sifakis, Markus Gross, Paulo Gotardo, and Derek Bradley: Production-Ready Face Re-Aging for Visual Effects, ACM Transactions on Graphics, Vol. 41, No. 6, pp. 1–12, 2022.
- [12] Bermano, Amit H and Billeter, Markus and Iwai, Daisuke and Grundhöfer, Anselm: Makeup lamps: Live augmentation of human faces via projection, Computer Graphics Forum, Vol. 36, No. 2, pp. 311–323, 2017.
- [13] Dynamic Facial Projection Mapping -Basic Test-,

<http://www.vision.ict.e.titech.ac.jp/projects/faceDPM/index-j.html>

- [14] COLOR MACHINE: ダイナミックプロジェクションマッピングによるメイクシミュレータ, <http://www.vision.ict.e.titech.ac.jp/projects/ColorMachine/index-j.html>
- [15] Nayar, Shree K and Peri, Harish and Grossberg, Michael D and Belhumeur, Peter N: A projection system with radiometric compensation for screen imperfections, ICCV workshop on projector-camera systems, Vol. 3, pp. 1–8, 2003.
- [16] Watanabe, Yoshihiro and Ishikawa, Masatoshi: High-speed and high-brightness color single-chip DLP projector using high-power led-based light sources, 26th International Display Workshops, pp. 1350–1352, 2019.