



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

袁 璐^{*1}彭 浩倫^{*1}林 隆介^{*2}渡辺 義浩^{*1}Lu Yuan^{*1}, Hao-Lun Peng^{*1}, Ryusuke Hayashi^{*2} and Yoshihiro Watanabe^{*1}

Abstract — フェイシャルプロジェクションマッピングは、映像投影によって人間の顔の外観を変えることができる。同技術に基づいて年齢変容を実現するためのアプローチを提案する。本手法では、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、プロジェクションマッピングのテクスチャを得るために、顔の特徴を抽出する手法を利用する。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。

Keywords : フェイシャルプロジェクションマッピング, 年齢変容, 敵対的生成ネットワーク

1 はじめに

年齢変容とは、顔の同一性を保ったまま、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 [1, 5, 10]。顔認証システムやマルチメディアを利用したヒューマンコンピュータインタラクションシステムへの応用も期待されているが [11]、表示デバイスは平面のモニタに限定されていた。

このような顔の変容を実世界で実現するために、本稿では顔へのプロジェクションマッピング技術に注目する。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 [14]。

一方、従来の研究ではプロジェクタにより、アニメトロニクスに対して皺の再現を実現した [9]。同研究では、顔のメッシュを生成するために、ロボットの3次元点群データを取得する必要がある。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の拡張は実現されていない。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、StyleGANを用いた顔画像操作 [3] 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する。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顔編集を用いることで、年齢が変換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ていることを確認した。

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 [6, 12, 13]。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) [6] 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。

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) [2] 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 [4]。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 [5]。SAMは年齢操作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。

^{*1}東京工業大学

^{*2}産業技術総合研究所

^{*1}Tokyo Institute of Technology

^{*2}National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

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 [7]。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 [14]。しかし、上記のシステムでは、それぞれ 16.4ms と 20ms 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 [16]。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 [15]。

3 提案手法

3.1 概要

本節では、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ための概要を紹介する。本手法では、対象の顔を実際よりも高い年齢に変容させる目的に限定する。つまり、人間の顔が将来どのように見えるかを示すための手法である。図 1 に本手法の概要を示す。本手法は、オフラインフェーズとオンラインフェーズの 2 つのフェーズに分けられる。

オフラインフェーズでは、まず、投影対象の顔の画像を撮像する。次に、SAM モデル [5] を用いて、撮像された被験者の顔をもとに、老化した顔の目標画像を生成する。これによって、顔のアイデンティティを維持したまま、高年齢化した顔画像を入手する。さらに、同目標画像から画像の年齢に関する特徴情報を抽出するために、IBSDT 法 [6] を導入する。この手法については、3.2 節で説明する。

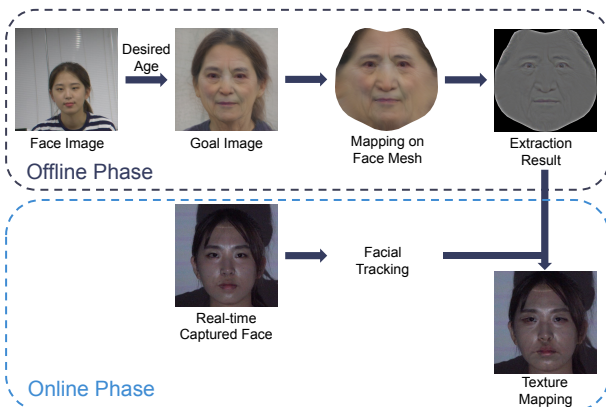


図 1 システムの流れ
Fig. 1 System pipeline

オンラインフェーズでは、まず、被験者の顔をリアルタイムで追跡する。次に、オフラインフェーズで抽出された特徴画像を、現在の表情に応じて変形して、投影画像を生成する。さらに、プロジェクタを介して、対象者の顔へ投影する。

3.2 投影テクスチャの抽出方法

フェイシャルプロジェクションマッピングを実現するためには、老化した顔の特徴を若い顔へ投影によって転写する必要がある。そこで、2.1 節で紹介した、顔の特徴情報を別の顔画像に転写する IBSDT [6] を採用する。

IBSDT では、画像 I_1 から画像 I_2 へ特徴を転写するために、両画像の照明条件が同一であることを前提とする。同前提に関して、本稿での提案手法では、老化した顔 I_1 と若い顔 I_2 は、プロジェクタから同じ光で照らされる。これは、IBSDT 法の前提条件を満たす。

IBSDT 法は以下の式で表される。

$$I'_2 = \frac{I_1}{\bar{I}_1} \bar{I}_2$$

ここで、 I'_2 は特徴転写後の新しい画像であり、 $\bar{I}_1$ と $\bar{I}_2$ は平滑化した画像である。

本稿の目的に IBSDT を導入するために、老化した目標の顔画像を I_1 とする。また、オフラインフェーズで撮像した対象の顔を I_2 とする。 $\bar{I}_1$ は画像処理によって平滑化された目標の高齢化顔画像である。さらに、投影によって再現された、高齢化特徴を転写された対象の顔を I'_2 とする。

フェイシャルプロジェクションマッピングでは、投影される対象顔を実世界で平滑化することは難しい。そこで、対象の若い顔は、高齢化特徴を重畳したときに整合しない特徴が十分に少ないと仮定する。この仮定のもと、 $\bar{I}_2$ を I_2 で置き換える。ここで、対象の顔表面の反射率を I_2^f とする。このとき、対象者の顔 I_2 は、プロジェクタによる一様投影光 I_{gray} と I_2^f の積とみなせる。また、高齢化された顔を再現するために投影する画像を I'_2 とする。以上より、下式が導出される。

$$I'_2 = \frac{I_1}{\bar{I}_1} \bar{I}_2 = \frac{I_1}{\bar{I}_1} I_2$$

$$I_2 = I_{gray} I_2^f$$

$$I'_2 = I'_2 I_2^f$$

以上より、投影テクスチャ I'_2 は下式となる。

$$I'_2 = \frac{I_1}{\bar{I}_1} I_{gray}$$

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。画像 I_1 を得るために、 101×101 のカーネルの Gaussian フィルタを用いた。

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する。使用する顔画像の解像度は 1024×768 である。検出された顔ランドマークによって、顔画像と同じ解像度の投影画像にテクスチャを変形させる。

実際の投影実験では、同軸プロジェクタ・カメラ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、最小遅延が約 2 ms、最大フレームレートが 947fps のカラープロジェクタ [8] を使用した。また、使用したカメラは、解像度が 720×540 で、最大 500fps の撮像が可能である。



図 2 実験環境
Fig. 2 Experiment setup

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、顔の向きや表情が変化しても、テクスチャは正しく投影されていた。

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。以上より、プロジェクタによって実際の人間の顔で年齢変容が実現できることが確認された。

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。図 5 に示すように、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。

5 考察

投影の際に発生するアーティファクトは、被写体の人物が表情を変えたときに発生した。この問題の原因は、3.2 節で述べた仮定が成立せず、表情のある被写体の顔を正常に平滑化できなかったことにある。表情のある顔には、図 5 に示すような皺など、顔のディテールが付加される可能性があるためである。

今後、この問題を解決するために、投影補正法を試みる。目標画像と被写体の顔の差分を計算し、この差分を投影することで、発生した問題を解決するだけでなく、若く見えるという年齢変容を実現することができると期待される。

6 まとめ

我々は、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。本手法では、StyleGAN を用いたモデルと、表面ディテール転写法を組み合わせた抽出手法を提案し、投影画像の取得を行った。また、本手法により、顔全体が老けて見せることができることを実験により確認した。

参考文献

- [1] Or-El R, Sengupta S, Fried O, Shechtman E, Kemelmacher-Shlizerman: Lifespan age transformation synthesis; European Conference on Computer Vision, 739-755 (2020.August)
- [2] Goodfellow Ian, Pouget-Abadie Jean, Mirza Mehdi, Xu Bing, Warde-Farley David, Ozair Sherjil, Courville Aaron, Bengio Yoshua: Generative adversarial networks; Advances in Neural Information Processing Systems, 2672-2680 (2014)
- [3] Karras T, Laine S, Aila T: A Style-based Generator Architecture for Generative Adversarial Networks; Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 4401-4410 (2019.06)
- [4] Shen Y, Gu J, Tang X, Zhou B: Interpreting the Latent Space of GANs for Semantic Face Editing; Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 9243-9252 (2020.06)
- [5] Alaluf Y, Patashnik O, Cohen-Or D: Only a Matter of Style: Age Transformation Using a Style-based Regression Model; ACM Transactions on Graphics (TOG), 40(4), 1-12 (2021.08)
- [6] Liu Z, Zhang Z, Shan Y: Image-based Surface Detail Transfer; IEEE Computer Graphics and Applications, 24(3), 30-35 (2004.08)
- [7] Bermano A H, Billeter M, Iwai D, Grundhöfer A: Makeup lamps: Live Augmentation of Human Faces via Projection; Computer Graphics Forum, 36(2), 311-323 (2017)
- [8] Yoshihiro Watanabe, Masatoshi Ishikawa: High-Speed and High-Brightness Color Single-Chip DLP Projector Using High-Power LED-Based Light Sources; International Display Workshops, 1350-1352 (2019.11)



図3 シミュレーション結果. 1 段階目: 一様光下の顔画像. 2 段階目: 投影による年齢変容結果.

Fig.3 Projection results of virtual environment

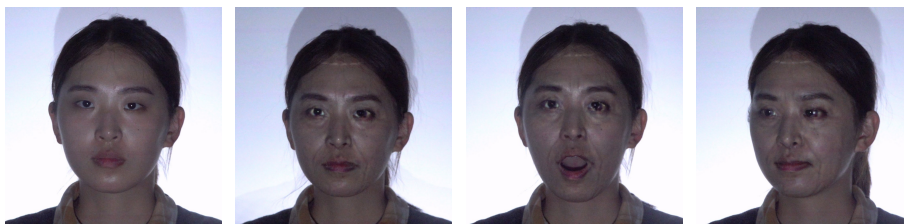


図4 実環境における投影結果. (左) 一様光下の顔画像. (右 3 枚) 投影による年齢変容の結果.

Fig.4 Projection results of real environment



図5 実験のアーティファクト

Fig.5 Artifact of projection

J: Faceforge: Markerless Non-rigid Face Multi-projection Mapping: IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 23(11), 2440-2446 (2017)

- [15] 株式会社コーセー: 高速プロジェクションマッピング技術と色補正技術を活用した実際の顔で体験できるメイクシミュレーションシステムを開発: <https://www.kose.co.jp/company/ja/content/uploads/2022/10/20221025.pdf>
- [16] Dynamic Facial Projection Mapping -Basic Test: <http://www.vision.ict.e.titech.ac.jp/projects/faceDPM/>

© 2023 by the Virtual Reality Society of Japan (VRSJ)

- [9] Bermano A, Bruschweiler P, Grundhöfer A, Iwai D, Bickel B, Gross M: Augmenting Physical Avatars Using Projector-based Illumination; ACM Transactions on Graphics (TOG), 32(6), 1-10 (2013.11)
- [10] Kemelmacher-Shlizerman I, Suwajanakorn S, Seitz S M: Illumination-Aware Age Progression; Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 3334-3341 (2014.06)
- [11] Ramanathan N, Chellappa R, Biswas S: Age Progression in Human Faces: A Survey; Journal of Visual Languages and Computing, 15, 3349-3361 (2009)
- [12] Jiang F, Wang Y: Facial Aging Simulation Based on Super-resolution in Tensor Space; IEEE International Conference on Image Processing, 1648-1651 (2008)
- [13] Fu Y, Zheng N: M-Face: An Appearance-Based Photorealistic Model for Multiple Facial Attributes Rendering; IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video technology, 16(7), 830-842 (2006)
- [14] Siegl C, Lange V, Stamminger M, Bauer F, Thies