

氏名	すう びん ZOU MIN
本籍（国籍）	中華人民共和国
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	理工博 第6号
学位授与年月日	令和4年3月23日
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当 課程博士
研究科及び専攻	理工学研究科デザイン・メディア工学専攻
学位論文 題目	Symmetrical Characteristic for Face Recognition (顔自体の対称特性に基づいた顔認識)
学位審査委員	主査 准教授 明石 卓也 副査 教授 今野 晃市 副査 教授 田中 隆充

論文内容の要旨

Face recognition refers to the technology capable of identifying or verifying the identity of subjects in images or videos. Face recognition has a wide range of applications, which can be used in automatic access control systems, identification of ID cards, and home security. Facial recognition systems can identify individuals by comparing the input image to the stored or learned images. Based on the fact that different individuals have different facial features, face recognition systems usually take advantage of analyzing the characteristics of each individual's face. Compared with the common characteristics of many individuals, the unique characteristics are usually emphasized to distinguish one identity from another. Since the first face recognition algorithms developed in the early seventies, the accuracy of face recognition improved to the new level that nowadays face recognition often performs more practical and more convenient than any other biometric modalities that have traditionally been considered more robust, such as fingerprint recognition and handwriting recognition.

Most face detection and recognition tasks are based on the training of intact facial images and corresponding labels. Both the three-dimensional structure and two-dimensional appearance from the frontal view of human faces are approximately bilaterally symmetrical in general. However, sometimes, illumination on the left-half face and the right-half face is uneven. In this case, the symmetrical characteristic of human faces can facilitate expressing

distinct identity information. This is because even if one side of the facial image is corrupted by noise, the opposite side can still be used for feature extraction. The recent literature indicates that face recognition and facial expression classification has achieved high accuracy on benchmark datasets with a large number of face images in the wild. However, unlike the purpose of recognizing as many people as possible, real applications for families or companies usually aim to recognize a small group of people as accurately as possible. In case of the face is partially occluded, convolutional solutions always simply put images with occlusions into the training dataset and hope the convolution neural network learns a model robust to partial occlusion. These processes not only increase the burden of learning but also affect the model to identify normal images without occlusions.

To address this problem, an automatic selection of the better half of the face can be used for identity recognition with only a single half face. Different from the MegaFace challenge of recognizing millions of identities in the wild, this thesis focuses on building recognition systems for a small number of people with fewer training images, for example, building access control systems for research laboratory members or family members. This thesis proposes an artificial face image construction method and a half-face training strategy for transfer learning of pre-trained conventional neural network models.

The facial image reconstruction to discard the influence of partial occlusion is also discussed. Based on the phenomenon that human faces are roughly symmetrical, the intact half-face can be used to reconstruct the facial information of the occluded areas. Specifically, occlusion on the left-half face is reconstructed with a linear combination of features on the right-half face and vice versa. The process is modeled by keeping row sparsity for the coefficient matrix with $l_{2,1}$ -norm regularization while minimizing the reconstruction error. An alternative iterative algorithm is proposed to solve the optimization problem. To validate the effectiveness of the reconstruction, the pre-trained CNN model is trained on normal face images and tested with various occluded images. Extensive experimental results show that the proposed method improves the performance of state-of-the-art models by utilizing the symmetrical characteristics of human faces.

論文審査結果の要旨

本論文は、人間の顔の対称的な特徴に基づく顔認識手法を提案している。顔認

顔認識とは、静止画や動画を含む映像に記録された顔を識別・確認する技術である。顔認識の応用範囲は広く、自動入退室管理システム、IDカードの識別、ホームセキュリティなどに利用することができる。顔認識システムは、あらかじめ保存または学習された画像と入力画像を比較することで、個人を特定することができる。個人によって顔の特徴が異なるという事実に基づき、一般的な顔認識システムでは、各個人の顔の特徴を分析し、認識している。通常、顔検出・認識タスクは遮蔽（オクルージョン）などによる欠損がない顔画像と、それに対応するラベルの学習に基づくものである。人間の顔は、正面から見た場合、3次元構造と2次元の外観の両方が、ほぼ左右対称である。一方で、実環境においては、照明の照射方向などによって、顔の左半分と右半分に異なる影響（影などのノイズ）が発生することが考えられる。このような場合、左右の特徴が異なるため、正面顔として扱うことは困難である。提案手法では、識別情報を表現し易くするため、人間の顔が持つ左右対称の特徴を利用する。これにより、影などのノイズによって、顔画像の片側のデータが変化してしまったとしても、反対側の特徴を顔検出に利用できると考えられる。最近の文献によると、顔認識や表情分類の研究において、実環境下で撮影された顔画像を大量に用いたベンチマークデータセットを利用し、高い認識や分類精度を達成している。しかし、できるだけ多くの人を認識する目的とは異なり、家族や企業などの実際のアプリケーションでは、少人数の人をできるだけ正確に認識することを目的とするのが一般的である。また、顔が部分的に隠されている場合、畳み込み処理では常にオクルージョンのある画像を学習データセットに入れ、畳み込みニューラルネットワークが部分的なオクルージョンに強いモデルを学習することを期待するのみである。このような処理は、学習の負担を増やすだけでなく、オクルージョンのない正常な画像を識別するモデルにも影響を与える。上記の照明の照射方向が不均一な場合やオクルージョンがある場合に対応するため、人間の対称特性に基づく顔認識手法 Flipping + CNN を提案している。検証実験により、提案手法は数学的に正しいことを示している。また、実験により、顔認識の従来手法と比較して、提案手法の優位性を持っていることを示している。

本論文の構成は以下の通りである。

第1章は序論であり、この研究の背景や問題点、提案手法のアプローチといった概要が記述されている。また、本論文で扱う顔認識に関する提案手法についての概略が記述されている。最後に、本論文の構成について説明している。

第2章では、顔認識の関連研究のまとめとして、幾何的な手法や深層学習による顔認識手法などについて記述されている。

第3章では、本論文の提案手法について述べられている。具体的には、反転手法を利用して顔の特徴が欠損されていない左半分または右半分の顔を反転し、顔を生成する手法である。また、反転手法を利用して顔の特徴が欠損されていない右または左半分の顔を用いて、顔全体を再建できことを数学的な検証によって証

明している。検証では、再建誤差を最小化しつつ、L1, L2-norm 正規化により係数行列の行スパース性を維持することでモデル化している。検証の結果、対称特性の数学的な有効性を証明している。

第4章では、実験を用いて提案した顔認識手法 Flipping + CNN の有効性を検証している。まず、照明の照射方向により、左右の特徴に大きなズレが生じている場合の顔認識モデルを作成する。次に、顔の左右にオクルージョンがある場合の顔認識モデルを作成する。これらの実験結果は、既存手法と比較して提案手法が優位であるという結果を示しており、新規性が高く、このような実用的な手法は他に類を見ない。

第5章では、結論と今後の課題について述べている。これまでの章で述べてきた顔自体の対称特性に基づいた顔認識に関する提案手法の有効性と有用性について述べ、これらの手法の将来性を検討、分析している。

以上、本論文は顔の対称特性に基づく顔認識手法を新規に提案し、その有効性と有用性を示したものであり、メディア工学分野やコンピュータビジョンの発展に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。

原著論文名（1編を記載）

Min Zou, Mengbo You, Takuya Akashi: Application of Facial Symmetrical Characteristic to Transfer Learning, IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, Vol.16, No.1, pp.108-116, 2020/10