

博士學位論文

内容の要旨

及び

審査の結果の要旨

第 18 号

平成 29 年 3 月

足利工業大学

— は し が き —

本号は学位規則（昭和28年4月1日文部省令第9号）第8条による公表を目的として、平成29年3月期に本学において博士の学位を授与した者の論文内容の要旨及び論文審査結果の要旨をここに公表する。

目 次

学位の種類	学位記番号	氏 名	論 文 題 目	頁
博士(工学)	博甲第14号	BIKASH LAMSAL	Development of robust high performance face detector under different environmental conditions (異なる環境条件に関するロバストな高性能顔検出器の開発)	…… 1

氏名(本籍)	ビカス ラムサル BIKASH LAMSAL (ネパール)
学位の種類	博士(工学)
学位の番号	甲第14号
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位授与の日付	平成29年3月18日
学位論文題目	Development of robust high performance face detector under different environmental conditions (異なる環境条件に関するロバストな高性能顔検出器の開発)
学位論文審査委員	主査 足利工業大学教授 松本直文 副査 足利工業大学教授 山城光雄 副査 足利工業大学教授 小林敏孝 副査 足利工業大学教授 萩原弘之

論文内容の要旨

人はそれぞれ、自身に特有の顔を持っているので、顔は人物を特定するための、生理学的、もしくはバイオメトリックス的な識別器として広く使用される。人の顔は本来3次元形状を有するが、今日、人の顔の識別は、コンピュータビジョン・システムにおいてはごく一般的に2次元形状として扱われる。人の顔を正しく特定するためには、まず、画像中より人の顔をもれなく正確に検出する必要がある。

人物の顔検出の研究は、セキュリティ分野などでの必要性から、多くの研究者により数十年間、研究が進められている。現状で、顔検出率が100%ではない理由は、画像中のノイズ、極端に暗い画像や逆光の照明、人物のポーズ、顔の一部のマスクやメガネなどでの隠ぺい、顔の向き、顔の皮膚色などの要因が、顔検出率の向上を妨げるためである。

本論文は、静止画像中の顔検出率向上を図るため、上記のような要因を取り除いた、撮影時の環境条件にロバストな高性能の顔検出器の開発を目的としている。このため、これまでの研究者が提案し、実用化しているViola-Jones検出器、Haarカスケードなどを改良し、さらにアンセンテッドKalmanフィルタ(UKF)や確率共鳴を新たに導入した。また、顔の特徴要素(目、鼻、口)の一部が隠ぺいされても、それらを推定して顔検出できる幾何学的方法を考案している。

提案検出器の有効性を検証するために、他の研究者が通常使用している顔データベース（DB）によるベンチマークテストを行い、また、これらのDBにはない厳しい撮影状況下の映像について実験を行い、その有効性を明らかにした。

本論文は、5つの章から構成されており、その概要は以下の通りである。

第1章は序論であり、顔検出器の研究の必要性、従来の研究、本研究の目的と論文構成について述べている。

第2章は、UKFを用いた高性能の顔検出器を提案している。第1段階では、スキンカラー検出器に、ローパスフィルタ、Soberフィルタと改良型Viola-Jones検出器による両目の検出を組み合わせている。次ステップのHaarカスケード分類器は、クラスタリング・アルゴリズムにより改良し、UKFを結合して提案検出器を構成している。他の研究者が用いている顔DBによるベンチマークテストを行い、本検出器の性能と従来の研究データをROC曲線により比較した。使用した顔DBは様々な環境条件の顔写真を含み、これにより本検出器の優れた性能が実証された。特に、UKFはフィルムグレインを取り除き、性能向上に大きく寄与することを示した。

第3章は、確率共鳴を顔検出器に初めて導入し、逆光などの厳しい照明環境でも顔検出できるアルゴリズムを提案している。信号処理で用いられる確率共鳴を画像強調に利用するために、付加する白色ノイズや閾値の設定に工夫を加えている。確率共鳴による画像強調の次に、前章の顔検出器を実行すれば、従来の画像のコントラスト調整による手法では不可能な、厳しい照明環境で撮影された画像中の顔検出が可能なことを、典型的な画像データを用いて実証している。

第4章は、顔の特徴要素の一部が隠されている画像に対応すべく、幾何学形状に基づいて隠れた要素位置を推定する検出器を提案している。本検出器は、両目と鼻の頂点、並びに両目と口の中心で2つの逆三角形、鼻の頂点と口の両端で三角形が構成されることに着目する。スキンカラー検出器とHaarカスケードにより両目、鼻と口を検出でき、たとえ鼻と口、または片目と口が隠れていても鼻や口の位置を推定する機能をもたせている。顔DBを含めて様々な隠ぺいされた顔について、本章の提案手法を適用した結果、従来手法では不可能であった隠ぺいされた顔を検出できることが確認され、ROC曲線上でも顔検出率の向上が認められた。

第5章は、研究全般の考察、並びに研究成果のまとめを述べている。

Development of robust high performance face detector under different environmental conditions

BIKASH LAMSAL

Summary

The expressive three dimensional objects can be known as a face. Every human being has their own face. Face represents a physiological biometric identifier that is widely used in person recognition. Nowadays, the face detection process has become very common in computer vision systems. The process of locating the position of the face in an image is known as face detection.

The process is performed either by using still or video images. In this thesis, still images have been treated for face detection. There seems to be a lot of applications and systems applied for face detection, but developing a system that will increase the face detection rate based on the static position of the face on an image will help to make the face detection system more advanced and crucial.

A lot of face detection algorithms have been developed till now, but the face detection rate has not reached to 100%. It is due to the presence of the different environmental conditions in an image. The environmental conditions are image noise, illumination variant images, occlusion, pose, rotation, variation of the facial skin color etc. The aim of this research is to clear all the environmental conditions and increase the face detection rate, which will play an important role in developing a robust face detection system. In the thesis, the novel ideas are presented for clearing the above mentioned environmental conditions by modifying, combining and developing the algorithms by using various processes with the best results compared to the other related works.

The thesis consists of five chapters.

Chapter 1, introduction, includes the introductory part of the face detection systems, i.e., the background, face detection problem and their importance's, related works and organization of the thesis.

Chapter 2, high performance face detector using UKF, concerns with a high performance algorithm for human face detection in still image. The algorithm has been developed for increasing

the face detection rate under different environmental conditions. In this chapter, the skin color detector is modified by combining with the low pass filter, Sobel edge detector and the modified Viola Jones eye detector. The Haar cascade classifier is modified by using the clustering algorithm. The modified algorithms are then combined together with the Unscented Kalman filter (UKF) in the face detector. The use of the UKF in case of the face detection algorithm simply reflects the novelty of the detector. The UKF is used for removing the film grain noises from the still image. Film grain noises can be removed only by using the UKF. To clarify the effectiveness of our proposed algorithm, it is compared with other face detection algorithms through the benchmark tests using different facial databases and the ROC curves are drawn. Especially, the noisy image problem has been solved by an application of UKF. Then, the proposed algorithm has the highest face detection rate compared with the other detection systems.

Chapter 3, robust face detector for illumination variant images, includes a novel approach of the implementation of the stochastic resonance (SR) for the very first time in the field of face detection. In this chapter, a proposed algorithm has been designed by using the SR for image enhancement. To increase the visibility of the images taken in a dark environment and images taken under different illumination variant conditions, the SR has been modified and an image enhancement system has been developed using the modified SR. The enhanced images are then passed to the face detector developed in the first chapter and checks the presence of the face in the given illumination variant images. To bring the robustness in the face detection system to overcome with image noises and illumination variant at a time, image enhancement process has been combined with the face detector proposed in the previous chapter. The application of the modified SR gives the excellent result on face detection for illumination variant images.

Chapter 4, face detection algorithm for occluded facial images, includes the novel approach for detecting faces and facial features from the occluded images, i.e., geometrical approach for detecting the presence of the facial components and the face from the given occluded images. The geometrical approach of three triangle method is used for locating the presence of the hidden facial features in an occluded image. In this chapter, a system has been developed that detects the presence of the facial features and the faces from the still images even the facial components are occluded. In this system, the geometrical position of the facial components is calculated by using the facial geometry which calculates the distance and the location of the facial features and the width of the face. The system

first extracts the eyes, nose and mouth also known as the facial features by using the skin color model and the Haar cascades. The geometrical model is then applied to the extracted features using the three triangle method that calculates the height, width, distance and the position of the extracted features. Then, the proposed face detector detects the presence of a face in an image even with an occlusion. The combination of the three triangle method with UKF and the modified Haar cascade classifier represents the novelty of this proposed system. Experiments on various images under different conditions have been performed, using different facial databases to clarify the effectiveness of the proposed method. Thus, high performance of the face detector has been upgraded.

Chapter 5, overall discussion and conclusions, includes the overall discussion on the effectiveness of this research, also present the pros and cons of the research.

論文審査結果の要旨

1. 論文の内容と価値

人物の顔検出と顔認証の研究は、セキュリティ分野などでの必要性から、多くの研究者により数十年間、研究が進められている。画像より人物の顔検出を行い、その後で人物を特定する顔認証が行われるが、人物の正しい特定には画像中の顔をもれなく正確に検出することが必要である。現状で、顔検出率が100%ではない理由は、画像中のノイズ、極端に暗い画像や逆光の照明、人物のポーズ、顔の一部のマスクやメガネなどでの隠ぺい、顔の向き、顔の皮膚色などの要因が、顔検出率の向上を妨げるためである。

本論文は、静止画像中の顔検出率向上を図るため、上記のような要因を取り除いた、撮影時の環境条件にロバストな高性能の顔検出器の開発を目的としている。このため、これまでの研究者が提案し、実用化しているViola-Jones検出器、Haarカスケードなどを改良し、さらにアンセンテッドKalmanフィルタ(UKF)や確率共鳴を新たに導入した。また、顔の特徴要素(目、鼻、口)の一部が隠ぺいされても、それらを推定して顔検出できる幾何学的方法を考案している。

提案検出器の有効性を検証するために、他の研究者が通常使用している顔データベース(DB)によるベンチマークテストを行い、また、これらのDBにはない厳しい撮影状況下の映像についても実験を行い、その有効性を明らかにした。

本論文は、5つの章から構成されており、その概要は以下の通りである。

第1章は序論であり、顔検出器の研究の必要性、従来の研究、本研究の目的と論文構成について述べている。

第2章は、UKFを用いた高性能の顔検出器を提案している。第1段階では、スキンカラー検出器に、ローパスフィルタ、Soberフィルタと改良型Viola-Jones検出器による両目の検出を組み合わせている。次ステップのHaarカスケード分類器は、クラスタリング・アルゴリズムにより改良し、UKFを結合して提案検出器を構成している。他の研究者が用いている顔DBによるベンチマークテストを行い、本検出器の性能を従来の研究データと、ROC曲線により、比較した。使用した顔DBは様々な環境条件の顔写真を含み、これにより本検出器の優れた性能が実証された。特に、UKFはフィルムグレインを取り除き、性能向上に大きく寄与することを示している。

第3章は、確率共鳴を顔検出器に初めて導入し、逆光などの厳しい照明環境でも顔検出できるアルゴリズムを提案している。信号処理で用いられる確率共鳴を画像強調に利用するにあたって、付加する白色ノイズや閾値の設定に工夫を加えている。確率共鳴による画像強調の次に、前章の顔検出器を実行すれば、従来の画像のコントラスト調整による手法では不可能な、厳しい照明環境で撮影された画像中の顔検出が可能なることを、典型的な画像データを用いて実証している。

第4章は、顔の特徴要素の一部が隠されている画像に対応すべく、幾何学形状に基づいて隠れた要素位置を推定する検出器を提案している。本検出器は、両目と鼻の頂点、並びに両目と口の中心で2つの逆三角形、鼻の頂点と口の両端で三角形が構成されることに着目する。スキンカラー検出器と

Haarカスケードにより両目、鼻と口を検出でき、たとえ鼻と口、または片目と口が隠れていても鼻や口の位置を推定する機能をもたせている。顔DBを含めて様々な隠ぺいされた顔について、本章の提案手法を適用した結果、従来手法では不可能であった隠ぺいされた顔を検出できることが確認され、ROC曲線上でも顔検出率の向上が認められている。

第5章は、研究全般の考察、並びに研究成果のまとめを述べている。

以上のように本研究は、従来の研究者が提案した顔検出器では検出が難しかった、厳しい照明環境及び撮影状況下での画像からの顔検出を可能にして、顔検出率を向上させる、優れた成果を提供するものであり、学術面からも貢献するところが大きく、工学的実用性も高く評価することができると判断した。

2. 論文審査の結論

本学位申請論文に対し、情報・生産工学専攻による平成28年10月19日の予備審査、平成28年12月22日の審査委員会による本審査（最終審査）を経て、平成29年1月26日に公聴会（参加者は学内外より33名）を実施し、十分審議され、かつ検討された。

公聴会終了後に審査委員会を開催して審議した結果、本論文は独創性に富み、学術的に価値があり、工学の面から見て十分に有用性があると認められた。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値を有するものと認められ、審査委員全員一致で合格と判定した。

