

学位論文題名

A Study on Self-matching Based Robust Focus Measure

(自己照合に基づくロバスト合焦法に関する研究)

学位論文内容の要旨

This paper studies the focus measure for searching a just-in-focus image in a image sequence. It presents one solution to the problem of focusing under ill-conditioning situations. A new and robust focus measure based on analyzing self-matching results has been proposed. Comparing with traditional focus measures which have limitation or restriction on ambient light, contrast and illumination and so on, proposed focus measure is robust against ill-conditioning situations. Out of matching methods, orientation code matching (hereafter OCM) algorithm has better overall characteristics, which is recommended and implemented for practical applications.

When lens or object is moved from one side to the other, the sharpness of images changes. There is only one position where the image is just-in-focus. During this change, a unique pencil-shaped profile is identified by comparing the similarity of self-matching of any interested window. Based on this profile, a new criterion function called complementary pencil volume (hereafter CPV) is defined to quantity evaluate sharpness of images. A local-scope search algorithm is also proposed, searching for the just-in-focus position, which maximizes CPV results of image sequences.

OCM based focus measure provides a more sophisticated solution to the focusing problem. Experiments under ill-conditioning situations have illustrated that OCM based focus measure is unimodal, monotonic and invariant with regards to illumination and contrast.

As one extension of proposed focus measure, we use the proposed method to compose a pan-focused image. A just-in-focus pixel is selected by querying a just-in-focused image in the image sequence. The relationship between position and sharpness of image has been setup and indexed.

Focus analysis has been used to recover the depth or shape information from the observed scenes. The depth from focus (DOF) or depth measure is implemented using proposed focus measure. Depth of image points is evaluated by analyzing the sharpness of points. Depth images are compared using different focus measures. All experiments have been implemented using telecentric optical system. Results of all characteristics are presented.

Overall speaking, this thesis is contributed to focusing techniques in image processing and computer vision by providing a self-matching based focus measure, which is robust against illumination change, fast and sensitive for applications based on focusing.

The thesis is organized into following chapters:

In Chapter 1, focus measure techniques are researched and discussed. Some general problems in focus measure are discussed and considered. The fields of focusing are also introduced. Meanwhile, the

motivation and object of this study is expounded.

In chapter 2, first we introduce our proposed focus measure, a self-matching based focus measure. We describe the foundation of the self-matching similarity and experimentally explain the relationship between the self-matching and defocus images. A just-in-focus and defocus image feature is soundly illustrated by analyzing the self-matching similarity. Next, a simple but efficient criterion function, CPV is defined and introduced to quantitatively calculate sharpness of images. When a image becomes just-in-focus, the value of CPV reaches the maximum. A local-scope search algorithm is designed to search this maximum of CPV results efficiently.

In chapter 3, based on the proposed focus measure, experiments are implemented to show the ability and robustness against ill-conditioning situations. Compared with conventional focus measures, OCM-based focus measure is considered and suggested as a more sophisticated solution among self-matching based focus measures. It also has low computation cost compared with other focus measures. Image sequences under different illumination situations are taken by telecentric optical system.

In chapter 4, the proposed focus measure is applied to compose a pan-focused image. Pan-focused image synthesis under low illumination condition is also demonstrated to be successful. The robustness of proposed measure against illumination again is estimated.

In chapter 5, depth from focus (DOF) has been discussed using proposed measure. Depth measure under ill-conditioning situation is implemented. Depth images are calculated and compared using different focus measures. Real objects 3D shape reconstruction using OCM-based focus measure is also utilized.

Finally, the summary and conclusions are given in chapter 6.

学位論文審査の要旨

主査	教授	金子	俊一
副査	客員教授	中川	泰夫
副査	教授	小笠原	悟司
副査	教授	金井	理
副査	准教授	田中	孝之

学位論文題名

A Study on Self-matching Based Robust Focus Measure

(自己照合に基づくロバスト合焦法に関する研究)

合焦技術は、デジタルカメラや走査型電子顕微鏡の焦点制御、奥行情報取得や3次元形状計測への応用など、実利用性の高い基礎的な技術であり、今後、更なる適応範囲の拡大に伴い、利用環境に制限の少ないロバストな合焦技術が期待されている。合焦法には対象物に対して赤外線や超音波を照射するアクティブ方式と取得した画像を利用して合焦位置を求めるパッシブ方式がある。パッシブ方式は特別な装置を必要としない簡易な方法であり、携帯電話に内蔵されたカメラに採用されるなど、ソフトウェアによる実装が可能であり適応範囲が広い手法である。しかし、明度の低い画像や画像の陰影部などの低コントラスト領域の合焦判定を不得意とし、撮影環境としてある程度の照度を必要とするなど、利用環境が制限される問題を抱えている。また、合焦処理中の環境光による明度変動について対応した簡易な手法は現在のところ見当たらない。

本論文では、焦点合わせの異なる画像を複数枚撮影し、この画像列の中から合焦位置を求める。この際、合焦度合いを表わす合焦測度に画像中の局所領域の自己類似度を利用する。ぼけ画像では、像が1点で結像せず重なり合うため、近傍領域は類似した明度値となる。したがって、画像中の局所領域とその近傍領域との自己類似度がぼけ画像では緩やかに変化し、合焦画像において急峻に変化する性質を合焦判定に利用する。

第1章では、従来の合焦方法について述べ、その問題点を指摘している。更に、明度変動を伴う場合の合焦方法について述べ、そこで問題となっている課題を示すことで、本研究の位置付けと目的を明確にしている。

第2章では、画像中の局所領域とその近傍領域との自己照合に基づくロバストな合焦法を提案している。明度変動に対するロバスト性を確保するため、自己類似度演算にロバスト画像照合法のひとつである方向符号照合法 (Orientation code matching 以下, OCM) を適用している。OCM で用いる方向符号は、従来の合焦判定に用いられてきた画像のコントラストや明度自体とは異なり、明度の勾配方向に基づく符号である。これにより、明度変動に対するロバスト性を確保している。提案手法では、8近傍の自己類似度により形成される直線束形状と凹凸の相補関係にある凹型部分の体積 (Complementary pencil volume 以下, CPV) により自己類似度変化の急峻さを評価する。合焦位置を

意味する CPV が最大となる位置の探索には,Local-scope search algorithm を提案して合焦位置を検出している。

第 3 章では,CPV を用いた合焦実験を行い,従来研究との比較を通して提案手法の特徴を明確にしている。照明が暗く,撮影される画像の明度とコントラストが共に不良な状況下でも,精度良く合焦位置が推定できることを明らかにしている。

第 4 章では,提案手法の応用として全焦点画像合成と奥行推定について実験を行っている。暗い照明下においても全焦点画像の合成を実現していることから,CPV の明度変動に対する高いロバスト性を確認している。

第 5 章では,提案手法の応用として,DFF(Depth from focus) と SFF(Shape from focus) についての実験を示している。画像列の順序は対象物までの距離に対応しているため,合焦位置から画像の奥行情報を得ることで,物体の 3 次元形状復元を行うことができる。実験では,奥行きが異なる 2 つの垂直平面,傾斜角度の異なる平面について奥行推定精度を検証している。また,提案手法を応用し,実物体の 3 次元形状復元が可能であることを確認している。

第 6 章は本論文の結論となっている。

第 2 章では,画像中の局所領域とその近傍領域との自己照合に基づく合焦法を提案している。この照合処理にロバスト合焦法を応用することで,従来手法にはない明度変動に対するロバスト性を確保している点を評価した。また,自己類似度変化の急峻さを評価するための評価値 (CPV) と合焦位置を探索するアルゴリズムを独自に提案している点を評価した。

第 3 章では,CPV を用いた合焦実験を行い,明度変動が存在する不良状況下においても精度良く合焦位置が推定できることを明らかにしている。この特徴は明度自体を直接合焦測度演算に利用する手法にはない特性であり,合焦位置を求める際の有用性が高い点を評価した。

第 4 章および第 5 章で述べられた応用実験では,照明条件が異なる環境下において,同様の実験結果が得られることを示すことで,提案手法の明度変動に対する有効性を明確にしている点を評価した。また,傾斜平面に対する実験において,傾斜角度に対する奥行推定精度を検証し,提案手法の適応限界を示している点を評価した。

本論文は,従来手法にはない不良条件に対して強いロバスト性を有する合焦法を提案した。提案手法は,合焦位置を求める際の有用性が高く,かつ全焦点画像合成と対象物 3 次元形状復元に応用可能な手法であり,画像計測工学に対して貢献するところ大なるものがある。よって,著者は北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格あるものと認める。