

氏 名	Suhaila binti Sari
博士の専攻分野の名称	博士（工学）
学位記号番号	博理工甲第 870 号
学位授与年月日	平成 24 年 3 月 22 日
学位授与の条件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文題目	Image Denoising for Preserving Fine Details and Edges in Blind Condition (ブラインド条件での詳細部及びエッジを保持する画像雑音低減)
論文審査委員	委員長 教授 島村 徹也 委員 教授 大澤 裕 委員 教授 久野 義徳 委員 准教授 小室 孝

## 論文の内容の要旨

In this study, we investigate the image denoising methods. We propose an estimation technique and denoising methods for implementation in the blind condition.

When a digital image is captured, in some way noise could be included in the produced image. Although camera technology has been improved extensively, additive noise, especially white noise could not be eliminated completely. Therefore, camera manufacturers have integrated in their cameras the in-camera noise reduction algorithm which works when a slow shutter speed or high ISO is used to suppress the noise. However, conventional in-camera noise reduction algorithm works only to a certain extend. Therefore, denoising process for generated digital image is needed to eliminate noise as much as possible without corrupting the original image components. This study is related to the development of denoising algorithm in this process.

Despite of extensively proposed denoising methods, developing a denoising method that could remove noise effectively without eliminating the fine details and edges is still a challenging task. The task is especially difficult in images that are rich in fine details and edges. Often, the smoothing effects of the noise reduction are accomplished at the expense of the image fine details and edges.

In the ideal condition, the original image and noise properties, or either one, such as the power spectrum or variance are known, thus denoising can be performed by utilizing the available information. However, in practice they are often unknown and must be estimated. In the blind condition, both the original image and the exact noise properties are unknown. Therefore, these properties have to be estimated to implement denoising. However accurate estimation is difficult and influences the effectiveness of the denoising. As a result, developing effective denoising and accurate estimation is essential in denoising process performed in the blind condition.

This study aims in developing denoising method that could remove noise effectively without eliminating the image fine details and edges. To apply denoising in the blind condition, this study also aims in developing accurate estimation method. This study focuses on the development of the denoising method in the blind condition for natural images.

Until recent years, many denoising methods have been proposed. Generally, linear denoising methods are simple and fast, but their major drawback is that they degrade the edges and produce blurrer image. The Wiener filter is a widely known technique for the linear image denoising. The advantage of this filter is that it balances the trade-off between inverse filtering and noise smoothing, hence it removes the additive noise whilst inverts blurring.

Since one of the aims of this study is to develop a denoising method that preserves fine details and edges, we are interested in the capability of the Wiener filter in preserving the image fine details and edges. To implement the Wiener filter in the blind condition, the estimates of the noise and original image for denoising are needed. We proposed an estimation method, the Median-based Power Spectrum Thresholding (MPOST) estimator, to improve the denoising performance of the Wiener filter in the blind condition.

The non-linear denoising methods, which have excellent performance in noise reduction, such as the Adaptive Total Variation (ATV) and the Non Local Mean (NLM) suggest different denoising approaches for smooth and non-smooth regions. We use this concept with the Wiener filter utilizing the MPOST estimator, the Median-based Power Spectrum Thresholding Wiener Filter (MPOSTWF), for the Edgemap and Wiener Filter-based (EWF) denoising method.

In the Smooth Region and Multilevel Thresholding-based (SR-MT) denoising method, we propose a denoising method which utilizes a multilevel thresholding technique and a weighted blocky effects smoothing to reduce blocky effects in the restored image.

From this study, it is found that the proposed MPOST estimator has improved the performance of the Wiener filter in the blind condition, especially in images that are rich in fine details and edges. The MPOSTWF is capable to preserve fine details and edges, computationally efficient and algorithmically simple. The modification of the threshold decision in the MPOST has improved performance in comparison with those of the MFBDF performance. The MPOST has provided an estimation technique that is adaptable to different image characteristics and noise levels. However, a certain level of noise still remains in the restored image.

The SR-MT succeeds in removing a large amount of additive noise and preserves most of the fine details and edges, without adding artificial artifacts to the restored images. It is less complicated and works well for highly noisy images. However, some blurring, especially at strong edges, are introduced in the restored image. This can be due to the averaging process in the blocky effects smoothing.

The EWF provides a denoising approach in the blind condition that is fast and effective for preserving the image fine details and edges while reducing significantly the noise levels. From the investigation, the EWF has provided improved performance compared to those of the MPOSTWF, especially in high noise levels. The EWF also provided a comparable performance with the denoising methods which are performed in the ideal condition.

## 論文の審査結果の要旨

当学位論文審査委員会は、平成 24 年 1 月 31 日に論文発表会を公開で開催し、詳細な質疑応答を行って学位論文の内容を審査した。以下に、審査結果の要約を示す。

本論文は、雑音により品質劣化したデジタル画像から、元画像を推定する画像復元問題において、特に画像雑音低減手法を検討したものである。デジタル画像の取得時にはしばしばランダム性雑音が混入する。本論文では、混入雑音を白色雑音とみなし、雑音低減量と画像のエッジ及び詳細部の保持をいかにバランス良く実行するかの立場から、三つの新しい雑音低減手法を提案し、それらの有効性をそれぞれ検証している。

まず第 1 章では、デジタル画像への雑音混入の仕組みを述べ、多くの場合、雑音が白色雑音で表現され得ることを指摘している。本研究では特に、白色雑音混入画像が与えられるとき、その画像信号のみから元画像を復元する処理がしばしば必要とされることを示している。当問題における従来の方法が、線形フィルタあるいは非線形フィルタを基本とするかで、大きく二つに大別され、それぞれの代表的なアプローチを雑音低減特性、処理時間の観点からまとめている。

第 2 章では、線形フィルタの中から特にウィナーフィルタの有効性に着目し、その周波数領域での処理手法を展開し、新しい周波数領域型ウィナーフィルタを提案している。ウィナーフィルタの処理領域は、時間領域、周波数領域、ウェーブレット変換領域がこれまで検討されてきているが、この中で周波数領域の処理は、時間一周波数の等価変換を理由にあまり着目されてこなかった。しかしながら、パワースペクトルの推定方法にメディア処理を加えることにより、フィルタ設計精度が飛躍的に向上し、各種特性を有する画像に対しても、統一的に良好な結果を与えることが可能になることを明らかにしている。計算機シミュレーション実験により、従来手法に比べ提案雑音低減手法が大幅な雑音低減量の特性改善を与える事実が示されている。

第 3 章では、周波数領域での雑音低減処理に、複数の閾値を用いる新規のアイデアを導出している。画像スペクトルの平坦な部分を探索し、そこから雑音のパワーを求め、得られた雑音パワー推定値を複数の閾値で処理する結果を比較することにより、雑音低減を実現している。計算量を低減するためにブロック化を施すことを基本としているが、ブロック毎の平滑化後処理を組み入れることにより、雑音低減とエッジおよび詳細部保存がバランス良く実現される結果となる。計算機シミュレーション実験により、提案雑音低減手法の有効性が示されている。

第 4 章では、第 2 章で提案した周波数領域型ウィナーフィルタを異なるパラメータ設定により二つ用意し、それらを並列処理させる。一つは雑音低減を重視する設定、もう一つはエッジ・詳細部の保持を重視する設定とし、別途提案するエッジ抽出フィルタとの特性を組み合わせ、最終的に雑音低減とエッジ・詳細部の保存量のバランスを取った結果を算出する。第 2 章での方法との比較実験を行い、本章での手法の方が、より多くの計算量を必要とする反面、より多くの雑音低減を実現できる事実を明らかにしている。

第 5 章は、本論文のまとめである。提案する三つの雑音低減手法の長所・短所を整理し、実際の画像処理システムにおいてそれぞれの方法をどのように利用するかを示唆を与えている。

本論文は、以上に述べたように、雑音混入画像からの元画像復元問題に対し、従来方式に特性改善を与える手法を提案し、その実験的評価を行っている。本論文の結果は、2編のレフリー付学術雑誌に採録され、また国際学会での発表で公表されている。

以上のように、本論文は新しい画像雑音低減手法の提案と、その有効性を検証した論文であり、博士（工学）の学位にふさわしい内容を持つものと判断し、審査委員会として「合格」の判定を行った。