

氏名	イ チョン
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 948 号
学位授与年月日	平成 26 年 3 月 24 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	Noisy Blurred Image Restoration Based on Noise Variance Estimation in Blind Condition (ブラインド条件下での雑音分散推定に基づく雑音付加ボケ画像復元)
論文審査委員	委員長 教授 島村 徹也 委員 教授 大澤 裕 委員 准教授 小室 孝 委員 准教授 吉川 宣一

## 論文の内容の要旨

Many image restoration algorithms have been proposed over the last few decades. In early work on image restoration, it was nearly always assumed that all the information required to restore an image is known previously. Unfortunately, this is not possible in most real-life situations. Thus, the technique of blind image restoration estimating both the true image and the blur from degraded image has been researched. However, when taking noise into account, the estimation problem becomes more challenging. Estimating the blur and noise parameters simultaneously may cause a large estimation error.

Thus, in order to minimize estimation error, we proposed a Maximum-Likelihood Estimation Algorithm based on noise variance estimation. This method separates the estimation parameters into three parts, and estimates the noise variance not using the estimated blur coefficients but from the known degraded image. This improves the estimation accuracy significantly and leads to the higher PSNR of the final restoration results.

Since the noise estimation process is a very important task for the previous restoration method of this thesis, we further propose a structure-based method from the degraded image for better results of noise variance estimation. This method separates an image into blocks. Rejecting the edge included block, only homogenous blocks are selected for the noise estimation process.

Comparing several filters for the homogenous blocks selection in one image, we finally find that image details can be better revealed by second-order operators. Thus, for better estimation quality, we further proposed a difference eigenvalue based edge indicator with threshold for more accurate block selection, which leads to the better noise estimation results.

The experimental results, based on objective and subjective measures, show the superiority of the proposed algorithms over state-of-the-art algorithms.

## 論文の審査結果の要旨

当学位論文審査委員会は、平成 26 年 2 月 8 日に論文発表会を公開で開催し、活発な質疑とともに論文内容の審査を行った。以下に、審査結果の要約を示す。

本論文は、雑音とボケ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、特に雑音分散推定に着目し、画像復元アルゴリズム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ボケが生じる。このとき同時にランダム性雑音が混入することが多い。本論文では、混入雑音を白色雑音とみなし、その雑音分散の推定をボケ修復のアルゴリズムから独立させることにより、ボケ修復精度の特性改善を図っている。また、雑音推定をいかに高精度に行うかの立場から、新しい二つの雑音分散推定アルゴリズムを導出し、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、デジタル画像取得時の劣化の仕組みを述べ、多くの場合、2 次元の畳み込み処理によりモデル化されることを示している。本研究では特に、白色雑音混入ボケ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指摘している。当問題における従来の方法は、ボケ関数の推定と画像の復元アルゴリズムを別々に行う方法と、それらを同時に行う方法の二つに大別されることを指摘し、それぞれの代表的なアプローチを推定精度、処理時間の観点からまとめている。

第 2 章では、白色雑音混入ボケ画像のみが与えられるときに元画像を復元する手法として、自己回帰移動平均 (ARMA) モデルのパラメータ推定問題に帰着される最尤推定アルゴリズムに着目し、その特性改善を与える新しいアルゴリズムを提案している。ARMA モデルのパラメータ推定の方法は種々提案されており、その中で最尤推定アルゴリズムは、安定して良好な推定結果を与えることで知られていた。しかしながら、計算量が多く、処理対象の画像サイズが大きくなるにつれて適用が困難になる。一方で、雑音混入の量によっては、推定精度が左右されるという知見が得られた。このような問題点を同時に解決する方法として、雑音分散推定を最尤推定アルゴリズムから切り離し、独立に処理することにより、雑音量に依存せず、安定して高精度な雑音推定の結果が得られ、これがより高精度なボケ修復結果を導き出す事実を明らかにしている。

第 3 章では、各種画像に対し、付加した白色雑音の分散値を、与えられる一枚の画像のみからより高精度に推定するアルゴリズムを検討している。具体的には、画像の構造に着目し、 $5 \times 5$  のサイズのマスクを利用して平坦な画像部分を抽出しつつ、そこから雑音分散を推定するアルゴリズムを利用している。しかしながら、平坦な雑音部分の抽出は、処理対象画像に依存するため、マスクの適用が重要な鍵となる。そこで、中心点を通る従来のマスクの考え方を逸脱し、マスク上で曲線を形成するマスクの作成方法を見出し、それを雑音分散推定に適用した。計算機シミュレーション実験では、平坦部分が多い画像、エッジ部分が多い画像、それらの混合の画像を利用し、各種画像に対し、提案雑音分散推定アルゴリズムが統一的に良好な推定結果を与える事実を示している。

第 4 章では、第 3 章で提案したマスクベースの雑音分散推定アルゴリズムが、唯一比較的推定困難であったエッジを多く含む画像での低信号雑音比 (SNR) の場合に着目した。このような処理対象画像では、視覚的には劣化度合いが少なく感じるが、付加雑音量が多くなると、その劣化が顕著に感じられてくる。このような処理対象に対する従来研究はほとんどなされていないが、本章では、差分固有値の概念をエッジ抽出

に発展させ、エッジ部分が多い画像に対しても、エッジ部分と平坦部分を高精度に切り分ける方法を見出している。そして、それを利用し、画像の平坦部分から雑音推定する方法を導出している。計算機シミュレーション実験では、第2章での方法と比べ、エッジ部分が多い画像に対しても、より良好な雑音推定結果が得られ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。提案する画像復元アルゴリズムの長所・短所を整理し、また雑音分散推定アルゴリズムとの併用の仕方の示唆を与えている。

本論文は、以上に述べたように、雑音混入ボケ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復元手法の提案と、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。