

氏名	まつおか じょうへい 松岡 丈平
授与学位	博士（理学）
学位記番号	理工博甲第706号
学位授与年月日	平成29年3月16日
学位授与の要件	学位規則第4条1項
研究科，専攻の名称	理工学研究科(博士後期課程) 自然科学基盤系専攻
学位論文題目	デジタル画像を対象とした非局所メディアンフィルタによるインパルス性雑音の除去に関する研究 (A Study on Impulse Noise Removal by Non-local Median Filter for Digital Image)
論文審査委員	主査 山口大学 教授 末竹 規 哲 山口大学 教授 山 本 隆 山口大学 教授 内 野 英 治 山口大学 教授 宮 田 雄 一 郎 山口大学 教授 菊 政 勲

【学位論文内容の要旨】

デジタルカメラやスマートフォンなどのカメラ付き端末の普及により、デジタル画像はより身近なものとなっている。また、デジタル画像は個人利用のみならず、医療画像や監視カメラ等、幅広い分野で利用されており、より高品質な画像が望まれている。一方、デジタル画像には、撮像環境や撮像機器の特性による雑音の発生が不可避であるため、高品質な画像を得るには雑音の除去が不可欠である。

デジタル画像に発生する一般的な雑音として、ガウス性雑音とインパルス性雑音がある。ガウス性雑音は、振幅がガウス分布に従い、画像内の全ての画素に重畳する。一方、インパルス性雑音は、全ての画素に発生するわけではなく、一部の画素に確率的に発生する。本論文では、振幅がランダムに変化するランダム値インパルス性雑音を対象とする。

インパルス性雑音の除去手法として代表的なものにメディアンフィルタ (MF) がある。MF は、画像全体に平滑化処理を施すことで雑音を除去する。しかし、原信号が平滑化された場合、エッジや構造が崩れた、ぼけた印象の画像になってしまうという問題がある。

雑音の除去と原信号の構造保存の両立は非常に困難であり、雑音除去の分野では、この両立が重要な課題とされている。ガウス性雑音除去の分野では、近年、構造保存性の高い雑音除去として、非局所平均値フィルタが注目されている。平均値フィルタを基盤とする手法は、小振幅の雑音の除去には効果的であるが、大振幅の雑音の除去は困難である。したがって、非局所平均値フィルタをランダム値インパルス性雑音に適用した場合、大振幅の雑音が取り残されてしまう。本論文では、メディアンフィルタを基盤とし、非局所処理をインパルス性雑音除去手法に応用する方法について述べる。

第1章は序論である。

第2章では、ランダム値インパルス性雑音のモデルと従来の雑音除去手法について概説する。従来の雑音除去手法として、モノクロ画像を対象とした MF, Robust Switching Median filter と、それらをカラー拡張した手法 Vector Median Filter, Switching Vector Median Filter について概説する。さらに、本提案手法の基となる非局所処理に基づく Non-local Means Filter について概説する。

第3章では、モノクロ画像を対象とした非局所処理に基づくインパルス性雑音除去手法について述べる。本論文では、まず、非局所処理をインパルス性雑音の除去に応用した非局所メディアンフィルタを提案する。非局所処理とは、着目画素を中心とした局所領域内の画素のみならず、着目画素から離れた位置の画素の情報も用いた処理を指す。非局所平均値フィルタでは、各画素を中心とする局所領域 (ブロック) 間のユークリッド距離を非類似度として用い、非類似度に基づいた重み付き平均を出力値とする。つまり、着目画素を中心とするブロックと構造が似ているブロックの画素ほど出力値に反映されやすくなる。したがって、非局所メディアンフィルタも、ブ

ロックの構造が似ている画素ほど出力値に反映されやすくなるように設計する。ただし、インパルス性雑音はガウス性雑音に比べて、原信号との差が大きくなりやすいため、ブロック間の類似性を正しく評価できない場合がある。その結果、本来は似ていない画素を出力値に反映し、原画像にはない構造（アーチファクト）を発生させてしまう。そこで、本論文では、この問題を改善したスイッチング非局所メディアンフィルタと重み付き類似度を用いた非局所メディアンフィルタの二つを提案する。スイッチング非局所メディアンフィルタは、孤立性検出器と外れ値検出器の二つの雑音検出器によって画像内の雑音を検出し、検出された雑音にのみ非局所メディアンフィルタ処理を施す。孤立性検出器は、画像の勾配に基づいた孤立画素の検出器である。インパルス性雑音は、その発生確率が低い場合においては、孤立画素になりやすいことから、孤立画素を検出することでインパルス性雑音を検出できる。外れ値検出器は、スイッチングメディアンフィルタに用いられている雑音検出器を、非局所メディアンフィルタに応用したものである。重み付き非局所メディアンフィルタは、雑音評価関数に基づいてブロック内の画素に重み付けすることで、ブロック間の類似性の評価精度を向上させた非局所メディアンフィルタである。雑音評価関数とは、各画素の雑音らしさを数値的に評価する関数である。最後に、提案手法と従来のモノクロ画像を対象としたインパルス性雑音除去手法との比較実験により、各提案手法の有効性を検証する。第4章では、カラー画像を対象とした非局所処理に基づくインパルス性雑音除去手法について述べる。まず、第3章で提案したモノクロ画像を対象とした提案手法を、それぞれカラー画像を対象とした手法へと拡張した手法を提案する。カラー画像の各画素をRGBの3成分からなるベクトル信号として扱うことで、提案手法をカラー画像へ拡張する。その後、提案手法と従来のカラー画像を対象としたインパルス性雑音除去手法との比較実験により、各提案手法の有効性を検証する。第5章は結論である。本研究の成果を総括する。

【論文審査結果の要旨】

デジタルカメラやスマートフォンなどのカメラ付き端末の普及により、デジタル画像はより身近なものとなっている。また、デジタル画像は個人利用のみならず、医療画像や監視カメラ等、幅広い分野で利用されており、より高品質な画像が望まれている。一方、デジタル画像には、撮像環境や撮像機器の特性による雑音の発生が不可避であるため、高品質な画像を得るには雑音の除去が不可欠である。一般に、デジタル画像に重畳する雑音としては、ガウス性雑音とインパルス性雑音に大別される。とりわけ振幅値の大きいインパルス性雑音は画質に大きく影響を及ぼすために、この種の雑音の効果的な除去が重要な課題となっている。

本論文は、従来のメディアンフィルタを基盤とし、かつ非局所処理の導入によってインパルス性雑音除去法の高性能化を図った新しい方法論について述べたものである。本論文は5章から構成されている。

第1章は本論文の背景と目的について述べ、論文の構成について記している。

第2章では、インパルス性雑音のモデルと従来の除去手法について述べている。従来のインパルス性雑音除去手法として、モノクロ画像を対象としたメディアンフィルタとスイッチングメディアンフィルタ、さらに、それらをカラー画像へ適用可能なように拡張したベクトルメディアンフィルタとスイッチングベクトルメディアンフィルタなどについて説明し、これらのフィルタの特長ならびに問題点を明らかにしている。また、ガウス性雑音除去に関する優れたフィルタである非局所平均値フィルタを取り上げ、その特性を明らかにするとともに、インパルス性雑音除去への応用可能性について述べている。

第3章では、モノクロデジタル画像を対象とした非局所メディアンフィルタとその改良型フィルタであるスイッチ型非局所メディアンフィルタ、ならびに高密度に発生するインパルス性雑音に対応した重み付き非局所メディアンフィルタを提案している。これらのフィルタは、従来のフィルタに非局所処理を新たに導入したものであり、従来フィルタでは困難であった「高い雑音除去能力」と「高い構造保存能力」の両立を実現しており、その特性について詳述している。また、これらの提案フィルタを雑音の重畳した種々のモノクロデジタル画像に適用し、平均2乗誤差、及び構造類似性指標の観点からそれらの有効性を検証している。

第4章では、カラー画像の各画素をRGBの3成分からなるベクトル信号として扱うベクトル処理を導入することで、第3章における提案フィルタをカラーデジタル画像の処理に適したフィルタへと拡張して

いる。第3章と同様に、提案フィルタを雑音の重畳した種々のカラーデジタル画像に適用し、平均2乗誤差、及び構造類似性指標、計算速度の観点からそれらの有効性を検証している。

第5章は結論である。

公聴会においては、雑音の検出性能については従来手法と比較して向上しているのか、提案手法にはいくつパラメータがあるが値の設定指針はあるか、パラメータの値によってフィルタ性能は大きく変わるのか、外れ値検出器は周囲と大きく異なる値を持つ画素を検出するものという認識でよいか、実際の写真においてインパルス性雑音が発生する頻度はどの程度なのか、雑音の発生確率は画像から推定できるのか、距離画像など自然画像とは異なる画像にも適用可能なのか、などの説明が求められたが、いずれも発表者からの的確な回答がなされた。

以上より本論文は独創性、信頼性、有効性、実用性ともに優れ、博士（理学）の論文に十分に値するものと判断された。

論文内容及び審査会、公聴会での質問に対する応答などから、最終試験は合格とした。

なお、主要な関連論文の発表状況は下記の通りである。（関連論文 計3編、参考論文 計2編）

- 1) Jyohei Matsuoka, Takanori Koga, Noriaki Suetake, and Eiji Uchino, ``Switching Non-local Median Filter,`` Optical Review, Vol.22, No.3, pp.448-458, 2015.
- 2) Jyohei Matsuoka, Takanori Koga, Noriaki Suetake, and Eiji Uchino, ``Switching Non-local Vector Median Filter,`` Optical Review, Vol.23, No.2, pp.195-207, 2016.
- 3) Jyohei Matsuoka, Takanori Koga, Noriaki Suetake, and Eiji Uchino, ``Robust Non-local Median Filter,`` Optical Review, (掲載決定済み)