

# 博士學位論文

内容の要旨  
および  
審査結果の要旨

第20編

平成25年度

神奈川工科大学

## は し が き

本編は、学位規則（昭和28年4月1日文部省令第9号）第8条によるインターネットの利用により公表を目的として、平成25年度内に本学において博士の学位を授与した者の、論文内容の要旨および論文審査の結果の要旨を収録したものである。

学位記番号に付した甲は、学位規則第4条第1項（いわゆる課程博士）によるもの、乙は、同規則同条第2項（いわゆる論文博士）によるものであることを示す。

< 目 次 >

甲第28号	三浦 翔	Total Variationフィルタを用いた 混合雑音除去に関する研究	.....1
-------	------	---	--------

氏名(本籍)	三浦 翔 (山形県)
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	甲第 28 号
学位授与日	平成 25 年 9 月 30 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻名	工学研究科 情報工学専攻
学位論文題目	<b>Total Variation</b> フィルタを用いた混合雑音除去に関する研究
論文審査委員	(主査) 神奈川工科大学 木村 誠聡 教授 神奈川工科大学 佐藤 尚 教授 神奈川工科大学 辻 裕之 教授 神奈川工科大学 鳥井 秀幸 准教授 東京都市大学 田口 亮 教授

### 内容の要旨

デジタル画像に重畳する雑音の代表としてガウス雑音とインパルス雑音が挙げられる。これらの雑音の発生原因は別々であるため、両方の雑音が同時に発生する混合雑音の除去について考慮する必要がある。従来法の多くはガウス雑音を除去するフィルタとインパルス雑音を除去するフィルタを別々に用意し、それを組み合わせる方法が主である。しかしながら性質の異なる雑音に対して性質の異なるフィルタを施すことは結果的に信号の劣化を引き起こすことになる。また従来フィルタの多くは一度の処理で雑音を除去する様働くため、処理点の画素に対して過大又は過小な値が入る可能性もあり、適度な処理が施されるとは限らない。そこでガウス雑音、インパルス雑音に対し統一的な処理で、かつ適切な値に徐々に近づける反復による処理が求められる。そこで本研究では、変分原理に基づく **Total Variation(TV)** フィルタに着目し、画像に重畳した混合雑音の除去手法について提案を行う。

TV フィルタはガウス雑音による劣化画像の復元問題に適用される反復型の非線形フィルタであり、エッジを保存しながらガウス雑音を効果的に除去できるという特長を持っている。TV フィルタは正則化項と制約項に分かれており、処理点において正則化項では周辺領域の画素の値に合わせるように働き、制約項は元の画素から極端に離れないように働く。この 2 つの項を制御することで、ガウス雑音の除去が可能となる。しかしながら TV フィルタをインパルス雑音が重畳した画像に適用すると、制約項の影響により雑音の値から離れようとせず、結果的に十分な平滑化効果を得ることができない。ここでインパルス雑音の位置情報が予め分かっていると考えた場合、インパルス雑音の重畳画素による制約項への影響を除外させた上で TV フィルタを実行する、つまりインパルス雑音が重畳した画素は元々情報が無かったこととして正則化項のみ働かせることにより、インパルス雑音重畳画素の値を周囲の正常な画素から適切に補間することが可能となる。この技法は TV インペインティング法と呼ばれ、一般には画像の欠損部位の修復のために使用される。そこで本論文ではこの TV フィルタと TV インペインティング法の 2 つの機能を統合

し、これらの機能の処理の度合いを制御することで混合雑音の除去を実現する方法を提案する。そして提案法では、雑音重畳画像の平滑化の度合いを決め、復元画像の画質を左右する平滑化パラメータの決定と入力された劣化画像からインパルス雑音の位置情報であるマスク画像を生成する手法が必要となる。そこで本論文では TV フィルタと TV インペインティング法の統合の提案、平滑化パラメータの決定、インパルス雑音のマスク画像の生成方法についての提案を行う。

本論文は 6 章から成り立っている。

第 1 章では、混合雑音除去における反復型の非線形フィルタの意義、背景を明らかにした。そして TV フィルタが混合雑音除去を実現できることを述べた。

第 2 章では、TV フィルタの枠組みを拡張し、ガウス雑音とインパルス雑音が同時に重畳した混合雑音重畳画像への適用を試みた方法を提案した。この章では TV フィルタによるガウス雑音除去と TV インペインティング法によるインパルス雑音除去を統合し、反復処理させることにより混合雑音の除去が効果的に行われていることを確認した。

第 3 章では、TV フィルタの持つ平滑化パラメータを入力画像の画素毎に適応的に変化させた空間適応型 TV フィルタを導入するとともに、これを実現させるため、適切に平滑化パラメータの値を推定する手法を提案した。この章では予め学習した曲面モデルに基づき、平滑化パラメータを適応的に制御することにより、多くの画像で画質が向上することを確認した。

第 4 章では、インパルス雑音除去のためにガウス曲率に基づくインパルス雑音検知手法を提案し、新たなインパルス検知アルゴリズムの構築を実現した。この章では画像曲面上のガウス曲率を画素毎に計算し、その値に基づき閾値処理を行うことにより、ランダム値インパルス雑音を効果的に検出できることを確認した。

第 5 章では、第 3 章の平滑化パラメータ推定法と第 4 章のインパルス検知手法を第 2 章の枠組みに適用し、提案する空間適応型 TV フィルタによる混合雑音の除去についての有効性について確認した。この章では提案法と従来法との混合雑音除去性能を検証し、従来法と比べ、数値評価及び主観評価において良好な結果が得られることを確認した。

第 6 章では論文全体のまとめを行った

以上、本論文では変分原理に基づいてガウス雑音とインパルス雑音から成る混合雑音の除去を実現させる空間適応型 TV フィルタの提案を行った。また平滑化パラメータを適切に制御し、インパルス雑音のマスク画像を精度良く生成することで、提案法による混合雑音重畳画像の復元画像の画質が向上することが明らかとなった。

## 審査経過の要旨

### 1. 審査の経過

- (1)2013年4月5日(金) 指導教員木村誠聡に対し、三浦翔君より学位論文が提出された。
- (2)2013年4月10日(水)、情報工学専攻会議において審議を行い、予備審査の開始と予備審査委員が承認された。
- (3)2013年4月20日(土) および23日(火)の10:30~12:30に予備審査会を開催。その際に出された各審査委員からのコメントを受けて論文の修正及び推敲を行うことを条件に本請求論文は本審査に十分耐えられると判断され、予備審査は終了した。その後、申請者は審査委員からの指摘にもとづいて論文の修正を行った。
- (4)2013年5月8日(水)、情報工学専攻会議での論文受理の審議の結果、論文受理を決定した。
- (5)2013年6月14日(金)、研究科委員会において提出論文の受理を決定し、上記5名をその審査委員にすることを決定した。
- (6)2013年7月6日(土)、14:30-16:00に公聴会を開催した。聴講者25名。
- (7)2013年7月6日(土)、16:10-17:00に最終試験および審査委員全員による審査委員会を開催した。審査期間中における内容に基づいて審議の結果、申請論文は博士論文としての学術性、新規性、有効性、実用性を有すること、また、申請者は博士の学力に相応しい学力、語学力を有していることを審査委員全員で確認した。
- (8)2013年7月10日(水)、情報工学専攻会議における可否投票の結果、学位授与を可とした。

### 2. 審査結果

本論文は性質の異なる2種類の雑音で劣化した画像を復元するために、単一の原理に基づく Total Variation (TV) フィルタおよび TV インペインティング法を統合する空間適応型 TV フィルタについて研究を行い、得られた成果および知見を6章にわたってまとめている。

第1章では本研究の背景としてデジタル画像とガウス雑音およびインパルス雑音の関係について述べ、これら雑音除去の重要性を指摘し、これに関する研究の動向および研究課題について概観している。そして本研究で用いる反復型の処理である TV フィルタの式中の制約項と正則化項を制御することで2つの性質の異なるガウス雑音とインパルス雑音の除去が実現できることを述べている。このために局所領域毎に平滑化パラメータを求める方法、新たなインパルス雑音検知の提案について述べ、本研究の意義および目的を示している。

2章では TV フィルタおよびTVインペインティングの原理について述べ、TVフィルタを拡張することでこれらの2つの方法を統合しガウス雑音およびインパルス雑音が重畳した画像(混合雑音画像)への適用を試みた方法について述べている。そして TV フィルタの式中の制約項における平滑化パラメータを制御することで2つの異なる性質の雑音に対して有効であることを示している。結果として複数の画像に対し反復処理させることで混合雑音の除去が効果的に行われていることを明らかにしている。

3章では TV フィルタの制約項における平滑化パラメータの推定方法について述べている。本研究では通常画像に対して一律的な平滑化パラメータを画像の局所領域毎に推定し、その局所領域に合った平滑化パラメータの設定方法を実現している。そして本研究では最小二乗誤差に基づく2次元曲面をモデル化し、雑音重畳画像における原信号とガウス雑音の標準偏差の推定値からその局所領域に相応しい平滑化パラメータを求める方法を提案し、複数の雑音重畳画像から平滑化パラメータが適応的に制御され、画質が向上することを明らかにしている。

4章ではインパルス雑音除去を効果的に行うガウス曲率に基づく新たなインパルス雑音検知器について述べている。本研究では提案する空間適応型 TV フィルタの性能は画像中のインパルス雑音の位置の正確さに影響されると考え、画像に重畳した雑音を高次元ユークリッド空間上に配置された曲面と考えることで、この曲面の曲率を計算することで効率良くインパルス雑音を検知する方法を実現している。そして複数の雑音重畳画像に適用した結果、固定値のみならずランダム値のインパルス雑音に対して効果的にインパルス雑音を検出できることを明らかにしている。

5章では提案する空間適応型 TV フィルタに対して、3章で述べた平滑化パラメータ推定法と4章で述べたインパルス検知手法を適用し、混合雑音除去の実用性について述べている。本研究ではガウス雑音の除去に有効であり、元となった TV フィルタ、混合雑音の除去に有効である Double Window Modified Trimmed Mean フィルタ、インパルス雑音の除去に有効である Switching Median とガウス雑音の除去に有効である Bilateral filter を合わせた方法らと提案する方法を比較検討し、提案法の有効性を明らかにしている。

6章ではこれらの研究を通して得られた成果の総括と今後の TV フィルタの発展性についてまとめている。

以上のように、本研究では本論文提出者が提案した空間適応型 TV フィルタの有用性を種々の適用例から明らかにし、混合雑音重畳画像からの雑音除去の実証に成功している。さらに画像や雑音の状況に合わせたパラメータの制御、新たな雑音検知器などを提案し、研究全体の有効性を明確に実証していることは、デジタル信号処理の分野における学術的および工学的発展への寄与が極めて大きく、高く評価できる。

よって本論文提出者は博士(工学)の学位を受け取るのに十分な資格を有するものと判定する。