

学位論文題名

IMAGE PROCESSING BY MEANS OF MEDIAN FILTERING AND
STATISTICAL EVALUATION OF OPTICAL IMAGES
WITH PERIODIC STRUCTURE

(メディアン フィルタリングによる画像処理と周期構造をもつ光学像の統計的評価)

学位論文内容の要旨

デジタル画像処理は、コンピュータの急速な発展とともに様々な分野に応用されるようになってきた。メディアンフィルタリング法もその一つであり、画像や音声処理などの分野において信号の回復・強調のためによく使われている。この方法は非線形な信号処理技術であり、Tukeyによって最初に提案されたが、今日ではエッジ検出やスパイクノイズ除去において非常に効果的であることがよく知られている。本論文の第1部では、イメージファイバにより伝送された像に重なる規則的なファイバ構造をメディアンフィルタリングにより除去すること、およびレーザスペckルを用いた変位計測などで得られるスペckル相関縞におけるスペckルノイズ除去の効果を研究することを目的としている。

周期構造をもつ物体による興味深い現象の一つは、コヒーレントな平行光による照明下において物体の像が光軸上に周期的に現れることである。周期物体により回折された光の干渉の結果として生じる、このような現象は Talbot 効果と言われる。最近、この効果は画像処理・合成や光学部品の検査・測定などの分野において注目されている。本論文の第2部では、周期的な格子あるいは並列状の物体が周期性からわずかなづれをもつ場合に、その Talbot 像への影響を統計的に評価することを目的としている。今までこのような研究はなされておらず、本研究はゆらぎをもつ周期的な物体の標準化やゆらぎをもつ媒質の特性を調べるなどにおいて有用である。さらに、微小光学の分野において、並列状のレーザ光源の製作に Talbot 効果を用いる研究がなされており、本論文の成果はそのような研究においても有用である。以下に本論文の各章を概説する。

第1章では、始めに周期的な回折現象の研究についての歴史的な概説を行ない、さらに本論文の目的と各章の内容について述べた。

第2章から第7章までは本論文の第1部であり、メディアンフィルタリングによる画像処理に関する研究が述べられている。第2章では、メディアンフィルタリングの特性および現在までの応用研究についての概説を行なった。また、メディアンフィルタリングを行なうために用いられるアルゴリズムの説明を行なった。

第3章では、メディアンフィルタリングを行なうためのスキューニングアルゴリズムという新しい方法を提案した。処理時間をパラメータとして、他のアルゴリズムと比較した結果、新しい方法はフィルタウィンドウの大きさが小さいときに有効であり、かつ信号の特性に依存しないことがわかった。

第4章では、イメージファイバを通して得られる像におけるファイバの規則的な配列像の除去の効果を定性的に研究した。また、定量的研究としてはフィルタウィンドウの大きさとフィルタの形をパラメータとして、画像のコントラストおよび相関係数を処理前後で調べた。その結果、正方形のメディアンウィンドウが効果的であること、およびフィルタウィンドウの大きさが各々のファイバの大きさと同程度であるときあるいはそれより大きいときに効果的であることがわかった。

第5章と第6章では、物体の変位・変形や粒子の速度計測などでよく用いられる二重露光スペックル写真法において得られるスペックル干渉縞の処理方法を提案した。第5章では、スペックル干渉縞におけるスペックルの除去をメディアンフィルタを用いて行なった結果、メディアンフィルタリングは効果的であることがわかった。第6章では、第5章で用いたフィルタで得られた信号の微分のフーリエスペクトルを計算することによって、干渉縞の情報を正確に求めるアルゴリズムを提案し、さらに、計算機シミュレーションおよび実験により本アルゴリズムの有効性を調べた。その結果、干渉縞の可視度が0.1のときにも、つまり干渉縞が非常に強いバックグラウンドに隠されている場合もこのアルゴリズムが有効であることを確認した。

第7章では、本論文の第1部の結論が述べられている。

第8章から第14章までは、本論文の第2部であり、周期的な格子または並列状の物体が周期性からランダムなずれをもつときに、その Talbot 像と回析像への影響を定量的に研究した。

第8章では、第9章以降での研究の基礎となる理論の概説を行なった。実際には、周期的な物体によるフレネル回析界に生じる Talbot 効果について回析理論を用いて論じた。さらに、Montgomery の一般化された理論との比較と有限な物体からの Talbot 効果への影響についても述べた。

第9章から第12章までは、周期物体にランダムなゆらぎがある場合の Talbot 像に関する研究

である。第9章では、1次元の矩形格子が空間的にランダムなゆらぎをもつ場合の Talbot 像を研究した。格子のランダムなゆらぎが空間的に定常なガウス確率過程に従い、かつそれらは空間的に無相関であると仮定し、Talbot 像の可視度を理論的に解析した。理論で得られた Talbot 像の可視度は、実験結果とよく一致することが確認された。さらに、ランダムなゆらぎの標準偏差が周期に対して約30%に達するとき、Talbot 像の可視度が0.1になることがわかった。第10章は、第9章の理論の一般化であり、格子の一つ一つの要素に与えるランダムなゆらぎが互いに相関をもつ場合に得られる Talbot 像を理論的に調べた。その結果に基づき、正弦波状の格子について解析的な結果を導いた。

第11章では、第9章で用いたランダムなゆらぎをもつ線型格子を直角方向に重ね合わせて作成される交差型格子による Talbot 像の研究について述べた。結果として、第9章の1次元格子の場合とほぼ同一な結果が得られ、交差型格子による Talbot 像はそれぞれ方向について独立に解析可能であることがわかった。

第12章では、空間的にゆらぎをもつ点列物体の Talbot 像について研究を行なった。ランダムなゆらぎはガウス確率過程に従い、かつ直角方向に独立であると仮定して理論解析を行なった。フーリエ面で定義されたコントラストをパラメータとして用い、実験と理論で得られた Talbot 像の結果を評価した。その結果、ゆらぎの標準偏差が点列物体の周期に対して半分になるところで、Talbot 像のコントラストがゼロになることがわかった。

第13章では、第12章で用いた点列物体のフラウンホーファ回折像について研究を行なった。ゆらぎが増加するにしたがって周期構造に対応する線スペクトラムの消失とそれに代わって現れる強度低下領域について、照明光の波長でゆらぎを規格化した一般的なパラメータを用いて調べた。その結果、強度低下領域はある限られたゆらぎ量に対してのみ存在することがわかった。また、それを観測するためには写真の露光状態がもっとも重要な条件であることがわかった。

第14章は、本論文の第2部のまとめであり、今後の課題について述べている。

学位論文審査の要旨

主査	教授	朝倉利光
副査	教授	小川吉彦
副査	教授	三島瑛人
副査	教授	大塚喜弘
副査	教授	高井信勝

本論文は大きく二つの部分に分けられる。第1部はメディアンフィルタリングを用いて、イメージファイバにより伝送された像に重なる規則的なファイバ構造の除去、およびレーザスペckルを用いた変位計測などで得られるスペckル相関縞におけるスペckルノイズ除去の効果について研究したものである。本論文の第2部は、ゆらぎをもつ格子あるいは並列状の物体の Talbot 像の統計的評価について研究したものである。周期物体は、コヒーレントな平行光による照明下において物体の像が光軸上に周期的に現われる。一般的に、この現象は Talbot 効果と言われる。最近、この効果は画像処理・合成や光学部品の検査・測定などの分野で研究されている。しかし、周期物体が周期性からわずかなづれをもつ場合の Talbot 像への影響についてはあまり研究されていない。

第1章では、周期物体による回折現象の過去の研究経過の概説を行い、さらに本論文の研究目的と各章の内容について記述した。

第2章では、メディアンフィルタリングの特性および現在までの応用研究についての概説を行った。また、メディアンフィルタリングを行うために用いられるアルゴリズムの説明を行った。

第3章では、メディアンフィルタリングを行なうための新しいスキューニングアルゴリズムの方法を提案した。処理時間をパラメータとして、他のアルゴリズムと比較した結果、新方法はフィルタウィンドウの大きさが小さいときに有効であり、かつ信号の特性に依存しないことがわかった。

第4章では、イメージファイバを通して得られる像におけるファイバの規則的な配列像の除去の効果を定性的・定量的に研究した。その結果、フィルタウィンドウの大きさが各ファイバの大きさより大きい正方形のメディアンウィンドウが最も効果的であることがわかった。

第5章と第6章では、物体の変位・変形や粒子の速度計測などでよく用いられる二重露光スペckル写真法において得られるスペckル干渉縞の処理方法を提案した。最初にメディアン

フィルタを用いてスペckルノイズを除去し、次に処理結果の微分のフーリエスペクトルを計算することによって、干渉縞の情報を正確に求められることがわかった。

第7章では、第1部の成果を要約した。

第8章では、周期的な物体によるフレネル回折界に生じる Talbot 効果について回折理論を用いて論じた。

第9章では、一次元の矩形格子が空間的にランダムなゆらぎをもつ場合の Talbot 像について研究を行った。ゆらぎをパラメータとして Talbot 像の可視度を理論的に解析し、さらに実験によりこれを検証した。

第10章は、第9章の理論の一般化であり、ランダムなづれが互いに相関をもつ場合に得られる Talbot 像を理論的に調べた。

第11章では、交差型格子による Talbot 像の研究について述べ、その結果として第9章の1次元格子の場合の解析手法が適用可能であることが示された。

第12章では、空間的に無相関なガウスのゆらぎをもつ点列物体の Talbot 像について研究を行った。実験と理論で得られた Talbot 像をフーリエ面で定義されたコントラストで評価した結果、ゆらぎが物体の周期の半分になるところで、コントラストがゼロになることがわかった。

第13章では、第12章で用いた点列物体のフラウンホーファ回折像について研究を行った。ゆらぎが増加するに従って、周期構造に対応する線スペクトルが消失し、それに代わって現れる強度低下領域について定量的に調べた。その結果、強度低下領域はある限られたゆらぎ量に対してのみ存在することがわかった。また、それを観測するためには写真の露光状態が最も重要な条件であることがわかった。

第14章は、本論文の第2部のまとめであり、今後の課題について述べている。

これを要するに、本論文では、第1部でメディアンフィルタリングを行うための新しいアルゴリズムを提案し、それを用いてイメージファイバ像の改良と二重露光スペckル写真法の像解析へ応用してその有効性を検証し、第2部ではゆらぎをもつ周期物体の Talbot 像とフラウンホーファ回折像について理論と実験から研究を行ったものである。これらの成果は、新しいメディアンフィルタリングのアルゴリズムと不完全な周期構造をもつ物体の Talbot 像に関する多くの知見を与え、かつメディアンフィルタリングによる画像処理と Talbot 効果を利用した計測・制御の問題について貢献するところ大である。

よって、著者は博士（工学）の学位を授与される資格があるものと認める。