

# STATISTICAL PROPERTIES OF CLIPPED SPECKLE PATTERN AND ITS APPLICATIONS TO OPTICAL CORRELATOR

|       |  |
|-------|--|
| メタデータ | 言語: en<br>出版者: 静岡大学大学院電子科学研究科<br>公開日: 2008-04-18<br>キーワード (Ja):<br>キーワード (En):<br>作成者: 荻原, 昭文<br>メールアドレス:<br>所属: |
| URL   | <a href="http://hdl.handle.net/10297/1736">http://hdl.handle.net/10297/1736</a>                                  |

|               |  |      |          |
|---------------|--|------|----------|
| 氏名・(本籍)       | 荻原昭文(静岡県)  |      |          |
| 学位の種類         | 博士(工学)   |      |          |
| 学位記番号         | 工博甲第 69 号  |      |          |
| 学位授与の日付       | 平成4年3月25日  |      |          |
| 学位授与の要件       | 学位規則第4条第1項該当   |      |          |
| 研究科・<br>専攻の名称 | 電子科学研究科 電子応用工学専攻   |      |          |
| 学位論文題目        | STATISTICAL PROPERTIES OF CLIPPED SPECKLE<br>PATTERN AND ITS APPLICATIONS TO OPTICAL<br>CORRELATOR<br>(クリップされたスペックルパターンの統計特性とその光相関<br>計への応用) |      |          |
| 論文審査委員        | (委員長)  |      |          |
|               | 教授   | 岡本尚道 |          |
|               | 教授   | 久保高啓 | 教授 佐々木 彰 |
|               | 助教授  | 岩井俊昭 | 助教授 大坪順次 |

## 論文内容の要旨

金属表面や散乱粒子を多く含む流れなどによって、レーザ光が散乱されるとき、スペックルパターンと呼ばれるランダムな光強度を持ったパターンが生じる。このスペックル強度分布は光を散乱する物体のさまざまな情報を担っており、これを解析することにより、いろいろな物理量の測定が可能になる。スペックル強度は統計的信号であるため、その処理には相関処理、高速フーリエ変換処理といった手法がよく用いられる。しかしながら、一般にこれらの処理は、複雑であるため多大の時間を要してしまい、これらの原理に基づく計測においてはもっと速い処理法が必要とされている。

近年、この問題を解決するため、スペックル強度に対し、あるしきい値を設け、これを二値化信号とすることにより、高速に信号処理を行う方法が提案された。この二値化処理によって今までのアナログ処理系で使われていた何ビットかのシフトレジスタは、1ビットのON-OFFレジスタに、また乗算器は簡単なAND、XORといった論理ゲートに置き換えることができる。この結果、信号処理系が大幅に簡略化され、高速に信号処理を行うことができる。

本論文では、二値化されたスペックル信号から高速で精度のよい測定を行うため、二値化信号の統計的特性を評価すると同時に、この処理法を二次元処理に拡張するため、液晶TVを用いた光相関の

方法の提案を行っている。

2章では、スペックルクリッピングに関する基本的な公式を示し、今までに求められている統計的特性についてのまとめを示す。

3章では、計算機シミュレーションを用いて、二値化されたスペックル強度の相互相関関数のピーク位置検出精度の評価を行っている。スペックル強度信号を用いた測定においては、スペックル強度の相互相関関数のピーク位置から、速度や変位についての情報を求める手法がよく用いられる。このため、相互相関関数のピーク位置の検出精度が、実際の測定精度に直接影響することになる。二値化したスペックル信号から求められた相互相関関数は、元のアナログ強度の場合に比べ、そのピーク部分が尖鋭化される。このため、ピーク検出の高精度化が期待できる。実際に、スペックルパターンの純移動状態を満足する二重回折光学系を用いた場合、相互相関関数のピーク位置のゆらぎ量が、スペックル強度を二値化することにより、元のアナログ信号の場合に比べ抑制されることが示された。

4章では、相互相関関数のピーク位置検出精度と二値化を行うためのしきい値レベル、および相関信号を計算する際の論理演算法との関係について、理論および実験の両面から説明している。二値化した信号から相関関数を計算する方法には、1と0とした信号に対して、AND, NOR, XOR 論理などを用いる場合と、しきい値より上の場合を1, 下の場合を-1とし、これらの信号に対して乗算を用いて計算する主に4つの場合が考えられる。理論および実験からの評価の結果、相関ピーク位置検出精度は、一般に、信号処理の方法およびしきい値レベルに依存して変化することが分かったが、XOR 論理と、(1, -1) 論理については、常に等しい情報が得られることが示された。また、スペックル強度信号の平均値でしきい値処理することによって、ピーク位置検出精度の向上が図られることが分かった。

次に、スペックルパターンの変位や速度などのベクトル的な測定法への応用においては、二次元的な取り扱いを行う必要が生じる。3章、4章における一次元のデジタル処理の考え方を、直接この二次元の場合に応用することは、装置の複雑さや、コストなどの点から非常に困難となる。このため、5章においては、画像表示に使われている液晶TVを、二次元の空間光位相変調素子として用いた光学的な相関処理の方法について提案する。具体的には、液晶TVの空間光位相変調素子としての特性、書き込みパターンの非線形処理の方法について検討を行った。その結果、スペックル強度信号およびそのフーリエ変換信号の両者を、適当なしきい値で二値化信号とすることにより、光回折効率を最大にし、明瞭な相関信号を得ることができることが分かった。

6章では、先の5章での結果を基にして、二次元のスペックルパターンの光強度を、任意のしきい値で二値化検出できる光RAMと液晶TVを、二次元の空間的な位相フィルタとして用いた光相関計を構成した。そして、実際に、このシステムによって、光散乱物体の二次元速度ベクトルの測定を行い、良好な結果を得た。

## 論文審査結果の要旨

金属表面や散乱粒子を多く含む流れなどによって、レーザ光が散乱されるとき、スペックルパターンと呼ばれるランダムな光強度を持ったパターンが生じる。このスペックル強度分布は、光を散乱する物体のさまざまな情報を担っており、これを解析することにより、いろいろな物理量の測定が可能になる。スペックル強度は統計的信号であるため、その処理には相関処理、高速フーリエ変換処理といった手法がよく用いられる。しかしながら、一般に、これらの処理は複雑であるため、多大の時間を要してしまい、これらの原理に基づく計測においては、もっと速い処理法が必要とされている。

近年、この問題を解決するため、スペックル強度に対し、あるしきい値を設け、これを二値化信号とすることにより、高速に信号処理を行う方法が提案された。本研究では、二値化されたスペックル信号から、高速で精度のよい測定を行うため、二値化信号の統計的特性を評価すると同時に、この処理法を二次元処理に拡張するため、液晶TVを用いた光相関の方法の提案を行っている。

スペックル強度信号を用いた測定においては、スペックル強度の相互相関関数のピーク位置から、速度や変位についての情報を求める手法がよく用いられる。このため、二値化されたスペックル強度の相互相関関数のピーク位置の検出精度について、計算機シミュレーションおよび実験の両面から評価を行っている。この結果、スペックルパターンの純移動状態を満足する二重回折光学系を用いた場合、相互相関関数のピーク位置のゆらぎ量が、スペックル強度を二値化することにより、元のアナログ信号の場合に比べ、抑制されることが示されている。次に、スペックルパターンの変位や速度などのベクトル的な測定法への応用においては、二次元的な取り扱いを行う必要が生じる。このため、画像表示に使われている液晶TVを、二次元の空間光位相変調素子として用いた、光学的な相関処理の方法について提案している。

実際に、二次元のスペックルパターンの光強度を任意のしきい値で二値化検出できる光RAMと、空間光位相変調素子としての性能をもつ液晶TVを用いた、二次元光相関計を構成した。このシステムによって、光散乱物体の二次元速度ベクトルの測定を行い、良好な結果を得た。

以上を要約すると、本研究によって二値化されたスペックル強度信号の統計的性質と、その処理法に関する新しい知見が得られた。そして、それらの結果に基づき、新しい二次元的相関計測法が確立された。これらの結果は、科学計測、工業計測における新しい光技術応用の道を切り開くものであり、その意義は大きい。

審査の結果、本研究は博士（工学）に相当する内容があるものと認定する。