

学位論文要約

平成 27年 3月 18日

学位申請者 シラウイット ティーラヌタラーノン

学位論文題目 A research on digital holographic three-dimensional imaging spectrometry
(デジタル分光ホログラフィーの研究)

学位論文要約

第1章 序論

空間的にインコヒーレントな多色物体の3次元空間と連続スペクトル情報を同時取得する計測法の報告は数少ない。そこで、われわれは特別な光源や結像素子・分散素子を利用せずに、物体から伝搬した光の純粋な干渉計測と計算処理のみによって、物体の3次元空間情報と連続スペクトル情報を同時に取得する手法を提案した。この手法をデジタル分光ホログラフィー(Digital holographic 3-D imaging spectrometry)と呼ぶ。この手法の原理について説明するとともに、測定対象として、互いに異なる連続スペクトルを有し、かつ空間的に異なる位置及び奥行きに配置された複数の面光源に対して検証実験を行う。そして、それらの各スペクトル成分に対応した物体の3次元分光立体画像のセット、すなわち3次元空間情報と連続スペクトル情報を同時かつ独立に取得できることを試み、本手法の測定適用可能性を確認する。また、分光された3次元像の3次元イメージングに関する分光特性及び3次元結像特性、特に奥行き方向の結像特性に関し実験的に調べ、解析結果を示す。さらに、この手法において相互スペクトル密度に記録された光源の可干渉領域(コヒーレンスエリア)が、分光された3次元再生像における空間分解能に与える影響を調べる実験を行い、その実験結果に基づいて考察した。

第2章 光波の干渉性・空間コヒーレンス関数計測の概念

本章では、3次元空間コヒーレンス測定の実験原理や光波の波動性に基づいた基本的な性質について述べ、数学的記述について示す。また、分光情報を得るための手法としてフーリエ分光法(Fourier Transform Spectroscopy)と、光源の空間情報を再生する方法として、ファンシッタート・ゼルニケの定理(Van Cittert-Zernike Theorem)をそれぞれ紹介する。そして、本研究の基礎となる3次元空間コヒーレンス測定の実験概念についても述べる。

第3章 デジタル分光ホログラフィーにおける分光立体画像の再生過程

本章では、提案したデジタル分光ホログラフィーの原理を数学的に定式化する。まず、実験で利用する2光折り畳み干渉計による5次元インターフェログラムに記録された空間コヒーレンス関数について述べる。次に、体積インターフェログラムを生成するために、5次元インターフェログラムに対し合成開口処理を適用することで、次元圧縮を行う。さらに、分光処理によりスペクトル成分毎の相互スペクトル密度を回復する手法について述べ、最後にこれらの複素ホログラムから、角スペクトル伝搬則を利用した分光立体画像の再生処理過程を説明する。

第4章 空間的にインコヒーレントな多色物体の再生実験

本章では、第3章で説明した2光波折り畳み干渉計と合成開口処理を用いたデジタル分光ホログラフィーによって、実際に多色物体の3次元空間情報と連続スペクトル情報を同時に取得する実験について述べる。ここでは、一般的な多色物体として空間的にインコヒーレントで互いに異なる連続スペクトルを有する複数の面光源を作成する。これを測定対象として多数のスペクトル成分に関する3次元画像の再生実験を行い、その結果について示す。

第5章 3次元空間分解能・結像特性に関する考察

本章では、第4章で得られた手法によって、空間的にインコヒーレントなスペクトル成分毎の3次元像を解析し、この像上の任意の点における連続スペクトルの再生が可能であることを確認する。また、分光された3次元像の3次元イメージングに関する分光特性及び3次元結像特性に関して実験的に調べ、インコヒーレントホログラフィーの3次元結像特性、特に奥行き方向の結像特性に関し考察する。さらに、この手法において相互スペクトル密度に記録された光源の可干渉領域(コヒーレンスエリア)が、分光された3次元再生像における空間分解能に与える影響を調べる実験を行い、その実験結果に基づいて考察する。

その結果、物体から伝搬した光波の観測面における可干渉領域は光源の距離・大きさに依存して変化し、また再生像はこの可干渉領域から逆伝搬した光による寄与が大部分を占めるが、横方向の分解能は可干渉領域の広がりによって決定されるものではないことがわかる。再生像の横方向分解能を実質的に決定する要因は、空間相関関数の大きさと雑音の大きさが等しくなる程度の観測領域(開口)の広がりである。同様に、奥行き分解能もこの観測領域の広がりによって決まると考えられる。

第6章 結論

干渉計測と計算処理に基づいて、一般的な3次元多色物体のもつ3次元情報と連続スペクトル情報を同時取得するデジタル分光ホログラフィー(Digital holographic 3-D imaging spectrometry)の手法を実験的に検証し、この手法により取得された3次元分光画像の3次元結像特性の研究を行った。実際に提案手法によって分光された3次元画像のセットが取得可能であることを世界ではじめて示した。