



Title	高精度な光複素振幅計測に向けた位相シフトデジタルホログラフィの計算アルゴリズムに関する研究〔論文内容及び審査の要旨〕
Author(s)	野澤, 仁
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(情報科学)
Dissertation Number	甲第12632号
Issue Date	2017-03-23
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/65565
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Jin_Nozawa_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (情報科学)

氏名 野澤 仁

審査担当者 主 査 教 授 富田 章久

副 査 教 授 本久 順一

副 査 准教授 池辺 将之

学位論文題名

高精度な光複素振幅計測に向けた位相シフトデジタルホログラフィの計算アルゴリズムに関する
研究

(Study on computational algorithm in phase shifting digital holography for highly accurate optical
complex amplitude measurement)

光の振幅情報に加え位相情報も制御する光複素振幅制御技術は、従来の光学技術の限界を打破し得る新たな技術として、光通信、生体計測、製品検査など様々な分野で注目されている。しかし、光の位相情報は不可視の情報であるため、現状の撮像素子により直接検出することは困難である。従って、情報フォトンクスの応用においては、振幅と位相を同時に検出できる光複素振幅計測技術の開発が必須となる。位相シフトデジタルホログラフィ (PSDH) は、計測対象の情報を持つ信号光とこれとコヒーレントな参照光との干渉縞から信号光の複素振幅を求めることができる有力な手法であるが、複素振幅を算出するには干渉縞の逐次検出か撮像領域の空間分割のどちらかが必要となるため、計測速度か空間解像度のどちらかが犠牲となる。この問題を解決できる手法として、ホログラフィックダイバーシティ干渉法 (HDI) が提案されている。HDI では位相差の異なる複数の干渉縞を同時に生成し、これらの干渉縞を複数の撮像素子により同時計測することで、速度と解像度の両立を実現している。

HDI を用いた複素振幅計測においては、複素振幅の再構成に用いる計算アルゴリズムが重要な検討課題となる。実用的な HDI を実現するためには必要な干渉縞の数が小さな計算アルゴリズムを使用するのが望ましい。現在、必要な干渉縞の数が最小のアルゴリズムは 2006 年に X.F.Meng らによって提案された 2 つの干渉縞と 1 つの参照光強度を用いる 2 ステップアルゴリズムである。しかし、このアルゴリズムでは 2 つの撮像素子で計測される参照光強度の違いを判別できないため、HDI の計測精度は低下することになる。また、このアルゴリズムを正常に動作させるには、参照光強度を信号光強度の 2 倍以上に設定する必要があるが、この条件が満たされない場合には、複素振幅の算出ができない計測不能点が発生する。これも HDI の計測精度を大きく下げる要因となる。

このような状況に対し、本論文では、必要最低数の干渉縞から高精度に光複素振幅を計測できる計算アルゴリズムを新規に開発し、高い空間解像度と高い計測精度を有する光複素振幅計測技術を確立することを目的としている。

第 1 章では、当該研究の背景について述べている。

第 2 章では、光位相計測手法について干渉原理を利用する方法と干渉原理に因らない方法に分けて説明し、それぞれの手法の基本構成、特性についての概要を述べている。

第 3 章では、位相シフトデジタルホログラフィに着目し、干渉縞の位相をシフトさせる方法に基

づく同手法の分類と、それぞれの手法の実施形態、特徴について述べている。

第4章では、位相シフトデジタルホログラフィを用いて複素振幅を検出する際に用いる計算アルゴリズムの特徴について述べている。

第5章では、2つの撮像素子を有するHDIに用いることのできる新規アルゴリズムとして、2チャンネルアルゴリズムを提案している。2チャンネルアルゴリズムでは、計測前に2つの撮像素子で信号光強度と参照光強度をそれぞれ取得した後、算出される強度比を2ステップアルゴリズムに反映させることで、撮像素子間の感度差や参照光の強度ゆらぎを較正した高精度な複素振幅算出を行えることを明らかにしている。数値解析および実験によって、参照光強度の大きさが信号光強度の2倍以上であり、かつ、2つの撮像素子で取得される信号光強度の比および参照光強度の比が2倍以内であれば、強度比の違いを完全に補正できることを示している。

第6章では、2チャンネルアルゴリズムでも改善しきれなかった計測不能点の発生を解決できる手法として仮想干渉縞生成アルゴリズムを提案している。本手法は、取得した2つの干渉縞から計算機上で別の位相差をもつ2つの干渉縞を仮想的に生成し、合計4つの干渉縞から複素振幅を算出するものである。数値解析では、信号光強度と参照光強度の比が10:1の条件下でも計測不能点を発生させることなく複素振幅を計測できることを確認している。光学実験では、仮想干渉縞生成アルゴリズムは2チャンネルアルゴリズムと比較して、計測前後の位相画像の相関が0.75から0.90に向上し、計測不能点の数が1000分の1以下に低減されている。以上より、仮想干渉縞生成アルゴリズムによって2チャンネルアルゴリズムの問題点を根本的に解決でき、また、その計測精度を飛躍的に向上できることを示している。

第7章では、本研究で得られた成果の総括を行っている。

これを要するに、著者は、位相シフトデジタルホログラフィの計算アルゴリズムに関する研究を行うことで、光情報処理の発展に向けた多くの有益な知見を得ており、光エレクトロニクスの分野に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(情報科学)の学位を授与される資格あるものと認める。