



HOKKAIDO UNIVERSITY

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_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（情報科学） 氏名 野澤 仁

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)

近年, 光の強度と位相の両方の情報を含む光複素振幅を取り入れた情報処理技術が通信分野, 生体分野, 産業分野などの幅広い分野で盛んに研究されている. これらの技術の実現に向けた高精度な光複素振幅計測技術として, 位相シフトデジタルホログラフィ (PSDH) が注目されている. PSDH では, 計測対象の情報を持つ信号光と参照光との干渉縞を複数枚計測し, それらの干渉縞から信号光の複素振幅を求める. しかしながら, PSDH で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が犠牲となる. この問題に対し, 偏光変調による位相シフトと複数の撮像素子を利用した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, 生成した干渉縞と同数の撮像素子で干渉縞を同時取得することで, 計測速度と空間解像度を両立している.

HDI を用いた複素振幅計測で重要な点は複素振幅の再構成に用いる計算アルゴリズムである. 例えば, PSDH で一般的に使用されている計算アルゴリズムに干渉縞が 4 枚必要な 4 ステップアルゴリズムがあるが, この手法を HDI に用いた場合にはカメラが 4 台必要となり光学系の大型化や撮像素子の位置調整の難化を引き起こすため, HDI への適用は難しい. 従って, HDI で使用する計算アルゴリズムでは干渉縞の枚数を最小に抑える必要がある. 現在, 使用する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 つの干渉縞とその参照光強度を用いる 2 ステップアルゴリズムである. このアルゴリズムを HDI に適用すると, 撮像素子の数を 4 台から 2 台に減らすことが可能となる. しかし, このアルゴリズムは本来撮像素子 1 台での計測を前提としているため, 2 台の撮像素子で取得される強度に差が発生した場合計測精度が低下する. また, 2 ステップアルゴリズムでは複素振幅の計算に 2 次方程式の解を求めるが, その 2 次方程式の解中の平方根の中身が負になると, 計算自体ができなくなる計測不能点が発生する. この計測不能点の発生を抑える方法として Meng らは参照光強度を信号光強度の 2 倍以上に設定するよう述べているが, 2 台の撮像素子間の取得強度に差がある場合この条件を全ての撮像領域で満たすのは困難である.

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開発し, 高い空間解像度と高い計測精度を持つ光複素振幅計測技術を確立すること」を目的としている. まず, 2 つの撮像素子を使用する HDI での複素振幅計測を可能とする 2 チャンネルアルゴリズムを提案・検討する. 2 チャンネルアルゴリズムは計測前に 2 つの撮像素子で信号光強度と参照光強度をあらかじめ取得しておき, その強度比を 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光学系の歪みによる強度差を補正した複素振幅計測を可能とする. 数値解析では, 取得強度に一樣な強度差が発生しているときに, 2 チャンネルアルゴリズムによってその強度差を補正し計測した複素振幅分布の精度が向上していることを示す. また, 基礎実験では, 位相物体であるフ

レネルレンズと空間光変調器に表示した位相変調信号を計測し、2 ステップアルゴリズムよりも計測精度が向上することを、誤差評価指標の値や発生している計測不能点の数を比較することで定量的に示す。次に、2 ステップアルゴリズムや 2 チャンネルアルゴリズムの計測不能点発生に対する問題を根本的に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・検討する。仮想干渉縞生成アルゴリズムでは取得した 2 つの干渉縞から別の位相差を持つ 2 つのホログラムを計算機上で仮想生成し、合計 4 つの干渉縞を用いることで複素振幅を計算する。4 ステップアルゴリズムにおいて、複素振幅の計算が成立しなくなる条件は原理上存在しないため、取得する干渉縞の枚数は 2 つに維持したまま計測不能点の発生をなくすることができる。数値解析では、2 チャンネルアルゴリズムにおいて計測不能点が発生する参照光強度が信号光強度より低い条件において、計測不能点の発生を完全に抑制できることを示す。基礎実験では、空間光変調器に表示した位相変調信号を上記の条件下で計測し、2 チャンネルアルゴリズムよりも計測精度が向上することを、計測不能点の数や誤差評価指標の値を比較することで、定量的に示す。

以下に各章の要旨を示す。

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を利用しない方法に分けて説明し、その基本構成、それぞれの手法の特性、計測精度や計測速度を決定づける要因について述べた。

第 3 章では、2 章で述べた位相計測手法の中でも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よって 3 つに分類し、それぞれの手法の実施形態、特徴について述べた。

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アルゴリズムについてそれぞれ数式を導出し、それぞれのアルゴリズムの特徴について述べた。

第 5 章では、2 チャンネルアルゴリズムを提案し、その動作原理や特徴について説明した。数値解析では、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、2 つの撮像素子間の強度比の違いを完全に補正できることを示した。また、計測実験では、2 チャンネルアルゴリズムにより 2 ステップアルゴリズムで生じていた計測不能点の数が低減されることを示した。

第 6 章では、仮想干渉縞生成アルゴリズムを提案し、その基本動作や特徴について説明した。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なしで複素振幅を計測できることを示した。計測実験では、仮想干渉縞生成アルゴリズムによって、参照光強度が信号光強度より低い条件下において、2 チャンネルアルゴリズムで発生していた計測不能点を完全に排除することができることを示した。

第 7 章では、本研究で得られた成果の総括を行っている。