



Title	畳み込みニューラルネットワークを応用した三次元屈折率分布計測システムの開発 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	貫洞, 大地
Citation	北海道大学. 博士(工学) 甲第13995号
Issue Date	2020-03-25
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/78315
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	theses (doctoral - abstract and summary of review)
Additional Information	There are other files related to this item in HUSCAP. Check the above URL.
File Information	Daichi_Kando_abstract.pdf (論文内容の要旨)



[Instructions for use](#)

学位論文内容の要旨

博士の専攻分野の名称 博士(工学) 氏名 貫洞 大地

学位論文題名

畳み込みニューラルネットワークを応用した三次元屈折率分布計測システムの開発
(Development of a Three-dimensional Refractive Index Distribution Measurement System
Using Convolutional Neural Network)

火炎の温度分布やプラズマの電子密度分布、溶液の濃度分布は、媒質の屈折率分布に依存している。よって、三次元屈折率分布を計測することができれば、これらの物理量の三次元分布を間接的に計測することができる。三次元屈折率分布を計測する手法として、入射角可変のマッハツェンダー干渉計とコンピュータトモグラフィー (CT) を組み合わせたシステムが提案されている。これは、測定対象を複数の方向から撮影した干渉画像から抽出されたそれぞれの位相変化量が対象の屈折率の撮影方向に関する積分量となっていることを利用し、それらを各方向からの投影画像とすることで CT の原理による対象の三次元屈折率分布の再構成を行うというものである。

このシステムでは短時間で複数方向からの干渉画像を撮影するために干渉体系のミラーを機械制御により移動・回転させながら撮影を行うが、これにより干渉画像のキャリア(搬送波)の縞の間隔を任意に制御することができないこと、ならびに機械の振動に起因する干渉画像のぶれを抑えるためにカメラのシャッタースピードを速くしゲインを上げることに伴い干渉画像に振幅ノイズが多く含まれること、という2つの問題点が発生する。これらの問題点により、このシステムで撮影された干渉画像の多くは悪条件の画像となり、キャリア成分を含んだ干渉画像の位相変化量抽出に通常用いられるフーリエ変換法と位相アンラッピングの組み合わせという既存のルールベースの手法では位相抽出を行うことができない。このことは、特定の方向から見た屈折率の積分量情報が得られないことを意味し、三次元再構成の精度低下の原因となってしまう。時間変化する物体の内部分布を短時間で計測したいという要求があるため、測定方法のこれ以上の改善は困難である。現在このシステムを利用する際は、本来自動で行われる位相抽出の際に用いられる様々なパラメータを人の手によって調整することで悪条件の干渉画像からの位相抽出の質を補い、またその結果を目視で確認し利用の可否を人間が判断することによって三次元再構成を行っているが、この作業には多大な労力を要する。したがって、本システムには上記の悪条件の干渉画像から位相抽出を高精度にかつ、人間の判断を介さず自動的に処理を行うことができる新たな抽出手法が求められていた。

そこで本研究では、機械学習モデルのひとつである畳み込みニューラルネットワークを用いた位相抽出方法を提案した。干渉計測において得られる干渉画像の光の強度分布は、参照光と物体光の位相差によって決まるキャリア周波数を持つ余弦関数としてあらわれ、測定対象による物体光の位相変化は、その余弦関数の位相変調として観測される。このように干渉現象はモデル化されているので、位相変化量の分布を用意し、任意のキャリア周波数を与えることでその位相変化量に応じて変調した干渉画像のシミュレーションデータ

を生成することができる。この干渉画像と元の位相変化像のペアを大量に生成し、機械学習の学習手法のひとつである「教師あり学習」により入力者が前者、出力が後者となるよう、機械学習モデルのひとつである「畳み込みニューラルネットワーク」のモデルに学習させた。学習の結果、未知の干渉画像を入力すると対応する適切な位相変化像が出力されるモデルの獲得に成功した。このモデルによって得られる位相変化像の抽出精度は既存のルールベースの手法による抽出精度を大きく上回り、既存の手法では抽出が困難な悪条件の干渉画像についても同一のモデルを用いた位相変化像の抽出が可能であった。これにより、自動で位相抽出を行える干渉画像が増加、すなわち再構成に利用できる画像の割合が増加し、屈折率三次元再構成の自動化と精度の向上を実現した。以下、本論文の構成と各章の概要を示す。

第1章では、はじめに物体の三次元屈折率分布計測の概要、および三次元屈折率分布の応用例について述べる。次に、提案されている計測システムの概要を示し、それに関連する先行研究の概要、そして本システムが抱えている課題について述べる。最後に、本研究の目的と意義、そして本論文の構成について述べる。

第2章では、本システムの課題を解決するための新たな位相抽出手法として導入された、機械学習技術について述べる。はじめに機械学習の原理について簡潔に説明する。次に機械学習モデルについて、本研究で用いているモデルである「畳み込みニューラルネットワーク」を中心に代表的なものについて解説する。また学習手法についても、本研究で用いている「教師あり学習」を含め代表的なものを解説する。

第3章では、畳み込みニューラルネットワークを用いた干渉画像からの位相抽出手法について述べる。本研究で使用したモデルの具体的な構造やパラメータについて、その選択の妥当性を検証する。また、教師あり学習に用いた入力データとしての干渉画像、および出力データとしての位相変化像のシミュレーションによる作成方法について述べる。そして、それらのデータによる学習を終えたモデルに未知のシミュレーションデータおよび実測データを入力した時の位相抽出結果とその性能について、それぞれ評価する。

第4章では、はじめに限られた範囲の角度からしか干渉画像を撮影できない本システムで用いられる、位相変化像ごとに重みをつけて行う屈折率三次元再構成の手法について述べる。次に、本研究の位相抽出結果に対して重みパラメータを決定する方法について、既存の手法による抽出結果に対するパラメータ決定法と比較する。最後に、本研究の手法によって得られた位相変化像を用いた三次元再構成の結果を示し、その精度について既存の再構成精度と比較し本研究の優位性を示す。

第5章では、各章のまとめと本研究の結論について述べる。