



HOKKAIDO UNIVERSITY

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
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第13995号
Issue Date	2020-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/78315
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Daichi_Kando_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 (工学) 氏名 貫洞 大地

審査担当者 主 査 教 授 富岡 智
 副 査 教 授 加美山 隆
 副 査 特任教授 梅垣 菊男
 副 査 准教授 宮本 直樹

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)

物質の屈折率は誘電率と透磁率に依存し、その内の誘電率は物質内の電子密度と関連するため、電子密度と関連するプラズマ電子密度、気体の密度あるいは温度、さらには、溶液の濃度等にも依存する。そのため、屈折率の三次元計測ができれば、間接的にこれらの量の非一様な空間分布の測定が可能となる。非破壊の三次元分布の計測方法には、コンピュータトモグラフィー (CT) が実用化されているが、そのためには複数の方向から入射したビームに対する光路に沿った減衰定数等の媒質定数の積分画像が必要となる。媒質定数が屈折率の場合には積分画像は光波の位相画像であり、これは干渉計により測定できるので、干渉計と CT を組み合わせれば三次元屈折率分布計測が可能となる。既にこの原理に基づいた計測システムとして、メカニカルステージを用いて入射方向を変えることが可能な干渉計を用いて実現されているが、波長オーダでの制御が難しく、測定される干渉画像が位相抽出が困難な悪条件のものとなってしまうことが少なくない。これは、従来の位相画像抽出法では、干渉画像に含まれる干渉縞がサンプリング定理を満たさなければならず、また、解析手法の制限により閉じた干渉縞の存在は許されないという制約を、メカニカルな制御では満足できないことに起因する。また、干渉画像が位相の多価関数になっていることにも問題を複雑にしている。本研究は、このような悪条件の干渉画像からでも位相画像抽出を可能とするために、今まで広く用いられてきたルールベースの位相抽出アルゴリズムを、畳み込みニューラルネットワークに置き換え、精度の良い位相抽出を実現し、最終的な三次元屈折率分布の高精度化を目指したものである。

著者は畳み込みニューラルネットワーク中の一つの大域的な情報と局所的な情報の両方を分析可能な構造を有している U-net を教師あり学習に用いている。この U-net は画像処理、特に画像に含まれるテクスチャの分類 (セグメンテーション) に応用されているが、本研究のように干渉画像から位相画像への非線形多価関数の逆関数を求めようとする応用はほとんどないため、本研究は単に悪条件の干渉画像からの位相抽出に留まらず、他の複雑な逆関数の算出が必要な分野への応用も期待できる。

教師あり学習のためには、入力である干渉画像と正解データである位相画像の組を多数準備しなければならない。その中には、悪条件でも正しい結果が得られるようなネットワークを生成するために、悪条件の学習データも含まなければならない。そのような学習データを作成するために、著者は、まず位相画像が複数のガウス分布による重ね合わせと仮定して学習データを生成する方法を用

い、そのデータにより学習したネットワークの性能を評価している。その結果、同じ仮定に基づいて生成した干渉画像からの位相画像の推定は、良好な結果となり、U-net により干渉画像から位相画像への変換が可能であるが、一方で、このネットワークでは実測された干渉画像からの位相抽出には不十分であり、より実測データに近い学習データを用いて学習させる必要があるとしている。そのような学習データを生成するために、従来の方法でも位相抽出が可能な良条件の実測データを求め、それを基に悪条件の学習データをも生成する方法を提案し、その学習済ネットワークの出力が期待どおり実験結果に近くなることを示している。

また、複数の方向からの位相画像（投影データ）を基に屈折率分布の三次元構成を行うアルゴリズムとして、投影データの誤差を考慮可能な重みつき再構成アルゴリズムを採用しているが、その誤差を算出するために、著者は、学習済のネットワークに実測干渉画像を入力した際の出力である位相画像の誤差を推定するネットワークも開発し、その有用性を確かめている。このように、入力画像から出力画像を求めるのみではなく、その出力の誤差を同時に推定するような例はほとんどなく、この点でも他の分野への応用が期待できる。

これを要するに、著者は、三次元屈折率分布計測に必要な干渉画像からの位相抽出処理に、畳み込みニューラルネットを用い、悪条件の干渉画像からでも位相と誤差推定を同時に算出可能とするシステムを開発し、屈折率分布計測の高度化に対し、貢献するところ大なるものがある。よって著者に北海道大学博士（工学）の学位を授与するに値するものと認める。