

氏名	KIM HYUNWOO (大韓民国)
学位の種類	博士 (情報工学)
学位記番号	情工博甲第377号
学位授与の日付	令和5年3月24日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	Image processing method to acquire accurate 3D information of objects with enhanced resolution and reduced noise in Digital Holographic Microscopy (デジタルホログラフィック顕微鏡を用いた分解能向上及びノイズ低減による対象物の正確な3次元情報取得に関する画像処理手法)
論文審査委員	主査 准教授 李 旻哲 教授 藤原 暁宏 " 許 宗焄 准教授 小西 直樹

## 学位論文内容の要旨

デジタルホログラフィック顕微鏡(DHM)は細胞などの微小物体の高さ情報を小さな分解能で再構成することができ、3次元プロファイルが得られる。その結果疾病診断、微細構造など微生物の研究など様々な分野で用いられている。しかし、DHMで取得する物体の詳細な形状情報と位相エラーはトレードオフの関係にある。フーリエドメインから側波帯を切り取る過程で、広いエリアを切り取る場合は物体の詳細な形状情報を得られるが、側波帯がフーリエドメインでDCスペクトルと重なって分布するため、切り取った側波帯に不要な情報が含まれ、位相エラーが発生する。一方で、狭いエリアの側波帯を切り取る場合、位相エラーは減るが、物体のおおよその3次元情報しか得ることができない。

DHMは様々な科学技術分野で利用されており、各技術分野では正確な高さ情報が必要不可欠である。そのため、本論文では各問題を解決し、3次元プロファイルのノイズを低減させることで高い分解能を提供することができるDHMの開発を目的とする。本論文では章ごとに光学系のハードウェアやソフトウェアによる問題点を分析、解決する方法を提案し、既存の画像処理方法と比較する。既存のDHM画像処理方法では高い分解能の提供とノイズ低減の両立は不可能だったが、本論文で提案する方法のよって可能となる。

1章では、3次元映像技術の背景と種類、そしてDHとDHMの長所など述べ、DHMの問題点及び本論文の目的について説明を行っている。

2章では、DHMの数式を導出し、3次元プロファイルを得る既存の画像処理方法及び本論文で利用する干渉計の種類とその原理について説明を行っている。

3章では、DHMのハードウェアによる問題である不正確な周辺媒体の屈折率修正方法と焦点位置探

素に関する研究について説明を行っている。周辺媒体の屈折率のリアルタイム修正研究では、使用される光源に対応する正確な屈折率と高さ情報を知っており、測定対象と同等の高さ情報を持つ物体（マイクロスフィア）を用いてリアルタイムに修正する方法を提案している。その結果、既存の研究にと比べて、正確な高さ情報を得ることを明らかにしている。次に、正確な焦点位置探索のための研究では、対物レンズの被写界深度に応じて生じるノイズマップを作り、それより正確な焦点位置を探索する方法を提案している。その結果、提案方法で求めた焦点位置で最も高いPSNRと相互相関結果を示す結果を得ることを明らかにしている。

4章では、物体の詳細な3次元情報と位相ノイズのトレードオフ関係を解決するために、フーリエドメインで物体の3次元情報に対応する側波帯をさまざまな大きさにカットしてノイズ位置を判断するフィルタリングアルゴリズムと、側波帯の中心を基準に対し、位置と大きさを変化させて切り出した側波帯による物体の高さ情報を算出するノイズフィルタリングなど、様々な画像処理方法が提案している。その結果、提案方法は、従来のフィルタリング方法と比較して、高いSNR、低いMSE、およびより安定したフィルタリング結果を示している。そして、DHMを用いた赤血球の疾患診断のために、Watershed法を用いた赤血球の自動認識および統計分析方法を提案し、効率的に正確な病気診断を行うことができることを明らかにしている。

5章では、この論文で提案した動画像処理方法を総括し、今後の研究に対する方向性を提示している。

よって、本論文は、博士（情報工学）の学位論文に値するものと認める。

## 学位論文審査の結果の要旨

最終試験は1月12日に対面形式の公聴会で実施された。調査委員及び一般参加者から、本研究成果が実際の医療診断でどのくらい役に立つか、Deep Learningを用いた赤血球解析のパラメータと病気との関係性は評価できるか、基礎的な測定手法などの多くの質問があったが、著者より満足な回答が得られた。

以上により、論文調査及び最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が、博士（情報工学）の学位に十分値するものであると判断した。