

令和 2 年 7 月 5 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06463

研究課題名(和文) マルチスペクトラムイメージングシステムによる低光量下の微生物3次元可視化

研究課題名(英文) Three-dimensional (3D) microscopy of microorganism under low amount of radiation using multispectral imaging system

研究代表者

李 旻哲 (Lee, Min-Chul)

九州工業大学・大学院情報工学研究院・助教

研究者番号：60363397

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、様々な映像システムを使用して得られたマルチスペクトラム情報を利用して生きた細胞や微生物の3次元情報を非破壊で取得することを目標とした。

少量の放射光条件下でのマイクロスコピに関する基礎理論の研究、マルチスペクトラム映像システムを使用した合成画像に関する基礎理論の研究、ホログラフィーや集積映像を利用した3次元可視化アルゴリズムの基礎研究を行った。そして顕微鏡の光学系を介して得られた様々な情報の特性分析と活用法に関するアルゴリズム及び最適化されたマイクロスコピシステムを製作し、取得された様々な情報に統計判別手法を適用することで微生物の特性分析が可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は微生物のマイクロスコピにおける多量の放射光を使用する問題および、表面構造や熱分布といった微生物の解析に欠かせない詳細なプロフィールを提供する問題を解決する。従来のシステムではこれらの3次元プロフィールを一度に取得することはできなかったが、本研究はそれを一度に、そしてリアルタイムで取得可能である点に独創性がある。この研究により期待される効果はマイクロスコピの新しい基幹技術の確保によって、未来の有望新産業を生み出すことができる。本研究で開発されるマイクロスコピの新しい基幹技術を使用して、将来有望な新産業の導出ことができ、これにより新たな雇用も創出され、国家産業の発展に貢献できる。

研究成果の概要(英文)：In this research, we aimed to obtain non-destructive 3D information of living cells and microorganisms by using multi-spectral information obtained by using various video systems.

The study of basic theory on microscopy of under a low light laser, basic theory on synthetic images using a multi-spectral image system, and basic studies on 3D visualization algorithms using holography and integral imaging were conducted. In addition, it became possible to analyze microbial characteristics by applying algorithms on character analysis and utilization of various information obtained through optical system of microscope and various information statistical discriminating techniques obtained by producing optimized microscopy system.

研究分野：3Dイメージング

キーワード：センシング情報処理 3次元光信号処理 3Dイメージ可視化 生体情報

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

最近バイオテクノロジーの分野で非常に小さな微生物の3次元プロフィールを測定する映像技術やシステムに対する要求が多くなっている。既存の研究としては、共焦点 (confocal) マイクロスコピのような2次元光学スライシング技術や、ホログラフィーマイクロスコピや集積映像マイクロスコピのような3次元映像技術を使用して3次元情報を抽出するものが挙げられる。

共焦点マイクロスコピは、一枚のスライス画像を得るために、レーザーを用いて3次元物体をスキャンする必要があるため、リアルタイムで3次元物体の情報を取得するのは難しい。一方、ホログラフィーマイクロスコピや集積映像マイクロスコピは、3次元物体の情報を単一の撮影で取得が可能である。しかし、ホログラフィーマイクロスコピは一般的にレーザービームを使用してホログラムを記録するため、物体から出てくるビームと平面ビームを干渉させなければならない。また、集積映像マイクロスコピの場合は、マイクロレンズアレイを使用するので、高画質な3次元構造を記録するのは難しい。

このような問題点を解決するために、本研究課題ではマルチスペクトラム映像システムを提案する。本システムでは3次元構造の取得にマイクロレンズアレイを用いており、先行研究よりその画質は改善される。また、レンズアレイによって得られる多視点画像に、統計処理を加える光子計数映像技術を用いることで、従来のシステムでは実現できなかった低放射光下における観測を可能とする。

2. 研究の目的

近年、バイオテクノロジーの分野で非常に小さな微生物の3次元構造を測定する研究が盛んであるが、従来の方式では3次元構造の取得のみを目的とし、非破壊性やリアルタイム性、詳細な解析に必要な情報を含むプロフィールについて考慮されていない。そこで**本研究では、様々な映像システムを組み合わせ得られるマルチスペクトラム情報を利用し、物体の3次元プロフィールを非破壊かつリアルタイムで取得する方法を提案する。**具体的にはマルチスペクトラム情報に統計処理を加えることで、低放射光量下での可視化が可能である。さらにレンズアレイを用いることで1度の撮影で3次元構造が取得できるため、リアルタイム処理も容易である。また、偏光・赤外線フィルタを用いて撮影し、表面構造や熱分布といったプロフィールも取得可能である。

3. 研究の方法

1. 少量の放射光条件下での映像取得のための光子計数映像システムの最適化：少量の放射光条件下で映像を取得することができる光子計数映像システムの新たな映像復元アルゴリズムを、高度な統計的推論手法を使用して開発する。

2. 映像取得システムの融合：3次元映像取得技術ホログラフィーと集積映像システム、物体の特性を取得する偏光映像システムと赤外線システムなどを組み合わせて、微生物のより多くの情報を取得し、精密な3次元情報を生成する。

3. 3次元データの生成に必要な再生アルゴリズムの開発：多様な映像処理アルゴリズムと高度な統計的推論手法を融合して、超精密3次元情報を取得する再生アルゴリズムを開発する。

4. マルチスペクトラム映像システムを用いた3次元マイクロスコピ製作と試験：実際の光学実験によりシステムの性能検証を行う。

4 . 研究成果

(1) 少量の放射光条件下でマイクロスコピによる微生物の観察は難しい。それは光子量が不足しているため、観測者は微生物の詳細な情報の観測が困難である。少量の放射光条件下で情報を検出するための光子計数画像生成方法の数学的モデルに関する基礎的な研究を行い、実際の実験を通じこれを検証した。本研究では、深さ情報に基づいて3次元映像の各ピクセルに異なる優先順位を付与した上でBayesian手法を用い、より強化された光子計数集積映像を再生する方法の実装を行った。

(2) 映像取得システムの融合に関する基礎研究を行った。単一の物体に対して様々な形のデータ取得システムを使用することで、様々な特性を発見することができる。顕微鏡の光学系に適用した映像システムでは、さまざまなデータ取得装置を使用する、したがって、顕微鏡の光学系を介して得られた様々なデータをもとに、それぞれに適したデータ分析手法を使用して、物体の正確な情報を取得する。この基礎段階でマイクロスコピシステムを試作した。少量の光を照射し、細胞を顕微鏡で観察して3次元可視化アルゴリズムを用いて3次元光子集積映像を復元することが可能になった。

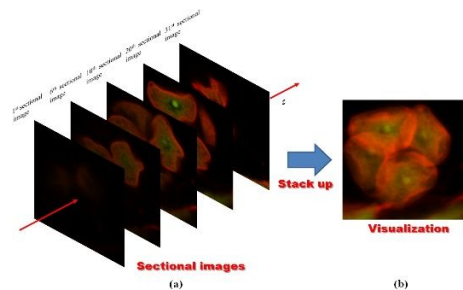


図1 . (a)マイクロスコピシステムで獲得された断層画像の順次配列(b)復元された3次元画像

(3) 3次元データの生成に必要な再生アルゴリズムの開発を行った。集積映像に使用される要素画像が互いに類似するピクセルを持つという性質を使用して、局所エネルギー関数 (localized energy function) を使用してMarkov Random Field (MRF) で3次元再生映像を生成する方法を用いて光子計数映像で最適の光子の数を取得する技術を開発した。またマルチスペクトラム映像システムを介して得られた様々な情報の特性分析のためのカラー光子計数イメージング技術を開発した。

(4) 少量の放射線条件下での非線形フィルタを使用した生体画像の認識する研究を行った。少量の放射線条件下で光子計数画像法集積映像法によって復元された生体画像は存在する光子の数に応じて画質が変わる。したがって、生体画像の認識率も光子の数との関係がある。本研究では、非線形フィルタを使用して光子計数生体画像を認識する方法を使用した。一般的に、映像を認識するための最も基本的な方法は、相関フィルタ (correlation filter) を使用するものである。少量の放射線条件下で共焦点マイクロスコピオンを3次元的に可視化した結果は図2である。

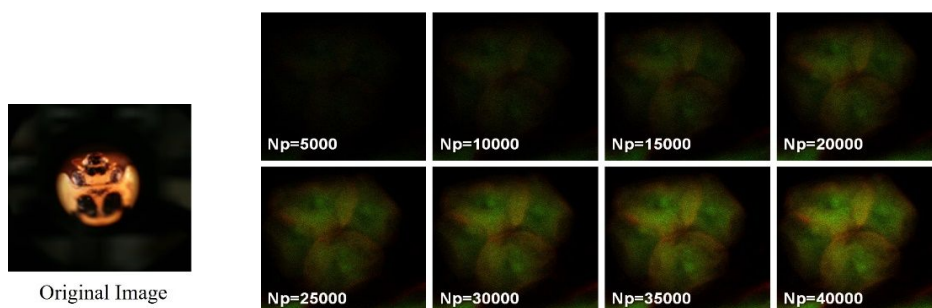


図2 . 光子の数に応じた復元結果

図2に示すように、少量の放射線条件でも、生体の映像が復元されたことがわかる。また、客観的な比較のために、図3のようにMean Square Error (MSE) を求めた。

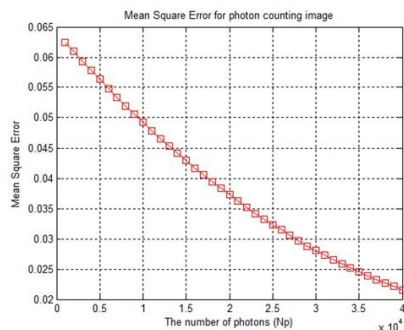


図3. 光子の数に応じた復元映像のMean Square Error

非線形フィルタを使用して生体画像を認識する実験を行った。その結果、図4のようなPSRグラフを獲得した。

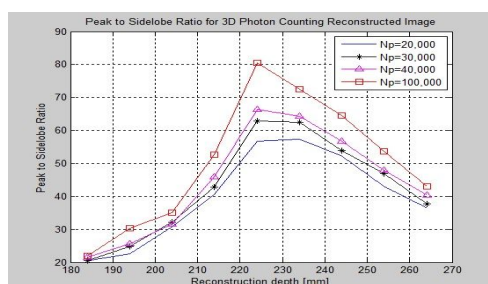


図4. 光子の数と再生の深さに応じた生体画像のPSRの結果

最後に、最適の光子の数を求め、光子計数画像法に適用する実験を行った。その結果、映像は、図5である。

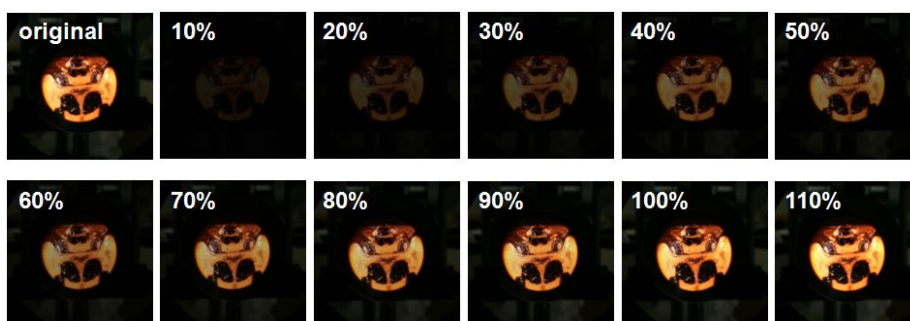


図5. 明るさの程度に応じた最適の光子の数を適用した光子計数の画像結果

(5) 光子計数映像法で最適の光子の数を取得するために集積映像に使用される要素画像が互いに類似するピクセルを持つという性質を使用して、局所エネルギー関数を使用してMarkov Random Field (MRF) で3次元再生映像を生成する方法の改善を行った。

マルチスペクトラム映像システムを用いて最適化された3次元マイクロスコピ製作、取得された様々な情報や高度な統計手法を活用した微生物の判別システムの構築を行った。また3次元可視化映像の解像度の改善を行い、統合されたシステムを制作した。関連アルゴリズム開発とソフトウェアの最適化を行い、パフォーマンスの向上を行った。

生体の映像情報で期待できるような精密な復元映像を得ることができない問題が予想されるので光子計数映像法で光子を抽出した後、統計的推定法・集積映像コンピュータ再生法などのソフトウェア手法を用いて、3次元的に復元することで高解像の情報を得ることが可能になった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 6件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Jaehoon Lee, Myungjin Cho, Kotaro Inoue, and Min-Chul Lee	4. 巻 9065055
2. 論文標題 Three-Dimensional Photon Counting Integral Imaging Reconstruction using Merging Reconstruction Method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.	6. 最初と最後の頁 124-128
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ICAIIC48513.2020.9065055	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Lee Jaehoon, Inoue Kotaro, Cho Myungjin, Lee Min-Chul	4. 巻 8939696
2. 論文標題 3D Visualization of Objects under scattering media conditions using Integral Imaging	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.	6. 最初と最後の頁 1091-1095
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ICTC46691.2019.8939696	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 井上耕太郎, 藤嶋 智晃, Myungjin Cho, 李 旻哲	4. 巻 47
2. 論文標題 インテグラルイメージングにおけるピクセル再配置技術を用いた深度推定手法	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 光学	6. 最初と最後の頁 215-220
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Jaehoon Lee, Myungjin Cho, Kotaro Inoue, Masaharu Tashiro, Min-Chul Lee	4. 巻 17
2. 論文標題 Free-view Pixels of Elemental images Rearrangement Technique (FPERT)	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Information and Communication Convergence Engineering	6. 最初と最後の頁 60-66
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.6109/jicce.2019.17.1.60	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Min-Chul Lee, Kotaro Inoue, Masaharu Tashiro, and Myungjin Cho	4. 巻 15
2. 論文標題 Three-Dimensional Visualization Technique of Occluded Objects Using Integral Imaging with Plenoptic Camera	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of information and communication convergence engineering	6. 最初と最後の頁 193-198
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.6109/jicce.2017.15.4.256	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Kotaro Inoue, Min-Chul Lee, Bahram Javidi and Myungjin Cho	4. 巻 20
2. 論文標題 Improved 3D integral imaging reconstruction with elemental image pixel rearrangement	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Optics	6. 最初と最後の頁 025703(8pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/2040-8986/aaa391	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

[学会発表] 計13件(うち招待講演 0件/うち国際学会 12件)

1. 発表者名 Jaehoon Lee, Kotaro Inoue, Myungjin Cho, and Min-Chul Lee
2. 発表標題 Enhanced photon counting 3D reconstruction method using merging layer
3. 学会等名 The 20th International Meeting on Information Display (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Naoto Kitagawa, Jaehoon Lee, Kotaro Inoue, Myungjin Cho, and Min-Chul Lee
2. 発表標題 Enhancement of 3D Cell Image of Digital Holographic Microscopy System by Using Different Wavelength Lasers
3. 学会等名 The 19th International Meeting on Information Display (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Myungjin Cho, Masaharu Tashiro, Kotaro Inoue, and Min-Chul Lee
2. 発表標題 Non-Destructive Three-Dimensional Biological Imaging System by Using Integral Imaging and Photon Counting
3. 学会等名 The 19th International Meeting on Information Display (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Min-Chul Lee, Jaehoon Lee, Kotaro Inoue, Naoki Konishi, and Myungjin Cho
2. 発表標題 Optimization of Removal Scatter Media Using Various Scatter Frequency Mask Filter
3. 学会等名 The 19th International Meeting on Information Display (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 北川直人, Jaehoon Lee, 田代雅治, 小西直樹, 李 旻哲
2. 発表標題 Digital Holographic Microscopy system (DHM) を用いた3D画像の検証実験
3. 学会等名 第72回電気・情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Min-Chul Lee, Masaharu Tashiro, Jae-Hoon Lee, Kotaro Inoue, Myungjin Cho
2. 発表標題 High Speed Processing of Occlusion Removal Method by Using GPGPU Optimization
3. 学会等名 The 18th International Meeting on Information Display (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Naohiro Kikutake, Kotaro Inoue, Naoki Konishi, Myungjin Cho, and Min-Chul Lee
2. 発表標題 Scatter Media Removal Method of Fourier Ptychography
3. 学会等名 The 18th International Meeting on Information Display (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masaharu Tashiro, Kotaro Inoue, Myungjin Cho, and Min-Chul Lee
2. 発表標題 Improvement of Three-Dimensional Biological Imaging with Integral Imaging
3. 学会等名 The 18th International Meeting on Information Display (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kotaro Inoue, Byungwoo Cho, Hui Yun, Min-Chul Lee, Cheol-Su Kim, Jungsik Koo, Jiyong Park, and Myungjin Cho
2. 発表標題 Enhanced depth estimation algorithm in integral imaging
3. 学会等名 The 18th International Meeting on Information Display (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Byungwoo Cho, Hui Yun, Kotaro Inoue, Min-Chul Lee, Cheol-Su Kim, Jungsik Koo, Jiyong Park, and Myungjin Cho
2. 発表標題 Three-dimensional visualization of integral imaging with profilometry and Fourier
3. 学会等名 The 18th International Meeting on Information Display (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Naohiro Kikutake, Kotaro Inoue, Myungjin Cho, and Min-Chul Lee
2. 発表標題 High-Speed Reconstruction Technique in Photon Counting Integral Imaging
3. 学会等名 The 17th International meeting on Information Display (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tomoaki Fujishima, Kotaro Inoue, Myungjin Cho, Naohiro Kikutake, Naoki Konishi, and Min-Chul Lee
2. 発表標題 Enhanced Occlusion Removal of Synthetic Aperture Integral Imaging Using Multiple Variances
3. 学会等名 The 17th International meeting on Information Display (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Min-Chul Lee, Kotaro Inoue, and Myungjin Cho
2. 発表標題 High Speed and Resolution Three-Dimensional Reconstruction Algorithm Using Pixel
3. 学会等名 The 17th International meeting on Information Display (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考