

令和 5 年 6 月 5 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K19825

研究課題名（和文）光の空間的伝播に基づく生体の表面下構造・生体情報の解析

研究課題名（英文）Analysis of subsurface structure of biological tissue using spatial light transport

研究代表者

岩口 堯史（Iwaguchi, Takafumi）

九州大学・システム情報科学研究所・助教

研究者番号：50845526

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では従来は光散乱により解析が難しかった生体組織に対して、コンピュータビジョンと機械学習により光学計測手法により内部組織の可視化、および、形状再構成することを目的とする。本研究を通じて、プロジェクタを利用したパターン光投影により散乱体内部構造を計測する手法、および、観測画像を用いた内部構造の推定アルゴリズムを提案した。また、機械学習のためのデータセットを生成手法についても研究を行い、理想的なコンピュータグラフィックスによる合成データを利用しながらも実環境計測に耐えるモデル学習を行う手法を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

光散乱は本研究で主として取り上げた生体のほか、プラスチックや植物など多くの半透明物体で起こる現象である。提案する光学計測手法はカメラやプロジェクタで実現可能であるため、手軽に計測環境を構築可能であり、家庭内における簡易な診断や生産現場での検査など幅広い応用が期待できる。また、物理モデルを考慮した合成画像データセット構築手法は、合成データによる学習で実環境利用を実現するものであり、深層機械学習の応用範囲の拡大に寄与するものである。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to visualize and reconstruct the internal structure of biological tissue, which has been difficult to analyze due to light scattering, using optical measurement methods based on computer vision and machine learning. Through this study, we proposed a method for measuring the internal structure of scatterers by using patterned light projection using a projector, and an algorithm for estimating the structure from observed images. In addition, we proposed a method for generating an efficient dataset for machine learning, which can learn models that can withstand real-world measurements while using synthetic data.

研究分野：コンピュータビジョン

キーワード：コンピュータビジョン 光伝播解析 深層学習 ドメイン適応

1. 研究開始当初の背景

生体の内部構造の計測は病理検査等において必要とされる技術である。従来の X 線 CT のような他の内部計測手法が用いられてきたが、散乱パラメータなどの光学特性は細胞組織の解析に有意義であると考えられ、新たな非侵襲な計測手法として期待される。コンピュータビジョン分野ではカメラを用いた光学計測が行われてきたが、従来手法では生体組織における光散乱により不鮮明な計測しかできないことから解析が困難であった。

2. 研究の目的

本研究では光散乱のために解析が難しかった物体に対して、コンピュータビジョンと機械学習により画像からの対象物体の可視化と形状推定の実現を目指す。この目的のために光源とカメラを用いた光学計測により対象物体内部における光伝播を獲得する手法を確立する。また、光散乱により不鮮明な生体組織の観測画像に対して機械学習を行うための効率的な学習フレームワークおよびデータセット生成手法を確立する。

3. 研究の方法

(1) 散乱体内部の構造解析の方法について、これまでに光源の照明位置とカメラの露光位置を制御することで内部構造を可視化する方法を提案してきたが、これを発展させて 3 次元形状の再構成手法である照度差ステレオに応用し、表面下構造の法線推定に取り組んだ。図 1 (a) に示すように表面下散乱のモデルとして拡散板と内部構造からなる 2 層モデルを仮定している。大域光を光源として利用した場合、物体表面全体の入射光が散乱により混ざり、解析が困難となる。提案手法ではビデオプロジェクタを制御可能な光源として利用してパターン光を物体表面に投影することで、内部構造を反映する一部の反射光を取り出し、カメラで撮影した画像から構造を解析する。

ここで計測に適したパターンは未知であり、反射光は光散乱により直接的に解析することは困難である。パターン光を用いた計測、および、計測画像を用いた可視化・形状（法線）推定を統合した枠組みで捉え（図 1 (b)）、計測パターンと可視化、法線推定アルゴリズムを同時に最適化するアプローチをとった。この手法は深層学習の枠組みにより実現され、与えられた学習データセットに対して最も精度が高くなる計測パターンと法線推定のためのネットワーク重みを求めめることで実現される。

(2) 機械学習に基づくアルゴリズムでは学習データセットの品質が推定精度へ影響を与える。学習データセットは実環境で計測された画像を用いて構築されるものもあるが、散乱体の解析においては、形状や光学パラメータの真値を計測自体が困難である。本研究ではコンピュータグラフィックスにより合成画像を作成し学習データとして用いた。散乱体の画像生成は計算コストが高く、学習過程で変化する投影パターンに応じた画像を生成することが必要となる。本手法では微分可能レンダリングと呼ばれる手法を用いて、パターンの変化と法線推定結果の関係性を利用することでレンダリングを高速化し、効率的な学習を実現した。

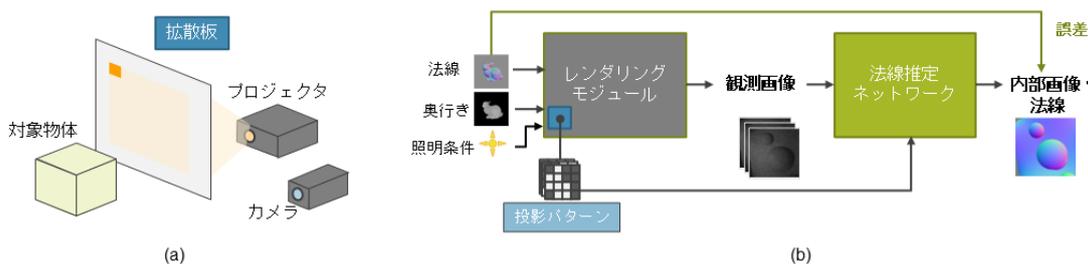


図 1: パターン照明を用いた散乱体の内部可視化手法

(3) コンピュータグラフィックスによる合成データで学習を行ったモデルを実環境で利用する場合、シミュレーション環境と実環境という 2 つのドメイン（領域）の性質との違いにより推定精度が落ちるドメインギャップと呼ばれる問題が発生する。従来この問題は合成データ生成に利用するパラメータを増やし十分なバリエーションを確保することで対処されてきたが、パラメータ数の増加に伴いその組み合わせは急速に増加し、データセットが肥大化してしまう問題があった。この課題に対し、少数の実環境のデータを参考として与え、そのパラメータ分布と同じ分布をもった合成データセットを作成することで、ドメインの違いに対応したコンパクトなデータセットの生成を提案した。

4. 研究成果

提案手法で学習された計測パターンを図 2(a)に示す. 内部構造の表面の反射特性によっては最適なパターンが異なるという知見が得られた. 図 2(b)は内部構造の可視化結果であり, 左列には対象物体, 右列には提案手法による可視化画像を示す. #1, #2 はシミュレーション実験, #3, #4 は実環境実験の結果であるが, 拡散板越しの観測にもかかわらず可視化に成功している. 図 2(c)は実環境における法線推定の結果である. 対象物体の詳細な形状が得られることが確認できた.

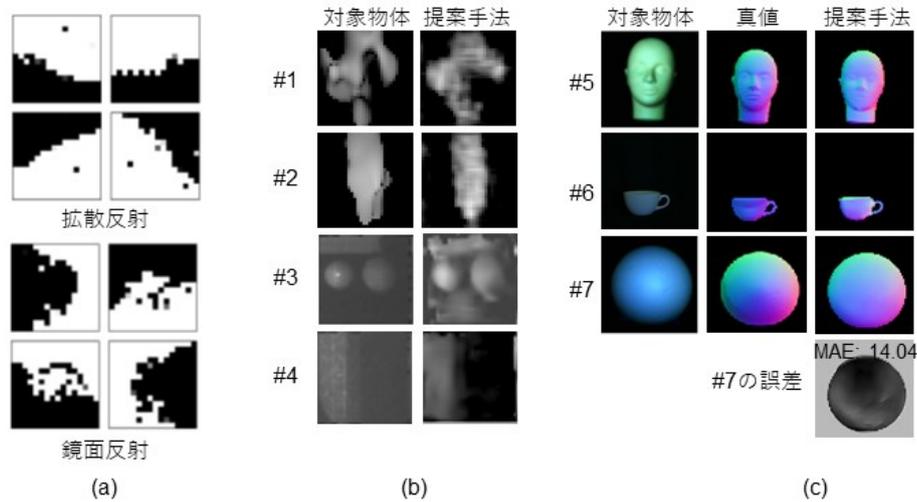


図 2: 散乱体内部計測結果.

合成データから実環境データへのドメイン適合によるデータセット生成の結果を図 3 に示す. 合成データセット生成のパラメータであるシーン中における対象物体のスケール (図 3(a)), 回転姿勢 (図 3(b)) を対象に検証実験を行った, 緑・オレンジで示されている実環境データのパラメータ分布範囲に対して, 赤・青線で示されている合成データのパラメータが重なることから, 両者の分布が一致するようにデータセットが生成されていることがわかる. 図 3(c)は法線推定ネットワークの推定誤差の推移であり, 横軸は学習の経過時間, 縦軸は誤差を表している. 提案手法の誤差は青色で示されており, パラメータを手動 (緑), ランダム (赤) で設定した場合と比較し, 少ない学習時間で高い推定精度の学習が可能であることが確認できた.

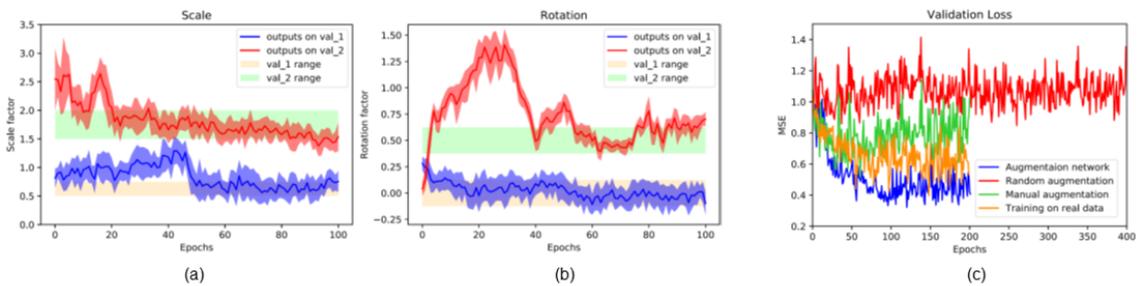


図 3: ドメイン適合によるコンパクトなデータセット生成. (a) (b) 合成されたデータセットと (赤線, 青線) と実環境データ (緑, オレンジ) のパラメータ分布. (c) 提案手法 (青) と他のデータセット生成手法との推定精度比較.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Kodai Tokieda, Takafumi Iwaguchi, Hiroshi Kawasaki
2. 発表標題 High-Frequency Shape Recovery From Shading By Cnn And Domain Adaptation
3. 学会等名 The 29th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takafumi Iwaguchi, Hiroshi Kawasaki
2. 発表標題 Efficient light transport acquisition by coded illumination and robust photometric stereo by dual photography using deep neural network
3. 学会等名 The 3rd International Workshop on Physics Based Vision meets Deep Learning (PBDL) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木原優輝, 岩口堯史, 川崎洋
2. 発表標題 照度差ステレオ法とDual Photographyによる反射光フィルタリングを用いた乱反射物体表面の境界を保存した平滑な法線推定手法
3. 学会等名 画像の認識・理解シンポジウム MIRU2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 時枝 康大, 岩口 堯史, 川崎 洋
2. 発表標題 高周波形状復元のための微分可能レンダラーを用いたデータ拡張の最適化
3. 学会等名 コンピュータビジョンとイメージメディア研究会 2022年3月研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩口 堯史, 久保 尋之, 川崎 洋
2. 発表標題 微分可能レンダリングによるコースティクス画像からの鏡面反射物体の形状復元
3. 学会等名 コンピュータビジョンとイメージメディア研究会 2022年3月研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩口堯史, 川崎洋
2. 発表標題 屈折プロジェクションマッピングのためのオプティカルフローに基づく深層学習による投影パターン補正
3. 学会等名 画像の認識・理解シンポジウム MIRU2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takafumi Iwaguchi, Hiroshi Kawasaki
2. 発表標題 Geometric and Photometric Pattern Compensation using Optical Flow and CNN For Projection Mapping through Dynamic Refractive Interface
3. 学会等名 International Conference On Computational Photography (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takafumi Iwaguchi, Hiroshi Kawasaki
2. 発表標題 Surface Normal Estimation From Optimized and Distributed Light Sources Using DNN-Based Photometric Stereo
3. 学会等名 The IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kodai Tokieda, Takafumi Iwaguchi, Hiroshi Kawasaki
2. 発表標題 Auto-Augmentation with Differentiable Renderer for High-Frequency Shape Recovery
3. 学会等名 The 26th International Conference on Pattern Recognition (ICPR) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩口 堯史, 久保 尋之, 川崎 洋
2. 発表標題 微分可能レンダリングを用いたすりガラス越しの鏡面反射物体形状復元
3. 学会等名 画像の認識・理解シンポジウム MIRU2022
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

カリフォルニア大学ロサンゼルス校においてVision Machine Group研究室に2023年2月-3月に滞在し散乱体内部可視化手法について研究・調査を行った。

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

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
米国	カリフォルニア大学ロサンゼルス校			