

令和 5 年 6 月 27 日現在

機関番号：62615

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H04144

研究課題名(和文) 多次元光学情報の高度情報解析による知的センシング

研究課題名(英文) Intelligent Sensing through Advanced Multidimensional Optical Analysis

研究代表者

佐藤 いまり (Sato, Imari)

国立情報学研究所・コンテンツ科学研究系・教授

研究者番号：50413927

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、可視域外の波長を含むワイドバンド光の反射・吸収データを獲得し、識別問題に有効な特徴量抽出とデータを取得する光学システムの最適設計を学習ネットワーク内で同時に行い、成分解析、素材識別などの複雑かつ多岐に渡る問題を頑健に解くために観測条件の導出を実現する。これにより、最小限のデータ計測で最高レベルの識別精度で対象物の識別や内部状態可視化を実現する知的センシング技術の創出を目的とする。

研究成果の学術的意義や社会的意義

物体の成分や特徴、組成を非破壊・非接触で知ることができる分光解析は、食品の産地判別、有害物質の推定、品質確認など、様々な応用が期待される。本研究では、ワイドバンド光の反射・吸収・発光特性のデータに基づく深層学習により少ない物理計測情報量で高い識別精度を実現する知的センシング技術を開発する。深層学習により識別問題に有効な特徴抽出とデータを取得する光学デバイスの設計を同時に行うという発想に基づき、最小限の物理計測情報量から最高の識別精度を達成することができれば深層学習を計測デバイスの開発に活用するという意味においての学術的貢献は高く、技術応用により様々な検査が実現できる点において社会的意義も高い。

研究成果の概要(英文)：This study aims to create an intelligent sensing technology that achieves high-level identification and visualization of the internal state of objects with minimal data measurement. We accomplish this by simultaneously acquiring reflection and absorption data of wideband light, including wavelengths outside the visible range, and optimizing the design of an optical system within the learning network for effective feature extraction and data acquisition in identification problems. This enables the derivation of observation conditions for robustly solving complex and diverse issues such as component analysis and material identification.

研究分野：視覚情報処理

キーワード：コンピュータビジョン コンピュータグラフィックス 分光解析 反射解析 素材識別

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

物体の成分や特徴、組成を非破壊・非接触で知ることができる分光解析は、食品の産地判別、医薬品原料の種別、有害物質の推定、品質確認など、様々な応用が期待されている。可視域外のワイドバンド光を計測可能な汎用デバイスの開発に伴い、近年、光を介して物体の成分や状態などを非破壊・非侵襲で迅速に計測できる分光解析に注目が集まっている。反射光に注目して素材識別を行う研究が進められてきている。例えば、照明色の変化に伴う明るさ変化から素材識別を行う計測デバイスの提案や素材識別のために有効な照明色や照射方向を通して検討するアプローチの提案がなされてきている。しかしながら、反射のみに着目した手法には限界があり、問題が複雑になればなるほど、微細な変化を捉えるために照明方向や光源色を変えて撮像された膨大な観測を必要とする。その様な詳細な観測をしても、産地特定、品質推定などの複雑な識別を反射光のみから頑健に行うことは難しい。

一方、食品、植物、鉱石などの自家蛍光は、含有物の量や種類、内部状態と関係も深く、蛍光指紋(励起/発光波長とその強度を示す3次元蛍光パターン)と呼ばれ、食品や化成品、医薬品原料の種別、産地判別、有害物質の推定、品質確認など様々な応用に活用されてきている。対象物の蛍光指紋を獲得するためには、照射する励起光の波長ならびに観察波長の双方を走査(スキャン)して反射/蛍光強度を計測する必要がある、計測には時間と複雑な光学系を要することが蛍光指紋の利用を妨げる要因となっている。このプロセスを簡略するため、蛍光指紋データの解析により定量や判別に最適な波長帯を探索し、バンドパスフィルタを配置し、食品の劣化具合など、特定の事象を可視化する研究も進められてきたが、識別に有効な波長域の探索にとどまっておろ、計測条件の最適化による識別のための効果的な計測については未だ十分な検討がなされてこなかった。以上、産地判別、成分解析、素材識別など、複雑かつ多岐に渡る問題を頑健に解くために最適な観測条件を明らかにする技術基盤の創出が求められている。

2. 研究の目的

本研究では、産地判別、成分解析、素材識別などの複雑かつ多岐に渡る問題を頑健に解くために最適な照明光の分光分布や撮像デバイスの分光感度などの観測条件の導出を目指す。先に述べた様に、従来研究は反射および蛍光解析が素材識別や状態解析に有効なことを示してきた。しかしながら、計測条件の最適化による

識別のための効果的な計測の検討は十分になされてこなかった。本研究では、可視域外の波長を含むワイドバンド光の反射・吸収データを獲得し、識別問題に有効な特徴量抽出とデータを取得する光学システムの最適設計を学習ネットワーク内で同時に行い、最小限のデータ計測で最高レベルの識別精度で対象物の識別や内部状態可視化を実現する知的センシング技術の開発を目的とする。提案手法の概略を図1に示す。深層学習により識別問題に有効な特徴抽出とデータを

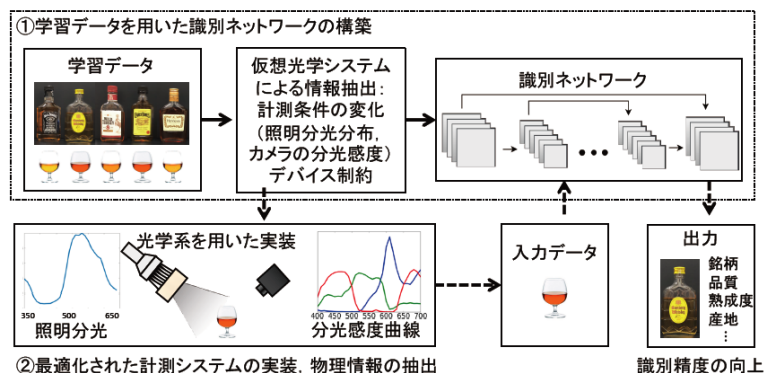


図1: 学習データと識別ネットワークの間に仮想光学システムによる物理情報抽出のプロセスを組み込むことで、識別問題に有効な特徴抽出とデータを取得する光学デバイス設計を同時に実現する。

取得する光学デバイスの設計を同時に行うという独自の着想に基づき、最小限の物理計測情報から最高の識別精度を達成できる知的センシングの実現を目指す。

3. 研究の方法

本研究では、蛍光・反射・吸収特性データに基づき、深層学習による識別ネットワークの構築と物理情報抽出のための光学システムの最適設計を同時に実現する知的センシング技術を開発する。知的センシング技術開発を下記のステップを踏んで進めた。

可視域外の波長を含むワイドバンド光の反射／吸収／発光特性解析

素材識別、表面状態、内部状態（熟成度、鮮度等）推定などの具体的な課題に対し、どのような光学特性（反射／吸光／発光特性）が解析に有効であるのかを調査検討するための分光解析を行った。従来研究により、物体表面の形状、物体内部の散乱状態により、物体表面の偏光特性が大きく変化することが知られている。ここでは、表面状態／内部状態／散乱状態が異なる対象の偏光情報を紫外／赤外を含めたワイドバンド波長で確認し、波長間における偏光の違いについても調査した。

機械学習を介した観測条件の最適化による知的センシングの実現と精度検証

深層学習により識別問題に有効な特徴量抽出データを取得する撮像デバイス設計を同時に実現した知的センシングを実装し、その精度検証を進めた。図1の学習データを用いた識別ネットワーク構築の際、学習データと識別ネットワークの間に仮想的な光学システムによる物理情報の抽出プロセスを組み込むことで、光学システムの最適設計も同時に行う。最適化された計測システムのもと観測される入力データをシミュレーションで作成し、最小限のデータ計測で最高レベルの識別精度で対象物の識別を検証する。識別問題における光の偏光特性利用の有効性についても検証する。

4. 研究成果

可視域外の波長を含むワイドバンド光の反射・吸収データを獲得し、識別問題に有効な特徴量抽出とデータを取得する光学システムの最適設計を学習ネットワーク内で同時に行い、最小限のデータ計測で最高レベルの識別精度で対象物の識別や内部状態可視化を実現する知的センシング技術を開発した。分光データベース (CAVE, Harvard Natural) を用いて評価実験を行なうことで、通常のRGBカメラならびにハイパースペクトルカメラにより取得されたデータに対し、提案手法により導かれた最適計測の有効性の検証を分光画像復元（図2）、領域識別（図3）の2つタスクに対して検証した。

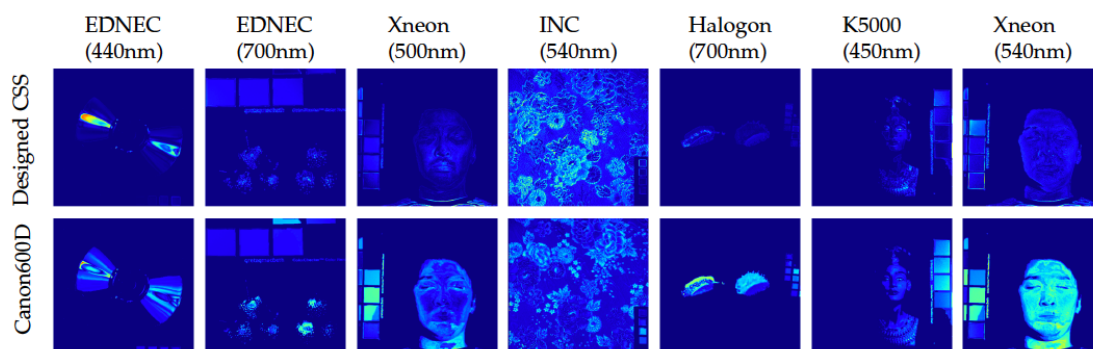


図2：最適化された分光パターンにより計測された3枚の画像から復元された単波長画像の例。カラーを用いて誤差の可視化している（青：低誤差→黄→赤：高誤差）。上段：提案技術、下段：RGBカメラの結果を示す。

図2に示す結果では、最適化された分光感度パターンで計測することにより少ないチャンネル数から分光反射率の推定を高い精度で実現することができた。この図では復元誤差が色により表示しており（青：低誤差→黄→赤：高誤差）、上段に示す提案技術により、通常のRGBカメラ（下段）では捉えにくい微細な分光情報を復元できている様子がわかる。また、図3に領域識別の結果を示す。ここでは、最適化されたセンサの分光感度パターンにより計測された複数画像を用いた領域識別結果が示されており、左から真値 (Ground Truth)、ハイパースペクトルデータ (Hyper)、提案手法による撮像3枚 (Res Design)、汎用RGB画像 (RGB) の識別結果を示している。計測チャンネル数が遥かに多いハイパースペクトルデータを用いた識別には及ばないものの、同じチャンネル数であるRGBデータのみでは識別が難しい領域の識別が提案手法により可能となっており、計測分光感度の最適化の効果を確認することができた。

さらに、塗装回数や製造工程が異なる塗板を対象として、塗板の精度評価を分光情報と偏光情報の双方を用いて行なう実験も行い、偏光情報利用の有効性についても検証を進めることができた。

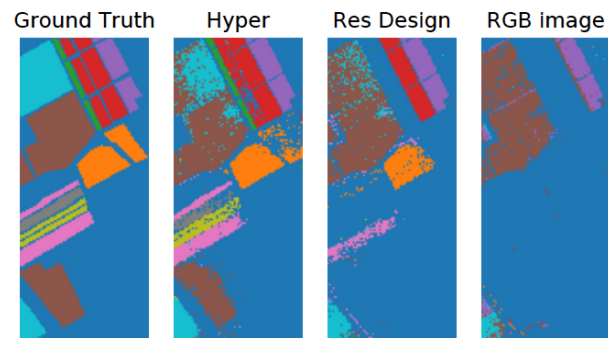


図3：最適化されたセンサの分光感度パターンにより計測された複数画像を用いた領域識別結果。左から真値 (Ground Truth)、ハイパースペクトルデータ (Hyper)、提案手法による撮像3枚 (Res Design)、汎用RGB画像 (RGB) の識別結果を示す。同じ画像数であるRGBでは識別が難しい領域の識別が可能となっており、これは分光感度の最適化の有効性を示唆している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 佐藤いまり
2. 発表標題 光3Dイメージング技術による非破壊・非侵襲計測
3. 学会等名 JST情報計測セミナーシリーズ（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤いまり
2. 発表標題 CG、デザイン、質感、医療、美術、いろいろつながる情報学
3. 学会等名 IEEE Kansai WIE シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Imari Sato
2. 発表標題 Photo Acoustic Imaging and Spectral Signature Analysis for Scene Understanding
3. 学会等名 6th US-JAPAN HI-TECH Industrialization Forum（招待講演）（国際学会）（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Imari Sato
2. 発表標題 Spectral Signature Analysis for Scene understanding
3. 学会等名 International Conference on 3D Vision（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2021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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------