

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	屈折光の波長解析による実世界理解
Title(English)	
著者(和文)	石原 慎
Author(English)	Shin Ishihara
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12084号, 授与年月日:2021年9月24日, 学位の種別:課程博士, 審査員:金子 寛彦,佐藤 いまり,山口 雅浩,熊澤 逸夫,渡辺 義浩,長谷川 晶
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12084号, Conferred date:2021/9/24, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	情報通信 情報通信	系 コース	申請学位 (専攻分野)： 博士 Academic Degree Requested Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	石原 慎		指導教員 (主)： Academic Supervisor(main)	金子 寛彦
			指導教員 (副)： Academic Supervisor(sub)	佐藤 いまり

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

実世界理解はコンピュータビジョンにおける重要なタスクの一つであり、カメラから得られた画像または動画を用いて、物体の追跡、認識、三次元形状推定といった要素技術から構成される。これらの要素技術に関する研究は盛んに行われており、近年では車の自動運転制御や運転者補助システム、ラインでの自動製品検査、CG 化のための自然物の立体形状の取得等にも活用されている。実世界理解のための重要な性質の一つとして、対象物体の分光反射率 (色情報) が挙げられる。物体の色情報は、従来では人間の目と同様な RGB チャンネルを持つカメラで取得され、扱われることが主流であった。他方、ハチやチョウなどの虫は花の蜜のある場所を見分けられるように、紫外光を観測できるように進化した。このように、自然界の生物は必ずしもヒトと同じ視界を有しておらず、カメラで観測する波長が RGB である必要もない。近年では、対象物の詳細な色情報を取得する分光イメージングに関する技術が急速に進化してきており、高速に分光画像を撮影することのできるカメラも普及段階に入っている。分光イメージングによって得られる詳細な波長情報を用いることによって、自然物や美術品等の高精細な質感情報の解析が実現されてきており、コンピュータによる実世界理解に大きく貢献している。本研究では、実世界センシングのための新たな枠組みとして、単視点の分光画像中における屈折光の解析による「三次元分光カメラシステム」を提案する。すなわち、シーンに含まれる屈折光の波長依存性を利用して、シーン全域の三次元深度情報を推定する技術を提案する。豊富な色情報を含む分光画像に三次元形状の情報を付加することが可能となり、三次元情報と分光情報を組み合わせた実世界理解への応用が可能となる。単視点映像からの三次元情報推定はコンピュータビジョン研究における困難な課題の一つであり、本研究でこれを達成することにも当該分野への貢献がある。

第一に、「レンズ内屈折における波長依存性 (色収差) の解析による分光画像からの距離推定手法」を提案する。レンズによって集光される光はレンズを通過する際に屈折を生じるが、その際の屈折率が光の波長によって異なるため、分光画像として観測すると画像のフォーカス面およびボケ方が波長毎に変化する。また一般に、画像に生じるボケは対象物体までの距離にも依存する。本研究では、空間方向のボケと波長方向のボケを双方向に解析することによって対象物体までの距離を推定する手法を実現した。過去にも色収差を距離推定に応用した手法はいくつか存在するが、本研究では特殊なフィルタやレンズ設計を必要とせず、かつ連続的な距離を取得可能である点で優位である。また、従来法では市販の RGB カメラのような広帯域のセンサを用いているが、本研究では市販の RGB センサに加えて、狭帯域の RGB センサおよび 5 波長のマルチスペクトルセンサを持つカメラを用いた場合の距離推定精度を比較し、狭帯域、多波長センサの優位性を検証した。さらに、多波長センサを用いたプロトタイプシステムを使用して、本手法の有効性を検証した。

第二に、「水面の屈折における波長依存性の解析による分光画像からの水中シーン再構成」を提案する。空気中から水中の物体を撮影した場合、レンズを通過する光の屈折と同様に、水面を通過する光も屈折する。正投影のスペクトルカメラを用いて水中を観察すると、屈折率が観測波長によって異なることから、波長画像間に深度依存のシフト (視差) が生じる。本研究では、正投影の多波長スペクトルカメラによって観測される波長間の視差の関係を解析することによって、水面 (屈折面) の法線方向および水中物体の水面からの距離を同時に推定する手法を実現した。これにより、従来では実現されていなかった、単一視点のカメラ映像からの水面形状および水中シーンの推定手法を実現することに成功した。シミュレーションおよびプロトタイプシステムによる実験を通して、本手法の有効性を検証した。

本論文を通して、レンズ内部における屈折と、水面における屈折における波長依存性を利用して、2 種類の 3 次元分光カメラシステムを実現した。今後の課題として、本システムで得られる 3 次元情報と分光情報を融合したより高度な質感解析技術につなげていくことが考えられる。課題の達成のために、特殊な反射特性を有する対象への有効性や、可視光域に限定しない分光波長の活用を検討していく。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	情報通信 情報通信	系 コース	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	（工学）
学生氏名： Student's Name	石原 慎		指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	金子 寛彦	
			指導教員（副）： Academic Supervisor(sub)	佐藤 いまり	

要旨（英文 300 語程度）

Thesis Summary (approx.300 English Words)

Real-world understanding is one of the most important tasks in computer vision. One of the important properties for real-world understanding is the spectral reflectance (color information) of the object. In the past, color information of objects was mainly acquired and handled by cameras with RGB channels similar to those of the human eye. In recent years, spectroscopic imaging technology has been rapidly evolving to acquire detailed color information of objects. By using the detailed spectral information, it has become possible to analyze the high-definition texture information of natural objects and art works, which greatly contributes to the understanding of the real world. In this study, we propose a "three-dimensional spectral camera system" based on the analysis of refracted light in a single-view spectral image as a new framework for sensing the real world.

Firstly, we propose a method for estimating distance from spectral images by analyzing the wavelength dependence (chromatic aberration) of refraction in lenses. In this study, we developed a method for estimating the distance to a target object by bi-directionally analyzing the blur in the spatial direction and the blur in the wavelength direction.

Secondly, we propose a method for reconstructing underwater scenes from spectral images by analyzing the wavelength dependence of refraction on the water surface. In this study, we have developed a method to simultaneously estimate the normal of the water surface (refracting surface) and the distance of an underwater object from the water surface by analyzing the relationship of disparity between spectral images observed by an orthographic multispectral camera. By analyzing the relationship between the disparity between the wavelengths of the refractive surfaces, we realized the system to simultaneously estimate the normal of the water surface and the distance of the underwater object from the water surface.

Through the thesis, we realized two types of 3D-spectral camera systems using the wavelength dependence of the refraction inside the lens or the refraction at the water surface. One of the future tasks is to link the 3D information obtained by this system to more advanced texture analysis technology by integrating the spectral information.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).