

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	濡れや相互反射を考慮した分光特性推定に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	大川拓樹
Author(English)	Hiroki Okawa
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11234号, 授与年月日:2019年6月30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,永井 岳大,渡辺 義浩
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11234号, Conferred date:2019/6/30, 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	大川拓樹		指導教員 (主)： 佐藤いまり特任教授 Academic Supervisor(main)
			指導教員 (副)： 金子寛彦教授 Academic Supervisor(sub)

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は全9章から構成され、以下に各章の要約を述べる。

第1章 「序論」では本研究の背景および意義について述べる。コンピュータビジョン分野では、三次元形状推定や素材、状態などの推定が盛んにおこなわれており、自動運転技術の発展を支えるなど社会貢献が期待されている。一方で実世界画像は周囲の物体や状態の変化など様々な要因が複雑に影響しあっている。ところがこれまでのモデルは単純なモデルを用いており、これらの影響を考慮してこなかった。

本研究では見えの変化を生じる状態の中でも、光のバウンスによって表現できることから、本研究では特に相互反射と濡れに着目した。そして目的を、これらの物理的な特性のモデル化を行い、導出されたモデルを用いて反射率や吸収係数といった対象本来の分光特性と相互反射や濡れといった状態の変化を同時に、単一の分光画像から推定する手法の提案である。

第2章 「関連研究」では相互反射や濡れに関するこれまでの先行研究について紹介し、本研究の位置づけについて議論する。相互反射についての先行研究では、除去のためにレーザーや高周波照明を用いた複数枚画像による手法や、反射率を既知とする手法が提案されている。しかし単一画像から反射率と相互反射双方を推定する手法は提案されていない。

濡れについての先行研究では、輝度の低下については表面の膜を仮定したモデルや表面下散乱を考慮したモデルが提案されている。しかし、濡れによってスペクトルが変化することに着目した研究は行われていなかった。一方人の知覚や画像の統計的な性質を用いたデータドリブンな研究からは、濡れによって生じる色 (スペクトル) の変化について述べられており、スペクトルの変化を記述するモデルの重要性が指摘されている。

第3章 「相互反射の分光モデル」では、相互反射が分光反射率推定に与える影響について議論し、これを表現するモデルの導出を行う。本研究ではランバートの拡散反射を仮定することで、物体表面における複雑な光のバウンスを記述し、その影響について述べる。

第4章 「分光反射率推定手法」では、第3章で導出したモデルを用いた分光反射率推定手法の提案を行う。導出されたモデルを行列形式で記述することで、相互反射分離問題は非負値行列因子分解 (Non-negative Matrix Factorization: NMF) と捉えることができ、その分離手法について、最適化アルゴリズムとその初期値を求める手法について述べる。最適化アルゴリズムには非線形制約を実現するために Augmented Lagrangian Method を用いた Alternating Direction Method of Multipliers を採用し、初期値には分光反射率の基底表現を用いた閉形式による解を用いる。

第5章 「相互反射分離と分光反射率推定に関する実験」ではシミュレーション画像や実際に撮影された画像に対して第4章で提案した推定手法を適用し、手法の有効性について検討する。まず、スパース性を評価する正規化項の係数を決定するためシミュレーションデータを用い、これにより得られた係数を以降の実験に用いる。また、本手法の精度を評価するため、24種類の色紙を用いた実験を行う。この結果から従来手法を上回る精度を達成していることを示す。さらに一般的なシーンの画像を用いた実験により定性的な評価を行う。

第6章 「濡れの分光散乱モデル」では濡れが見えに与える影響について議論するために素材内で発生する散乱について着目し、物理的な説明を与える分光モデルの導出を行う。本研究では表面下散乱における濡れの影響を Henyey-Greenstein 位相関数を用いることで記述し、Lambert-beer の法則を用いて素材の吸収が濡れによる色変化を起こしていることを示す。特に、濡れによる影響を光路長の変化として扱うことで素材の濡れ度合いを考慮したモデルを導出する。さらにテクスチャを持つ素材に拡張するため、本研究では二色からなる素材についてのモデルへ拡張する。

第7章 「濡れと吸収係数の同時推定手法」では第6章で導出されたモデルを用いることで分光吸収係数と濡れ度合いを同時に推定する手法の提案を行う。さらに本手法では単一の分光画像から乾いているときの分光吸収係数を推定する。この分離問題は不良設定問題となることから、十分な初期値を用いることで大域解が得られることが知られている Alternating Minimization を用いた最適化を用いる。

第8章 「散乱係数と濡れの推定に関する実験」ではシミュレーション画像や実際に撮影された分光画像に対して第7章で提案した推定手法を適用し、手法の有効性を検討する。まず、本モデルで用いている重み関数をモンテカルロシミュレーションにより求め、これを用いて濡れ度合い推定の評価を行った。特に、本手法で扱うパラメータは実際の計測が困難であるため、濡れ度合いの分布を用いた定性的な評価を行う。また、本手法における濡れ度合いの評価のため、しみ込ませた水の質量を計測することで代替的に定量的な評価を行う。さらに、本手法の収束性やノイズに対する安定性について評価を行う。

第9章 「結論」では、全体を総括する。

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 1 copy 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：	情報通信	系
Department of, Graduate major in	情報通信	コース
学生氏名：	大川拓樹	
Student's Name		

申請学位 (専攻分野)：	博士	(工学)
Academic Degree Requested	Doctor of	
指導教員 (主)：	佐藤いまり特任教授	
Academic Supervisor(main)		
指導教員 (副)：	金子寛彦教授	
Academic Supervisor(sub)		

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

The capture of scene spectral characteristics including the reflectance and the absorption coefficient provides a wealth of information about the material properties of objects and has proven useful for applications including classification, synthetic relighting, medical imaging, and more. However, the appearance is affected by the states including illuminants, interreflection, wetness, and more. In contrast, the capture of scene states is important as well. For example, surface wetness can inform us of slippery spots on a road to autonomous vehicles, muddy areas of a trail to humanoid robots, and the freshness of groceries to us. Thus many methods to accurately separate the spectral characteristics from the states have been proposed. While effective, past methods have needed the reflectance to be known or have not considered physically correct models.

This research aimed to propose novel methods estimating the spectral characteristic and the state of the object. Especially, spectral appearance models and estimation methods were proposed by focusing on multiple bouncing of light. First, a challenging and novel problem of simultaneously performing spectral reflectance recovery and interreflection removal from a single hyperspectral image was proposed. Specifically, we model this problem using a nonnegative matrix factorization formulation and introduce a closed-form solution method and a scalable optimization algorithm on the basis of the alternating direction method of multipliers.

Next, an analytical spectral appearance model of wet surfaces was derived. The model expresses the characteristic spectral sharpening due to multiple scattering and absorption in the surface. Moreover, a novel method for estimating key parameters of this spectral appearance model was proposed. The model enables the recovery of the original surface color and the degree of wetness from a single multispectral image. To the authors' knowledge, this was the first work to model and leverage the spectral characteristics of wet surfaces to decipher its appearance.

The experiments were conducted to validate their effectiveness. For interreflection removal, the experimental results demonstrated its effectiveness on scenes with a single or two reflectance colors, containing possibly concave surfaces that lead to interreflection. For wetness estimation, the results demonstrated the accuracy of the proposed model and the effectiveness of the proposed method for surface wetness and color estimation.

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).