

平成 27 年 6 月 18 日現在

機関番号：62615

研究種目：新学術領域研究（研究領域提案型）

研究期間：2010～2014

課題番号：22135002

研究課題名（和文）質感認知に関わるコンピュータビジョンと情報論的解析

研究課題名（英文）Computer Vision for Shitukan 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・准教授

研究者番号：50413927

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 44,700,000円

研究成果の概要（和文）：本計画班では、画像のみ（または照明変動下で観察される画像列）から物体形状および質感をモデル化する手法の開発に取り組む。特に、画像として観察される光学情報のみならず、人間の質感判断の特性や観察環境に対する質感知覚の依存性に関する知見を積極的に活用することにより、人間が行っていると考えられる情報処理をインバースレンダリングの枠組みに組み込み、実在物体の形状や質感をモデル化する手法の開発を目指す。また、これまで複雑な光学特性を持ち解析が難しいとされてきた、実在物体の持つ反射および蛍光の分光特性のモデル化にも取り組み、任意照明下での正しい色再現も実現する。

研究成果の概要（英文）：The goal of our project is modeling and predicting the complex appearance of real objects under natural illumination conditions. The appearance of an object is greatly influenced by its surface materials as well as the surrounding illumination, and it is essential for scene understanding to be able to predict its variation. We will develop image-based and inverse-rendering approaches to modeling objects' shapes and reflectance solely from images taken under varying lighting conditions.

研究分野：コンピュータビジョン

キーワード：形状推定 反射, 蛍光解析 インバースレンダリング 質感知覚

1. 研究開始当初の背景

コンピュータグラフィックス(CG)を用いて現実感の高い映像コンテンツを生成するためには、その入力としてシーンの物体(形状や反射特性)および光源分布に関する精密なモデルを必要とする。描画技術の急速な発展の一方で、実物体が持つような複雑な質感の生成を追求すればするほど、モデルの構築が難しいという問題が存在する。本計画研究の代表者は、現実に存在する物体を観察することにより、その物体の見え方に関するモデルを獲得するインバースレンダリングと呼ばれるアプローチ(従来のCGにおける描画の逆問題という意味を持つ)に早くから取り組み、実在シーンの観測に基づきシーンの光源環境モデルや実在物体の反射特性および形状モデルを自動構築する技術を開発してきた。観察される画像には、対象シーンの幾何形状および反射特性、光源環境などの全ての影響が集約されるため、画像を用いて全ての項目を同時に推定することは困難である。そのため、従来のインバースレンダリングでは、これらの要素のうち幾つかは既知であると仮定し、残りを推定するアプローチがとられてきた。

2. 研究の目的

本計画班では、画像のみ(または照明変動下で観察される画像列)から物体形状および質感をモデル化する手法の開発に取り組む。特に、画像として観察される光学情報のみならず、人間の質感判断の特性や観察環境に対する質感知覚の依存性に関する知見を積極的に活用することにより、人間が行っていると考えられる情報処理をインバースレンダリングの枠組みに組み込み、実在物体の形状や質感をモデル化する手法の開発を目指す。また、これまで複雑な光学特性を持ち解析が難しいとされてきた、実在物体の持つ反射・蛍光の分光特性のモデル化にも取り組み、任意照明下での正しい色再現も実現する。

3. 研究の方法

本研究では、人間の質感知覚のメカニズムの解明に基づき、シーンに関する事前知識なしに画像のみを用いてシーン中の実在物体の形状および質感を推定する技術および物体の質感を効果的に伝える画像生成技術の開発を行う。さらに、他研究班が必要とする質感の映像刺激を合成する技術を開発し、本領域の要素技術として提供する。具体的な研究項目は以下の通りである。

質感知覚のメカニズムに基づく実在モデルの獲得:

形状、材質、光源分布の要素の相互関係の解析と同時推定の不定性を解くのに有効な事象や統計量の解析を進め、人間の質感判断の特性に関する知見を得ることができた。この知見に基づき、照明変動下で観察

される画像列から物体形状および反射特性を獲得する手法を開発する。

画像生成・加工技術の開発:

実在物体の反射特性及び蛍光特性のモデル化技術を発展させ、任意照明下での物体の見えを合成する手法を実現する。また、蛍光成分がどのように知覚され、どのような影響を質感としてもたらしているのかについて検討する。

4. 研究成果

1) 品質や色彩調和を測る技術

ユーザが画像特徴量に対してどのような印象を得るのかについて調査を進め、写真の持つ主観的な品質や色彩調和を評価する手法を開発した。従来の色彩調和モデルは、単純な配色を刺激とする心理実験に基づき構築されており、従来モデルでは様々な色が様々な形で同時に表れる写真の色彩調和を適切に評価することができない。本研究では、写真の色彩調和はその写真中の局所領域の組合せで評価できると仮定し、その主観的品質が高いか低いかの識別手法を設計し、大規模データベースを用いた実験によりその有効性を確認した。

2) 物体の形状推定技術

形状、材質、光源分布の要素の相互関係の解析とこれらの同時推定の不定性を解くのに有効な事象や統計量の解析を進め、人間の質感判断の特性や観察環境に対する質感知覚の依存性に関する知見を得ることができた。これらの知見に基づき、照明変動下で観察される画像列から物体形状を獲得する技術を開発した。これまで提案されてきた手法の多くが、対象物体の見えが反射モデル式により記述されることを仮定している。これに対し、本研究では、対象物体の反射モデル式を仮定することなく形状を推定することができる頑健な手法を提案した。具体的には、光源変動に伴い観察される輝度履歴の性質、輝度ヒストグラムの分布特性(歪度)が対象物体の材質と関係しており、歪度の考慮により素材の違いに対応可能な頑健な手法を開発することができた[3]。さらに、画像列の特性から光源方向を推定し、任意光源環境下(自然な照明下)での物体の見えの再現する技術を開発した。

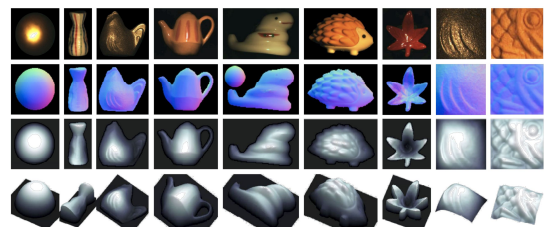


図1: 推定された物体形状。複雑な素材、表面反射特性で構成される物体に対しても良好な推定結果を得ることができた。

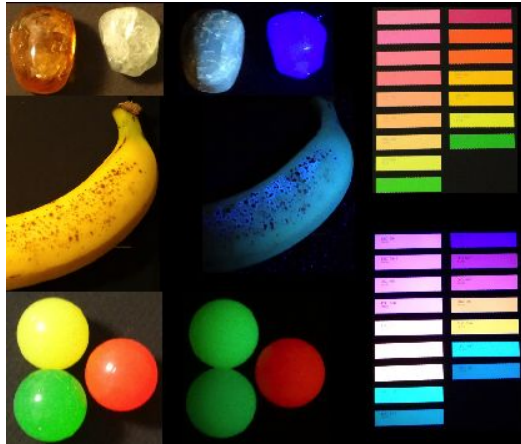


図 2 : 蛍光成分を含む物質例: 鉱石, バナナの皮, ポール, 蛍光塗料を含む紙. 左側または上側の画像は自然光のもとで観察される物体の見えを, 右側または下側の画像は, 紫外光のもとで観察された蛍光発光を示す.

3) 物体表面の反射特性のモデル化

物体表面の色, 明るさは照明条件により大きく変化することが知られている. 色恒常性の研究分野では, 照明の影響を除去し, 物体色を推定するための様々なアルゴリズムが提案されてきた. また, 画像合成の研究分野では, 複雑な光源環境下で物体の見えを正確に生成するための様々な技術が提案されてきている. しかしながら, 物体の見えや色の推定に関わる技術の多くは, 対象となる物体表面が反射成分のみにより構成されることを仮定している. しかしながら, 私たちの身の回りに目を向けてみると, 例えば白紙, 塗料, 染料, 植物など, 反射成分のみならず蛍光成分を含む物体が多数存在する. 本研究では, 実物体の持つ蛍光特徴にも着目し, 対象物体の持つ反射成分及び蛍光特性をモデル化し, 実物体の持つ豊かな質感の再現を実現した.

はじめに, 動的な物体の色情報の計測と再現を目的として, 実在シーンのマルチスペクトル画像を獲得し, 任意光源環境下での質感再現を行う技術を開発した. 特に, 一般的な物体の分光反射率の統計量に基づき物体の分光反射率を推定する技術を発展させ, 動的に変化するシーンの分光反射率を推定する技術を開発した[1].

さらに, 対象物体が反射ならびに蛍光成分により構成される場合, この物体の見えをモデル化して任意照明下での画像合成を行うためには, 対象シーンの分光反射率と蛍光物質の吸光度を示す励起関数と発光の分光分布を示す蛍光関数を獲得する必要がある. 最も確実な方法は, 単波長により構成される照明を準備して, 照明の波長を変化させながら照射し, 対象物の明るさを様々な波長で記録する方法である. しかしながら, このアプローチは, 全ての照射波長と観察波長の組み合わせを試す必要があ

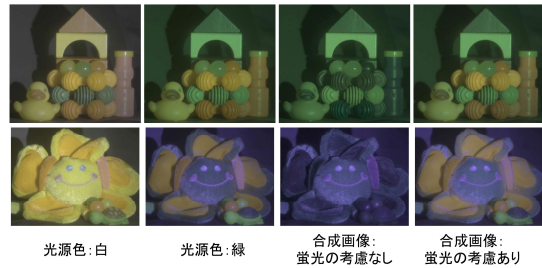


図 3 : 反射および蛍光成分を含むシーンの画像合成例. 提案手法により対象物体の蛍光特性を考慮することにより, 任意照明下での正しい色彩を実現できる様子が分かる (右の図: 合成画像: 蛍光の考慮あり).

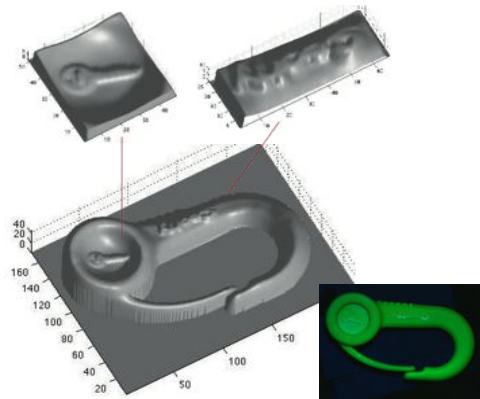


図 4 : 蛍光成分から推定された物体形状. 右下に対象物であるキーホルダの画像を示す.

り, 膨大な計測数を要する. という問題が存在する (照射波長と観察波長により構成される行列は, Donaldson行列と呼ばれる).

本研究では, 実世界の反射特性や蛍光特性の統計量に基づき照射波長と蛍光波長の組み合わせを決定し, 少ない計測に基づき実物体の反射・蛍光特性をモデル化する手法を提案した[4]. さらに, 波長領域で高周波に変化する分光分布を持つ光源が, 反射・蛍光特性を分離して計測するのに有効に働くことを明らかにして, 2種類の照明下で撮像された2枚の分光画像に基づき対象シーンの反射・蛍光特性のモデル化を実現した[2]. 図3に提案手法によりモデル化された反射・蛍光成分の双方を用いて画像合成を行った例を示す. 蛍光特性を考慮することにより任意照明下でのシーンが見えが正確に再現できる様子が分かる.

4) 蛍光特性に基づくインバースレンダリング技術

従来の反射のみを考慮した画像解析では困難とされる問題への蛍光解析の効果的な利用においても成果を挙げた.

蛍光に基づく形状推定:

反射特性に基づく形状推定手法で障害となっていた相互反射や鏡面反射の影響を蛍光

特性の利用により容易に回避できることを示した[6]。図4に提案手法により推定された形状(対象物はキーホルダー)を示す。キーホルダーの物体表面では、鍵の模様や文字などの詳細が推定できている様子が分かる。

反射・蛍光特性に基づくカメラの分光感度ならびに照明色の推定:

反射ならびに蛍光特性を効果的な利用により、画像を撮像するカメラの分光感度と照明分光分布の同時推定を実現し、未知の照明下で未知の特性を持つカメラにより撮影された画像の色補正や任意照明下での画像再現を実現する画期的な技術を開発した[5]。

5. 主な発表論文等

(雑誌論文)(計 13 件)

1. S. Han, I. Sato, T. Okabe, and Y. Sato, "Fast Spectral Reflectance Recovery using DLP Projector," International Journal of Computer Vision (IJCV), vol. 110, Issue 2, pp. 172-184, 2014年11月.

2. Y. Fu, A. Lam, I. Sato, T. Okabe, Y. Sato: Separating Reflective and Fluorescent Components using High Frequency Illumination in the Spectral Domain, Proc. International Conf. Computer Vision (ICCV 2013), 457-464, 2013

3. Lu F, Matsushita Y, Sato I, Okabe T, and Sato Y, Uncalibrated Photometric Stereo for Unknown Isotropic Reflectances, Proc. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2013), 査読有, pp. 1490-1497, 2013.

4. A. Lam and I. Sato: Spectral Modeling and Relighting of Reflective-Fluorescent Scenes, Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2013), 1452-1459, 2013.

5. S. Han, Y. Matsushita, I. Sato, T. Okabe, and Y. Sato, "Camera Spectral Sensitivity Estimation from a Single Image under Unknown Illumination by using Fluorescence", Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2012), 805-812, 2012.

6. I. Sato, T. Okabe, Y. Sato: Bispectral Photometric Stereo based on Fluorescence, Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2012), 270-277, 2012.

6. 研究組織

(1) 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・准教授
研究者番号: 50413927

(2) 研究分担者

佐藤洋一 (SATO, Yoichi)
東京大学生産技術研究所・教授
研究者番号: 70302627

岡部孝弘 (OKABE, Takahiro)
九州工業大学・
大学院情報工学研究員・准教授
研究者番号: 00396904

(3) 連携研究者

Antony Lam
埼玉大学理工学研究科・助教

Yinqiang Zheng
国立情報学研究所
コンテンツ科学研究系・研究員