

令和 6 年 6 月 7 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K11866

研究課題名（和文）非伝統的モデルに基づく画像列からの物体形状・照明解析

研究課題名（英文）Analysis of Object Shape and Illumination from Image Sequence Using Unconventional Models

研究代表者

右田 剛史 (Migita, Tsuyoshi)

岡山大学・環境生命自然科学学域・助教

研究者番号：90362954

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、画像列に映った物体の3次元形状や撮影環境のパラメータを推定する手法の高度化を行った。これは、推定パラメータ（物体位置姿勢形状・光源位置・テクスチャ）に基づく生成画像と入力画像の差を最小化するようにパラメータを反復推定する問題であり、画像生成に（従来のラスタ法ではなく）レイトレーシングを用い反射や影を有効に利用できること、異なる視点から撮影された複数の画像を処理できること等が特徴である。具体的には、画像の局所に影響するパラメータ（テクスチャ）に関して、画像生成と数値最適化を効率的に扱うための中間表現を導入し、広範に影響するパラメータ（形状や光源）とともに推定する方法を確立した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

画像に映った物体は、カメラや光源の位置によって見え方が大きく変化するため、これらの影響を取り除くことが、物体の形状や色彩を正確に推定する上で重要である。これが可能であれば、画像からの3次元モデル生成（写真測量）や人体の状態の解析等に利用でき、HCI、個人認証、自動運転等の基礎としても有用である。本研究では、近年普及が進むハードウェア支援レイトレーシング法と深層学習系の手法（ともにGPUを利用する）を組み込んだ画像解析を検討し、更なる研究の基礎となる技術を確立した。

研究成果の概要（英文）：In this research, we have developed a method for estimating parameters, such as object shape and illumination, from a given set of images. The formulation is minimization of the differences between given and synthesized images. The synthesis employs the ray-tracing algorithm, which enables us to exploit reflections and shadows, which are often considered to be harmful for estimation, in estimating shape and/or illumination parameters. The method also make use of multiple viewpoints. To do so, a new image representation model is introduced, which enables us to efficiently calculate the image and its gradient with respect to locally-affected parameters, i.e. texture intensity values. This is combined with difference-quotient-based approximation w.r.t. globally-affected parameters, i.e. object shape and light positions, to construct a joint estimation method.

研究分野：コンピュータビジョン

キーワード：パラメータ推定 画像列 非線形最適化 ヤコビ行列 レイトレーシング

### 1. 研究開始当初の背景

画像に映った物体は、カメラや光源の位置によって見え方が大きく変化するため、これらの影響を取り除くことが、物体の形状や色彩を正確に推定する上で重要である。これが可能であれば、画像からの3次元モデル生成(写真測量)や人体の状態の解析等に利用でき、HCI、個人認証、自動運転等の基礎としても有用である。画像からの物体や環境の推定法の幾つかは画像生成(CG)の逆問題という観点に基づいている。

画像生成は、物体情報にカメラや光源の影響を付加することで写実的な画像を生成する技術である。これは物体表面における光の反射等の物理現象をシミュレートすることにより行われる。近年は、レイトレーシング法による描画を支援する専用のハードウェアがGPUに組み込まれており、複雑な光学現象を伴う画像を高速に計算可能となっている。また、GPUの高い数値計算性能は非線形最適化に有用である他、深層学習にも用いられている。

### 2. 研究の目的

物理モデルに基づく画像解析では、1枚の画像からでは物体要因(形状・色彩等)とカメラ・光源要因を分離することはできない。光源の異なる複数の画像を使って分離する手法は照度差ステレオ法と呼ばれる。本研究では、これを発展させることを目的としているが、視点の異なる複数の画像を導入するなど、従来の照度差ステレオ法の枠にはとられない。

画像生成の逆問題においては、推定されたパラメータで生成した画像が入力画像に近くなるようにパラメータの修正を繰り返す。これは、深層学習で用いられる技術との共通性もある。本研究では、画像生成・その勾配の計算・勾配によるパラメータ修正等の効率的なモデルを確立することを目指す。この際、GPUによる計算を行えるように留意する。

### 3. 研究の方法

本研究では以下のことを中心に検討する。(i) レイトレーシングやそれに類する技術に基づく画像生成と偏微分(ヤコビ行列の計算)を効率的に実現するためのデータ構造の設計とアルゴリズムの実装を検討する。偏微分は、形状や環境のパラメータの変化によって引き起こされる画像の変化の計算であり、形状や光源等1つのパラメータが画像の広範に影響を及ぼす場合は、差分商近似が適している。複雑な反射を伴っても、1つのパラメータの影響範囲が追跡可能な場合(テクスチャ画素値等)にはより効率的な表現を用いる。(ii) 機械学習関連技術が利用できる場合には、それを利用する。具体的には、順方向画像生成の一部、その自動微分、パラメータ推定の一部に適用可能な部分がある。(iii) これらを組み込んだ最適化計算の効率的なアルゴリズムを検討する。例えば、係数行列の特殊な疎構造に特化した反復法を検討する。(iv) シミュレーション/実画像/公開データによる検証実験を行う。

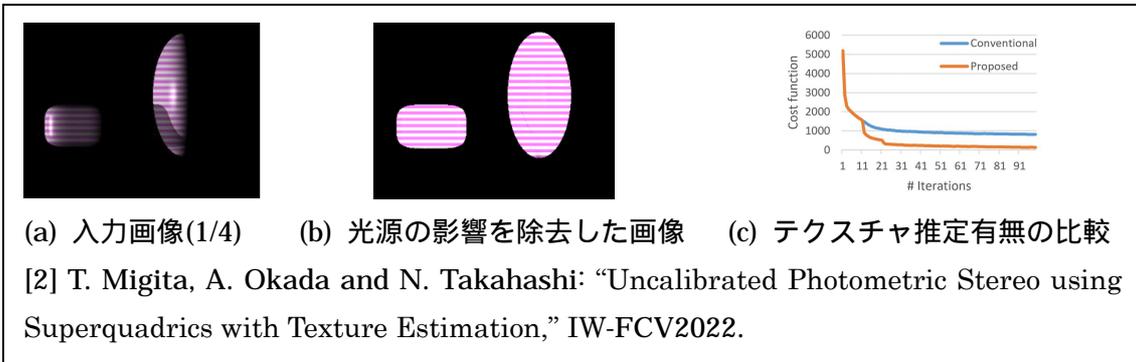
### 4. 研究成果

(1) 従来の2次曲面(楕円体および一葉双曲面)を利用した照度差ステレオ法を3つの観点で拡張した[1]。(1-1)4次の超楕円体も利用できるように補助的関数を拡張した。(1-2)前述の補助的関数の計算は、影を計算する1段階レイトレーシングと酷似していることから、これらを共通化し、物体の影の影響を考慮することによる光源方向推定の安定化を図った。(1-3)画像生成と推定計算の多くをGPUで行うことにより、CPUを介することによるオーバーヘッドを低減した。

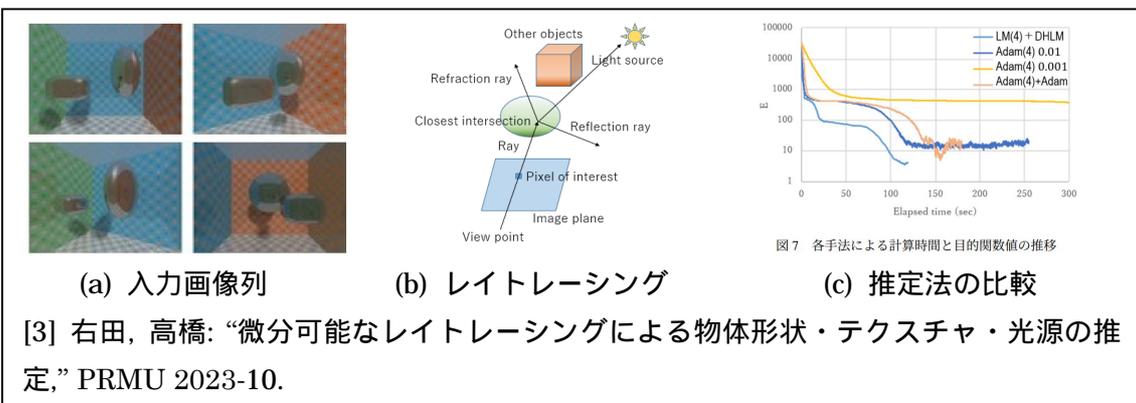


(2) 前述の4次の超楕円体(楕円体を含む)を利用した推定手法を拡張し、物体形状と配置・光源位置等のパラメータに加えて物体表面のテクスチャも推定するようにした[2]。(2-

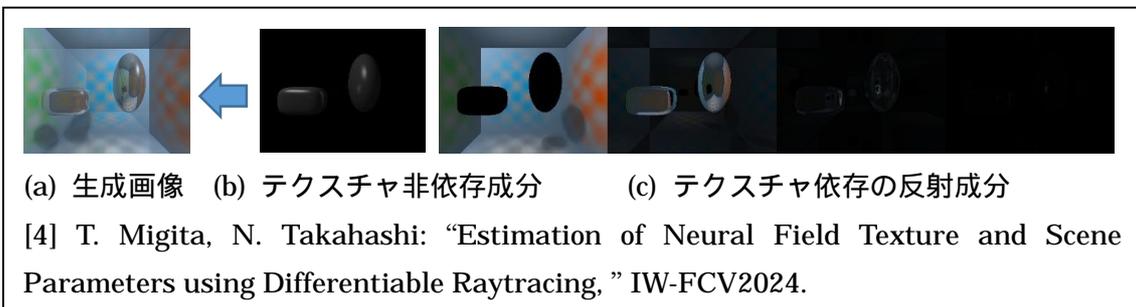
1) 物体表面の色・テクスチャは、従来法では入力画像から推定したまま更新していなかったが、これを推定パラメータに含めることにより残差が低減された。(2-2) 形状等のパラメータとテクスチャは、パラメータ数が大きく異なることや、線形性等の性質が異なるため、効率的なヤコビ行列の計算法とパラメータ推定法を新たに考案した。(2-3) 鏡面反射や光源の距離減衰を導入した。



(3) 描画モデルを従来型グラフィクス(三角形に基づく描画)からレイトレーシングに変更した[3]。(3-1) レイトレーシングは、光の反射を追跡して画像を生成する手法であり、ヤコビ行列(出力画像とテクスチャの関係)は複雑になる。この計算を効率的に行うためのデータ表現法(疎行列表現)と計算法を新たに考案し、それに基づくパラメータ推定法を実現した。これらのほとんどは GPU 上で実行される。(3-2) レイトレーシングの利用は透視投影モデルとほぼ不可分であり、従来利用していた平行投影モデルから切り替えた。また、異なる視点から得られた画像を入力し解析できるようにした。(3-3) 交互推定を引き続き用いる一方、Adam 等の機械学習系手法との組み合わせや比較を行った。



(4) 前項を幾つかの点で拡張した[4]。(4-1) ニューラルフィールドを用いて環境テクスチャを表現し、これに基づく画像描画法とパラメータ推定を導入した。即ち、レイトレーシングで(画像を直接生成せず)光線追跡結果を中間表現として格納し、DNN フレームワークで画像を完成させる 2 段階法とした。このため、画像生成の一部には自動微分が適用可能であり、テクスチャの推定は専用のアルゴリズムを要せず、汎用の DNN の学習に帰着された。これにより、環境テクスチャと大域的パラメータの同時(交互)推定を実現した。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Migita Tsuyoshi, Okada Ayane, Takahashi Norikazu	4. 巻 1578
2. 論文標題 Uncalibrated Photometric Stereo Using Superquadrics with Texture Estimation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Communications in Computer and Information Science (CCIS, volume 1578)	6. 最初と最後の頁 34 ~ 48
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-031-06381-7_3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nasu Takumi, Migita Tsuyoshi, Takahashi Norikazu	4. 巻 1405
2. 論文標題 Uncalibrated Photometric Stereo Using Superquadrics with Cast Shadow	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Communications in Computer and Information Science, vol 1405	6. 最初と最後の頁 267 ~ 280
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-81638-4_22	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 T. Migita, A. Okada and N. Takahashi
2. 発表標題 Uncalibrated Photometric Stereo using Superquadrics with Texture Estimation
3. 学会等名 The 28th International Workshop on Frontiers of Computer Vision (IW-FCV2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Nasu, T. Migita and N. Takahashi
2. 発表標題 Uncalibrated Photometric Stereo using Superquadrics with Cast Shadow
3. 学会等名 The 27th International Workshop on Frontiers of Computer Vision (IW-FCV2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 右田剛史, 高橋規一
2. 発表標題 微分可能なレイトレーシングによる物体形状・テクスチャ・光源の推定
3. 学会等名 信学技報 PRMU 2023-10
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 T. Migita and N. Takahashi
2. 発表標題 Estimation of Neural Field Texture and Scene Parameters using Differentiable Raytracing
3. 学会等名 The 30th International Workshop on Frontiers of Computer Vision (IW-FCV2021) (国際学会)
4. 発表年 2024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
---------	---------