

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月11日現在

機関番号：15301

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22700181

研究課題名（和文） 3次元形状・照明・反射特性の同時復元

研究課題名（英文） Simultaneous recovery of shape, lighting and reflectance

研究代表者

右田 剛史（MIGITA TSUYOSHI）

岡山大学・大学院自然科学研究科・助教

研究者番号：90362954

研究成果の概要（和文）：

照明条件の異なる複数の画像から高精細な3次元形状モデル・光源・反射特性を推定する。これらのパラメータに基づいて生成される画像と入力画像を比較することによりパラメータを推定するが、これには膨大な計算を要し、手法の速度・精度・安定性を向上させる必要がある。デスクトップ PC を用いて有効画素約2万・画像数30の画像列を1分程度で処理できるようになった。他100例以上の画像列においても手法の有効性を確認した。

研究成果の概要（英文）：

Photometric stereo method recovers the shape and reflectance of an object along with lighting conditions, minimizing the differences between input images and synthesized images under the recovered parameters. Several techniques has been employed and/or invented to overcome difficulties of the problem, and more than 100 image sets are successfully processed. Typical calculation time is about a minute for 30 images with 20,000 effective pixels using a desktop PC.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
総計	1,400,000	420,000	1,820,000

研究分野： 知覚情報処理・知能ロボティクス

科研費の分科・細目： コンピュータ・ビジョン

キーワード： 照度差ステレオ法，3次元形状復元，非線形最小2乗法，Torrance-Sparrowモデル，Levenberg-Marquardt法，前処理付共役勾配法

## 1. 研究開始当初の背景

画像から3次元形状を推定する照度差ステ

レオ法は、図1に示す様な、カメラを固定し光源を動かして撮影した画像群から物体形状の3次元計測を行う手法である(Georghiadis,

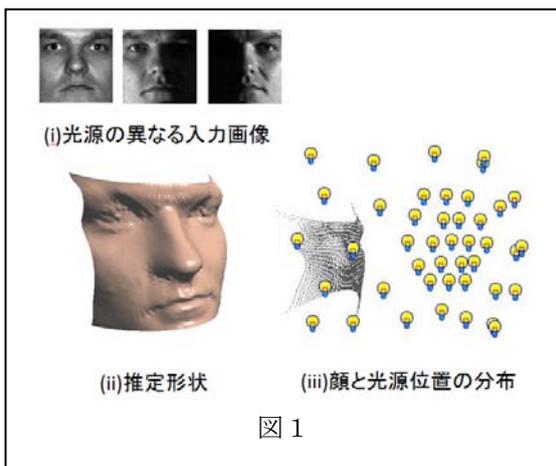
ICCV 2003等). 物体形状とともに物体表面の反射特性・光源位置も推定することができるため, 光源位置や反射特性が未知であっても良い. これはコンピュータグラフィックスの逆問題であり, 推定すべきパラメータを適当に仮定して生成した画像と入力画像との差が最小になるようなパラメータを選ぶ最適化問題として定式化できる. この問題は十万個程度のパラメータを同時に推定する非線形最適化問題であり取扱が難しいため, 従来は光源制御装置やプロジェクタを用いて比較的高精度の計測を行った後, 最適化により微調整する等の補助的な役割に留まることが多かった. 一方, 我々は最適化の性能を大幅に向上させることにより, 特殊機材によって精密な初期値を与えることなく形状・反射特性・光源位置の同時推定が可能であることを示し, 幾つかの物体に対して良好な結果を得た(Migita et al., ECCV 2008). ただし, 入力画像によっては奥行きが誇張されたり実物より薄く推定される問題(GBR不定性と呼ばれる問題)等が起こる. また, 当時の計算法は計算能力が不十分なために最適化計算の収束を待たずに数時間で計算を打ち切っていたため, 十分な精度が得られなかったと考えられる. これらの問題を解決し, 専門的な装置に依らない3次元計測システムの実用化を目指す.

## 2. 研究の目的

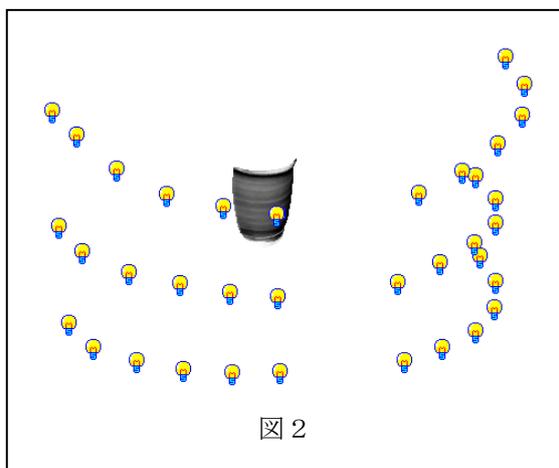
本研究で前提とする形状・反射特性・光源推定の同時復元法は, 一般的に入手が容易なカメラと電球のみで物体の3次元形状を計測することが可能である. また, 定式化や解法についても, 最小2乗法や汎用的な非線形最適化アルゴリズムを中心としているため, 手法の拡張やモデルの変更の自由度が高いと期待される. このように, 本手法では簡易な装置を用い, 平易な定式化を用いる反面, 計算量が多くなることや不良設定に近い問題設定になるといった課題が生じることは容認し, 技術開発によりこれを克服することを目指す. 非線形定式化に伴うこれらの課題を解決するための技術は, 本手法を拡張する際にも重要な役割を果たすと考えられる. 例えば, 本研究では光源位置のみを変化させるが, カメラ位置のみを変化させる **Structure-from-Motion** の手法と組み合わせることで更に高品位の形状復元を行うことが, 本研究の拡張として考えられる. なお, 推定した3次元形状は, 3D コンピュータグラフィックスの手法で写実的な画像生成に用いる他, 3次元モデルに基づく画像処理(物体追跡・認識等)に応用することが期待できる.

## 3. 研究の方法

本計画には, (1)大規模問題を効率的に処理する計算法の確立, (2)手法の基となる定式化の理論検証・拡張の検討, (3)実画像を用いた大量データでの評価実験の3つの部分がある. (1)に関して, 本問題は未知数の多い非線形最適化問題であるから, 初期値の設定方法, 効率的な最適化の計算法, 局所解の問題等を検討する必要がある. 特に計算効率の向上は,



同じ時間で達成できる精度の向上にも直結するため、最も重要な課題である。本手法では一般的なデスクトップPCでの計算を考えると、近年注目されているマルチコアCPUやGPUを用いた並列計算法を検討する。その他、初期値の設定法、および初期値から最終的な推定に至るまでに段階的に変更される各種の制御パラメータを従来よりも詳細に検討し計算効率と安定性の向上を図る。また、目標の1つとして、合成画像に対して迅速に残差を0にすることがある。(2)に関して、光源が未知の照度差ステレオの問題点として知られるGBR不定性が本問題においても不安定要因となると考えられる。また、前項の目標(合成画像に対する残差0)が容易に達成できない原因の1つとも考えられる。このような問題に対処するために目的関数や計算手法を拡張することを検討する。(3)前項の問題や他の要因が復元形状に対してどの程度の影響を与えるかを実画像やシミュレーション実験により検証する必要がある。特に、光源の分布、影のできかた等によって影響の大きさや性質が異なると考えられるため、様々な光源分布での実験を要する。例えば、図1は光源が物体の前方のみに分布し、図2は光源が物体の両側に分布する例である。また大量の実験を行うには計算速度の向上が重要である。



#### 4. 研究成果

本研究は照明条件の異なる複数の画像から高精細な3次元モデルを推定する手法の速度・精度・安定性を向上させることを目的とし、下記のような成果を得た。

(1) 画素数が約2万、画像数が約30の場合を主として検討し、形状・反射特性・光源の推定(約10万の未知数の推定)が1分程度で完了するアルゴリズムを開発した。具体的には、マルチコアCPUとGPUを効果的に利用できる並列アルゴリズムを検討することで、数倍の計算速度の向上が得られた。更に、初期値の設定法や計算手順の改善により、多くの画像で探索が迅速かつ安定に行えるようになり、従来用いていた例外的な処理の多くは不要となった。この手法の有効性を100例以上の画像列で確認した(文献①)。図1(ii)(iii)及び図2は推定結果の例である。

(2) 従来の目的関数はモデルによって生成された画像と入力画像の残差2乗和であったが、残差と光源方向の外積の2乗和を用いる方法を検討し、計算初期の速度が向上することが分かった。なお、外積の2乗和そのものは性能が悪化する場合があるため、これを改善するための正規化処理を検討した(文献③④)。

(3) 高解像度画像を利用した形状の高精細化のためには、形状をスプライン補間で表す等の効率的表現を要する。文献①ではこの方法の計算原理を示した。具体的な方法としては関連研究(文献②⑤)で検討した手法(スプライン補間による形状表現と正則化付きの最適化)を利用することが考えられる。

(4) 実画像のみならず、合成画像を用いた場合でも解付近で2次収束が得られないことが明らかとなったため、目的関数の設計には更なる検討を要する。収束速度を低下させる

原因として、また GBR 不定性と関連する推定形状の不安定要因としてカメラの焦点距離に着目し、推定結果の挙動を解析し、目的関数の改良の方向性を検討した。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 5 件)

① 右田剛史, 槌谷洋介, 尺長健: 物体形状・反射特性・光源の同時推定の実装法と評価, 情報処理学会研究会 CVIM-181, 2012 年 3 月 16 日, 東京.

② 渡邊隼, 右田剛史, 尺長健: スプライン補間を用いた動画像からのステレオ形状復元, 情報処理学会研究会 CVIM-180, 2012 年 1 月 20 日, 大阪.

③ T. Migita, K. Sogawa, T. Shakunaga: Specular-free Residual Minimization for

Photometric Stereo with Unknown Light Sources, PSIVT2011, 2011 年 11 月 22 日, 韓国.

④ 祖川和弘, 右田剛史, 尺長健: 光源色の補間を用いた物体形状・反射特性・光源の同時推定, 情報処理学会研究会 CVIM-176, 2011 年 5 月 19 日, 大阪.

⑤ 高田潤, 右田剛史, 尺長健: スプライン曲面を用いたステレオ形状復元法の改良, 情報処理学会研究会 CVIM-176, 2011 年 5 月 19 日, 大阪.

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

右田 剛史 (MIGITA TSUYOSHI)  
岡山大学・大学院自然科学研究科・助教  
研究者番号: 90362954