

令和 2 年 5 月 29 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00239

研究課題名(和文)高解像度画像列からの物体形状・姿勢・照明解析

研究課題名(英文)Analysis of object shape, pose and illumination from high-resolution images

研究代表者

右田 剛史(Migita, Tsuyoshi)

岡山大学・自然科学研究科・助教

研究者番号：90362954

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文):画像列に映った物体の3次元形状を推定する形状復元法や動画像中の物体追跡は、いずれもCGによる画像生成の逆問題であり、推定すべきパラメータに応じて、照明条件の違いに基づく照度差ステレオ法、視点の違いに基づく多眼ステレオ法、視点と形状を同時に推定するSfM法、物体追跡等の様々な名称が与えられている。本研究では、これらの手法に共通する計算を効率的に行う手法を検討した。特に高解像度画像においても効率性を損なわない処理方式を目指した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、CGによる画像生成の逆問題として定式化される形状復元・物体追跡等のうち、ある種のクラスに属する問題に共通して現れる計算に着目し効率化や高機能化を検討した。特に高解像度画像や現代の高並列計算機の活用、また種々の画像生成モデルへの拡張性等に留意しており、今後の研究の更なる発展を支える重要な基盤技術を構成している。また、現時点の応用例として、従来1つのカメラを対象としていた未校正照度差ステレオ法を2つのカメラに拡張する一つの方法を確立し推定精度の向上を確認した。また、画像中の人物解析等での有効性も確認した。

研究成果の概要(英文): In this research, we have developed an efficient formulation and implementation for various methods for image analysis that are formulated as optimization problems minimizing the differences between input and synthesized images that reflects estimated parameters. Specifically, an uncalibrated photometric stereo with two cameras and human motion analyses based on a SfM method are investigated. The proposed methods are designed to be efficient even on high-resolution images, by exploiting not only advanced mathematical techniques but also computational powers of modern highly-parallel processors.

研究分野：コンピュータビジョン

キーワード：3次元形状復元 未校正照度差ステレオ法 2眼ステレオ 非線形最小2乗法 2次曲面 SfM 物体追跡

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

画像列に映った物体の3次元形状を推定する形状復元法や動画像中の物体追跡は、いずれもCGによる画像生成の逆問題であり、推定すべきパラメータに応じて、照明条件の違いに基づく照度差ステレオ法、視点の違いに基づく多眼ステレオ法、視点と形状を同時に推定するSfM法、物体追跡等の様々な名称が与えられている。本研究では、これらの手法を統一的な定式化で扱うことを目的とする。特に高解像度画像を効率的に処理可能な方式を検討する。また、様々な画像生成モデルに容易に対応できることが望ましい。具体的な応用としては、運動または変形する物体の高精細な形状復元、画像中の人物解析等が挙げられる。

2. 研究の目的

従来の画像処理手法は数万画素程度の解像度(あるいは、その程度に縮小した画像)を想定していることが多かったが、近年では数千万画素の高精細画像を撮影できるカメラが普及しており、高解像度画像を現実的な時間で処理できる効率的な手法を確立することが重要である。その際、近年の超並列計算ハードウェアを有効利用できる並列性等の観点も重要である。

また、本研究では画像生成の逆問題である3次元形状復元(SfM)法や、動画像中の物体追跡などの類似性に着目し、これらに共通して適用できる計算法の確立を目指す。一方、誤差関数は問題設定や画像生成モデルによって異なるため、様々な形式に柔軟に対応できるよう留意する。

3. 研究の方法

従来法を高解像度画像に適用した場合の計算量は、画素数に比例すると仮定しても、数百倍から数千倍に増大すると予想される。実際には一反復当たりの計算量はほぼ画素数に比例するが、一反復当たりの誤差の減少幅は画素数の増大とともに縮小するため、全体の計算量は画素数に対して超一次の増加をすると予想される。このような性質の計算法を高解像度画像に適用するのは現実的ではない。この対策として本研究では、低周波成分と高周波に対する処理を分離することにより効率的に処理できると考える。多くの実物体は単純化すると楕円体で表せる場合が多く、これは周波数成分の低次の数項のみに着目していることに相当する。低周波成分は画像の広範囲に影響を及ぼすため、広い領域を一度に処理する必要があるが、楕円体モデル等のパラメトリックモデルを用いた場合は大量のデータで少数のパラメータを推定する最小2乗問題となるため安定でかつ効率的である。一方、高周波成分の影響は局所的であり画像のブロック分割等で並列性の高い独立の小問題に容易に分割でき効率的である。

本研究で対象とする様々な問題は、生成画像と観測画像の差を最小化する非線形最小二乗法として定式化し、形状や運動や光源の状態等の画像生成に関するパラメータを一括推定することで画像を解析する。目的関数の細かいところは問題毎に異なるが、目的関数全体の数学的構造は共通性が高い。具体的には特殊な(しかし対象とする問題群では珍しくない)疎構造を持つヘッセ行列やヤコビ行列のデータ構造と計算法、それに関する連立方程式の反復解法等が共通している。これらに対する効率的な計算法を確立することで様々な問題を効率的に処理できると期待できる。この際、近年の高並列ハードウェア(GPU/CPU)による効率的計算を想定し、高並列性やデータの局所性等に留意する(前述のブロック分割はこの観点に適合している)。


4. 研究成果

(1) 画像の大域的構造あるいは低周波成分を解析するため、二次曲面(楕円体・双曲面)モデルによる解析法を検討した。[3]は画像内の物体または物体群を二次曲面の集合で近似する照度差ステレオ法であり、[1],[2]はそれにSfMを統合し2台のカメラによる高精度化(GBR不定性の削減)を実現した。この手法では様々な画像生成モデルに対応しやすいようにヤコビ行列の計算は数値微分で行っている(ただし、関連する検討により投影モデルの変更は大きな効果が見込めなかったため、保守的な投影モデルを用いている)。また[4]は楕円体モデルによる距離画像からの物体追跡であり、幾何学的距離を正確に算出する処理をGPU上で実行実時間処理を実現した。前述の様に、この形状表現法では原理的に画素数が増えても計算量や時間が大きくは増大しない(ヘッセ行列の計算は並列性やメモリ参照の局所性が高いことも貢献している)が、実際には低~中解像度での確認に留まった。また、この表現法は、2つ以上のカメラを用いて表側のみでなく側面や裏側をも推定する場合の基底形状として利用可能である。高周波の微細構造の推定を統合することは今後の課題である。

(2) 一方、高周波側を効率的に解析する手法としては、画像を8x8画素程度の小領域に分割する方法[5]を検討した。また、各ブロックの形状を表す高さマップをDCT基底等の線形結合で表現することにより表現効率の向上を図った。DCTを非正方の領域に拡張する方法も検

討した。また DCT よりもチェビシェフ多項式の線形結合の方が良好な結果を示した。DCT 等によってブロック内で高周波と低周波に分けているという解釈も可能であるが、ここでは本手法を高周波処理法と見做す。それは本手法がブロック間の相互作用を扱わず、直流成分を推定しないためである（なお[5]では直流成分を近似する比較的簡便な方法と組み合わせている）。そのため、本手法は前述の手法などの低周波推定手法と組み合わせ、微細な構造を表現する効率的な方法と位置付ける。具体的な統合は今後の課題である。

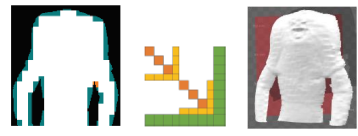
- (3) また、処理の対象を絞ることで形状等を効率的に表現する方法として、基底形状（あるいはその他の基底）の線形結合で表す方法がある。これは対象が限定できる場合は(1)よりも効率的な表現である。また、このような形状表現を SfM 法と組み合わせることで、動画像からの人物顔推定[6][7]を行うことができる。これや前述の手法は、推定パラメータに基づく生成画像と入力画像の差の最小化として定式化されており、これを解く非線形最小 2 乗法の構造も類似しているため、実装上は共通の部品を互いに流用している。



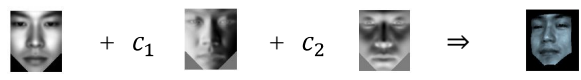
[1] Nasu T., Migita T., Shakunaga T., Takahashi N.: Uncalibrated Photometric Stereo Using Quadric Surfaces with Two Cameras, CCIS 1212, Springer, 2020.
 [2] Nasu T., Migita T., Shakunaga T., Takahashi N.: Uncalibrated Photometric Stereo Using Quadric Surfaces with Two Cameras, in Proc. IW-FCV, 2020.
 [3] 那須巧海・右田剛史・尺長 健・高橋規一: 「光源の異なる画像を用いた楕円体と一葉双曲面のパラメータ推定」FIT, 2019.



[4] 北村拓也, 右田剛史, 尺長健: 「幾何学的距離に基づく楕円体フィッティングによる実時間人物姿勢追跡」信学技報 PRMU2017-149, 2018.



[5] 向山太基, 右田剛史, 尺長健: 「形状のブロック分割と基底を用いた表現によるインバースレンダリングの検討」MIRU, 2017.



[6] Migita, T., Saito, R. and Shakunaga, T.: Batch Estimation for Face Modeling with Tracking on Image Sequence, IW-FCV, 2019.
 [7] 齋藤竜一, 右田剛史, 尺長健: 「動画像中の顔追跡による 3 次元顔モデルの自動作成」信学技報 PRMU2017-136, 2018.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1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 Nasu T., Migita T., Shakunaga T., Takahashi N	4. 巻 1212
2. 論文標題 Uncalibrated Photometric Stereo Using Quadric Surfaces with Two Cameras	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers of Computer Vision. IW-FCV 2020. Communications in Computer and Information Science	6. 最初と最後の頁 318-332
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/978-981-15-4818-5_24	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6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Tsuyoshi Migita, Ryuichi Saito and Takeshi Shakunaga
2. 発表標題 Batch Estimation for Face Modeling with Tracking on Image Sequence
3. 学会等名 International Workshop on Frontiers of Computer Vision (IWFCV) 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 向山太基, 右田剛史, 尺長健:
2. 発表標題 形状のブロック分割と基底を用いた表現によるインパースレンダリングの検討
3. 学会等名 第20回 画像の認識・理解シンポジウム - MIRU2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 齋藤竜一, 右田剛史, 尺長健
2. 発表標題 動画像中の顔追跡による3次元顔モデルの自動作成
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告, PRMU2017
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 北村拓也, 右田剛史, 尺長健
2. 発表標題 幾何学的距離に基づく楕円体フィッティングによる実時間人物姿勢追跡
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告, PRMU2017
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nasu T., Migita T., Shakunaga T., Takahashi N
2. 発表標題 Uncalibrated Photometric Stereo Using Quadric Surfaces with Two Cameras
3. 学会等名 International Workshop on Frontiers of Computer Vision (IW-FCV) 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 那須巧海・右田剛史・尺長 健・高橋規一
2. 発表標題 光源の異なる画像を用いた楕円体と一葉双曲面のパラメータ推定
3. 学会等名 第18回 情報科学技術フォーラム (FIT2019)
4. 発表年 2019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
---------	---------------------------	-----------------------	----