

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 25 日現在

機関番号：25403

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2015

課題番号：24700176

研究課題名(和文) 全周囲光源装置と偏光解析を用いた透明物体の三次元形状計測

研究課題名(英文) 3D shape measurement of transparent object using polarization analysis and
omni-directional lighting apparatus

研究代表者

宮崎 大輔 (Miyazaki, Daisuke)

広島市立大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号：30532957

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、光源環境を自由に变化できる装置と偏光解析を組み合わせることで法線を推定する技術を開発した。本研究期間では、透明物体の形状を計測するための基礎原理を確立し、透明物体の形状計測が可能であることを示唆する実験結果が得られた。
また、当初の計画とは異なるアプローチで物体の表面形状を計測する技術の開発にも取り組んだ。照度差ステレオ法を改良し、鏡面反射のある有色物体の法線を推定する技術を開発した。

研究成果の概要(英文)：In this research project, we have developed a technique to estimate surface normals using the gadget which can freely change the illumination and the polarization analysis. We have established the fundamental principle for shape measurement of transparent object in this project period, and we have obtained some experimental results which implies that it is possible to measure the shape of transparent objects.
In addition to the first plan, we have also developed shape measurement techniques through different approach. We have developed a technique for estimating surface normals of colored objects with specular reflection based on photometric stereo method.

研究分野：コンピュータビジョン

キーワード：コンピュータビジョン 三次元形状計測 偏光解析 透明物体 金属 黒色物体 法線推定

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、熊本の千金甲古墳や、カンボジアのバイヨン寺院、広島のとくろ資料などの文化財をデジタル保存する研究が盛んに行われている。照度差ステレオ法は物体表面の細かい凹凸を計測することが出来るが、黒色の物体や金属、ガラスなどの透明物体の計測は困難である。とくろ資料は焦げて黒ずんだり、一部がガラス化しているものがあり、既存技術では3次元形状計測は難しい。一方、偏光解析を用いることにより、黒色物体や透明物体の計測が可能となることが知られている。本研究では、偏光解析により黒色物体、金属物体、透明物体の法線を推定する研究を行う。

(2) 画像だけから透明物体の3次元形状を推定する方法もあるが、異なる奥行き光源環境が必要となってくる。既存研究では、奥行きに变化のない光源環境で3次元形状を推定することは不可能であると証明されている。一方、本研究では、奥行きが一定の条件の光源環境で透明物体の表面法線を推定する。画像解析だけでは不可能とされる問題を、偏光解析を使うことで可能とする。

2. 研究の目的

(1) 自由に光源環境を変化させることが出来る装置と偏光解析を組み合わせることで、高精度で対象物体の3次元形状(物体表面法線)が計測可能であることを示す。古典的な照度差ステレオ法では困難な、黒色物体、金属物体、透明物体、の形状が計測できることを示す。また、黒ずんだり一部がガラス化したとくろ資料の3次元形状計測も行い、本研究の社会的意義の高さを実証する。

(2) 本研究の独創的な点は、光源環境を自由に操作できる装置と偏光解析を組み合わせ、黒色物体、金属物体、透明物体の法線を取得する点にある。従来の偏光による形状計測では、光源環境の工夫がおろそかであり、対象物体の推定精度が低かった。本研究では、黒色物体、金属物体、透明物体の表面法線が従来の手法より高精度に取得できることが予想される。

3. 研究の方法

(1) 応募者の過去の研究では、光源環境が一定な条件下で透明物体の法線を推定する研究が行われた。この場合、光源環境を自由に変更できず、撮影条件が限定されてしまっていた。偏光解析では、光源環境の影響が精度に大きく依存しているため、既存研究のように固定された光源環境で精度を向上させることは非常に難しい。そこで本研究では、光源をアームに取り付けて、モーターで回転させることで任意の方向から光源を照射できる装置を利用する。照射する光源を限定できること、照射する方向を指定できること、非

偏光の光源だけでなく偏光した光源も利用できることを活用して精度の向上を図る。

(2) まず、計測装置を組み立てる。これは、任意の方向から光を照射することが出来る装置で、非偏光の光と直線偏光の光を照射する装置である。この装置を使って物体表面の法線を推定するアルゴリズムを開発する。古典的な照度差ステレオ法では復元不可能な、黒い物体、金属物体、および透明物体それぞれに対するアルゴリズムを開発する。

4. 研究成果

(1) 不透明で有色の誘電体である物体の中にも鏡面性の高い物体が存在する。そのような鏡面性を持つ有色物体の3次元形状を計測する技術を開発した。レーザレンジセンサを用いると概形が3次元座標として得られるが、微細で滑らかな表面形状までは再現できない。そこで、光と表面形状から生じる陰影をもとに表面法線を計算する照度差ステレオ法も併せて活用する。照度差ステレオ法で推定した法線は、物体表面の微細で滑らかな形状を再現できることが知られている。

(2) 一方、照度差ステレオ法は鏡面反射の生じない物体を対象としており、現実の多くの物体には鏡面反射が発生することが問題となっている。Shashuaによれば、拡散反射しか生じない物体の画像は3つの基底画像の線形和で表されるとされている。そこで、光源方向を変えて撮影した複数の入力画像に特異値分解を適用し、3つの基底画像を求めた。この3つの基底画像の線形和で拡散反射しか存在しない物体の画像を表すことができ、鏡面反射を画像から除去することができる。図1のような赤い魚の物体の3次元形状を計測すると、従来のレーザレンジセンサのみではノイズの多い形状しか得られないが、開発した方法では微細な凹凸を保ちつつ滑らかで高精度な形状の計測が実現できる。

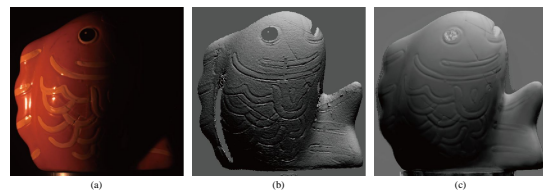


図1：赤い魚の物体の3次元形状計測：(a) 入力画像の一つ、(b) レーザレンジセンサによる形状計測結果、(c) 開発した技術による形状計測結果

(3) 黒色で鏡面反射の強い誘電体の3次元形状を計測する技術も開発した。黒色物体は拡散反射が生じないため照度差ステレオ法やレーザレンジセンサを使って計測することができない。まず、計測対象物体を複数の視点から観測し、そのシルエットを使って視体積交差法という手法によりおおまかな形

状を推定した。次に、鏡面反射光の偏光状態を解析することで、微細で滑らかな法線を推定した。この黒色物体の形状計測技術は本研究課題開始時点ではほぼ完成しており、本研究期間ではこの研究内容を成果としてまとめる作業をおこなった。

(4) また、この技術を応用し、遠赤外線カメラを用いて透明物体の形状を計測する技術の開発に取り組んだ。透明物体は可視光では複雑に反射・透過・屈折するため、その見えを解析して形状を求めるのは困難である。遠赤外線の波長域では、透明物体も熱源の一つであり、不透明物体となる。そこで、複数視点から観測し、視体積交差法によりおおまかな形状を推定した。図のように、内部に別の材質が存在するような透明物体でも、その外形の形状が計測できていることが分かる。

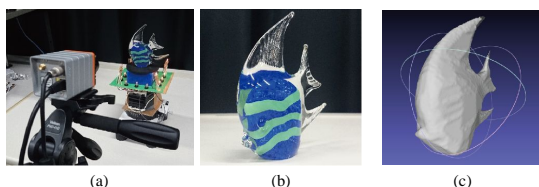


図 2：ガラスの魚の物体の 3 次元形状計測：(a) 計測装置，(b) 計測対象物体，(c) 開発した技術による形状計測結果

(5) この技術を発展させ、透明物体の熱放射光の偏光解析をおこなうことで微細で滑らかな法線を推定することにも取り組むことにした。しかし、誘電体の熱放射光はわずかにしか偏光しないことが知られている。一方、金属の熱放射光は強く偏光することが知られている。そこで、金属の熱放射光の偏光解析を利用して形状を推定する基礎理論を考案した。本研究課題の研究期間では、基礎理論を構築しただけであり、この研究に対しては別の研究助成金を利用して本格的に取り組んでいる。

(6) 本研究課題で当初計画していた方法についてももちろん取り組んだ。図 3 のような計測装置を使い、物体を多数の方向から照射し、その鏡面反射光の偏光を解析することで対象物体の法線を求める。光源を照射する方向と反射角に応じて光の偏光状態が変わることを利用している。半球のように形状が既知の物体と対象物体を同じように計測することで、同じ光りかた、同じ偏光状態であれば同じ法線であることから形状が推定できる。図 4 で示すように、黒色鏡面物体の形状が推定できていることが分かる。

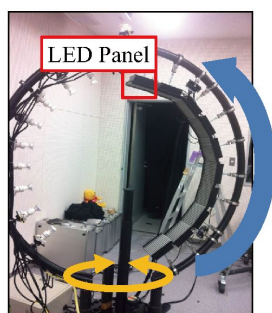


図 3：計測装置

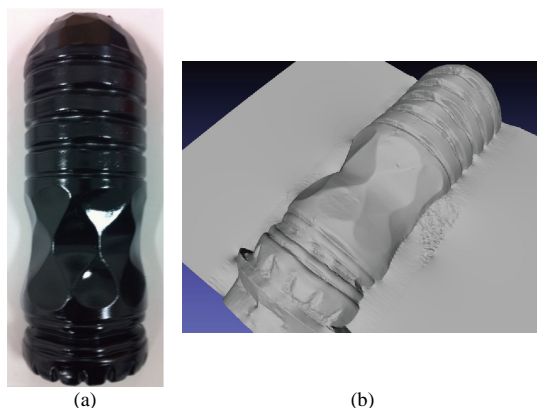


図 4：黒いペットボトルの 3 次元形状計測：(a) 計測対象物体，(b) 開発した技術による形状計測結果

(7) この技術を利用し、透明物体の形状計測にも取り組んだ。透明物体でも基本的な原理としては同様に計測がある程度可能である。しかし、透明物体は複雑に反射・透過・屈折するため、そのまま同じ技術を使うことはできない。そのため、本研究課題の研究期間において、様々な手法を考案し、試行錯誤を繰り返しながら、技術を改良していった。図 5 は法線を色で表現したものだが、この結果を見る通り、一部分の法線は正しく計測できている。この結果から、基本的な原理の開発には成功したが、まだ実用段階にはないことが分かる。今後は実用化に向けてさらにこの技術を発展させていく予定だが、本研究期間内で基本的な原理を考案し、それが正しいことが確かめられたことは今後の実用化に向けての大きな前進である。

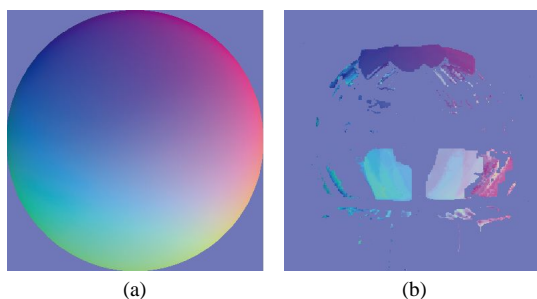


図 5：半球の物体の法線推定：(a) 真の法線，(b) 試作した技術による法線推定結果

<引用文献>

A. Shashua, On photometric issues in 3D visual recognition from a single 2D image, International Journal of Computer Vision, vol. 21, no. 1/2, 1997, 99-122
DOI: 10.1023/A:1007975506780

宮崎大輔, 熱放射光の偏光解析にもとづく金属表面の形状計測, 平成 25 年度コニカミノルタ画像科学奨励賞, 2014
http://www.konicaminolta.jp/about/release/2014/0122_01_01.html

5 . 主な発表論文等

[学会発表](計 17 件)

Ryo Furukawa, Ryunosuke Masutani, Daisuke Miyazaki, Masashi Baba, Shinsaku Hiura, Marco Visentini-Scanzanella, Hiroki Morinaga, Hiroshi Kawasaki, Ryusuke Sagawa, 2-DOF auto-calibration for a 3D endoscope system based on active stereo, The 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 査読有, 2015, pp. 7937-7941, <http://dx.doi.org/10.1109/EMBC.2015.7320233>

宮崎大輔, 松原 充駿, 馬場 雅志, 古川亮, 日浦 慎作, 既知形状物体の陰影を利用したカメラ応答関数の推定, MIRU2015 Extended Abstract, 査読無, Article no. SS2-9, 2015, 2 pages

増谷 龍之輔, 古川 亮, 馬場 雅志, 宮崎大輔, 青山 正人, 日浦 慎作, 川崎 洋, Marco Visentini-Scanzanella, 佐川 立昌, アクティブステレオに基づく三次元内視鏡システムの 2 自由度自己校正, MIRU2015 Extended Abstract, 査読無, Article no. SS4-35, 2015, 2 pages

増谷 龍之輔, 古川 亮, 馬場 雅志, 宮崎大輔, 青山 正人, 日浦 慎作, 川崎 洋, 佐川 立昌, 能動ステレオ法のためのガボールフィルタによる線状パターンの検出, MIRU2014 Extended Abstract, 査読無, Article no. SS1-27, 2014, 2 pages

渡辺 耀介, 古川 亮, 馬場 雅志, 宮崎大輔, 青山 正人, 日浦 慎作, マイクロフェーズシフト法における位相接続誤りと投影パターン周期の関係, MIRU2014 Extended Abstract, 査読無, Article no. SS2-17, 2014, 2 pages

奥下 拓真, 宮崎 大輔, 馬場 雅志, 古川亮, 青山 正人, 日浦 慎作, 赤外線カメラのキャリブレーションおよび透明物体の 3次元形状復元への応用, MIRU2014 Extended Abstract, 査読無, Article no. SS2-19, 2014, 2 pages

Daisuke Miyazaki, Daisuke Akiyama, Masashi Baba, Ryo Furukawa, Shinsaku Hiura, Naoki Asada, Polarization-based dehazing using two reference objects, IEEE International Conference on Computer Vision Workshops, 査読有, 2013, pp. 852-859, <http://dx.doi.org/10.1109/ICCVW.2013.117>

河野 歩実, 古川 亮, 日浦 慎作, 青山 正人, 宮崎 大輔, 馬場 雅志, 佐川 立昌, 川崎 洋, 格子パターンによるアクティブ 3次元形状計測手法のプッシュステレオ法による高密度化, ビジョン技術の実利用ワークショップ, 査読有, article no. OS2-H4, 2013

上川 智幸, 宮崎 大輔, 馬場 雅志, 古川亮, 青山 正人, 日浦 慎作, 疎な 3次元形状を制約条件とした未校正照度差ステレオ法による密な 3次元形状の推定, 研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア, 査読無, vol. 2013-CVIM-189, no. 5, 2013, pp. 1-6

小野 晶久, 宮崎 大輔, 馬場 雅志, 青木 広宙, 古川 亮, 青山 正人, 日浦 慎作, 鏡面反射の偏光に基づく事例ベース表面法線推定, 画像の認識・理解シンポジウム, 査読無, article no. SS3-20, 2013, 2 pages

宮崎 大輔, 秋山 大輔, 馬場 雅志, 古川亮, 日浦 慎作, 浅田 尚紀, 偏光と参照物体を用いた視程障害画像の視認性改善, 画像の認識・理解シンポジウム, 査読無, article no. SS1-14, 2013, 2 pages

Masanari Yokomizo, Daisuke Miyazaki, Masashi Baba, Ryo Furukawa, Masahito Aoyama, Shinsaku Hiura, and Naoki Asada, Optimization of 3D Shape Sharpening Filter Based on Geometric Statistical Values, IAPR Workshop on Machine Vision Applications, 査読有, 2013, pp. 260-263

Tomoyuki Kamikawa, Daisuke Miyazaki, Masashi Baba, Ryo Furukawa, Masahito Aoyama, Shinsaku Hiura, Naoki Asada, High Density Shapes Using Photometric Stereo and Laser Range Sensor under Unknown Light-Source Direction, IAPR Workshop on Machine Vision Applications, 査読有, 2013,

村上 涼平, 古川 亮, 青木 広宙, 青山 正人, 馬場 雅志, 宮崎 大輔, 日浦 慎作, 浅田 尚紀, モデリングによる原爆ドームのドーム形状の解析, ビジョン技術の実利用ワークショップ VIEW2012, 査読有, IS2-C4, 2012, 5 pages

Daisuke Miyazaki, Takuya Shigetomi, Masashi Baba, Ryo Furukawa, Shinsaku Hiura, Naoki Asada, Polarization-based surface normal estimation of black specular objects from multiple viewpoints, Second Joint 3DIM/3DPVT Conference: 3D Imaging, Modeling, Processing, Visualization & Transmission, 査読有, 2012, pp. 104-111, <http://dx.doi.org/10.1109/3DIMPVT.2012.14>

横溝 将成, 宮崎 大輔, 馬場 雅志, 古川 亮, 青山 正人, 日浦 慎作, 浅田 尚紀, 幾何学的統計量に基づく3次元形状鮮鋭化フィルタの最適化, 画像の認識・理解シンポジウム, 査読無, 2012

上川 智幸, 宮崎 大輔, 馬場 雅志, 古川 亮, 青山 正人, 日浦 慎作, 浅田 尚紀, 光源方位未知条件下での照度差ステレオ法を用いた三次元形状の高精細化, 画像の認識・理解シンポジウム, 査読無, 2012

〔その他〕

ホームページ

<http://www.cg.info.hiroshima-cu.ac.jp/~miyazaki/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮崎 大輔 (MIYAZAKI, Daisuke)

広島市立大学・大学院情報科学研究科・准教授

研究者番号 : 30532957

(2) 研究協力者

日浦 慎作 (HIURA, Shinsaku)

古川 亮 (FURUKAWA, Ryo)

馬場 雅志 (BABA, Masashi)