

平成 22 年 6 月 15 日現在

研究種目：若手研究 (B)
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19700176
 研究課題名 (和文) 点光源二方向照度差ステレオを利用した内視鏡画像からの三次元形状復元
 研究課題名 (英文) Three Dimensional Shape Recovery from Endoscopic Images by Using Photometric Stereo with Two Directional Point Light Sources
 研究代表者
 河中 治樹 (KAWANAKA HARUKI)
 愛知県立大学・情報科学部・助教
 研究者番号：90423847

研究成果の概要 (和文)：透視投影モデルでの二つの点光源による照度差ステレオを確立することを目的として様々な光源条件のもとでの画像濃淡からの対象形状の推定に関する研究を行った。鏡面反射成分を持つテクスチャのあるカラー物体に対してガウス曲率の相対的な大きさを復元する手法やFMMとセルフキャリブレーションを用いて鏡面反射をもつ物体の形状復元を行う手法を提案した。また、内視鏡への応用を見据えて実物体の二光源による連続照射撮影が行える実験機材の構成を設計した。

研究成果の概要 (英文)：Estimation of the shape from grayscale images under different lighting conditions was studied in order to establish photometric stereo with perspective projection model and two point light sources. Several methods were proposed to recover the relative size of Gaussian curvature on an object with color textures and specular reflectance component, and to reconstruct the shape of the object with specular reflection by FMM and self-calibration. The structure of equipment was designed to perform continuous shooting a real object under two light sources in anticipation of its application to endoscope.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,200,000	0	1,200,000
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	540,000	3,540,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：コンピュータビジョン

1. 研究開始当初の背景

(1) 医療現場では内視鏡観察と同時に病理部の大きさや形状を知ることが重要であるとされている。ところが、内視鏡の光学的特

性や構造の制約のために、その画像を目視しただけでは経験の浅い検査医も熟達した経験者でも観察時の計測誤差が常に大きいと痛感している。このような状況から、大きさ

や形状の正確な計測ができる内視鏡が必要とされている。

(2) 従来の照度差ステレオは平行光源および正射影を仮定しており、透視投影や点光源における解法は重視されていなかった。ところが、一般的なカメラおよび光源を用いる際にはこれらの撮影条件を平行光源や正射影に近似できる状況は限られており、とくに内視鏡の撮影画像には適用できるものではない。

そこで、本研究では透視投影モデルでの様々な点光源による画像濃淡と反射特性を解析し、対象形状の推定についての可能性を探る。

2. 研究の目的

(1) 本研究では内視鏡画像の濃淡の変化を手がかりとして、胃や腸などの内壁の三次元形状をリアルタイムに復元する手法の確立を目指す。そのために二つの点光源による照度差ステレオおよび点光源による透視投影モデルでの解析をすることが目的である。

そのためのステップとして四光源を用いた場合の点光源透視投影モデルでの推定、二つの平行光源での推定、点光源透視投影モデルでの画像濃淡から得られる情報の調査などに取り組む。

3. 研究の方法

(1) 従来の照度差ステレオでは画像濃淡は対象表面の傾きのみ依存していると仮定していたが、点光源および透視投影モデルを導入することで、局所的な光源方向、視線方向および光源からの距離にも依存し、より複雑な反射モデル式となる。

そこでまずは、四つの点光源および透視投影モデルで観測した形状既知物体の画像から、対象の表面の傾きおよび三次元位置を推定するための検討を行う。

(2) 過去に提案された経験的照度差ステレオではRBFニューラルネットワークを用いて複数枚の濃淡画像から局所曲面の分類およびガウス曲率の相対的な大きさを復元するが、カラー画像に対応しておらず、ガウス曲率の復元精度も十分とはいえない。これを鏡面反射成分とテクスチャのあるカラー物体にも適用できるように拡張すると共に、さらに別のRBFニューラルネットワークを用いることによりガウス曲率の復元精度を向上する手法を提案する。

Phongのモデルにより作成したsinc関数のカラー合成画像を復元対象物体としてシミュレーション実験および精度評価を行い、また、鏡面反射成分を持つテクスチャのあるカ

ラー物体に対して適用し、本手法の有効性を示す。

(3) 画像による形状計測において複数の光源を積極的に利用して、様々な方向から対象表面にストロボ光源を照射したときの明るさの違いからその向きや形状を把握することがあるが、実際には照射光源を切り替えたり、カメラと照明の同期をとるなどの制御が必要となる。そこで複数光源による連続照射撮影が行える機材の構成を検討するとともに、実用化を踏まえてそのビジョンシステムの調整を行う。

(4) 凹凸変化を局所的に近似することを目的として、経験的照度差ステレオのキャリブレーション球とは別に対象物体と同じ反射特性・光源をもつ形状既知の凹凸曲面を導入する。パラメータを変化させることでこの曲面の形状を復元対象の注目点周辺における局所的な形状と近似する。これによって形状を近似した凹凸曲面の傾きをそのまま復元対象の注目点の傾きとして適用する。対象凹凸曲面からなる物体を対象として新たに基底関数を導入し、最適化問題に帰着させることによってこれを解くことで物体の局所的な形状を近似し柔軟に形状復元を行う手法を提案する。提案手法では、凸面や凹面に加え双曲面をもつような複雑な形状の物体であっても形状復元を行うことが可能である。

加えて、復元対象の物体と同じ反射特性・光源をもつキャリブレーション球を用いることで、非Lambert面であっても復元を行うことができるうえ、対象物体の反射特性モデルのパラメータ推定などの処理を行う必要がない。

(5) 光源数を二つに減らし、二光源照度差ステレオでの形状推定を行う。その際には、対象表面に連続性を仮定することで、大域的最適化による対象表面の傾きおよび三次元位置の推定を行う。

これらには研究代表者がこれまでに研究をしてきたニューラルネットワークベース照度差ステレオ法およびポップフィールド型ニューラルネットワークによる最適化法などを拡張すること試みる。

(6) 一般的な反射特性の物体の濃淡画像からの形状推定をアイコナル方程式の解をFast Marching Method (FMM)により求める方法に帰着することで物体の三次元形状を復元する方法を提案する。さらにセルフキャリブレーションをおこなって物体自身から反射特性の情報を取得する。

まず、カメラ固定、光源をひとつ、平行光線、平行投影の条件下で物体自身を 0° から

90° まで回転させながら撮影した画像列を取得する。これらの画像列から特徴点を追跡し、物体の反射特性を獲得する。獲得した反射特性から対象物体の反射特性を Lambert 反射に変換する変換テーブルを作成し、対象画像の反射特性を Lambert 化する。Lambert 化された対象画像からアイコナル方程式を導く。このアイコナル方程式の解を Fast Marching Method により求めることで一般的な反射特性を持つ物体の 3 次元形状を復元することができる。また、提案手法は従来提案されているセルフキャリブレーション手法よりも少ない枚数で鏡面反射成分をもつ一般的な反射特性の物体の形状復元を可能にする。

(7) 点光源および透視投影モデルでの反射特性の様子を、計測装置と光源の同期を取りながら、異なる複数の光源環境下での反射特性を画像として蓄積し、詳細に調査する。この事例をベースに統計的学習を行って、対象の表面の傾きおよび三次元位置を推定する方法を確立する。

4. 研究成果

(1) 鏡面反射成分を持つカラー物体に対して、ガウス曲率の相対的な大きさを復元する手法を提案した。

ガウス曲率の相対的な大きさをの復元精度を向上するための手法として修正ニューラルネットワークを提案し、図 1 に示すようにシミュレーション実験により、ガウス曲率の相対的な大きさをの復元精度を向上することを示した。また、本手法を鋭い鏡面反射成分を持つテクスチャのあるカラー物体に対して適用することにより、本手法の有用性を示した。

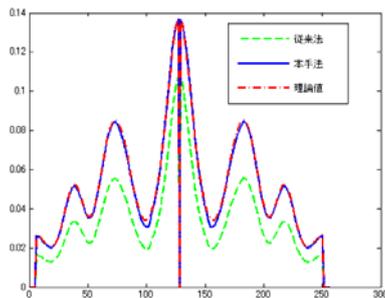


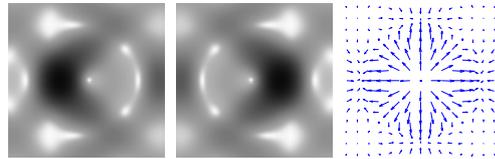
図 1: シミュレーション実験による形状推定の精度評価

(2) 内視鏡への応用を見据えて実際の物体の二光源による連続照射撮影が行える機材の構成を設計した。信号分配器を利用して複数のストロボライトガイド光源を同期させて交互点灯し、点灯に合わせて映像をキャプ

チャするビジョンシステムを試作した。医療用内視鏡での撮影に利用できることに加え、工業用や災害救助用の計測に応用することも期待できる。

(3) 図 2 に示すようにシミュレーション実験によって鏡面反射や凹凸に対応できていることを確認した。実画像に対して行った実験でも成果が確認できた。これにより、平行光線および平行投影のもとでの形状近似を最適化問題と定義し、これを解くことによって物体の局所的な形状を近似し柔軟に形状復元が可能であることが分かった。

しかしながら、より多様な実画像への適用を考えると、点光源や透視投影という撮影条件下においても復元が行えなければならず、今後の課題となる。



	p	Q	N [度]
平均誤差	0.0336	0.0615	3.36
最大誤差	0.163	0.604	24.1
最小誤差	0.00	0.00	0.257

図 2: 推定精度の改善結果の評価

(4) 二光源において鏡面反射をもつ形状が複雑な物体についての形状復元手法を検討した。当初の予定では対象表面に連続性を仮定することで、大域的最適化による対象表面の傾きおよび三次元位置の推定が可能と考えていたが、対象表面(胃壁など)の反射特性は水分量や塗布薬剤、撮影中に動作する壁面の収縮など様々な影響を受けるため、単純な照度差からだけでは検討してきたモデル式に持ち込むことが困難であることが判明した。

そこでまずは撮影した一枚の映像(つまり一光源での映像)からこういった情報が得られるかといった調査から検討しなおすこととした。そしてそこで得られる情報を照度差ステレオに利用することを考えている。

(5) FMM とセルフキャリブレーションを用いて、鏡面反射をもつ物体の形状復元を行う手法を提案した。提案手法は従来のセルフキャリブレーションの手法よりも少ない枚数で形状復元が可能である。また、従来の FMM では復元することの出来なかった鏡面反射成分をもつ物体に対して形状復元を行うことが可能である。図 3 に示すように、シミュレーション画像を用いて数値評価を行うこと

により復元精度の改善を示した。また、

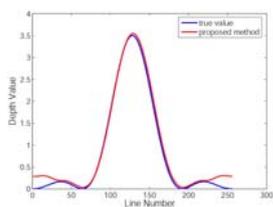


図 3: FMM とセルフキャリブレーションを用いた一枚の画像からの形状推定

図 4 に示すように鏡面反射成分をもつ実物体に対して提案手法を実装し、復元結果を従来法と比較することにより本手法の有用性を示した。

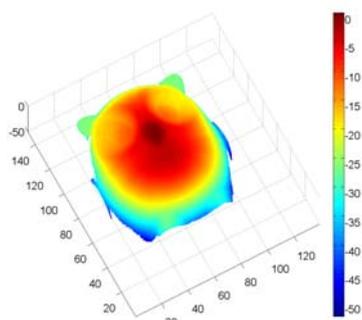
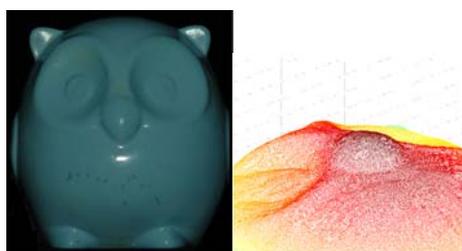


図 4: 実物体の画像と提案手法の適用結果

(6) 物体表面の傾き、特に曲率は局所的光源方向、視線方向および光源からの距離に依存しており、1つの光源によって照らされた物体の画像においても推定できる形状情報が存在することが判明した。

しかしながら、透視投影画像におけるモデル化や解析は容易ではなく、これらの関係の解析を二光源の照度差ステレオに応用する方向に進めたが思うように進捗できなかった。今後は様々な材質を二光源で撮影し、それら事例ベースの反射特性推定手法についての検討が必要である。それに基づいて照度差ステレオの枠組みによる解法を確立することを検討することが今後の課題である。

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)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

- ① 中川 貴規, 岩堀 祐之, 福井 真二, 河中 治樹, 濃淡画像からのガウス曲率の復元精度向上手法、情報科学技術レターズ、査読有、Vol. 6、2007、pp. 237–240

平均誤差	0.0508
最大誤差	0.2893
最小誤差	4.61E-06

〔学会発表〕(計 6 件)

- ① 中川 貴規, 岩堀 祐之, 福井 真二, 河中 治樹, 濃淡画像からのガウス曲率の復元精度向上手法、第 6 回情報科学技術フォーラム、2007/9/6、中京大学
- ② 岩井 一樹, 岩堀 祐之, 福井 真二, 河中 治樹, 2 光源照度差ステレオでの曲面物体形状復元、画像の認識・理解シンポジウム (MIRU 2008)、2008/7/29、軽井沢プリンスホテル
- ③ 中川 貴規, 岩堀 祐之, 福井 真二, 河中 治樹, 1 光源セルフキャリブレーションによる 3 次元形状復元、画像の認識・理解シンポジウム (MIRU 2008)、2008/7/29、軽井沢プリンスホテル
- ④ Fan Peng, Yuji Iwahori, Robert J. Woodham, Shinji Fukui, Haruki Kawanaka, Neural Network Based Rendering Using Self-Calibration, Joint 4th International Conference on Soft Computing & Intelligent Systems and 9th International Symposium on advanced Intelligent Systems (SCIS&ISIS 2008)、2008/9/20、Nagoya University, Nagoya, JAPAN
- ⑤ Haruki Kawanaka, Fuminori Matsubara, Yuji Iwahori, Effective Restriction of Search Range Based on Parametric Eigenspace Method in Human Pose Recognition, Joint 4th International Conference on Soft Computing & Intelligent Systems and 9th International Symposium on advanced Intelligent Systems (SCIS&ISIS 2008)、2008/9/20、Nagoya University, Nagoya, JAPAN
- ⑥ Yuji Iwahori, Takashi Nakagawa, Robert J. Woodham, Shinji Fukui, Haruki Kawanaka, Shape from Self-Calibration and Fast Marching Method, International Conference on Pattern Recognition (ICPR 2008)、2008/12/9、

Tampa Convention Center, Tampa,
Florida, USA

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

6. 研究組織

(1) 研究代表者

河中 治樹 (KAWANAKA HARUKI)

愛知県立大学・情報科学部・助教

研究者番号：90423847