

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 6 月 20 日現在

機関番号：34412

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22700187

研究課題名（和文） 物体表面の分光反射率と三次元形状の同時計測手法の研究

研究課題名（英文） Study for simultaneous measurement of spectral reflectance and three dimensional shape of object surface

研究代表者

土居 元紀（MOTONORI DOI）

大阪電気通信大学・情報通信工学部・准教授

研究者番号：00304155

研究成果の概要（和文）：

物体表面の分光反射率と三次元形状を同時計測する手法を提案した。本手法は、物体の分光反射率情報を画像としてステレオ撮影することにより、物体表面の分光反射率情報を獲得するとともに、ステレオマッチングによって物体表面の三次元情報を推定する。物体表面の色に関する情報量の多い分光反射率画像を用いることにより、従来のRGBカラー画像によるステレオマッチングよりも精度の高い三次元計測が可能になった。

研究成果の概要（英文）：

A method for simultaneous measurement of spectral reflectance and three dimensional shape of object surface is proposed. Spectral reflectance is obtained from multiband images. The shape is estimated by stereo matching of these multiband images. The accuracy of stereo matching depends on precise detection of corresponding points in a pair of stereo images by template matching. This method has the advantage that low contrast color textures that are lost in RGB images could be detected in the multiband images. Experimental results show that multiband stereo matching is accurate in comparing with RGB stereo matching.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2011年度	1,300,000	390,000	1,690,000
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

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：センサ融合・統合

1. 研究開始当初の背景

物体表面の分光反射特性と三次元形状が計測できれば、様々な照明条件下における任意の視点からの物体の見えをコンピュータ

グラフィクスで再現できる。分光とは光を細かい波長ごとに分けることであり、物体の反射を分光で記録することで、さまざまな分光分布を持つ光源下での物体の色を知ること

ができる。分光データと三次元形状データを別々に計測して統合することは手間もかかり困難なので、同時に計測できることが望まれる。

先行研究例として、パターン光投影法による三次元計測とイメージ分光器による分光反射率計測を組み合わせた研究が発表されていた。この方法は一度に画像の1ラインの分光情報しか獲得できず、ターンテーブルで物体の向きを変えて複数回の計測を行う必要があった。

よって、より簡便な計測手法について検討する必要があった。

2. 研究の目的

従来手法より簡便な計測手法についてとして分光画像のステレオマッチングを考案した。ステレオマッチングとは三角測量の原理で視差のある2枚の画像からカメラと画像内の各点の距離を推定する、従来からある三次元推定方法である。物体の分光反射率情報を画像としてステレオ撮影することにより、物体表面の分光反射率情報を獲得するとともに、ステレオマッチングによって物体表面の三次元情報を推定できる。情報量の多い分光反射率画像を用いることにより、従来の濃淡画像やRGB画像によるステレオマッチングよりも精度の高い三次元計測が期待できる。ただし、情報量が多くなるため処理時間の増大などの問題が考えられ、効率化などの課題に取り組んだ。

3. 研究の方法

(1) 分光ステレオ画像撮影システムの構築

分光画像は、光の波長帯域を変化させて複数回画像を撮影することにより得られる。カメラの前に透過波長帯の異なるフィルタを設置し、その都度撮影することが一般的だが、ステレオカメラなど多眼カメラの場合、各カメラにフィルタを用意して撮影することは非効率であり、特に細かく波長帯域を取りたい場合には適していない。

よって、物体に照射する光の波長帯を変化させる方法を用いる。そのため、波長プログラマブル光源を用いた分光ステレオ画像撮影システムを構築する。波長プログラマブル光源は任意の分光分布を持つ光を照射する装置であり、後述するように波長帯域を選択して撮影する方法に有効である。この装置と複数の高感度モノクロカメラを用いて、分光ステレオ画像を撮影する。

(2) 分光画像の取得方法の検討

ステレオマッチングは視差のある画像それぞれに写る同一点（対応点）を検出することにより三次元推定が行える。対応点探索では、物体上の模様が手掛かりとなる。分光ス

テレオマッチングの利点は、RGB カラー画像には現れないようなわずかなコントラストの模様も記録できる点にある。よって、効果的な分光ステレオ画像の取得方法を検討する。

(3) ステレオマッチングの計算方法の検討

ステレオ画像のうち、一方の画像を基準として、その画像の小領域が他方の画像のどこに該当するかを検索するテンプレートマッチングにより、対応点探索を行う。対応点検索において、計算の効率化を図る。

(4) RGB 画像を用いたステレオマッチングとの比較

三次元形状推定について、実際にRGB カラー画像でステレオマッチングを行った場合に対し、分光ステレオ画像を用いた場合に良好な推定結果が得られるのか確認する。

(5) 三次元形状による分光反射率の補正の検討

分光反射率画像における各点の分光反射率は、その点の照明条件や物体表面の性質により、本来の分光反射率と異なるため、補正が必要となる。補正方法について検討する。

4. 研究成果

(1) 分光ステレオ画像撮影システム

波長プログラマブル光源と複数の高感度モノクロカメラを用いて、分光ステレオ画像撮影システムを構築した。

ステレオカメラはあらかじめ複数のチェスボードパターンの撮影画像により、カメラパラメータを推定し、キャリブレーションを行うようにした。この方法は、いくつかの方向を向いたチェスボードを撮影し、各画像に写るチェスボードのマス目の位置からカメラパラメータを求める。撮影した分光ステレオ画像は得られたカメラパラメータにより幾何学的補正を行う。

また、各波長帯域について、標準白色板を撮影しておき、各波長帯域の画像の濃度値の補正を行うようにした。なお、分光ステレオ画像の撮影では、物体表面に明確な光沢が含まれると、対応点の誤検出が生じるため、光沢を含まないように撮影する。照射する光は拡散板により拡散させる。

このようにして、分光ステレオ画像の撮影方法を確立した。

(2) 計測や計算の効率化を考慮した分光画像の取得方法

分光画像は情報量が多いため、計測やステレオマッチングの計算に時間がかかる。この問題に対処するため、分光ステレオ撮影において、物体の模様が明確に現れる波長帯につ

いては狭帯域の光を照射して細かい波長感覚で詳しく分光画像を撮影し、他の波長帯は比較的広帯域の光を照射して粗く分光画像を撮影する方法を提案した。この手法により、効率的な計測ができるようにした。波長帯域に模様が明確に表れるかどうかは、あらかじめ粗い波長帯域間隔で撮影し、計測領域の濃度値分散が大きい波長帯域を細分化する。

これにより、対象の色にも依存するが、これまで27帯域などで撮影していたのを11帯域程度の撮影で済ませ、マッチングにはさらに7帯域程度のみを使うことが可能となった。また、広帯域の光を照射した場合は、露光時間も短く済み、計測時間を短縮できた。

(3) 分光画像に特化したステレオマッチングの計算方法

テンプレートマッチングにおける一致度の評価値としては、マッチング領域の平均濃度値を正規化した上でユークリッド距離の2乗和(SSD)を用いた。SSDの計算途中でSSDの値が十分に大きい場合には計算を打ち切るようにした(SSDA法)。

この対応点検索において、マッチング領域内の濃度値分散が大きい波長帯域から順にマッチングの計算を行い、早期に計算打ち切り条件を満たすようにして、計算の効率化を図った。

(4) RGB画像を用いたステレオマッチングとの三次元計測精度の比較

これまで提案した手法により、RGB画像を用いたステレオマッチングに対し、より良い三次元形状推定が行えるか確認した。一例を以下に示す。

対象物体としては、ステレオマッチングが比較的難しい円筒物体とした。円筒の半径は50mmである。この円筒物体には、わずかにRGB値が変化するタイル模様を印刷した黄色の紙が巻きつけられている。模様は基準RGB値を(230, 230, 20)とし、タイルそれぞれのRGB値を基準RGB値に対して ± 5 変化させて8色インクジェットプリンタにより高精細画像として印刷した。図1に対象物体の全体像、図2にタイル模様の一部拡大を示す。

分光ステレオ画像撮影では、520nmから590nmの間を狭帯域10nm間隔の7波長帯に分割し帯域幅10nmの単色光を照射して撮影した。なお、他の分光反射率の分散が小さい波長帯域については、50nmまたは80nmの帯域幅に分割し、各帯域の光を照射して撮影した。レンズは焦点距離8.3mmのものを用いた。カメラと円筒物体の最接近距離は350mm、カメラ間距離は100mmに設定した。

7波長帯域の分光画像から得られたステレオマッチング結果よりカメラと円筒物体の各点との距離を推定した。推定された距離よ

り距離画像を作成した。また、公平な比較のため、同じ分光ステレオ画像撮影システムで撮影した分光画像に対し、RGBそれぞれのフィルタの分光透過特性を考慮して生成したRGBカラー画像について、ステレオマッチングを行った。

物体の一部について、事前に円筒形状から計算により求めた理想的な距離画像を図3(a)に、RGBカラー画像によるステレオマッチングの結果得られた距離画像を図3(b)に示す。そして、提案する分光画像のステレオマッチングによる距離画像を図3(c)に示す。距離画像はカメラと対象物体との距離が339mmから390mmの範囲を、近いほど白く遠いほど黒く表示されるように作成した。その範囲におさまらない場合は黒で示されている。本実験の対象物体の模様はRGBカラー画像にははっきりと表れない場合が多く、RGBカラー画像によるステレオマッチングの結果は画像化した距離の範囲外となった。これに対し、提案手法では多少の誤差がみられるものの、ほぼ円筒形状を再現していることがわかる。



図1 計測対象 図2 タイル模様(一部)



(a) 理想的な距離画像



(b) RGBカラー画像を用いた場合の距離画像



(c) 提案手法(分光画像)による距離画像

図3 距離画像

(5) 三次元形状による分光反射率の補正の検討

分光ステレオ画像は光沢を含まないことを仮定しているため、物体表面においてランバートの余弦則がほぼ成り立つと仮定して、補正を行った。ランバートの余弦則とは、物体表面の法線方向が光の入射方向に対して θ の角度をもつとき、観測点によらず、反射強度が法線方向から入射した場合の反射強

度に対して $\cos \theta$ をかけた値になるという法則である。

表面のある点の法線方向は、その点の周囲の点の三次元位置から推定した。よって、距離推定誤差が大きい場所ではあまり良い補正が行えないが、理想的な推定が行えた場所では補正の効果が確認できた。

(6) 位置づけと展望

本研究は現時点において国内外においてオリジナリティの高い研究であると考えており、最新の成果を国際会議や論文誌で発表する予定である。

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)

[学会発表] (計 4 件)

- ① 四村大樹, 土居元紀: “波長プログラムブル光源を用いた分光画像ステレオマッチング”, 日本色彩学会第 43 回全国大会, 2012/5/26, 京都.
- ② 四村大樹, 土居元紀: “波長プログラムブル光源を用いた分光画像ステレオマッチング”, 日本色彩学会視覚情報基礎研究会 第 11 回研究発表会, 2012/3/10, 東京.
- ③ 南 淳史, 土居元紀: “分光反射率を用いたステレオマッチングによる三次元計測”, 日本色彩学会平成 22 年度関西支部大会, 2011/2/19, 京都.
- ④ Motonori Doi, Atsushi Minami, Shoji Tominaga: “Accurate stereo matching based on multiband imaging”, IS&T/SPIE Electronic Imaging 2011, 2011/1/24, Burlingame, USA.

[その他]

ホームページ等

http://www.osakac.ac.jp/labs/doi/doi/k22700187_j.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

土居 元紀 (MOTONORI DOI)

大阪電気通信大学・情報通信工学部・准教授

研究者番号：00304155