ステレオ式ワンショット型6バンド画像撮影システムによる

3D物体の正確な色再現

土田 勝¹, 酒井 修二², 伊藤 康一², 川西 隆仁¹, 柏野 邦夫¹, 大和 淳司¹, 青木 孝文²

1. 日本電信電話株式会社 コミュニケーション科学基礎研究所

2. 東北大学大学院 情報科学研究科

E-mail: tsuchida.masaru@lab.ntt.co.jp

あらまし マルチバンド画像技術は被写体の色を正確に記録し再現するために有効な手段の一つである.本論文 では、市販のデジタルカメラで構成した2眼ステレオカメラシステムの一方のカメラのレンズの前に多層膜フィル タを取り付け撮影する、ステレオ式1ショット型6バンドカメラシステムを提案する.視差があるステレオ画像か ら、同一視点から撮影した時と同等の6バンド画像を生成するためには、一方の画像を他方の画像に合わせて変形 させる必要がある.本システムでは、画像の変形において非線形処理の1つである Thin-Plate Spline approximation (TPS 法)を導入し、ステレオ画像から奥行き情報を推定することなく三次元的な形状を持つ被写体の6バンド画像 生成を実現した.実験ではマネキンに着せた着物を被写体に、ステレオ画像から6バンド画像が生成でき、また忠 実な色再現が可能であることを確認した.

キーワード 色再現, マルチバンド画像, ステレオ画像, 位相限定相関法, thin-plate spline approximation (TPS 法)

1. はじめに

文化財のアーカイブ, 医療分野, 工業デザイン等にお いて、被写体の色や光沢、テクスチャ、形状などを正確 に、デジタルデータとして記録・保存・伝送することは 非常に重要である.これらのうち,色の正確かつ忠実な 再現に対する1つの解決技術として、マルチバンド/スペ クトル画像技術の開発が進められている[1-4].しかしなが らこれらのほとんどはマルチショット型の撮影システム であり、動く被写体の撮影は極めて困難である.大澤ら は6バンドの HDTV カメラ^[5]を開発したが、非常に高価 で特殊な機材を必要とし普及には至っていない.一方で 土田らは、市販のデジタルカメラを用いてステレオ画像 処理技術とマルチバンド画像処理技術を組み合わせたワ ンショット型ステレオ式マルチバンド画像撮影システム ⁶⁰を提案しているが, 被写体が絵画の様な平面状の 2-D 物体に限定するといった制限がある. これはステレオ画 像からマルチバンド画像を生成する際に行う画像の変形 において射影変換を採用していることに起因する.これ を解決する方法としては、以下の2通りのアプローチが 考えられる.

(a) ステレオ画像間の対応点から被写体の三次元形状 を復元し,推定した形状モデルに対して変形すべき 撮影画像を一度貼り付けた後に,基準となるカメラ 座標系に再投影する.

(b) 画像変形において非線形変換処理を導入する.
本論文においては、将来の GPU 上へ実装してのリアルタイム処理を念頭に置き、後者のアプローチを採用した.
具体的には、非線形処理の一つである Thin-Plate Spline approximation (TPS 法)^[7]を導入し、ス

テレオ画像から奥行き情報を推定することなく,三次元 的な形状を持つ被写体の6バンド画像生成を実現した.

本論文では最初に画像撮影システムについて説明した 後に、画像間の対応点探索および画像変形手法について 述べる.実験では、第一段階として日本人形を被写体に 2 台のカメラ間の距離を段階的に変えながら撮影したス テレオ画像で原理の確認を行った.次にマネキンに着せ た着物(和装)を被写体に、カメラと被写体間の距離を 段階的に変化させての実験を行った.

2. ステレオ式ワンショット型6バンド画像撮影シス テム

2.1 画像撮影システム

本システムは2台のデジタル一眼レフカメラ(RAW 画 像出力対応)と1枚の多層膜フィルタから構成される(図1).多層膜フィルタの分光透過率およびカメラの分光 感度は図2に示すようになっており、本フィルタは青チ ャンネルの長波長側、緑チャンネルの短波長側、赤チャ ンネルの長波長側のみを透過する.このフィルタを1台 のカメラのレンズの前に取り付け、分光特性が異な るRGB(3バンド)画像2枚から構成される1組のステ レオ画像をワンショットで撮影する.多層膜フィルタを 取り付けたカメラは実質的な感度がフィルタを付けてい ない方の約半分程度になる.そのため2つのカメラを同 じ露出条件に設定して撮影を行うと、フィルタ有りの画 像のS/Nが低下する場合がある.そこでそれぞれのカメ ラで露出条件を変えて撮影した場合でも、色再現処理時 にソフトウェア上で露出条件の違いを補正できるように



図1 撮影システムの外観

してある.

2.2 ステレオ画像間の対応点探索と画像変形

2.1 で述べた撮影システムで得られた画像から6バンド 画像を生成するために、一方の画像を基準とし2枚の画 像間での対応点検出を行い、その結果に基づき、もう1 枚の画像を変形させ基準画像と同じアングルの画像を生成する.

図3にフィルタ有りと無しで撮影した画像の一例を示 す.2 枚の画像間では大きくカラーバランスが異なって おり、一般的な対応点探索手法では十分に機能しない場 合がある.また多層膜フィルタの厚み分の光学収差(倍 率収差等)により、同一視点から時分割で撮影を行った 場合でも、画像のズレが生じる.画像のずれが1画素以 下(サブピクセル)の場合でも、色再現処理時にテクス チャの境界部分などに偽色が生じる.従って本システム で得られる画像に対し対応点検出を行う場合には、カラ ーバランスの違いに対して頑強で、またサブピクセル精 度での位置ずれ量の検出が必要となる.本システムでは 画像間での対応点探索に位相限定相関法(Phase-Only Correlation method: POC 法)^[8]を導入した. POC 法は画像の位相情報に注目した手法であり、カラーバラ ンスに対する頑健さとサブピクセル精度での位置ずれ量 の検出が可能である.

画像変形には非線形手法の1つである TPS 法⁽⁷⁾を用いる. 三次元形状を有する被写体の場合,サンプリング間隔が十分に細かくないと,被写体のエッジ部などで画像変形において誤差が生じてしまう.一方でサンプリング間隔を細かくし検出された対応点数が多くなると,処理時に要するメモリ量が膨大になるという問題が生じる. そこで撮影画像を小領域に分割し,各領域に対し POC 法と TPS 法を適用することでこの問題を回避した.なお分割した小領域は,画像変形後の連続性を保つためにある



図2 多層膜フィルタの分光透過率とカメラの分光感度



(a) Image captured without filter

out filter (b) Image captured with filter 図 3 撮影画像の例

程度の重なりを有している.

2.36バンド画像からの色再現処理

6 バンド画像から各画素に対応する被写体上の点の分 光反射率は,Wiener 推定法^[9]により求められる.分光反 射率推定行列に相当するWiener 推定行列は,予め計測し たおいたカメラの分光感度や撮影時の照明光スペクトル から算出する. 今回実験で使用するデジタルカメラおよ び多層膜フィルタとほぼ同等品を利用しての色再現精度 としては, 色差Δ*E***ab*=1.8を達成したとの実験結果も報 告されている^[4]. 分光反射率の推定後は, 観察環境の照 明光スペクトルと画像を表示するモニタの特性(モニタ の原色および各色のトーンカーブ)等を用いて XYZ 画像 , Lab 画像, RGB 画像等の生成を行う. 今回構築した色 再現ソフトウェアでは色再現結果の画像を, 汎用 RAW 形式, TIFF 形式, JPEG 形式等でファイル出力が可能で ある. また TIFF, JPEG 形式での出力時には ICC プロフ ァイルを埋め込むことも可能である. 図 4 に色再現ソフ トウェアの GUI を示す.

3. 実験

ニコン製デジタルー眼レフカメラ D700 (画素数:12M Pixel) 2 台を用いて、ステレオ式ワンショット型 6 バン ド画像撮影システムを構築した.本カメラから出力され る 14bit 非圧縮形式の RAW 画像を以降の実験で使用した .撮影の際にはリモコン操作による 2 台のカメラの同時 撮影を行った.また照明光には人工太陽照明灯(セリッ ク社製 SOLAXTM)を使用した.人工太陽照明灯のスペ クトル分布を図 5 に示す.以下の実験では、多層膜フィ ルタ無しで撮影した画像を基準とし、多層膜フィルタ有 で撮影した画像を変形させる.画像の変形結果の評価で は、基準としたカメラに多層膜フィルタを装着して撮影 した画像との差分を用いた.

3.1 カメラ間距離と撮影距離の検討

図3で示した日本人形を被写体とし、基準位置(移動) 距離:0cm) でのカメラと被写体の距離を100cmに固定 ,カメラを 5mm 間隔で 55mm まで移動させながら,それ ぞれの位置で画像を撮影した. それぞれの位置で撮影し 画像変形処理を施したフィルタ有りの画像と、基準位置 の位置でフィルタ有りで撮影した画像との差分画像の, 画素値の平均値を図6のグラフに示す. 差分画像の画素 値は移動距離15~35 mm でやや増え方が増大しているも のの、全体的には緩やかに増加していることが分かる. 特に移動距離40~55 mmにおいてはその変化量が少ない . これはカメラの向きを固定した状態で、カメラを横方 向に直線的に移動させているため、視差がコサイン関数 状に増加することに関連していると思われる.移動距離 5mm, 30mm, 55mm における各差分画像(見やすくする ために画素値を16倍にしてある)を図7に示す.この図 から、金糸・銀糸のような鏡面反射が強い部分、および 画像上での移動量が大きい部分(カメラに向かって突き 出された傘や手など)に関しては比較的大きな誤差が発 生りているものの、その他の部分では概ね良好に画像変 形が行われていることが確認できる. これらの結果より



図4 色再現ソフトウェアの GUI



図6 差分画像の画素値の平均値

,カメラと被写体間の距離とカメラ間の距離の比が 100 :5.5 程度でセルフオクルージョンや鏡面反射が少ない被 写体であれば,ステレオ式 6 バンド画像撮影システムが 有効と考えられる.そこで次節では,人物撮影を想定し た評価実験を行う.

3.2 人物撮影を想定した実験結果

マネキンに着せた着物(和装)を被写体とし実験を行 った.2台のカメラ間の距離は11cmで固定し(図1の状 態),カメラと被写体の距離を 200cm, 300cm, 400cm と段 階的に変化させ,変形後の画像の評価と色再現結果画像 の主観的評価を行った.カメラと被写体間の距離 200cm の場合が、前節の実験でのカメラ移動距離が 55mm の場合に相当する. なおマネキンの高さは 150cm である. 図 8~10 にそれぞれのレイアウトにおける (a)画像変形処理前のフィルタ有りの画像を用いて色再現 した結果,(b)画像変形処理後のフィルタ有りの画像を用 いて色再現した結果,(c)画像の変形の様子を確認するた めの格子パターン画像の変形結果を示す.いずれの実験 結果でも、変形後の画像を用いた色再現結果画像(b)では 画像の変形誤差による画質の低下は観察できない. さら に詳細に評価するため、図 11 に撮影距離 200cm の場合 の色再現結果の一部を拡大した画像を示す. 画像変形前 の画像を用いた場合の画像に見られる緑色のテクスチャ パターンがフィルタ有り/無しで撮影した画像間のずれ による影響である. 被写体が3次元形状を持っているた め画像のズレ量は位置によって異なる.画像変形後の画 像を用いた色再現結果では前述のような画質低下は見ら れない. この撮影条件は人物の上半身の撮影を想定した レイアウトであり、以上の実験結果から見た目には十分 な品質の画像が得られることが分かった. 撮影距離 200 cm というのは、十分に実運用に耐えうる撮影条件と考え られる.

4.まとめ

本論文では、ステレオ式ワンショット型6バンド画像 撮影システムで撮影した立体形状を持つ被写体の画像に 対し非線形的な画像変形処理を施すことにより、被写体 の形状情報を用いることなく、6バンド画像の生成およ び良好な画質の色再現結果画像が得られることを実験的 に示した.現時点で残る課題としては、セルフ・オクル ージョンがある被写体への対応、金属などの鏡面反射が 強い被写体への対応などが挙げられる.またリアルタイ ム動画像処理も想定し、画像変形処理のGPU上への実装 も検討を続ける予定である.2眼ステレオカメラシステ ムをベースにしている本システムが動画像に対応可能に なれば、昨年から開始された地上波デジタル放送におけ る 3D コンテンツの制作での活用が期待される.

文 献

 M. Yamaguchi, et al., "Natural Vision: Visual Telecommunication based on Multispectral Technology.", Proc. of International Display Workshop 2000, pp.1115-1118. 2002



図7 差分画像の一例(画素値を16倍にして強調)

- [2] S. Tominaga et al., "Object Recognition by Multi-Spectral Imaging with a Liquid Crystal Filter.", Proc. of Conf. on Pattern Recognition, vol.1, pp.708-711, 2000.
- [3] S. Helling, et al., "Algorithms for spectral color stimulus reconstruction with a seven-channel multispectral camera." Proc. of 2nd European Conf. on Colour in Graphics, Imaging, and Vision (CGIV2004), pp.254-258, 2004
- [4] M. Hashimoto, "Two-Shot type 6-band still image capturing system using Commercial Digital Camera and Custom Color Filter.", Proc. of 4th European Conf. on Colour in Graphics, Imaging, and Vision (CGIV2008), 2008
- [5] K. Ohsawa, et al., "Six-band HDTV camera system for spectrum-based color reproduction.", J. of Imaging Science and Technology, 48, 2, pp.85-92. 2004
- [6] 土田, 川西, 大和, 伊藤, 青木, "色再現を目的としたステ レオ式ワンショット6バンド撮影システム", MIRU2010 予稿集, DS-1: 1310-1311, 2010.
- [7] F. L. Bookstein, "Principal Warps: Thin-Plate Splines and the Decomposition of Deformations", IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 11, No. 16, pp.567-585, 1989.
- [8] H. Takita, et al., "High-accuracy image registration based on phase-only correlation.", IEICE Trans. of Fundamentals, Vol. E86-A, no.8, pp.1925-1934, 2003.
- [9] W. K. PRATT, et al., "Spectral estimation techniques for the spectral calibration of a color image scanner.", Applied Optics, OSA, 15, pp.73–75, 1976.



図8 カメラと被写体間の距離:400cm での実験結果



図9 カメラと被写体間の距離:300cm での実験結果



図 10 カメラと被写体間の距離: 200cm での実験結果



図11 色再現結果の拡大画像(カメラと被写体との距離:200 cm)