Color Science Association of Japan

マルチバンドカメラシステムの較正とその応用
Calibration of a Multiband Camera System and Its Application

西　省吾　Shogo Nishi　大阪電気通信大学　Osaka Electro-Communication University
富永昌治　Shoji Tominaga　千葉大学大学院　Graduate School of Chiba University

Keywords: 干渉フィルタ，マルチバンドカメラ，較正，位相画像.

1. はじめに

マルチバンドカメラシステムは幾つか方式が提案されているが，波長分解能を向上させるためには狭帯域で画像信号を取得することが望ましい．それゆえ分光反射率の推定精度の向上と計測の簡略化を図るため，8 枚の干渉フィルタが装着された自動フィルタチェンジャーとモノクロ CCD カメラからなるマルチバンドカメラシステムを過去に製作した．しかし干渉フィルタの特性上，分光的に取得した画像を合成する際にレジストレーションエラー（位置ずれ）が生じる．それゆえ，連続的に分光反射率が変化する物体に対しては推定精度に問題があった．過去にテンプレートマッチングを用いた位置ずれ補正手法[1]を提案したが，膨大な計算量が必要であり，焦点ずれも考慮されていなかった．

本稿では，干渉フィルタによる位置ずれと焦点ずれの補正を目的とする．これらのエラーを含む取得画像を位相画像を利用して補正を行った．また補正手法を油彩画のデジタルアーカイブへ応用した．

2. 計測システム

本研究で使用するカメラシステムは，中心波長が 420nm, 450nm, 490nm, 530nm, 570nm, 610nm, 650nm, 680nm で半値幅が 10nm の干渉フィルタ 8 枚（朝日分光社製）と，自動フィルタチェンジャー（朝日分光社製，FC8-A25），モノクロ CCD カメラ（東芝テリー社製，CS-3920），C マウントレンズ（TAMRON 社製，20HA）で構成される．図 1 にこのカメラシステムの外観を，図 2 に総合分光感度を示す．干渉フィルタの特性として，入射角が傾くにつれて中心波長が短波長側へ移動してしまうことや，薄膜を何層にも重ねているため，透過光が必ずしも出射面と平行に伝播していくわけではない．それゆえフィルタごとに焦点ずれや位置ずれが生じ，画像を合成した際に誤差が生じる．

図 1　カメラシステム

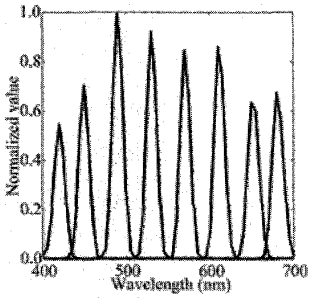


図 2　総合分光感度

3. 補正手法

提案システムでは干渉フィルタの特性に起因する誤差が顕著である．そこで 8 枚の分光画像のうち 1 枚を基準画像，その他 7 枚を対象画像として焦点ずれ誤差と位置ずれ誤差に対し補正を行う．補正は位相画像を用いて焦点ずれ補正を行った後に，位相相関法[2]により位置ずれを算出し，補正量を決定する．位相画像とは画像の振幅スペクトルを 1 で正規化した画像であり，位相限定相関法とは，位相画像を用いて相関をとる手法である．一般的に，分光画像は取得バンド毎に振幅スペクトルが大きく異なる．それゆえ，振幅スペクトルの変化を受けずに補正を行う本手法は焦点ずれ補正ならびに位置ずれ検出性能が優れていると期待できる．

いま画像 $f(n_1, n_2)$と画像 $g(n_1, n_2)$の二次元離散フーリエ変換を以下のように定義する．

NII-Electronic Library Service

Color Science Association of Japan

$$F(k_1,k_2)=\sum_{n_1,n_2} f(n_1,n_2)W_{N_1}^{k_1n_1}W_{N_2}^{k_2n_2}$$
$$=A_F(k_1,k_2)\exp\left[j\theta_F(k_1,k_2)\right] \quad (1)$$
$$G(k_1,k_2)=\sum_{n_1,n_2} g(n_1,n_2)W_{N_1}^{k_1n_1}W_{N_2}^{k_2n_2}$$
$$=A_G(k_1,k_2)\exp\left[j\theta_G(k_1,k_2)\right] \quad (2)$$

ここで k_1, k_2 は離散周波数インデックスであり，$W_{N_1}=\exp(-j2\pi/N_1)$, $W_{N_2}=\exp(-j2\pi/N_2)$ ある．$A_F(k_1, k_2)$, $A_G(k_1, k_2)$は振幅スペクトルであり，$\theta_F(k_1, k_2)$, $\theta_G(k_1, k_2)$は位相スペクトルを表す．このとき画像 $f(n_1, n_2)$の位相画像は $F(k_1, k_2)/|F(k_1, k_2)|$で求められる．干渉フィルタを入力画像に対する劣化関数と仮定すると，よく知られた逆フィルタにより焦点ずれを補正できる．つぎに位相相関は以下の式となる．

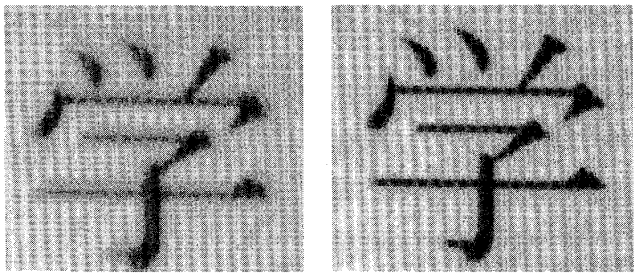
$$C(k_1,k_2)=\frac{F(k_1,k_2)G^*(k_1,k_2)}{\left|F(k_1,k_2)\right|\left|G^*(k_1,k_2)\right|} \quad (3)$$
$$=\exp\left[j\left\{\theta_F(k_1,k_2)-\theta_G(k_1,k_2)\right\}\right]$$

ここで $G^*(k_1, k_2)$は $G^*(k_1, k_2)$の複素共役を表す．また$\theta_F(k_1, k_2)-\theta_G(k_1, k_2)$は位相差スペクトルを表す．このとき相関ピークの高さは 2 つの分光画像類似度を表しており，相関ピークの座標は 2 つの分光画像の相対的な位置ずれに対応する．

4. 実験結果

まず提案手法により取得画像の補正を行った．図 3 に補正前，補正後の結果を示す．図 3(a)では，位置ずれと焦点ずれが顕著に表れている．それに対し，位相画像を利用した補正を行った結果が図 3(b)である．提案手法が有効であることが示された．

つぎに油彩画のデジタルアーカイブを作成した．作成手法は富永らの手法[3]を用いた．詳細は割愛する．図 4 は提案手法により補正を行った後の表面分光反射率の推定結果である．良好な推定結果を得られた．図 5 に油彩画の一部をレーザー変位計にて計測した形状画像(図 5(a))と，法線ベクトルから推定した形状画像(図 5(b))を示す．提案手法による補正の結果，鮮鋭な形状推定を行うことができた．



(a) 補正前　　(b) 補正後

図 3　提案手法による補正結果

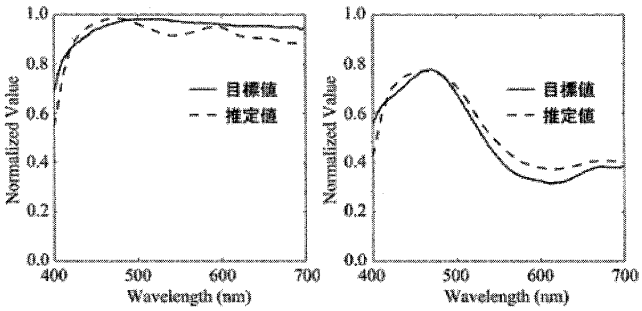
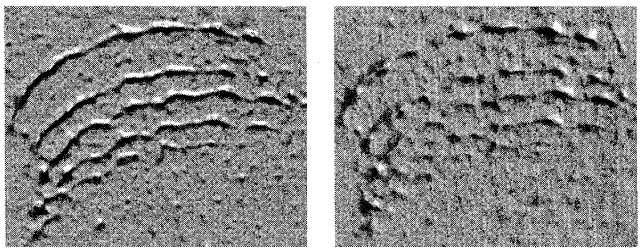


図 4　補正後の分光反射率推定結果



(a) 計測結果　　(b) 推定結果

図 5　補正後の表面形状推定結果

5. おわりに

干渉フィルタを用いたマルチバンドカメラシステムにおける焦点ずれと位置ずれの補正手法を提案した．焦点ずれの補正に位相画像を，位置ずれの検出に位相相関法を利用した．提案手法は取得バンド毎に振幅スペクトルが大きく異なる分光画像に対しても有効であることが分かった．

参考文献

[1] S. Nishi, et al.: Proc. 11th AIC, 0909015Final00554, (2009).

[2] C. D. Kuglin and D. C. Hines: Proc. IEEE Int. Conf. Cybernetics and Society, pp. 163-165, (1975).

[3] S. Tominaga, et al.: Proc. Ninth CIC, pp. 337-341. (2001)

NII-Electronic Library Service