

H-027

近接アレイ型マルチスペクトルカメラの構成

The Construction of the Proximity Array Type Multi-Spectrum Camera

島崎 裕太[†] 北澤 仁志[†]
Yuta Shimazaki Hitoshi Kitazawa

1 はじめに

画像や映像の処理・解析には、RGB 値や輝度値を用いるのが一般的であるが、より詳細な情報である物体の分光反射率を推定することができれば、それを利用して詳細な画像の処理・解析を行うことができると考えられる。物体の分光反射率を取得する方法としては、カラーフィルタ板を回転させて撮影する方法 [1] や液晶チューナブルフィルタを用いる方法 [2] などが提案されている。しかし、マルチスペクトルカメラの多くは、構造上の理由などにより、異なったチャンネルで撮影する際に微小な時間のずれが発生する。またマルチスペクトルカメラは高価であることが多い。本報告では、全チャンネルを同時に撮影でき、比較的安価に実現できる近接アレイ型簡易マルチスペクトルカメラを提案し、その構成と撮影結果について述べる。

2 近接アレイ型マルチカメラシステム [3]

本章では実験に使用した近接アレイ型マルチカメラシステムの構成と、同一シーンを取得するための幾何学的なキャリブレーションについて説明する。

実験に使用した近接アレイ型マルチカメラシステムはカメラ部、制御部、HostPC から構成される。近接アレイ型マルチカメラシステムの外観を図 1 に示す。図 1 のように小型カメラモジュールを近接配置することによって、各カメラで撮影された画像はほぼ同一になると考えられるが、実際には誤差が生じる。これらをソフト的に補正するために、以下の式を用いて幾何学的なキャリブレーションを行った。

$$\begin{bmatrix} h'u_i & h'v_i & h' & 1 \end{bmatrix}^T = \mathbf{A}_i \mathbf{R}^C \mathbf{R}^P \mathbf{A}_b^{-1} \begin{bmatrix} hu_b & hv_b & h & 1 \end{bmatrix}^T \quad (1)$$

ここで、 $(u_b \ v_b)$ は観測点 P が基準とするカメラ b のスクリーンに投影されるとき座標、 $(u_i \ v_i)$ は i 番目のカメラ i の誤差補正後の座標、 \mathbf{A}_b と \mathbf{A}_i はそれぞれカメラ b とカメラ i の透視投影変換行列、 h と h' はスケールである。さらに、 \mathbf{R}^P は平行光軸補正、 \mathbf{R}^C は集中光軸変換のための行列である。

3 簡易マルチスペクトルカメラへの応用

本章では、カラーフィルタを用いることで、近接アレイ型

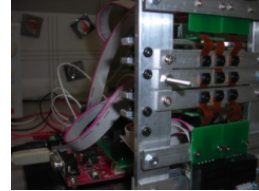


図 1 近接アレイ型マルチカメラシステムの外観

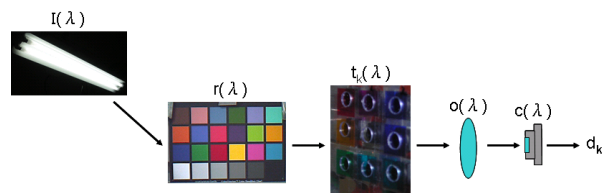


図 2 センサの出力

マルチカメラシステムを、物体の分光反射率を推定するための簡易マルチスペクトルカメラに応用することを考える。

図 2 のように画像を撮像したときの画像信号 d_k は以下の式で表される。

$$d_k = \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} \mathbf{I}(\lambda) \mathbf{r}(\lambda) \mathbf{c}(\lambda) \mathbf{t}_k(\lambda) \mathbf{o}(\lambda) d\lambda + \eta_k \quad (2)$$

ここで、 λ は波長、 $\mathbf{I}(\lambda)$ は光源の分光放射輝度、 $\mathbf{r}(\lambda)$ は物体表面の分光反射率、 $\mathbf{c}(\lambda)$ はカメラの分光感度、 $\mathbf{t}_k(\lambda)$ はフィルタ k の分光透過率、 $\mathbf{o}(\lambda)$ はレンズの分光透過率、 η_k はノイズを表す。また、本実験では波長の上限と下限を $\lambda_{max} = 780nm$ 、 $\lambda_{min} = 380nm$ とし、チャンネル数 $k = 8$ とした。

物体の分光反射率を推定するために、本実験では Lathuilière らの方法 [1] を用いた。まず、式 (2) においてノイズ項を除去し、 $\mathbf{I}(\lambda) \mathbf{c}(\lambda) \mathbf{t}_k(\lambda) \mathbf{o}(\lambda) = \mathbf{S}_k(\lambda)$ として以下の式に変形する。

$$d_k = \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} \mathbf{r}(\lambda) \mathbf{S}_k(\lambda) d\lambda = \sum_{i=1}^N \mathbf{r}(\lambda_i) \mathbf{S}_k(\lambda_i) \quad (3)$$

ただし、本実験ではバンド数 $N = 41$ 、 $\lambda_i = 380 + 10(i - 1)$ とした。式 (3) は行列を用いると、次式のように表せる。

$$\begin{bmatrix} d_1 \cdots d_8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{r}(\lambda_1) \cdots \mathbf{r}(\lambda_{41}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{S}_1(\lambda_1) \cdots \mathbf{S}_8(\lambda_1) \\ \vdots \quad \ddots \quad \vdots \\ \mathbf{S}_1(\lambda_{41}) \cdots \mathbf{S}_8(\lambda_{41}) \end{bmatrix} \quad (4)$$

Macbeth Color Checker の各チャートを観測し、特異値分解を用いて行列 $\mathbf{S}_k(\lambda)$ を算出する。次に、行列 $\mathbf{S}_k(\lambda)$ を用いて物体表面の分光反射率 $\mathbf{r}(\lambda)$ を推定する。8 チャンネルから 41 バンドを推定しなければならないため、 $\mathbf{r}(\lambda)$ を Macbeth

[†]東京農工大学大学院

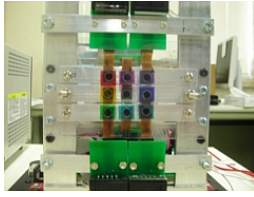


図3 近接アレイ型マルチスペクトルカメラ

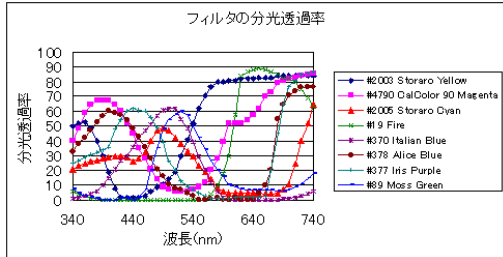


図4 使用したカラーフィルタの分光透過率



図5 使用した画像(拡大表示)

Color Checker の反射率の線形結合と仮定し推定する [1] .なお, Macbeth Color Checker の分光反射率のモデルには Munsell Color Science Laboratory で公開されているものを用いた [4] .

4 実験と考察

本章では, 近接アレイ型マルチスペクトルカメラを用いて, 物体の分光反射率を推定した結果を示す. まず, 製作した近接アレイ型マルチスペクトルカメラを図3に示す. 図3のようにカラーフィルタをカメラモジュールのレンズの手前に配置するため, 有効入射角による特性の変化が小さいフィルタを用いる必要がある. このため, 本実験では Rosco 社製の Roscolux を用いた. 使用したフィルタの分光透過率を図4に示す. 次に, 分光反射率のモデルを用いて実際に図5の Macbeth Color Checker の13番目から18番目のチャートの分光反射率を推定した結果を図6に, 実際のモデル [4] を図7に示す. 図6を見ると図7と多少異なった推定結果となっているが, これはノイズによる誤差や照明による影響であると考えられる. 次に, 紙に印刷した偽物の葉と本物の葉が写っている図5を用いて, 自然物の分光反射率を推定し, 比較する実験を行った. 実験結果を図8に示す. なお比較した座標は図5中の+印の部分であり, 左側が印刷の葉, 右側が本物の葉である. 図8を見ると, 本物の葉は印刷の葉に比べて, 波長が700nm以上の領域で反射率が大きいという結果を観測することができた. このよ

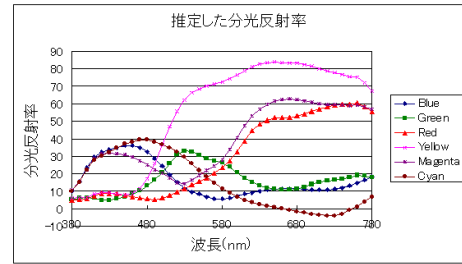


図6 推定した分光反射率

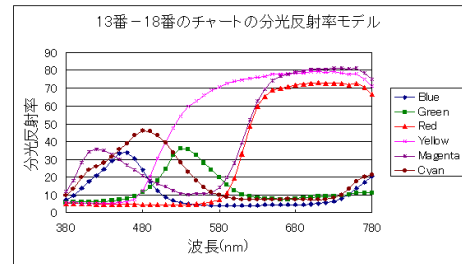


図7 分光反射率のモデル

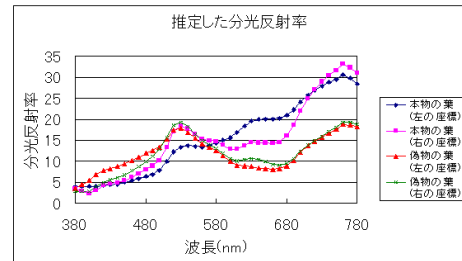


図8 推定した本物の葉と偽物の葉の分光反射率

うな実験結果から, 簡易マルチスペクトルカメラは物体の分光反射率を推定し, 物体を識別するのに役立つと考えられる.

5 まとめと今後の課題

カラーフィルタを用いることによって, 近接アレイ型マルチカメラシステムを簡易マルチスペクトルカメラに応用する方法を提案した. 実験結果により, この近接アレイ型簡易マルチスペクトルカメラを利用すれば, カメラの感度やフレームレートの低下が起こることなく, 全チャンネルを同時刻に撮影でき, 物体の分光反射率を推定して物体を識別するのに役立つと考えられる. 今後は, 撮影時刻のずれが発生しないことを利用し, 移動物体抽出実験などに応用する予定である.

参考文献

- [1] A. Lathuilière *et al.*: "Stereoscopic system for 3D reconstruction using multispectral camera and LCD projector", *The Imaging Science Journal*, Maney Publishing, 54 (1), pp. 19-28, March 2006
- [2] 富永昌治, 岡島良介: "液晶フィルタによる分光画像システムの改良", 映像情報メディア学会誌, Vol. 54, No. 2, pp. 268-276, 2000
- [3] 島崎裕太, 北澤仁志: "近接アレイカメラシステムの構成とキャリブレーション", 映像情報メディア学会技術報告, VOL. 32, No. 8, pp. 55-58, February 2008
- [4] <http://www.cis.rit.edu/mcsl/>