照明スペクトル変動に対してロバストな 重み付きカラー方向符号照合法*

本田 匠** 高氏 秀則*** 金子 俊一***

Robust Color Orientation Code Matching with Weighting for Fluctuation in Illumination Spectrum

Takumi HONDA, Hidenori TAKAUJI and Shun'ichi KANEKO

This paper addresses an approach to robust search based on color images observed in condition of fluctuation in illumination spectrum. A new search method, named 'Color Orientation Code Matching' is proposed, which introduces weighting into the conventional Orientation Code Matching based on monochrome images. The weighting is based on evaluation of stationarity in spectrum in order to avoid mis-matching, under ill-conditions. The experimental results with actual data demonstrate the effectiveness of robust images searching in fluctuation of color spectrum.

Key words: orientation code, robustness, illumination change, color image, matching

1. 序 論

画像照合の技術は生産工程の自動化やロボットビジョンの実現などに向けて幅広く研究されており、今日では複雑化する検査要求に対応するため、より高度な諸性能が要求されている。そのための試みとして、近年カラー情報を用いる照合や復元の方法なども提案されており^{1) 2)}、またカラー情報に基づく対象物検出などの必要性も高まってきている³⁾。実環境における問題の一つとして、異なる撮像環境において取得される画像データどうしの照合が挙げられる^{4) 5)}。このとき照明の偏りや再現性の違いによる画像データ上の色変動が現れるため、このような変動条件を吸収しつつ頑健な照合性能を実現するためのロバストな照合法について検討することを本研究は目的としている。

照明変動に対するロバスト性をもつ照合法として、方向符号照合法 (Orientation Code Matching: OCM) が提案されている^{6) 7)}。この手法は各画素ごとの明度勾配を量子化した方向符号画像での照合に基づいている。しかしながら、一様な照明変化ではなく各色成分に変動が生じる場合においては、そのロバスト性について再検討しカラー情報の有効な利用法について考える必要がある。本研究においては、カラー情報を有効に用いる OCM を提案する。この手法は XYZ 表色系の各成分値ごとに独立に方向符号画像を得る。また参照画像と対象画像を比較することにより、各値ごとに照明変動分を予測し、方向符号の類似度を評価するための重み係数を求める。得られた重み係数により、各値のうち照明変動の影響がより少なく照合のための類似度としてより高く評価できると考えられる画素に大きな評価値を与える。基本的な性能解析、重み係数の算出法、更に非一様な照明変動を含む画像データを用いた実験により、スペクトル変動に対する提案手法のロバスト照合性能を確認したので報告する。

Fig. 1 Orientation Code

2. 方向符号照合法 (OCM)

方向符号照合法^{6) 7)}の基礎について述べる。これは画素の明度を類似度評価のために直接に用いるのではなく、画素近傍の明度変化が最大となる勾配方向を量子化した値を符号として用いるため、画像ごとの固有性が高く、また照明変動による明度変化に対して強いロバスト性をもつ。以下に照合度である類似度の導出手順を中心に要点を述べる。初めに、対象画像及び参照画像の方向符号化を行う。画素位置 (p, q) における明度を $I(p, q)$ とし、水平方向勾配を $\nabla I_p = \partial I / \partial p$ 、垂直方向勾配を $\nabla I_q = \partial I / \partial q$ とすると、明度の勾配方向 θ_{pq} は、以下のように示すことができる。本研究では、勾配演算として Sobel 演算子を使用する。

$$\theta_{pq} = \tan^{-1} \left(\frac{\nabla I_q}{\nabla I_p} \right) \quad (1)$$

この明度の勾配方向 θ_{pq} と量子化幅 Δ_θ を用いて方向符号は以下のように示される。

$$c_{pq} = \begin{cases} \left\lfloor \frac{\theta_{pq}}{\Delta_\theta} \right\rfloor & \text{if } |\nabla I_p| + |\nabla I_q| > \Gamma \\ N = \frac{2\pi}{\Delta_\theta} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 Γ は雑音、つまり明度勾配が小さい画素を除去するための閾値である。水平、垂直各方向の絶対値の和が閾値 Γ より大きい場合のみ、 $0 \sim N-1$ に符号化し、これを有効符号とする。閾値に満たない場合は、 $\frac{2\pi}{\Delta_\theta}$ に符号化し、これを無効符号とする。本研究では、符号値を $0 \sim 16$ ($\Delta_\theta = \frac{\pi}{8}$) とする (図 1)。次に、参照画像と対象画像の照合を行う。参照画

* 原稿受付 平成 20 年 5 月 26 日

** 学生会員 北海道大学大学院情報科学研究科
(札幌市北区北 14 条西 9 丁目)

*** 正 会 員 北海道大学大学院情報科学研究科

像 f のサイズを $M \times M$ 、対象画像を g とすると、各画素の方向符号 c_f 、 c_g を比較、方向符号が巡回的であることを考慮し、残差絶対値 D を得る。全画素の残差絶対値 D の和を画素数で割った平均残差絶対値 $\bar{D}$ を以下に示す。

$$\bar{D} = \frac{1}{M^2} \sum_{M \times M} D(c_f, c_g) \quad (3)$$

$$D(m, n) = \begin{cases} \min(|m - n|, N - |m - n|) & \text{if } m \neq N \cap n \neq N \\ 0 & \text{if } m = N \\ \frac{N}{4} & \text{if } m \neq N \cap n = N \end{cases} \quad (4)$$

また、参照画像が無効符号である画素における残差絶対値を 0 とすることにより対象画像の背景に対するロバスト性が高まる。さらに、対象画像が無効符号である場合は、残差絶対値の期待値から定めた $N/4$ とすることで、単調な遮蔽に対応することができる。更に、この値を残差絶対値の最大値 $N/2$ で割り正規化することにより、量子化幅が異なる場合においてもほぼ同様に比較することができる。この値を相違度 $h = \bar{D}/(N/2)$ ($0 \leq h \leq 1$) とする。このように導出された相違度 h を利用し、類似度 s を以下の式で定義する。

$$s = 1 - h \quad (0 \leq s \leq 1) \quad (5)$$

3. カラー方向符号照合法 (カラー OCM)

3.1 カラー OCM の原理

カラー OCM の定式化には XYZ 表色系を用いた。XYZ 表色系は色輝度の強度成分と明度の強度成分に分けた表色系である⁹⁾。表色系の中で最も一般的であると考えられるため、XYZ 表色系を今回は使用した。(X, Y, Z) の 3 つの値をもち、CIE RGB 表色系に基づき全度数を正の値で表せるよう座標軸を適当に変換したものである。本手法は各値について方向符号化を行う。まず X 値について考える。画素位置 (p, q) における値を $X(p, q)$ とすると、水平方向勾配 $\nabla X_p = \partial X / \partial p$ 、垂直方向勾配 $\nabla X_q = \partial X / \partial q$ より、勾配方向 $\theta_{Xpq} = \tan^{-1}(\nabla X_q / \nabla X_p)$ を算出できる。 θ_{Xpq} から、式 (2)~(5) を用いて類似度 s_X が導かれる。同様に Y, Z 値についても s_Y , s_Z と定義し、これらに基づいて次式の s_{XYZ} で評価を行う。

$$s_{XYZ} = \frac{w_X s_X + w_Y s_Y + w_Z s_Z}{w_X + w_Y + w_Z} \quad (6)$$

ここで、 w_X , w_Y , w_Z については重みであり、詳細は 3.4 節において改めて述べる。

3.2 照明と反射光のスペクトルの関係

本節において、本手法の式に用いる照明スペクトルと物質の反射率の関係を述べる。まず照明光と反射率特性、スペクトルの出力の関係を次に示す。カメラの入力から得た各画素ごとの各スペクトルの出力は分光反射率と反射率特性に分けることができ、可視領域の波長を分割し分光反射率から計算できる^{9) 10)}。例として可視領域の光の波長 400nm~700nm を 10nm ずつ 30 分割した場合の撮像装置の出力 R 色を次式で示す。

$$\begin{aligned} R = & e_1 \cdot o_{R1} \cdot l_{R1} \cdot f_{R1} \cdot r_{R1} \\ & + e_2 \cdot o_{R2} \cdot l_{R2} \cdot f_{R2} \cdot r_{R2} \\ & \cdots + e_{30} \cdot o_{R30} \cdot l_{R30} \cdot f_{R30} \cdot r_{R30} \end{aligned} \quad (7)$$

ここで、 o は対象物表面の赤輝度の反射率、 e は照明光の分光放射率、 l は撮像装置の光学系の透過率、 f はカラーフィルターの分光透過率、 r は CCD センサ等の分光感度とし、それぞれ等分割したものである。参照画像と対象画像で、カメラと対象物の形状や姿勢、距離など是不変として考え、光源光 e 以外を変えないとし、照明光以外を分光反射率 $F_i = o_i \cdot l_i \cdot f_i \cdot r_i$ とまとめる。また R 色と同じように G 色及び B 色を考えると、次式で表される。

$$[R \ G \ B] = \vec{e}^T \cdot [\vec{F}_R \ \vec{F}_G \ \vec{F}_B] \quad (8)$$

ここで、 $\vec{e} = [e_1 \ e_2 \ \cdots \ e_{30}]^T$, $\vec{F}_R = [F_{R1} \ F_{R2} \ \cdots \ F_{R30}]^T$, $\vec{F}_G = [F_{G1} \ F_{G2} \ \cdots \ F_{G30}]^T$, $\vec{F}_B = [F_{B1} \ F_{B2} \ \cdots \ F_{B30}]^T$ とする。また XYZ 表色系への変換は次式となる。

$$\begin{aligned} [X \ Y \ Z] &= [R \ G \ B] \begin{bmatrix} 0.3933 & 0.2123 & 0.0182 \\ 0.3651 & 0.7010 & 0.1117 \\ 0.1903 & 0.0858 & 0.9570 \end{bmatrix} \\ &= \vec{e}^T \cdot [\vec{F}_X \ \vec{F}_Y \ \vec{F}_Z] \end{aligned} \quad (9)$$

ここで、 $\vec{F}_X = [F_{X1} \ F_{X2} \ \cdots \ F_{X30}]^T$, $\vec{F}_Y = [F_{Y1} \ F_{Y2} \ \cdots \ F_{Y30}]^T$, $\vec{F}_Z = [F_{Z1} \ F_{Z2} \ \cdots \ F_{Z30}]^T$ とする。

3.3 一様な照明変動に対するロバスト性

本節において、本手法が照明スペクトルの変動に対しロバストであることを確認する。照明変動前の各スペクトルの値を (X_1, Y_1, Z_1) 、照明の値を $\vec{e}_1$ とし、照明変動後の各値を (X_2, Y_2, Z_2) 、 $\vec{e}_2 = \vec{e}_1 + \Delta \vec{e}$ とすると、式 (9) より X 値は次式で表される。

$$X_1 = \vec{e}_1^T \cdot \vec{F}_X \quad (10)$$

$$X_2 = \vec{e}_1^T \cdot \vec{F}_X + \Delta \vec{e}^T \cdot \vec{F}_X = X_1 + \Delta X \quad (11)$$

ここで $\Delta X = \Delta \vec{e}^T \cdot \vec{F}_X$ とする。また X_1 の水平方向勾配を $\nabla X_1 p = \partial X_1 / \partial p$ 、垂直方向勾配を $\nabla X_1 q = \partial X_1 / \partial q$ とし、 X_2 についても同様とすると、次式が導かれる。

$$\nabla X_2 p = \frac{\partial X_2}{\partial p} = \nabla X_1 p + \frac{\partial \Delta X}{\partial p} \quad (12)$$

$$\nabla X_2 q = \nabla X_1 q + \frac{\partial \Delta X}{\partial q} \quad (13)$$

X_1 値の勾配方向 θ_{X1pq} と X_2 値の勾配方向 θ_{X2pq} とするとき、式 (12)、式 (13) より次式で表すことができる。

$$\theta_{X1pq} = \tan^{-1} \left(\frac{\nabla X_1 q}{\nabla X_1 p} \right) \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \theta_{X2pq} &= \tan^{-1} \left(\frac{\nabla X_2 q}{\nabla X_2 p} \right) \\ &= \tan^{-1} \left(\frac{\nabla X_1 q + \frac{\partial \Delta X}{\partial q}}{\nabla X_1 p + \frac{\partial \Delta X}{\partial p}} \right) \end{aligned} \quad (15)$$

式 (14)、式 (15) は Y, Z 値についても同様とする。ここで、照明のスペクトルが一様な変化すなわち $\Delta \vec{e} = \alpha \vec{e}_1$ のとき、 $\Delta X = \alpha \vec{e}_1^T \cdot \vec{F}_X = \alpha X_1$ となり、また照明成分は画素近傍においてはほぼ一定であると考えられると $\frac{\partial \alpha}{\partial p} = \frac{\partial \alpha}{\partial q} = 0$ となるた

め、式 (15) は次式で表される。

$$\begin{aligned}\theta_{X2pq} &= \tan^{-1} \left(\frac{(1+\alpha)\nabla X_1 q}{(1+\alpha)\nabla X_1 p} \right) \\ &= \tan^{-1} \left(\frac{\nabla X_1 q}{\nabla X_1 p} \right) \\ &= \theta_{X1pq}\end{aligned}\quad (16)$$

Y, Z 値についても式 (16) が同様に成り立ち、照明スペクトルが一様に变化した状況下において各方向性は保存される。

3.4 非一様な照明変動に対するロバストな重み付け

本節では照明の変化が一様でない場合、及び画素近傍で照明が一定でない場合に対してロバストな重み付けの設計を述べる。式 (15) より、 X_1 の値が照明による変化の値 ΔX に比べて十分に大きい場合、すなわち $\nabla X_1 p \gg \partial \Delta X / \partial p$, $\nabla X_1 q \gg \partial \Delta X / \partial q$ のときに $\theta_{X2pq} = \theta_{X1pq}$ が成り立ち方向性が保存される。この関係を考慮し式 (12), 式 (13) を照明による変化値について変形すると次式となる。

$$\frac{\partial \Delta X}{\partial p} = \nabla X_2 p - \nabla X_1 p \quad (17)$$

$$\frac{\partial \Delta X}{\partial q} = \nabla X_2 q - \nabla X_1 q \quad (18)$$

上記の考察より、一般的に照明による変化値が小さいほど方向性の変化が少なく重要性が高まると考えられるため、重みは式 (17), 式 (18) より次式と表す。

$$w_X = \frac{1}{|\nabla X_1 p - \nabla X_2 p| + |\nabla X_1 q - \nabla X_2 q|} \quad (19)$$

Y, Z 値も同様の式としそれぞれ w_Y , w_Z とする。この式は対象画像と参照画像の特徴部の強度を比べ、差が少ない、すなわち照明変動による影響が少ないものほど重みを与える。また、参照画像と対象画像でももとの特徴が少ないものどうしを比べると、重みが多くなってしまいが、特徴の少ない箇所においては、方向符号が無効符号として処理する (式 (2))。この重み付けは、非一様な照明変動に対して、また局所的な照明変動に対して、X, Y, Z 値のなかでより照明変動による影響が少なく、類似度としての信頼性の高いものに重点を置くため照合のロバスト性に寄与すると考えられる。

4. 照明の一様な変化に対するカラー OCM の検証

本手法の性能について実環境のデータを使用し性能を確認した。対象物全体に対し一様な照明下で、照明のスペクトルを変化させ実験を行った。図 2(a) は白色の照明下で撮影した画像、(b), (c) は照明のスペクトルをそれぞれ一様に黄色、赤色に変化させた状況下での画像である。それぞれハロゲンランプに赤色、黄色のフィルタをかけたものであり、(d), (e) はその照明成分として白色の板に照らし撮影したものである。(a) は参照画像を表し、(b), (c) は対象画像を表す。参照画像より 15×15 画素のテンプレートを位置 (p, q) を中心に切り出し対象画像全体を探索し照合した。探索後、類似度 s_{XYZ} が最大となる位置において、類似度が 0.8 以上であれば検出位置とした。ここで正解位置との比較を行い、検出位置との差が 2 画素以内であれば、正解した検出位置と定義する。正解した検出位置 (p, q) で、全画素を白とした画像に黒点をプロットしていく。この探索を参照画像側の全画素においてを行い、全プロット後の画像を出力した。図 3 は出力結果を表す。(a), (b)

Fig. 2 Experimental images in color fluctuation

Fig. 3 Matched points by Color OCM

の画像は、照明がそれぞれ変化しているが照明の一様な色変化に関わらず画像上側の絵柄の部分や中心部の文字等の特徴がある場所で方向性は失われず照合が成功することを示している。この結果より照明の色変化に対してロバスト性が高いといえる。

5. 他手法との比較

本手法の照合性能について、画像照合に多く使われている正規化相関 (Correlation Coefficient: CC) と比較し確認する。また、重みの効果を確認するため、重み付けを考慮しないカラー OCM (均等加重のカラー OCM) との比較を行った。均等加重の OCM の評価値は XYZ の類似度を平均した次式を使用した。

$$s_h = \frac{s_X + s_Y + s_Z}{3} \quad (20)$$

5.1 正規化相関 (CC)

正規化相関は入力画像の各画素ごとの明度から画像全体の平均明度を引いた画像で演算を行う。これにより画像全体の明度差の影響を軽減して照合を行う手法である^{11) 12)}。この手法を XYZ 表色系の各値について演算を行い、算出された相関係数に均等に重み付けを行い、各値の平均を使い照合した。

5.2 他手法との比較による検証

各手法での実験は 4 章と同様に図 2 の参照画像、対象画像で行う。CC での実験はテンプレートの大きさ、探索方法、正

(a) Object #1

(b) Object #2

Fig. 4 Matched points by CC

(a) Object #1

(b) Object #2

Fig. 5 Matched points by Color OCM(no weight)

解位置と定義する範囲，出力方法を 4 章において述べた実験方法と同様とし，検出位置とする．閾値は，類似度が 0~1 の間を取り相関係数が -1~1 の間をとるため，各カラー OCM は類似度 0.8 以上，CC は相関係数 0.6 以上を使用した．均等加重のカラー OCM の実験方法は 4 章と同様とする．図 4 は CC での実験結果を表す．照合成功箇所である黒点が画像全体に現れ，カラー OCM と同じく特に特徴周りでよく照合が成功している．黒点が画面全体に多くカラー OCM 側より照合は成功箇所が多い状態となっている．図 5 に均等加重のカラー OCM での実験結果を示す．照合成功箇所は重み付きカラー OCM と同様の箇所に現れており，黒点の数も同様となっている．表 1 に各手法の比較を示す．検出数 (Detection counts) は閾値以上で照合した数，適合数 (Correctness counts) は照合結果中の正解数とする．適合率 (Precision) は適合数を検出数で割る照画面素中の正解率である．閾値は前述と同様と類似度 0.8 以上，相関係数 0.6 以上とする．CC は各カラー OCM 側より検出数，成功箇所がより多く現れている．しかし，各カラー OCM 側は CC に比べ適合率が高く現れている．また，閾値と適合率の関係を図 6 に示す．閾値の範囲はカラー OCM を類似度 0.5~0.9，CC を相関係数 0.0~0.8 とした．この理由は，前述のように類似度と相関係数の範囲が異なるためであり，更にそれぞれの無相関係数が 0.5 および 0.0 となるためである．相関がない状態の相関係数 0 に対する，類似度 0.5 の状態ではどちらのグラフも CC 側が適合率が高いが，カラー OCM 側は閾値が上がるにつれ OCM 側は適合率が上がっていく．CC は閾値に関わらず 80% 前後の適合率であるが，各カラー OCM は最大で 95% 以上の適合率になっている．また重み付きと均等加重のカラー OCM の比較ではあまり差異はみられない．よって，一様な照明変化に対しては，重み付けに関係なく，カラー OCM がロバストであるといえる．

5.3 非一様な照明変動下の実験

画像全体で照明に揺らぎを含む，非一様である状況での照合実験を行った．これは一部の照明光が劣化や退色した状態での検査や，また文化遺産などで照明光が制限されている状態¹³⁾での撮影など，照明が偏ってあてられた状態を想定して実験を行った．図 7(a), (b) は参照画像と対象画像を表す．図 7(b)

Table 1 Matching rates for the images in Fig.2

Object #1			
	CC	Color OCM (no weight)	Color OCM (weighting)
All pixel counts	180000	180000	180000
Detection counts	88021	43138	41265
Correctness counts	70306	40787	39018
Precision	82.6%	94.5%	94.5%

Object #2			
	CC	Color OCM (no weight)	Color OCM (weighting)
All pixel counts	180000	180000	180000
Detection counts	95701	43047	43883
Correctness counts	75067	42910	41176
Precision	81.8%	95.6%	97.7%

(a) Object #1

(b) Object #2

Fig. 6 Precision-threshold in color fluctuation

は左上から赤色の照明，右下から黄色の照明をあてた状況下での画像であり，照明の作成方法は 4 章と同様とし，その照明成分を (c) に示す．カラー OCM，CC の各実験方法は 4 章，5.2 節と同様で行った．図 8 に各実験結果を示す．(a) は CC，(b) は均等加重カラー OCM，(c) は重み付きカラー OCM による実験結果を表す．図 8(a) は画像右側の文字や中心部の絵のような特徴の多い箇所においても照合ミスが起こり，文字や絵の中にも黒点が少ない．相関係数がテンプレート内の照明の揺らぎに依存したため照合が失敗したと考えられる．図 8(b), (c) は画像全体にかけ照合成功箇所が現れ，特に文字や絵の周りの特徴のある箇所においては黒点が多く現れていることが分かる．表 2 に比較を示す．閾値等は 5.2 節と同じとする．適合率は

Fig. 7 Experimental images in non-uniform lighting

Fig. 8 Matched points

Fig. 9 Vicinity area of edges

Fig. 10 Matched points based on edge features

Table 2 Matching rates for the images in Fig.7

	CC	Color OCM (no weight)	Color OCM (weighting)
All pixel counts	480000	480000	480000
Detection counts	103709	354112	371853
Correctness counts	53926	226091	243615
Precision	51.9%	63.8%	65.5%

Table 3 Matching rate based on edge features

	CC	Color OCM (no weight)	Color OCM (weighting)
Feature pixel counts	211952	211952	211952
Detection counts	83875	174112	198450
Correctness counts	45882	125101	163935
Precision	54.7%	78.7%	82.6%

Fig. 11 Precision-threshold in non-uniform lighting

CCより各カラー OCM側が上回っている。次に特徴の無い箇所では照合した箇所を取り除くため、参照画像のエッジ周辺を特徴領域とし(図9)、領域内だけで比較を行う。図10、表3はその結果を示す。表2に比べて各カラー OCM側の適合数が減少するが適合率は上がり80%前後まで向上した。図11に各手法の適合率と閾値の関係を示す。閾値に関わらずCCより各 OCM側の適合率が上回っていることが分かる。また、重み付きと均等加重のカラー OCMの比較では、適合率や適合数、閾値との関係にもそれほど違いはないが、図10(b)と(c)を比較すると、図7(b)の右下付近の照明が赤色から黄色に変化した箇所で、均等加重のカラー OCMの照合成功箇所が少なくなっており、特に左側の文字部分に顕著に現れている。この結果より重み付きカラー OCMは非一様な照明変化に対して、CCや均等加重のカラー OCMよりもロバスト性が高いといえる。

5.4 パターンを含む照明下の実験

照明側にテクスチャが含まれるような、画素近傍で照明が一定でない場合についての実験を行った。この実験は反射率が高いワークの表面に撮影者や撮像装置が写る等、対象物側のテクスチャにない情報が照明として入り込んだ場合に正しく対象物だけを認識し照合することを想定している。図12(a), (b)は参照画像と対象画像を表す。(b)は作成した照明のパターンをプロジェクターで対象物に照らした画像であり、(c)はその

Fig. 12 Experimental images in patterned illumination

Fig. 13 Matched points

照明成分とする。実験は重み付きと均等加重の各カラー OCM と CC の比較で行い、実験方法は 4 節、5.2 節で述べた実験方法と同様で行った。

図 13(a) は CC, (b) は均等加重のカラー OCM, (c) は重み付きカラー OCM による結果を表す。各実験結果は特徴領域周りを抽出した画像であり、特徴領域を図 13(d) に示す。CC は全体的に照合成功箇所が少なく、均等加重のカラー OCM は照明変化の激しい場所において照合成功箇所が少ない。OCM 側は特徴周りでよく照合が成功している。検出位置のばらつきを図 14 に示した。Counts of Matching は検出した画素数とする。Horizontal Position, Vertical Position は 0 位置を基準とした正解位置と検出位置の差を表し、それぞれ水平方向、垂直方向の差を表している。検出のための閾値は 4 章、5.2 節と同様とした。重み付きカラー OCM は精度よく収束しており、正解位置によるピークが他に比べ著しいことが分かる。均等加重のカラー OCM はピークが幅広くなっている。これは照明パタンの特徴に影響され、誤照合が起こったためだと考えられる。表 4 は検出数、適合数、適合率を表す。また、図 15 に適合率と閾値の関係を示す。閾値に関わらず重み付きカラー OCM が他の手法の適合率を上回っている。また、照明と重みの比較

Table 4 Matching rate for the images in Fig.12

	CC	Color OCM (no weight)	Color OCM (weighting)
Feature pixel counts	51952	51952	51952
Detection counts	48121	47100	49886
Correctness counts	12297	28764	40127
Precision	25.6%	61.1%	80.4%

(a) By CC

(b) By Color OCM(no weight)

(c) By Color OCM(weighting)

Fig. 14 Position errors in matching

(a) Gradient intensity of illumination

(b) Ratio of weight

Fig. 16 Weight in patterned illumination

Fig. 15 Precision-threshold in patterned illumination

を 図 16 に示す。これは垂直軸を固定して水平軸方向の照明の勾配値と重みの変化を表したものである。重みは 図 17(a) のライン H の部分で、参照画像と対象画像の計算を行った。照明の勾配値は同位置のラインで照明成分の画像 (図 17(b)) で値をとった。照明の勾配計算はソーベルで行い、水平方向と垂直方向の勾配の値のユークリッド距離を使用した。図 16(a) と (b) を比べると、照明の変化値が激しい箇所において、重みの値は照明の変化が少ない値ほど高くなっている。たとえば 図 16(a) の A 部では X の値が高いが、(b) の A 部では X 値の重みの値を低くとり、照明の変化が少なかった Z 値に重みを与えている。B 部では逆に Z 値が高く、X、Y 値が低い状態であるため、重みの値は Z を低くとり、X と Y に高くとって

(a) Horizontal line in reference image

(b) Horizontal line in illuminated pattern

Fig. 17 Horizontal line

いることが分かる。

この図より、特徴周りに照明パタンが混ざる状況においても、重み付けの対応により XYZ 表色系の各値の中でもっとも照明の影響が少なく、方向性が保存されている値を選べたと考えられる。また実験結果より重みをつけたカラー OCM は、照明のパタンのような外乱に対してロバストであるといえる。

6. ま と め

本論文は照明変動下、特にスペクトルが変化している画像に対して照合を行うため XYZ 表色系を使う OCM を提案し、実験を行い有効性を示した。得られた結論は以下のとおりである。

- (1) 提案した手法は、画像改善手法のような補正が必要なく、一般的なカメラ画像を使い照明変動下において照合を行うことが可能である。
- (2) 照明スペクトルが画像全体に対して一様に変化した環境

においても各値の方向性は保存されており，特徴周りにおいては2画素以内の範囲の精度で正しく照合することができた．

(3) 照明のスペクトルの変化が画像全体に対して，勾配及び偏差がかかる非一様な変化においても照合することができ，CCよりも優れていることが分かった．

(4) 重み係数を使用することで，照明がボタンを含むような局所的で変化が激しい照明に対しても照合を行うことができた．

今後の課題として，XYZ表色系の重み付けの改善及び，実用化に向けて処理時間の短縮化を考えたアルゴリズムに改善する必要がある．

参 考 文 献

- 1) 富永昌治，田中 法博：カラーカメラを用いた美術絵画の計測とレンダリング(人文科学への応用)，情報処理学会論文誌，**45**，1，(2004) 350.
- 2) 吉森聖貴，満倉靖恵，福見稔：カラー劣化画像復元のための適応的粒状抑制の一手法，電気学会論文誌 C，**127**，12，(2007) 2093.
- 3) 米沢徹也，緒方公一，白谷和幸：カラー画像による虹彩中心検出アルゴリズムとその高速化，電気学会論文誌 C，**128**，2，(2008) 253.
- 4) 安倍満，小沢慎治：撮影環境にロバストな交通流計測アルゴリズム，電子情報通信学会論文誌，**J88-A**，8，(2005) 983.
- 5) 山内仁，鈴木健正，高橋浩光：画像の多重分割とエッジ肥大化を用いた照明変化に頑健な物体領域抽出法，電子情報通信学会論文誌，**J90-D**，No. 10，(2007) 2884.
- 6) F. Ullah, S. Kaneko, and S. Igarashi: Orientation Code Matching for Robust Object Search, IEICE Trans. On Inf. & Sys., **E48-D**，8，(2001) 999.
- 7) F. Ullah and S. Kaneko: Using orientation codes for rotation-invariant template matching, Pattern Recognition, **37**，no. 2，(2004) 201.
- 8) 日本色彩学会：色彩工学ハンドブック，東京大学出版会，(1980) 403.
- 9) 三宅洋一，中川慎司：視覚特性に基づく画質評価，電子情報通信学会論文誌，**J89-A**，11，(2006) 858.
- 10) 三宅洋一：色再現・カラーマネジメント，画像電子学会誌，**35**，6，(2004) 756.
- 11) 池田光二，吉田昌司，中島啓介，浜田長晴，依田晴夫：正規化相関演算の単調関数化による高速テンプレートマッチング，電子情報通信学会論文誌，**J83-DII**，9，(2000) 1861.
- 12) 斉藤文彦：正規化相関度に基づくブロック選択による画像テンプレート照合，精密工学会誌，**67**，8，(2001) 1271.
- 13) 山口雅浩，羽石秀昭：感性を刺激する自然な色再現を目指してーナチュラルビジョンプロジェクトの活動ー，電子情報通信学会誌，**88**，6，(2005) 456.