

反射輝度情報による色情報の特徴抽出と判別

景山陽一,* 西田 眞,* 小濱義明**

Feature Extraction and Distinction for Colors using Spectral Reflectance Information

Yoichi KAGEYAMA†, Makoto NISHIDA† and Yoshiaki KOHAMA††

Abstract

This paper analyzes spectral reflectance information in order to understand color features. Twenty-three-color image data are taken by using a monochrome CCD (Charge Coupled Device) camera through three filters: X, Y and Z filters on condition that the range of illumination is 1000lx to 11000lx at every 1000lx, and that a lens opening is eight types. Digital number (luminous intensity) in image data is much related to both brilliance and illumination at data acquisition. The relation between spectral reflectance information and brilliance will help extract the difference of colors. Based on the measurements and the resulting relations, we propose a color distinction approach due to fuzzy reasoning. The reliability of the proposed approach is demonstrated in an experiment using the color image data that taken in a XYZ space.

Key Words: color, spectral reflectance information, brilliance, illumination, fuzzy reasoning, XYZ space

1. はじめに

我々の目にする物体の色は、光源からの照射光（電磁波）が物体表面で反射した光である。物体からの反射光は照明条件に影響されるため、照明条件が変化すると視覚系に入射する色信号も変化する⁽¹⁾。

一方、人間の視覚系は物体の見え方を一定に保持しようとするカラーコンスタンシー（色恒常性）の特性を有している⁽²⁾⁽³⁾。すなわち、照明条件が変化しても物体の見え方は大きく変化しないため、我々人間は物体表面固有の色を知覚することができる。色情報は形状情報とともに物体を特徴づける重要な要素であり、物体認識に必要である⁽³⁾。しかしながら、例えば、屋外などの自然環境下で取得したデータを解析に用いる場合、データ取得時の天候、地域、時期および時間などにより太陽光量も異なるため、観測する対象の照明条件の特定は困難であるのが現状である。このため、同じ物体でもデータの取得条件によっては異なる色と認識されることも起こり得る。これが物体を誤認識する原因の一つになっている。

そこで本研究では、異なる照明条件で取得された物体の色情報の判別を目的とし、CCD (Charge Coupled Device) カメラと X, Y, Z フィルタにより屋内で取得された反射輝度情報を用い、色の有する特徴について検討を加えた。さらに対象物

の明るさを示す指標として、デジタルスポットメーターにより取得された輝度に着目し、反射輝度情報と輝度を用いたファジィ推論による色判別法についても検討を加えたので報告する。

2. サンプルデータおよび画像データの取得

2.1 サンプルデータ

記録・表示デバイスが異なると、同一画像データを用いた場合でも色や階調などの異なる画像データとして出力されることがあるため、正確な色の再現は困難である⁽⁴⁾。そこで本研究では、論理的に作成した23色（シアン・マゼンタ・黄および各5色から構成される4種類の同系色（無彩色・赤・緑・青）のサンプルデータをカラープリンタ（エプソン社製 PM-5000C）を用いて出力し、解析に用いた。サンプルデータの詳細を表1に示す。なお、作成したデータのうち、cyan（シアン）、magenta（マゼンタ）、yellow（黄）、white（白）、black（黒）、red1（赤）、green1（緑）、blue1（青）の8色を主要8色とした。また、white、gray1、gray2、gray3、blackの5色を同系色無彩色、red1～red5の5色を同系色赤、green1～green5の5色を同系色緑、blue1～blue5の5色を同系色青とし、解析を行った。

2.2 画像データの取得

全ての色は3種類の異なる色を適当な割合で混色することにより表され、これは「色の3色性」と呼ばれる⁽⁵⁾。しかし、CIE（国際照明委員会）の定めたRGB表色系では、3種類の原刺激（R, G, B）のバランスを調整しても等色しない色がある。そこで、刺激値に負の値を認めることにより色の3色性を常に成立させている。しかしながら、刺激値が波長により負になることは、計算をする時に誤りを生む原因となる⁽⁵⁾。

一方、XYZ表色系では、刺激値が全て正になるように R, G, B に対応する仮想的な X, Y, Z を定めている。さらに、Y は比視感度曲線に一致しているため、XYZ表色系は実用的である。

平成12年11月28日受付

* 秋田大学工学資源学部情報工学科

〒010-8502 秋田市手形学園町1-1

** 日本情報通信システム株式会社

〒180-0013 東京都武蔵野市西久保1-6-26

† Department of Computer Science and Engineering, Faculty of Engineering and Resource Science, Akita Univ., 1-1 Tegata-Gakuen, Akita 010-8502, Japan

†† Nippon Telecommunications System Co., Ltd. 1-6-26, Nishikubo, Musashino, Tokyo 180-0013 Japan

E-mail: kageyama@ie.akita-u.ac.jp

Table 1 Sample data for twenty-three colors.

	Color	Red	Green	Blue	Hue	Saturation	Intensity
	cyan cyan	0	255	255	180	255	128
	magenta magenta	255	0	255	300	255	128
	yellow yellow	255	255	0	60	255	128
	white	255	255	255	-	-	255
gray scale	gray1	128	128	128	-	-	128
	gray2	192	192	192	-	-	192
	gray3	64	64	64	-	-	64
	black	0	0	0	-	-	0
similar shade of red	red1	255	0	0	0	255	128
	red2	255	128	128	0	255	192
	red3	128	0	0	0	255	64
	red4	255	64	64	0	255	160
	red5	192	0	0	0	255	96
similar shade of green	green1	0	255	0	120	255	128
	green2	128	255	128	120	255	192
	green3	0	128	0	120	255	64
	green4	64	255	64	120	255	160
	green5	0	192	0	120	255	96
similar shade of blue	blue1	0	0	255	240	255	128
	blue2	128	128	255	240	255	192
	blue3	0	0	128	240	255	64
	blue4	64	64	255	240	255	160
	blue5	0	0	192	240	255	96

そこで本研究では、XYZ 表色系による色情報の特徴について検討を加えた。すなわち、CCD (Charge Coupled Device) カメラ (浜松ホトニクス社製 C3077) に X, Y, Z フィルタを取り付け、サンプルデータの画像情報 (256階調グレイスケール; 512画素×480画素サイズ) を取得した (以下、X, Y, Z フィルタを用いて取得した画像データをそれぞれ X 画像, Y 画像, Z 画像と略記する)。サンプルデータと CCD カメラの距離は 60 cm に固定し、光源には写真用電球 350W 白色光 (4 灯) を用い、1000~11000lx 間の 10 段階 (1000lx 刻み) の照度で画像データを取得した。なお、照度は電圧調整器により光源に加える電圧を調整し、設定した。また、レンズの絞り (カメラへの入射光量) が画像情報に与える影響を検討するため、レンズの絞りを 8 段階 (F2.8, F4, F5.6, F8, F11, F16, F22, F32) に設定した場合の画像データをそれぞれ取得した。さらに、照度計を

用い、サンプルデータと同位置の照度 (lx) を測定するとともに、CCD カメラと同位置からデジタルスポットメーター (セコニック社製 DUALSPOT F L-778) を用いて輝度 (cd/m^2) を測定した。デジタルスポットメーターは $0.25 \sim 244000 (\text{cd}/\text{m}^2)$ の範囲で測定が可能であり、受光角は 1° に設定した。データ取得システムの概要を図 1 に示す。

3. 画像情報の解析

3.1 画像情報と輝度・照度の関連

対象物が屋外にある場合、その地点における照明条件は未知であることが多いため、あらかじめ遠隔から取得できる情報と照明条件との関連を明らかにしておく必要がある。特に色判別を行う場合、照明条件により画像情報も変化するため、画像情報と輝度・照度との関連について検討を加える必要がある。

そこで本研究では、サンプルデータの画像情報 (0~255) と輝度 (cd/m^2) および画像情報と照度 (lx) の関連について検討を加えた。測定結果の一例 (green1, X 画像) を図 2 (a), (b) に示す。画像情報と輝度および画像情報と照度の間には、それぞれ強い相関のある様子が認められる。この傾向は他の 22 色においても同様であることを確認している。なお、各色 (23 色) について相関係数を求めたところ、画像情報と輝度の間には 0.964~1.000 (平均 0.996) の値が、画像情報と照度の間には 0.971~1.000 (平均 0.998) の値が得られた。すなわち、画像情報と輝度および画像情報と照度は相関の強いことが実験的に明らかとなった。

以上の結果は、データ取得時の対象物の輝度または照度が定まれば、画像情報と輝度・照度の関連について測定された結果を用いることにより、異なる照明条件下における画像情報の推定ができるため、対象物の色推定が可能になることを示唆して

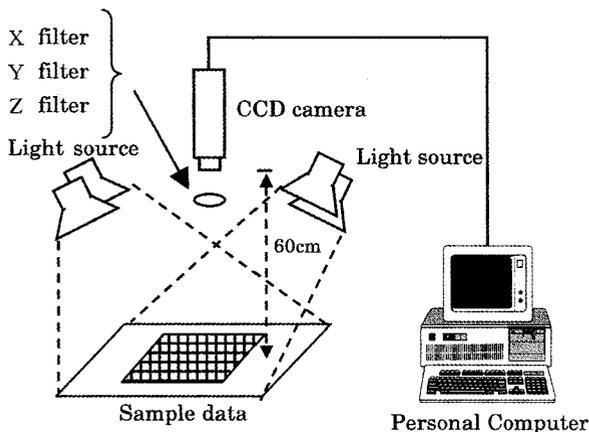


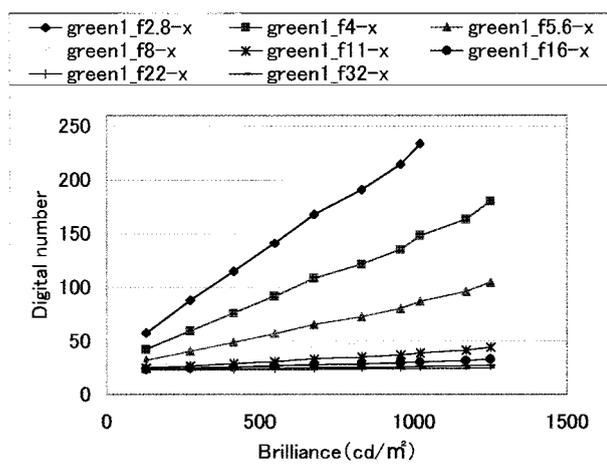
Figure 1 Camera system to obtain image data.

いる。

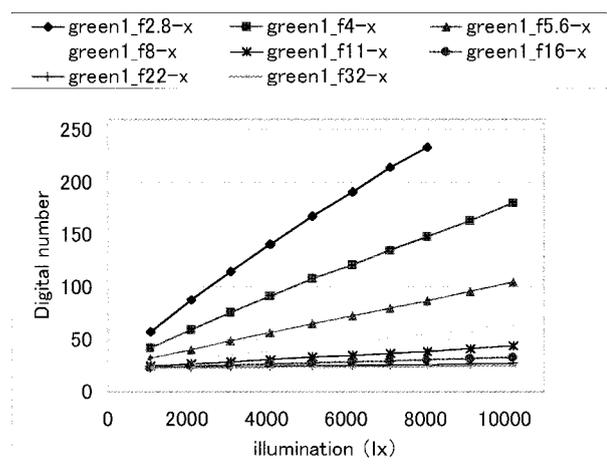
3. 2 絞りの相違による画像情報と輝度の関連

照明条件は多種多様であるため、カメラへの入射光量も多種多様であることを考慮し、画像情報と輝度・照度の関連を明らかにしておく必要がある。そこで、レンズの絞りの値 (F2.8~F32) を変えて同一サンプルを撮影し、X 画像、Y 画像、Z 画像をそれぞれ取得した。得られた結果の一例 (同系色赤, X 画像) を図3 (a), (b) に示す。絞りが F2.8の結果 (図3 (a)) と比較し、絞りが F32の結果 (図3 (b)) では画像情報の値のばらつき (図中の縦線) が大きくなり、また、取り得る値の範囲も狭くなる様子が認められる。なお、この傾向は他の22色においても同様であることを確認している。

以上の結果は、絞りにより画像を暗くすると (入射光量を絞ると)、画像情報の値の取り得る範囲が狭くなるため、照明条



(a) Relation between the digital number in image data and the brilliance.



(b) Relation between the digital number in image data and the illumination.

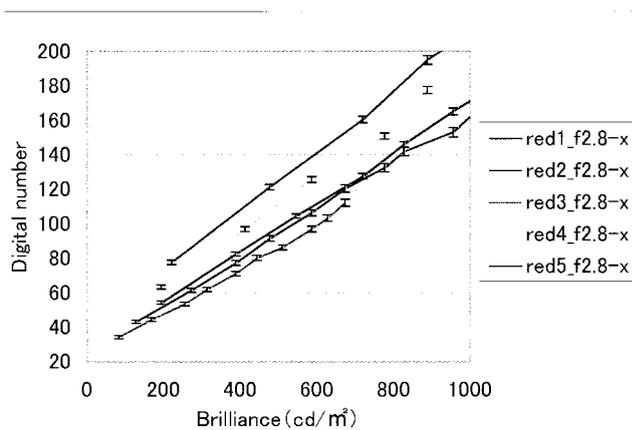
Figure 2 Relation between the digital number and the brilliance or illumination for sample data, "green1" that obtained by using an X filter.

件が異なる場合の画像情報の差異抽出は困難になることを示している。

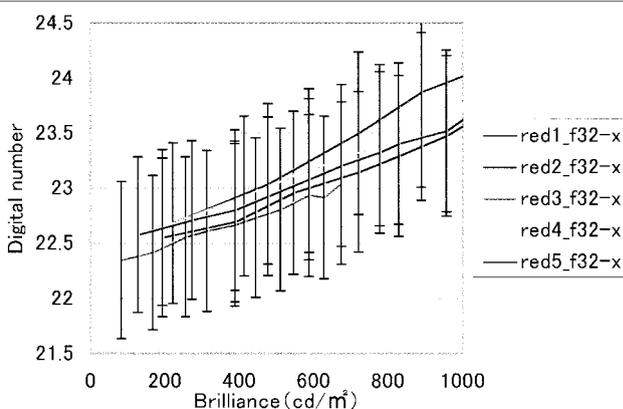
3. 3 画像情報と輝度の関連における色情報の相違

照明条件が変化した場合の各色の画像情報 (X, Y, Z) の特徴について検討を加えるため、画像情報と輝度から構成される2次元平面上に主要8色について測定したデータをプロットした。得られた結果の一例 (絞り F2.8, Z, X 画像) を図4 (a), (b) に示す。Z 画像 (図4 (a)) では, yellow (黄) と red1 (赤) および green1 (緑) と blue1 (青) の間には差異が認められないものの, X 画像 (図4 (b)) では両者の判別は容易である。このように複数のフィルタを用いて取得した画像データを組み合わせることにより、照明条件が変化した場合でも主要8色は8種類の色として判別が可能と推測される。

5色から構成される4種類の同系色 (無彩色・赤・緑・青) についても同様の検討を加えたところ、同系色無彩色は5種類、同系色赤は5種類、同系色緑は2種類および同系色青は4種類の色として判別できることを確認している。



(a) Measurements using a lens opening of F2.8.



(b) Measurements using a lens opening of F32.

Figure 3 Relation between the digital number and the brilliance for similar shade of red that obtained by using an X filter.

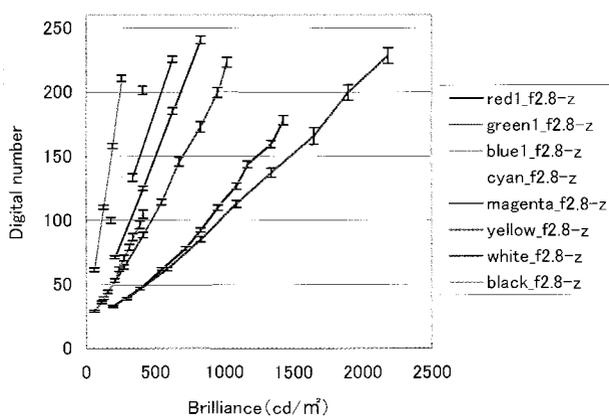
4. ファジィ推論を用いた色の判別

4.1 色判別アルゴリズム

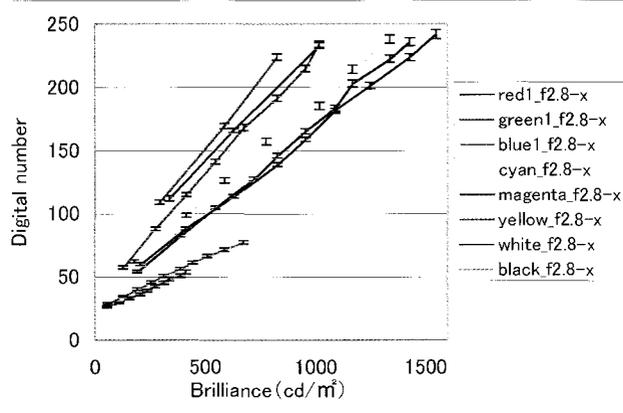
照明条件の異なる環境で取得された画像情報には、観測誤差やモデル誤差が包含されている⁽⁴⁾⁽⁶⁾。例えば、本研究で取得した画像データは印刷物上から色情報を取得しているため、印刷による色むら、または照明による局所的な色情報の相違など、必ずしも正確な情報を抽出しているとは限らない。

そこで本研究では、画像データ中に含まれる各種外乱を「あいまいさ」と考え、色空間に存在する取得画像情報をスペクトル特徴空間上の「ファジィ集合」と見なし、ファジィ推論⁽⁷⁾による色の判別を行った。

本研究で対象とする色は、3種類の画像データ (X, Y, Z) を組み合わせることによって表すことができる。そこで、同一条件下で取得した X 画像, Y 画像, Z 画像を1セットの画像データと見なし、解析に用いた。さらに、対象物(色)の明るさを示す指標として輝度に着目し、画像情報と輝度のデータを用い、色判別を行うメンバーシップ関数に与える教師データを絞り別々に作成した。教師データの作成例を図5に示す。



(a) Measurements using a Z filter.



(b) Measurements using an X filter.

Figure 4 Relation between the digital number and the brilliance for main eight colors that obtained by using a lens opening of F2.8.

始めに、画像情報と輝度から構成される2次元平面上に、各照度において測定したデータをプロットした。さらに、画像情報と輝度・照度の間には比例関係があることから、隣り合う点を直線で連結した。なお、同様の処理を分散にも施している。

次に、任意のC色j成分において輝度 α が得られた時、輝度 α と画像情報の直線との交点を教師データの代表値 ($m_{c,j,\alpha}$) とした。また、輝度 α と分散を表す直線との交点を求め、得られた値と $m_{c,j,\alpha}$ との差分を教師データの尤度 ($v_{c,j,\alpha}$) とした。なお、本研究では照度を10段階 (1000~11000lx) に設定して画像データを取得するとともに、教師データ算出も照度との関連を考慮して行っているため、色推定の際に入力される輝度 α の値が、対象物を測定した範囲に含まれない事例も存在した。その場合には取得データから求めた傾きを用い、擬似的に直線を延長して輝度 α との交点(代表値, 尤度)を算出し、教師データを作成した。例えば、取得データの端点と比較し、入力される輝度の値が大きい場合、取得データの後半部分(5点)の傾きを直線の傾きとして採用した。

さらに、教師データとして用いる各色に類似する色のスペクトル分布は正規性を持つと仮定し、得られた教師データの輝度値, 尤度 ($m_{c,j,\alpha}$, $v_{c,j,\alpha}$) を用い、教師データ各色の確率密度関数 $f_c(x_j)$ を次式のように決定した。

$$f_c(x_j) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot v_{c,j,\alpha}} \exp - \frac{(x_j - m_{c,j,\alpha})^2}{2 \cdot v_{c,j,\alpha}^2} \quad (1)$$

ここで、

$f_c(x_j)$: C色の確率密度関数,

$m_{c,j,\alpha}$: C色, j成分 (X, Y, Z), 輝度 α の時の画素値,

$v_{c,j,\alpha}$: $m_{c,j,\alpha}$ の尤度,

x_j : j成分 (X, Y, Z)の入力変数

である。

また、未知色画素を判別する確率密度関数の最大値を $\max f_c(x_j)$ とし、(1)式に示した確率密度関数 $f_c(x_j)$ をその最大値で割り、正規関数 $\mu_c(x_j)$ を定義し、これをメンバーシップ関数とした。

最後に、各成分 (x, y, z) のメンバーシップ関数上で、未知色画素の帰属度をそれぞれ求め、各色の適合度を(2)式により算出し、最大の値が得られた色に未知色画素を帰属させた。

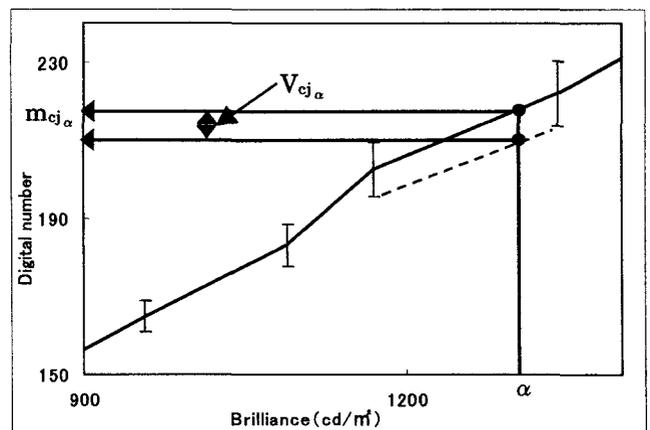


Figure 5 An example for extracting supervised data.

Table 2 Distinction results for main eight colors with the proposed approach.

	red	green	blue	cyan	magenta	yellow	white	black	average
F2.8	99.1	99.9	99.3	98.5	95.5	99.3	97.5	97.4	98.3
F4	97.7	99.8	98.7	98.0	89.6	99.5	98.8	98.0	97.5
F5.6	95.3	97.9	95.6	99.4	92.6	98.8	98.2	93.3	96.4
F8	96.0	96.7	92.7	98.3	91.4	98.6	97.5	87.7	94.9
F11	93.4	91.9	89.4	96.1	86.8	96.0	96.5	73.2	90.4
F16	85.5	80.0	85.5	89.4	80.8	93.3	94.0	50.8	82.4
F22	72.7	61.8	71.1	63.5	62.1	84.0	76.1	26.7	64.8
F32	48.5	36.4	66.2	49.1	41.4	67.8	54.6	14.6	47.3

(%)

$$h_c = \frac{w_x \cdot f_c(x_x) + w_y \cdot f_c(x_y) + w_z \cdot f_c(x_z)}{w_x + w_y + w_z} \quad (2)$$

ここで、

h_c : C色の適合度、

$f_c(x_j)$: C色, j成分の帰属度、

w_j : j成分の重み係数

である。

4.2 シミュレーションデータ

本研究で提案する色判別法の有用性を検証するため、主要8色および各5色から構成される4種類の同系色(無彩色・赤・緑・青)について、それぞれ色判別を行った。具体的には、教師データ同様、取得条件の等しいX画像、Y画像、Z画像を1セットの画像データと見なし、その中から100画素をランダムに抽出した。この作業を各照度のデータについて施し、照度別に取得したデータ(各100画素)を用いてシミュレーションを行い、得られた判別率の平均を各サンプル(色)についての判別結果とした。

5. 色判別の推定結果および検討

5.1 重み係数の決定

未知色画素の判別に用いる(2)式は、各成分(x, y, z)の帰属度と重み係数の加重平均を求めているため、各成分の重み係数を定める必要がある。そこで本研究では、R, G, Bの特徴が顕著に表れる成分の重み係数の値を高く設定して判別を行い、得られた結果を比較した。例えば、同系色赤の場合、赤色の特徴はX成分に顕著に表れるため、重み係数を(w_x, w_y, w_z) = (4, 3, 3), (2, 1, 1), (3, 1, 1), (14, 3, 3), (8, 1, 1), (18, 1, 1)の6段階に設定し、各重み係数を用いて予備実験を行った。

その結果、最も良い判別率の得られた(w_x, w_y, w_z) = (4, 3, 3)を同系色赤の重み係数として設定した。同様に同系色緑および同系色青についても予備実験を行い、最も良い判別結果の得られた(w_x, w_y, w_z) = (3, 4, 3), (w_x, w_y, w_z) = (3, 3, 14)を同系色緑および同系色青の重み係数としてそれぞれ設定した。なお、主要8色および同系色無彩色の判別は特定成分の画像情報に依存しないため、重み係数は $w_x = w_y = w_z = 1$ とした。

5.2 ファジィ推論による色の判別結果

(1) 主要8色の判別結果

主要8色について行った色の判別結果を表2に示す。絞りを開く程良好な判別結果が得られ、例えば、絞りF2.8の場合では、95.5~99.9%(平均98.3%)の結果となった。

判別結果を個別に比較したところ、cyan, magenta, white

Table 3 Distinction results for group of gray scale with the proposed approach.

	white	gray1	gray2	gray3	black	Average
F2.8	99.5	99.0	95.7	98.7	100.0	98.6
F4	99.3	96.9	94.6	99.0	99.8	98.0
F5.6	93.6	93.9	91.4	97.4	98.3	95.0
F8	91.5	87.1	85.9	87.0	90.9	88.5
F11	86.1	67.1	74.6	65.4	78.8	74.4
F16	77.8	52.1	60.4	43.6	64.3	59.6
F22	69.3	30.1	45.5	15.4	46.2	41.3
F32	63.1	28.5	26.5	13.7	42.0	34.8

(%)

Table 4 Distinction results for similar shade of red with the proposed approach.

	red1	red2	red3	red4	red5	Average
F2.8	98.0	100.0	98.8	99.9	97.5	98.8
F4	97.8	99.3	98.1	98.5	94.4	97.6
F5.6	94.4	97.4	92.5	95.8	91.0	94.2
F8	89.3	97.3	86.1	94.0	76.0	88.5
F11	79.4	92.0	79.4	77.9	56.9	77.1
F16	61.9	82.7	62.6	62.4	39.6	61.8
F22	58.4	65.9	43.3	40.8	26.3	46.9
F32	54.3	48.9	31.2	25.3	14.3	34.8

(%)

などの色では、絞りを絞った方が判別率の向上する事例があった。例えば、cyanの場合、F5.6の判別結果は99.4%となり、F2.8の判別結果(98.5%)よりも良好な値が得られている。本研究で用いたシステムでは、画像情報は256階調(0~255)で表されており、また、cyan, magenta, whiteなどの色の場合、光量の強い条件下では反射輝度情報も高い値を示している。従って、このような事例では本来の色情報が正しく取得されないため、絞りを絞る(カメラへの入射光量を少なくする)ことにより、判別率が向上したと推測される。

判別結果のうち、誤判別した色の傾向について検討を加えたところ、本提案法では白, 黄, シアンとの組み合わせで誤判別されることが分かった。なお、この3色は緑と他の色との加法混色である。緑は前述したように、5色の同系色は2色の色として表現される。従って、緑を用いた混色である3色(白, 黄, シアン)も他の色と比較し、細かな色の差異は表現されにくいと推測される。このことが誤判別の生じる要因の一つであると考えられる。なお、緑は白および黄に誤判別される傾向のあること

Table 5 Distinction results for similar shade of green with the proposed approach.

	green1	green2	green3	green4	green5	Average
F2.8	82.1	95.4	94.5	76.9	90.2	87.8
F4	74.4	94.1	89.5	74.0	86.4	83.7
F5.6	70.5	91.5	78.6	59.5	74.5	74.9
F8	50.5	86.7	67.0	50.5	60.0	62.9
F11	43.4	79.2	50.8	39.7	51.8	53.0
F16	29.7	55.9	29.4	32.3	42.5	38.0
F22	24.3	56.5	19.3	20.7	28.9	29.9
F32	33.7	29.6	14.5	14.9	21.1	22.8

(%)

Table 6 Distinction results for similar shade of blue with the proposed approach.

	blue1	blue2	blue3	blue4	blue5	Average
F2.8	87.5	99.0	94.3	99.3	81.4	92.3
F4	84.9	96.2	89.8	97.8	83.3	90.4
F5.6	79.9	97.6	87.0	90.9	79.2	86.9
F8	69.6	96.9	70.5	95.5	62.9	79.1
F11	67.8	92.2	53.6	80.8	63.5	71.6
F16	56.3	91.0	39.7	74.0	62.0	64.6
F22	25.9	84.1	27.7	56.6	62.3	51.3
F32	19.7	81.5	19.0	31.8	55.7	41.5

(%)

を確認している。同様に、赤、黒、マゼンタの組み合わせで誤判別されることが分かった。すなわち、赤と黒はマゼンタと他の色との減法混色であるため、この組み合わせの誤判別が多くなったと推測される。さらに、青は絞りの開いた状態では黒と誤判別する事例が多く、また、絞りを絞った状態ではシアンと誤判別する事例の多いことが分かった。

(2) 各同系色の判別結果

各5色から構成される4種類の同系色(無彩色・赤・緑・青)について行った色の判別結果を表3~表6にそれぞれ示す。主要8色の判別結果同様、各同系色の結果でも絞りを開いて取得した画像では精度良く色判別が行われているのに対し、絞りを絞った画像では判別精度の低下していることが分かる。これは、絞りを絞ることにより画素値の取り得る範囲が狭くなるため、異なる照明条件における画像情報推定が困難となり、その結果、色判別も困難になったことを示している。なお、絞りF2.8の場合、同系色無彩色は95.7~100.0% (平均98.6%)、同系色赤は97.5~100.0% (平均98.8%)、同系色緑は76.9~95.4% (平均87.8%) および同系色青は81.4~99.3% (平均92.3%) と良好な判別結果が得られている。

各同系色の判別結果を比較したところ、同系色緑の判別率は他の同系色よりも相対的に低い値となった。これは、同系色緑における色の細かな差異の判別が、他の同色系と比較して困難であることを示している。しかしながら、主要8色における緑の判別結果では99.9%と最も良い値が得られており、他の7色

との判別は良好に行われている。従って、本提案法は異なる照明条件下における色を判別する上で有用な手法になり得ると考える。

6. まとめ

本研究では、異なる照明条件下における物体の色判別を目的とし、CCDカメラとX、Y、Zフィルタにより取得した反射輝度情報と輝度・照度との関連について検討を加えた。また、反射輝度情報が示す色情報の相違についても検討を加えた。さらに、色の相違を判別する手法として、反射輝度情報と輝度を用いたファジィ推論による色判別法を提案し、その有用性について検討を加えた。

その結果、反射輝度情報と輝度および反射輝度情報と照度の組み合わせには、それぞれ強い相関の認められることを明らかにした。また、絞りにより入射光量を絞ると(画像を暗くすると)、画素値の取り得る範囲が狭くなるため、色の判別が困難になることを実験的に明らかにした。

さらに、本研究で提案するファジィ推論による色判別法を用いて主要8色および4種類の同系色(無彩色・赤・緑・青)の色判別を行ったところ、絞りを開いて取得した画像データでは、精度良く色判別の行えることを明らかにした。

なお、本研究では白色光の照明条件で取得した画像データを解析対象としているため、屋外など他の異なる照明条件で取得された画像データについては検討を加えていない。従って、本研究で提案する色判別法の汎用性については、今後さらに検討する予定である。また、誤判別する色の特徴を踏まえた色判別法の改良についても、今後の課題としてさらに検討を加える予定である。

最後に、実験に協力下された本学情報工学科石沢千佳子助手並びに工藤航也技官に謝意を示します。

文 献

- (1) 松山, 久野, 井宮 (1998): コンピュータビジョン, 新技術コミュニケーションズ, pp. 64-79
- (2) 富永, 高橋 (1999): 6色カメラによる分光情報の推定, 電子情報通信学会論文誌(D-II), Vol. J82-D-II, No. 7, pp. 1180-1189
- (3) 森脇, 中谷 (1998): 離散分光画像を用いた照明不変な色物体検出, 電子情報通信学会論文誌(D), Vol. J81-DII, No. 11, pp. 2574-2581
- (4) 日本色彩学会 (1998): 色彩科学ハンドブック, 東京大学出版会, pp. 1137-1151
- (5) 高木, 下田 (1991): 画像解析ハンドブック, 東京大学出版会, pp. 91-100
- (6) 大田, 塚田, 林 (1993): 複数枚カラー画像からの照明色と物体色の復元, 電子情報通信学会論文誌(A), Vol. J76-A, No. 12, pp. 1778-1786
- (7) 水本(1992): ファジィ推論(1), 日本ファジィ学会誌, Vol. 4, No. 2, pp. 256-264