

物体認識のためのスペクトル画像による材質の判別

眞鍋 佳嗣[†] 佐藤 宏介^{††} 井口 征士[†]

Material Classification from Spectral Images for Object Recognition

Yoshitsugu MANABE[†], Kosuke SATO^{††}, and Seiji INOKUCHI[†]

あらまし 本論文は、色の物理的表現である分光輝度を画素値としてもつ、スペクトル画像を入力し、その処理によって、物体・表面の認識、材質判別などの新たな応用を提案するものである。これまでコンピュータビジョン分野におけるスペクトル分布の利用はリモートセンシングなどで行われているが、室内環境での応用はほとんど報告されていない。そこで、物理計測器の分光輝度計の測定点を縦横に走査することで室内環境のスペクトル画像を得て、物体認識に適用する。得られたスペクトル画像の領域分割手法として、隣接画素間での相関を手掛りにする手法を提案する。同一物体では、強度が異なってもスペクトル分布が同一であるため相関が高くなり、異なる物体では逆に相関が低くなるためである。また、更に詳しい解析を行うために、主成分分析の導入を行った。スペクトル画像を適用することにより、RGBカラー画像では分割が困難な異種同色物体の領域分割を行えることを示す。

キーワード スペクトル画像, 相関法, 主成分分析, 画像認識

1. ま え が き

現在のカラー画像入力は、RGBカメラでの計測が主流である。人間の視覚が、どのような色でも三つの原刺激の加法混色で再現できるためである。しかし、実際のシーンはスペクトル分布をもつ物理光学現象であり、RGBの3色で解析するには限界がある場合がある。例えば、相互反射のように色が微妙に変化する現象の場合、RGB画像では忠実に表現できない。また、カラー画像の処理方法を考えてみても、今日まで行われてきている2値画像、濃淡画像の処理方法が基礎となっているものが多く、カラー画像の特徴である“色”があまり重要視されていない。そのため、色に関する処理を考えた場合、その処理の正当性を検証する方法が必要となる。そこで、本研究ではスペクトルデータを用いて、従来行われてきたカラー画像処理の検証を行うことを考える。

ここで、連続的なスペクトル分布を画素値としてもつ、スペクトル画像を考える。このようなスペクトル

画像は、リモートセンシングの分野で資源調査などに使われている。しかし室内環境では、狭帯域フィルタを用いた波長分解による画像計測が利用されているだけで、連続的なスペクトルをもつ画像の研究はほとんど行われていない。

そこで本論文は、色の物理的表現である分光輝度を画素値としてもつ、スペクトル画像の入力装置を開発し、物体・表面の認識、材質判別などの新たな手法を提案する。また、画像入力時に濃淡画像、カラー画像またはフィルタによる特定波長の測定などから最適な画像入力方法を選択するための基準画像として提案する。

今回は、このスペクトル画像の応用として、同色で材質の異なる物体の判別を考える。材質が異なっても色が同じ物体の場合、RGBではその差を明確にとらえることは困難であり、判別することは難しい。しかし、スペクトル分布を観測すると、異なる材質であればスペクトル分布が個々に特徴的な差異をもつことが把握できる。この原理を用いて物体の判別をスペクトル画像で行う。

2. スペクトル分布の画像への応用

これまでの視覚センサを利用しての物体認識は、2値画像、濃淡画像を用いて行われてきた。また色情報

[†]大阪大学基礎工学部システム工学科, 豊中市

Faculty of Engineering Science, Osaka University, Toyonaka-shi, 560 Japan

^{††}奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科, 生駒市

Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology, Ikoma-shi, 630-01 Japan

を加えるために、カラーカメラを用いたシステムが開発されている。ところが、同色だが異なる材質の対象が混ざっている場合を考えると、カラー画像処理では材質をもとに個々の対象を判別することは難しい。

そこで本論文では、分光に関する詳しいデータを得る方法としてスペクトル分布を画像として入力することを考える。まずこれまでに報告されているスペクトル分布の応用例を示す。

(1) リモートセンシング[1]

スペクトル画像の利用が古くから行われている分野である。LANDSATの画像では、450nm～690nmまでの可視波長帯と760nm～の赤外線波長帯を7バンドに分け測定を行い、マルチスペクトル画像の撮影を行う。各バンドでの特性を生かし、大気汚染や水質汚濁の調査、土地利用の調査などが行われている。しかし、連続的なスペクトルデータが得られないため、微妙な色変化などは検出できない。

(2) 真珠の品質検査[2]

高度に自動化されている工業ラインの中にも人間の勘や感覚を頼りにした官能検査が組み込まれていることがある。こうした感覚量を少しでも数値化し、客観的に検査計測しようとする感覚計測は大きな課題である。この研究では、真珠の品質評価にスペクトルデータを用い、真珠の色の微妙な変化をスペクトルで計測し、ニューラルネットワークを使うことで、分類できることが示されている。

(3) 物体表面の同定[3]

ロボットビジョンにおける色の検出において、スペクトルを応用している研究である。まず、物体表面光学特性の光沢部から照明のスペクトル分布を推定し、それを基に物体色の再現および違う方向から測定された同一物体上のスペクトルから物体の同定を行っている。

また、この照明色の推定アルゴリズムの応用として、物体間で生じている相互反射の解析を行っている[4]。

これらのほかにも、CGにおいて3次元物体をリアルに表示するために、スペクトル分布を用いた方法[5]や顕微鏡画像の処理に分光情報を利用する方法[6]など提案されている。またスペクトル分布ではないが、工業応用として特徴のよく表れる特定波長だけを測定するために狭帯域フィルタを用いて画像入力し、処理を行ったりすることがある。

しかし、リモートセンシングでのマルチ・スペクト

ル画像や、帯域フィルタを用いた画像は、特定波長のみもしくはある広い幅をもった波長帯での計測をもとにしており、連続的なスペクトル分布を利用した処理は行われていない。

逆に、真珠の品質検査や物体表面の同定では連続したスペクトル分布を利用してはいるが、点計測であり画像データとはなっておらず、測定点ごとに独立で測定点同士の位置関係はほとんど無視されている。

本研究ではそれぞれの利点を生かすためにスペクトル画像を提案する[7],[8]。また、このスペクトル画像は、濃淡画像、カラー画像、帯域フィルタを用いた画像等の最適な入力画像および、帯域フィルタの場合の最適波長を選択する基準画像として利用できるものと考えられる。

3. スペクトル画像

現在、スペクトル分布を測定するための物理計測器である分光輝度計は点測定が基本である。そのため、画像として測定するには測定点をスキャニングして複数点測定し、その計測データを画素値とする方法が考えられる。

図1に本論文で行う測定方法を示す。分光輝度計を縦横に等間隔に動かし測定を行い、その計測データを基にスペクトル画像を作製する。スペクトル画像は画素値に可視波長帯(380nm～760nm)での各波長での強度をもつ。そのため、画素位置を表す x 、 y および各

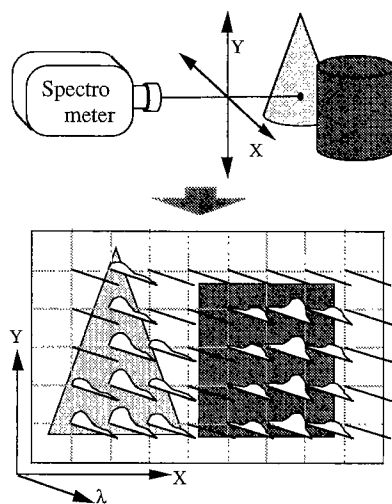


図1 スペクトル画像

Fig. 1 Spectral image.

画素位置での波長強度の3次元となる。

4. スペクトル画像からの物体の認識

この章では、得られたスペクトル画像から物体を認識する方法を述べる。

濃淡画像、カラー画像では物体を認識するために濃淡値や色の情報を有効に用い、処理を行っている。スペクトル画像では、各波長帯での分光強度を用いる方法を考える。

スペクトル画像では縦横の位置関係が明確なため、それぞれ隣接している画素同士での関係を調べることができる。そこで、本研究では物体認識の初期段階として隣接している画素同士の相関を求める方法をまず行う。

物体表面が一樣な色をもつ光沢のない物体の場合、陰影によって明るさの変化は生じるが、色の変化は生じない。つまり、スペクトル分布の強度は変化するが形状は変化せず、物体に固有なスペクトル分布を示す。そのため、同一物体上の異なる点でのスペクトル分布は強度だけの違いになり、相関が高くなる。一方、異なる色の物体ではそれぞれのスペクトル分布も異なる。そのため、相関を調べるとこの場合は低くなる。

隣接する画素値を $C_A(\lambda)$ 、 $C_B(\lambda)$ とする。 λ は可視波長帯($\lambda_0 \sim \lambda_1$)を示すものとする。このとき、それぞれの平均値を $\overline{C_A}$ 、 $\overline{C_B}$ 、標準偏差を σ_A 、 σ_B 、共分散を σ_{AB} とすると

$$\overline{C_A} = \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_0} \int_{\lambda_0}^{\lambda_1} C_A(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

$$\overline{C_B} = \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_0} \int_{\lambda_0}^{\lambda_1} C_B(\lambda) d\lambda \quad (2)$$

$$\sigma_A^2 = \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_0} \int_{\lambda_0}^{\lambda_1} \{C_A(\lambda) - \overline{C_A}\}^2 d\lambda \quad (3)$$

$$\sigma_B^2 = \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_0} \int_{\lambda_0}^{\lambda_1} \{C_B(\lambda) - \overline{C_B}\}^2 d\lambda \quad (4)$$

$$\sigma_{AB} = \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_0} \int_{\lambda_0}^{\lambda_1} \{C_A(\lambda) - \overline{C_A}\} \{C_B(\lambda) - \overline{C_B}\} d\lambda \quad (5)$$

となる。しかし、実際の計測では λ_0 から λ_1 の可視波長帯を n 個の帯域に分割して n 次元のデータとして入力

されるため、

$$\overline{C_A} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n C_{Ak} \quad (6)$$

$$\overline{C_B} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n C_{Bk} \quad (7)$$

$$\sigma_A^2 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (C_{Ak} - \overline{C_A})^2 \quad (8)$$

$$\sigma_B^2 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (C_{Bk} - \overline{C_B})^2 \quad (9)$$

$$\sigma_{AB} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \{C_{Ak} - \overline{C_A}\} \{C_{Bk} - \overline{C_B}\} \quad (10)$$

と和の形で表現され、これを用いて隣接する画素A、B間の相関係数 R_{AB} は、

$$R_{AB} = \frac{\sigma_{AB}}{\sigma_A \times \sigma_B} \quad (11)$$

と計算できる。この相関係数 R_{AB} の値が1に近いならばこの2点は同一物体上の一樣な色の面上にあると考えられる。また、-1に近いほど異なる物体、または異なる色の面であると考えられる。

図2に実際に測定例を示す。図2(a)に測定シーンを示す。シーン左に水色と橙色の紙の立方体、その上に赤色のプラスチックの球、そして右側に緑色のプラスチックの円筒が配置してある。(b)は測定点を、(c)は得られたスペクトル画像を示している。画素間隔は対象物体付近で約1cmであり、分光輝度計から対象物体までの距離は約1m、測定角は 0.2° で、物体表面での測定面は直径約0.3cmの円となる。それぞれの表面の色でスペクトル分布が異なっていることがわかる。

4.1 実験

このスペクトル画像に式(11)の相関による面の連続性判定を適用した例を表1に示す。使用したスペクトルデータは図2(c)の一番下の行のデータである。列番号は行中の左からの位置を示す番号であり、相関係数はそれぞれ隣接する画素間での相関の程度を示している。また、横方向、および縦方向に相関係数を計算した結果を図3に示す。図3では、図中の格子点が計測点を示し、(a)が横方向、(b)が縦方向のそれぞれの計測点の隣接画素間の相関係数を濃度で表している。濃度の濃くなっているものほど相関係数が低くなっている。

表1および図3の結果を考察する。まず表1では、0と1、3と4、6と7、12と13の4箇所が相関係

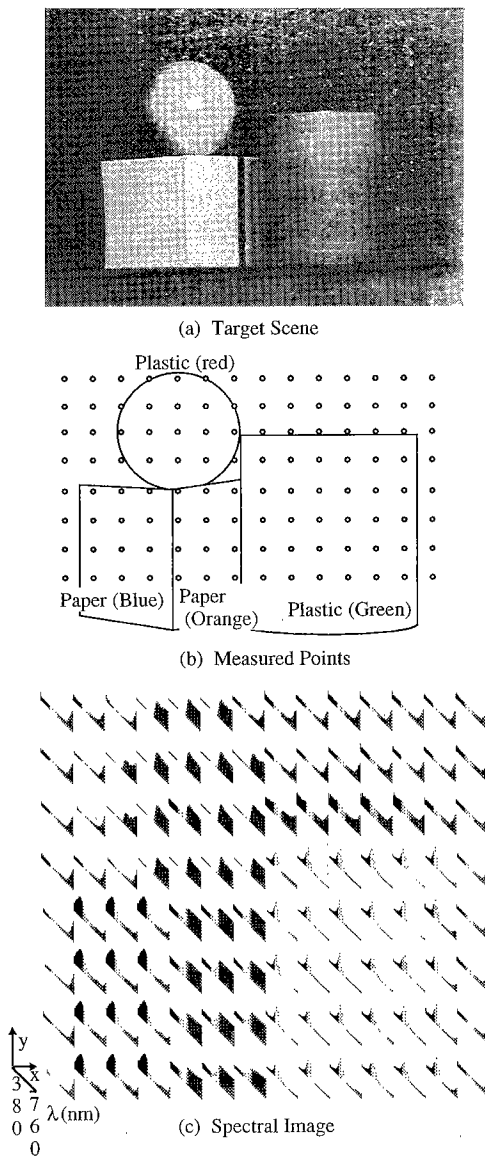


図2 スペクトル画像測定結果

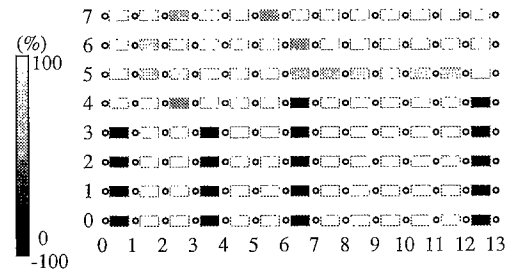
Fig. 2 Measurement of spectral image.

数の低くなっている場所であり、それぞれ物体または色に変化している箇所と一致している。またそれぞれ同じ物体、面上の計測点同士は相関係数が1に近く、高い相関を示している。但し、3と4の間で他の変化箇所より高い相関が得られている。これは、図2(a)の測定対象シーンからもわかるように、物体間で相互反射が生じているために、他の面のスペクトルの影響が出ているためと思われる。

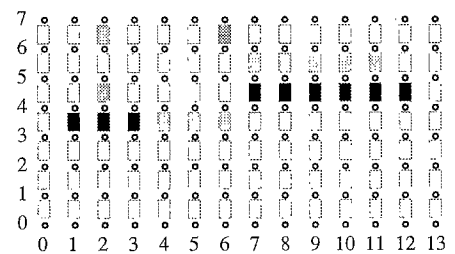
表1 相関の計算結果

Table 1 Correlation coefficients of Fig. 1.

列	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
相関係数	0.01	0.99	0.99	0.54	0.99	0.98	0.24	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.90	0.01



(a) X Correlation Map



(b) Y Correlation Map

図3 相関係数マップ

Fig. 3 Correlation map.

また、図3では、物体の色の変化している箇所で相関係数が低くなっており、エッジの部分と重なっている。このことから、隣接画素間の相関を計算することによって、スペクトル画像の領域分割が可能であることがわかる。

5. 主成分分析による物体認識

4.で述べた隣接画素の相関を用いる方法は、領域のエッジをもとにした分割である。これに対しここでは、物体領域をもとに分割を行うために主成分分析を導入する。

主成分分析は、多くの変量の値をできるだけ情報の損失なしに、少数個の主成分で代表させ、必要な次元に縮約することができる。本研究では、主成分がスペクトル分布中に含まれる物体の特徴量を表す指標となり、主成分によって計算された各特徴量の値によって物体の分離を行う。

ここでは、第1主成分を明るさの変化に対する成分と仮定し、背景画素との分離および物体上の計測点の強度変化の吸収に用いられる。また、スペクトル分布の変化に対応する成分として第2主成分以下を用いることとする。

観測信号は n 点の波長帯でサンプリングされ、 n 次元の縦ベクトル $C_i (i=1,2,\dots,m)$ で表される。ここで m は観測点の数、つまり画素数である。この観測信号を $m \times n$ の行列 $C = [C_1, C_2, \dots, C_m]^T$ にまとめ、 $n \times n$ の分散・共分散行列 V を求める。さらにこの行列 V の固有値 $\lambda_i (i=1,2,\dots,k)$ 、固有ベクトル $a_i (i=1,2,\dots,k)$ を求める。ここで、固有値 λ_i は大きな値のものから順に並べるものとし、固有値の数 k はシーン中に存在している物体の個数によって決まる。このとき、主成分は

$$S_{im} = a_i^T C_m \quad (12)$$

と表現できる。ここで、主成分 S_{im} は m 番目の観測点の第 i 主成分を意味する。実際にはこの値から更に主成分の平均値を差分したものを主成分得点とする。この主成分得点によって、画像中の領域分割を行う。

5.1 実験

本研究で用いているスペクトル画像は、可視波長帯 380nm から 760nm を 5nm 間隔で測定したものである。そのため、各画素ごとに 77 次元ものデータをもっており、これを主成分分析を使うことによって、有意次元数に縮約することにする。

対象シーンを図4に示す。四つの白色円筒のうち、左上と右下が画用紙、右上と左下がケント紙である。このようなシーンの場合、濃淡画像、カラー画像では

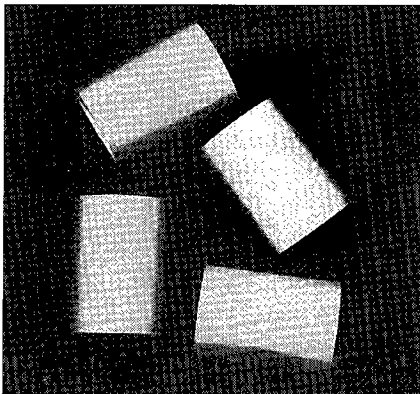


図4 対象シーン

Fig. 4 Scene with two kinds of paper rolls.

これら二つの材質の判別は困難である。このシーンに対して横 23 点、縦 13 点でスペクトル画像を入力した。このときの測定点を図5に、画用紙の領域である $(x,y)=(16,4)$ とケント紙の領域である $(x,y)=(5,5)$ のスペクトル分布を図6に示す。あまり大きな差異は存在しないが、青色を示す 450nm 付近の波長でケント紙のスペクトル分布が強くなっている。これは、色をより白く見せるために素材の中に混ぜられている蛍光物質によるものと考えられる。

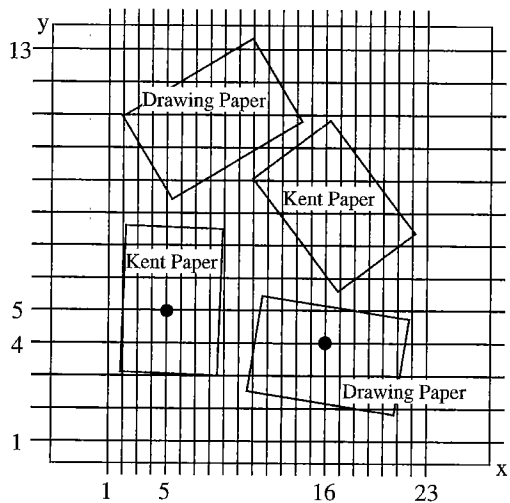


図5 測定点

Fig. 5 Measured points.

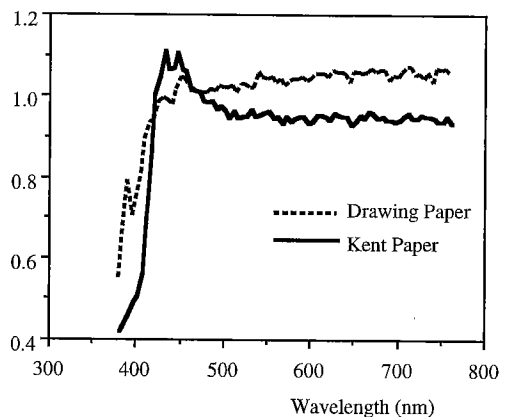


図6 画用紙とケント紙のスペクトル分布

Fig. 6 Spectral distributions of drawing and kent paper.

この画像に対して前節で示した主成分分析を行った結果が図7である。黒が背景、白が画用紙、灰色がケント紙を示している。また、このときの第1主成分は背景と物体の分離に、第2主成分は画用紙とケント紙の分離に利用されている。それぞれの成分スペクトル分布を図8に示す。このときの、主成分得点による分割に用いたそれぞれのしきい値には経験的に最適な値を選び、第1主成分に-0.2、第2主成分に-0.095を用いた。

まず、図7に示した判別結果については、ケント紙の一部が画用紙として判別されている。これは、物体表面の陰影によって観測波長帯全体で分光強度が弱

く、センサのS/Nの関係でケント紙の450nm付近の分光強度が強くなるスペクトル分布の特徴が顕著に現れなかったためと思われる。

また、判別には第2主成分まで用いた。通常、主成分を示す固有値、固有ベクトルの数は分析を行うデータ中に含まれる成分の数によって決まる。つまり、この実験では背景、画用紙、ケント紙の三つの成分からなるため、それぞれを適切に射影する軸としては二つ求めればよい。しかし、実際にはノイズなどの影響によって二つ以上の固有値が求まる。本論文では、シーン中の物体数が既知と仮定したため、第2主成分までを利用した。また、第2主成分までの累積寄与率は95%以上であった。

6. 基準画像としてのスペクトル画像

画像処理を行うとき、濃淡画像、カラー画像などから、最適な画像入力方法を、対象とする物体の特性などを基に選択する必要がある。また、狭帯域フィルタを用いる場合、適切な波長帯を選択しなければならないが、これらは従来経験的に行われてきた。一方、ス

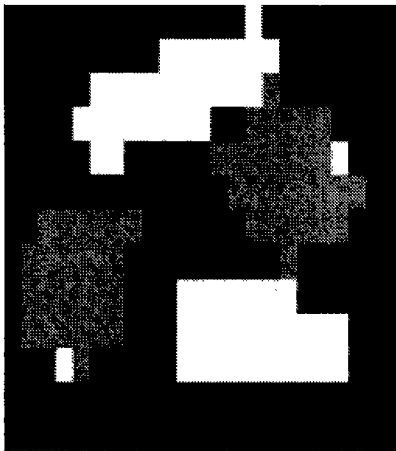


図7 主成分分析結果

Fig. 7 Segmentation results based on principal component analysis.

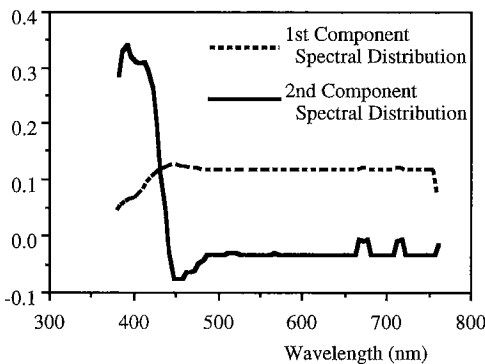
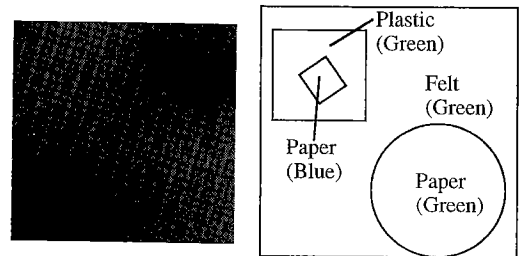
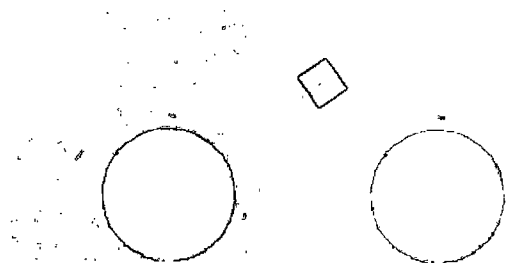


図8 成分スペクトル分布

Fig. 8 Analyzed components of spectral distribution.



(a) Target Scene



(b) Edge Detection by Intensity

(c) Edge Detection by Hue

図9 異質同色物体の領域分割例

Fig. 9 Image segmentation examples.

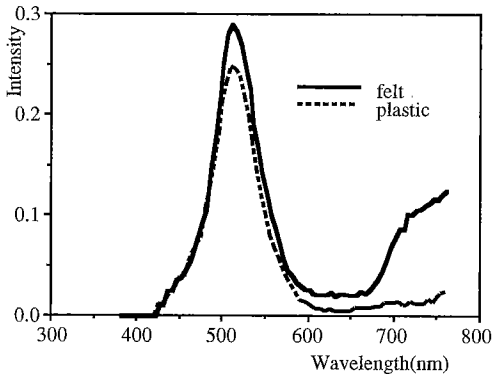


図10 スペクトル分布

Fig. 10 Spectral distribution.

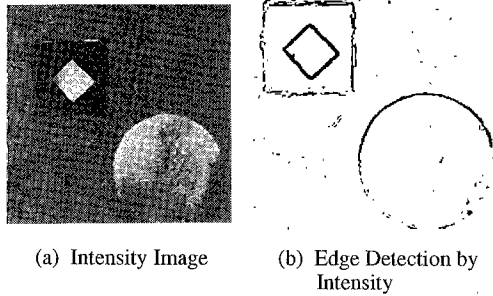


図11 帯域フィルタによる領域分割

Fig. 11 Segmentation by narrow band-pass filter.

ペクトル画像は物理的光学情報を全て含んでおり、画像の入力方法などを選択するための基準画像として利用できる。

緑色のフェルト、プラスチック、紙および青色の紙を取り込んだ画像を図9(a)に示す。(b)は濃淡画像からエッジを検出したものである。円形の緑の紙の領域だけが明るさの違いから検出できているが、他の領域は検出できていない。(c)は色相からエッジを検出したものである。青色の紙の領域と緑の紙の領域が検出できている。しかし、緑色のフェルトとプラスチックの領域の分割はできていない。

この二つの領域のスペクトル分布を測定したものを図10に示す。それぞれの領域で、緑色を示す500nm付近のスペクトル分布が強くなっていることは同様であるが、650nm以上での分布強度はフェルトの方が強く、この波長帯を利用することで領域が分割できるものと思われる。

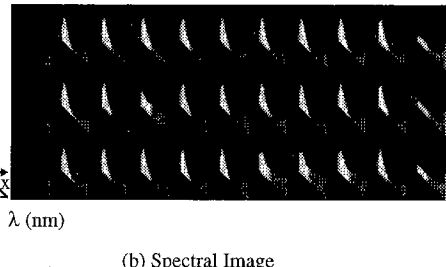
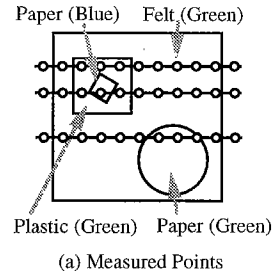


図12 同色物体のスペクトル画像

Fig. 12 Spectral image.

表2 図12に対する相関の計算結果

Table 2 Correlation coefficients of Fig. 12.

列番号	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
相関係数	<u>0.262</u>	<u>0.790</u>	0.970	0.977	<u>0.735</u>	0.992	0.998	0.994	0.996	<u>0.325</u>	
	<u>0.233</u>	<u>0.843</u>	<u>0.023</u>	<u>0.072</u>	<u>0.737</u>	0.991	0.999	0.998	0.999	<u>0.353</u>	
	<u>0.253</u>	0.998	0.999	0.998	0.999	<u>0.841</u>	0.988	0.928	<u>0.872</u>	<u>0.279</u>	

700nmに最大透過率をもつ狭帯域フィルタで撮影した画像を図11(a)に示す。(b)はエッジ検出の結果である。濃淡画像、カラー画像では検出できなかったプラスチック領域の検出できていることがわかる。

更に、図9(a)の入力画像に対して、スペクトル画像を用いる。図12(a)に測定点を、(b)に得られたスペクトル画像を示す。それぞれの材質でスペクトルの形状が違っていることがわかる。

このスペクトル画像に、まず4.で示した相関による領域分割手法を用いる。その結果を表2に示す。同表の下線の引いてある数値が、ちょうど物体の変わっているところに対応している。フェルト→プラスチック、フェルト→紙の場合、同じ緑色のために相関係数が比較的高くなっている。しかし、しきい値を0.9に設定することで、分離が可能であることがわかる。

次に5.で示した主成分分析による領域分割を行う。今回用いた入力画像には五つの領域があるため、第3主成分まで求めれば十分である。

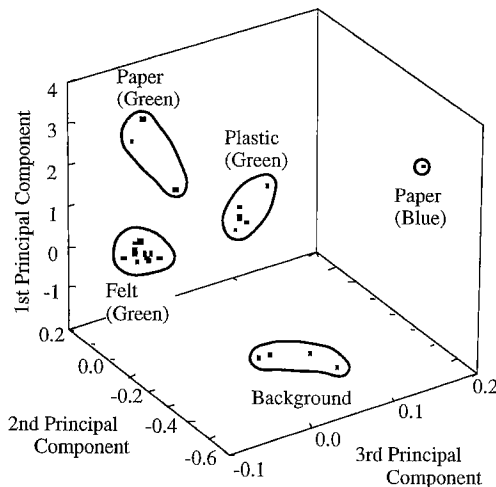


図13 主成分分析結果

Fig. 13 Result of principal component analysis.

表3 分別能力

Table 3 Ability of classification.

画像の種類 材質の区別	濃淡画像	RGB カラー画像	狭帯域 フィルタ画像	スペクトル 画像
紙(緑) フェルト(緑)	○	○	△	○
紙(青) プラスチック(緑)	×	○	○	○
フェルト(緑) プラスチック(緑)	×	×	○	○

この結果を図13に示す。それぞれの領域に分割できていることがわかる。

以上の結果を表3にまとめる。濃淡画像では明るさの違うもの、カラー画像では明るさ・色の違うものの領域分割が可能である。しかし、明るさ・色がほとんど変わらないような対象に関しては分割が不可能になる。また、帯域フィルタを用いた場合、適切な透過波長を選択できれば領域分割が可能になる。しかし、適切な透過波長を選ぶことができないと、分割は難しくなる。これに対し、スペクトル画像では分光強度情報、色情報、濃淡情報すべてを含んでいるため、ほとんどの対象に対して領域分割が可能である。また、スペクトル画像の情報を用いることで、適切な画像入力方法の選択が可能となる。

7. む す び

今回、分光輝度計を用いたスペクトル画像の計測システムを提案し、実際に画像を計測しその表示方法および測定結果を示した。

従来、リモート・センシングの分野のみで用いられているマルチスペクトル画像を、室内の物体を対象に物体認識を行った。

得られたスペクトル画像のセグメンテーションを行うための処理として、隣接している画素間での相関を調べ、その相関係数から物体領域を抽出できる可能性を示すことができた。また、物体認識を行う際の入力方法の適切な選択を行うための基準画像として利用できる可能性を示した。また、主成分分析の統計処理を用いることにより、より高度な認識が行えることがわかった。

文 献

- [1] 日本リモートセンシング研究会編，“リモートセンシング用講座 画像の処理と解析”，共立出版，1981.
- [2] 長田典子，亀井光仁，赤根正樹，中嶋紘之，“感性計測技術に基づく真珠品質評価システムの開発”，電学論C，vol. 112，no. 2，1992.
- [3] S. Tominaga，“Surface Identification Using the Dichromatic Reflection Model”，IEEE Trans. Patt. Anal. Mach. Intell.，vol.13，no.7，pp.658-669，1991.
- [4] 富永昌治，“カラー反射モデルを用いた相互反射の解析”，情報処理学会論文誌，vol.34，no.2，pp.302-311，Feb. 1993.
- [5] 富永昌治，“3次元空間における物体色のリアルな生成とその評価”，情報処理学会論文誌，vol.34，no.2，pp.289-301，Feb. 1993.
- [6] 河田 聡，“分光学を応用した顕微鏡画像処理”，Optics E，no.85，pp.87-94，Dec. 1986.
- [7] 真鍋佳嗣，佐藤宏介，井口征士，“スペクトル画像を用いた異質同色物体の分離”，信学'94春大，D-567，vol.7，pp.303，March 1994.
- [8] 真鍋佳嗣，佐藤宏介，井口征士，“連続スペクトル画像による物体認識についての考察”，画像の認識・理解シンポジウム，vol.1，pp.209-216，July 1994.

(平成6年11月10日受付，7年5月24日再受付)



真鍋 佳嗣 (正員)

平2阪大・基礎工・制御卒。平6同大大学院博士課程了。平7同大・基礎工・システム助手。工博。カラー画像処理の研究に従事。



佐藤 宏介 (正員)

昭58阪大・基礎工・制御卒，昭60同大大学院修士課程了，昭61同大・基礎工・制御助手，昭63カーネギーメロン大ロボット工学研究所客員研究員，現在奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助教授，3次元画像計測，イメージ情報処理の研究に従事，工博，

情報処理学会，電気学会，システム制御情報学会各会員，昭63年度篠原記念学術奨励賞，著書「3次元画像計測」など。



井口 征士 (正員)

昭37阪大・工・電気卒，昭39同大大学院・修士卒，昭40同大基礎工助手，昭44助教授，昭59教授（現システム工学科），工博，昭45仏国サクレ原子力研究所，昭54南カリフォルニア大学画像処理研究所，パターン計測，画像処理，感性情報処理の研究に従事，情報

処理学会，計測自動制御学会，システム制御情報学会，IEEE各会員。