

## 色彩情報の利用による半透明物体の検出

松久 祥子\* 大西 昇\*† 杉江 昇‡

名古屋大学工学部\* 理化学研究所† 名城大学工学部‡

\*名古屋市千種区不老町

†名古屋市熱田区六番町

‡名古屋市天白区塩釜口 1-501

あらし

我々の環境認識において重要なものが、奥行き知覚である。実世界にガラスなどの半透明物体が多く存在することを考えると、半透明物体とその背後の物体との前後関係の認識は、非常に重要な位置を占め、筆者の一部らによって無彩色物体に対する半透明物体の検出条件は既に明らかにされている。しかし、有彩色物体に対応するものではない。本研究では有彩色物体に対応できるよう、可視光領域全般を考慮し、色彩情報を用いることを提案する。また、実験、理論的計算及び心理実験から色彩情報利用の有効性を明らかにする。更に、有彩色物体を含む実画像における色彩情報を利用した、半透明物体の重なる検出方法を述べ、その検出例を示す。

和文キーワード 色彩情報 重なり検出 有彩色物体 前後関係

## Detection of translucent objects by using chromatic informations

Yoshiko Matsuhisa\* Noboru Ohnishi\*† Noboru Sugie‡

School of Engineering, Nagoya University \*

Bio-mimetic Control Research Center, RIKEN †

Faculty of Science and Technology, Meijo University ‡

\*Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, 464-01, Japan

† Rokuban-cho, Atuta-ku, Nagoya, 465, Japan

‡ Shiogamaguchi, Tenpaku-ku, Nagoya, 468, Japan

Abstract

Depth perception is essential for us to recognize our circumstances. It is very important to recognize the relation of back-and-forth between translucent objects and opaque one, because there are many translucent objects such as glasses in our world. We have already reported the conditions to identify a translucent object for an achromatic object, however, it is not applied to a chromatic one. We propose the use of chromatic informations to apply a chromatic one. And, we present its effectiveness by experiments, theoretical calculations and psychological experiments. Furthermore, we demonstrate the method for identifying the translucent object by use of chromatic informations, and the results.

英文 key words chromatic information detection of overlapping object chromatic object back-and-forth relation

# 1 はじめに

我々人間は、2次元網膜像の処理により周囲環境の3次元構造を復元し、環境を認識している。この際、陰影、テクスチャ、透視、動きなどの単眼での手掛かりや、強力な手掛かりである両眼視差を利用している。

生体にとってまず重要なのは、正確な奥行き情報ではなく、周囲にある物体の前後関係、すなわちどの物体が一番近くにあるのかということである。もし、一番近くにあるものが自分に危害を加えるようなものであれば、すぐに逃避行動をとらねばならない。そうでない場合でも少なくとも衝突を回避しなくてはならない。そのためには、前後関係、定性的な奥行きが視覚処理の初期段階で、速やかに得られることが重要である。そのような処理に関係するものとして、主観的輪郭[1][2][3]の知覚や、透明性の知覚がある。

シーン内にガラスなどの半透明物体が存在する場合でも、我々はごく自然に透明性を知覚し、半透明物体とその背後にある物体との前後関係の認識を簡単に行なっている。また、半透明物体の決定といった材質の決定は、従来は高次の視覚情報処理として考えられ、コンピュータビジョンの分野での研究は少なかった。しかし、近年、様々な報告から透明性の知覚は視覚情報処理において、非常に初期段階で行なわれるものであることが明らかになってきた。

Metelli, Beckらはフィルタモデルと扇風機モデルといった物理モデルを用いて、人間の視覚システムが画像中に透明性を知覚する条件を示した[4][5]。Watanabeらは透明性の知覚はわずか60msecで行なわれることを示し、画像中の重なった文字がMetelliらの条件を満たす時に認識率が高くなることを示した[8][9]。また、Kersten, Plummerらは透明視が、運動視や立体視などの初期段階の視覚情報処理にさえ、影響を与えることを報告している[9][10]。これらの様々な研究から、コンピュータビジョンにおいて半透明物体を含む場合の画像処理が重要であることが分かる[4]~[12]。

朱と筆者の一部により、計算機による無彩色物体に対する半透明物体検出条件が明らかにされているが、有彩色物体を取り扱った例は見られない。本研究では有彩色物体を対象とし、モノクロの単一情報だけでは透明性の検出には不十分であり、色

彩情報を用いることが有効であることを実験、理論的計算および心理実験から明らかにする。また、有彩色物体を含む実画像における色彩情報を用いた半透明物体検出方法について述べ、その検出結果を示す。さらに、反射パターンが従来のモデルと異なる場合の検出条件を検討した結果を述べる。

## 2 無彩色物体に対する半透明物体検出条件

有彩色物体を取り扱う前に、無彩色物体に対する半透明物体の検出条件について触れる。Metelliらの物理モデルに基づいた検出条件は、以下に示す通り、朱らによって明らかにされている[6][7]。

### 2.1 物理的モデル、心理的モデル

画像中に半透明物体があると知覚されるためには、光学的物理量の条件が満たされねばならない。図1のようなフィルタモデルを用い、図2に示す反射パターンに基づいて反射率を計算した結果を示す。 $a, b, c, d$ は領域A, B, C, Dそれぞれの反射率とし、 $f, t$ はフィルタの反射率及び透過率であり、これらの反射率及び透過率はそれぞれの波長ごとに成立する式である。重なり領域C, Dの見かけの反射率 $c, d$ は反射パターンから式(1),(2)の無限級数和で示される。ここで、Aを背景、Bを不透明物体、Cを不透明物体と半透明物体の重なり、Dを背景と半透明物体の重なりとする。

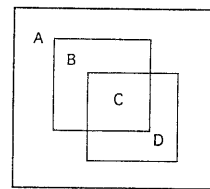


図1: フィルタモデル

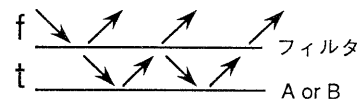


図2: 重なり領域の反射パターン 1

$$d = f + (t^2 a) / (1 - fa). \quad (1)$$

$$c = f + (t^2 b) / (1 - fb). \quad (2)$$

$$f = (bd - ac) / \{b - a + ab(d - c)\}. \quad (3)$$

$$t = \sqrt{\frac{(c - bcd + bd^2 - d)(b - a - abc + a^2c)}{(b - a + abd - abc)^2}}. \quad (4)$$

式(3),(4)は式(1),(2)によって導かれる。このフィルタモデルにおいて用いた $a, b, c, d, f, t, f+t$ は光学的物理量であることを考えると、それぞれ0から1までに制限されるべき値である。

Metelli, Beckらの心理学的立場からの報告によると[4]~[9],人間の視覚システムが画像中に透明性を知覚する条件は以下の二項目である。

- 半透明物体は背景物体の明るさの大小関係を変えない。
  - 半透明物体は背景物体の明るさの差を弱める。
- この条件を反射率で表したものが式(5),(6)であり、これらは式(1),(2)から導出することが出来る。

$$(a - b)(d - c) > 0. \quad (5)$$

$$|a - b| > |d - c|. \quad (6)$$

## 2.2 半透明物体検出条件

画像中に半透明物体の存在が検出されるには、反射率 $a, b, c, d$ が式(5),(6)を満たし、フィルタの反射率と透過率が $0 < t, f, f+t < 1$ の制限内に収まる必要がある。朱らは式(5),(6)を満たし得る反射率 $a, b, c, d$ の大小関係について検討し、物理的に可能である6通りを導いた[6][7]。その結果は表1の「反射率の大小関係」の項に示す。「結果」の項の「非唯一」、「唯一」とは不透明物体と半透明物体との位置関係が変わったとしても、式(5),(6)を満たしつつ、 $f, t, f+t$ も制限内に収まるかどうかを検討したものである。その結果、「唯一」では式(5),(6)を満たす時に $f, t, f+t$ も制限内に収まる場合が一通りしか存在せず、半透明物体をただ一つに決定できる。しかし「非唯一」では半透明物体は二通り(右下の正方形が半透明あるいは左上の正方形が半透明)の可能性があるということになる。

更にCCDカメラを用いた実験から、明るさは反射率に対して非線形であるが単調増加であり、反射率を $R$ 、濃淡値を $L$ とするとその関係は次の式

$$R = \alpha L^2 + \beta L + \gamma. \quad (7)$$

で近似されるため、朱らは領域A,B,C,Dの濃淡値 $l_a, l_b, l_c, l_d$ について、表1中の状況2,3,5,6の場合

は、以下の式(8),(9)が成立していれば、反射率についても式(5),(6)が成立することを示した[6][7]。

$$(l_a - l_b)(l_d - l_c) > 0. \quad (8)$$

$$|l_a - l_b| > |l_d - l_c|. \quad (9)$$

また、状況1,4についても $\alpha \ll \beta$ であるため、殆んどの場合、濃淡値が式(8),(9)を満たせば反射率も式(5)(6)を満たすと考えられる。このことから、多くの場合において、反射率の代わりに濃淡値の大小関係を用いて半透明物体を検出することが可能であると考えられる。

表1:半透明物体検出のための反射率と濃淡値の大小関係

状況	反射率の 大小関係	濃淡値の 大小関係	結果
1	$d$ 最大, $b$ 最小	$l_d$ 最大, $l_b$ 最小	唯一
2	$d$ 最小, $b$ 最大	$l_d$ 最小, $l_b$ 最大	唯一
3	$a$ 最大, $c$ 最小	$l_a$ 最大, $l_c$ 最小	非唯一
4	$a$ 最小, $c$ 最大	$l_a$ 最小, $l_c$ 最大	非唯一
5	$a > d > c > b$	$l_a > l_d > l_c > l_b$	唯一
6	$a < d < c < b$	$l_a < l_d < l_c < l_b$	唯一

本研究では、画像中の濃淡値が式(8),(9)を満たす時に画像中に半透明物体が存在すると考え、更に表1の濃淡値の大小関係に基づいて「唯一」「非唯一」を決定する。

## 2.3 有彩色物体での問題点

無彩色物体を対象とした場合は2.2に示した条件を用いて半透明物体を検出することが可能である。しかし、有彩色物体を取り扱う際「反射率、透過率は波長の関数である」という点を考慮すると、従来までの無彩色物体と同様な輝度情報だけを取り扱うことには問題があると予想される。

可視光領域を考える場合、ある波長を境に反射率、透過率が急激に変化する可能性がある。このために、背景、不透明物体、半透明物体のスペクトル特性によっては重なり領域(図1の領域C,D)における色に著しい変化が生じることも考えられる。このため、あるスペクトル領域での反射率の積分値は式(5),(6)を満たさなくなることも十分に考えられる(透明条件の崩壊:図3参照)。

これらの点から、従来の方法通り単一波長時の検出方法、つまり輝度成分のみをそのまま用いるのは不十分であると予想される。そこで、色彩情報の利用によって半透明物体の検出が可能になると考え、本研究では画像を取り込んだ時点で分か

る RGB 成分の濃淡値を色彩情報とし、輝度成分の他の手がかりとして用いることにした。

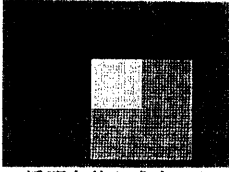


図 3: 透明条件が成立しない画像

### 3 色彩情報の利用

#### 3.1 実画像を用いた予備実験

実際に図 1 のフィルタモデルのような不透明物体の上に半透明物体が重なっている状態を CCD カメラから取り込み、A,B,C,D の 4 つの領域に対して RGB 成分の濃淡値  $(0 \sim 255)l_a \sim l_d$  を成分ごとに取り出す。

用いた物体は赤、緑、青、黒の 4 種類の不透明物体と黄、青、緑、赤の 4 種類の半透明物体、そして背景は白とし、照明は白色蛍光灯とした。また、輝度成分 Y は以下の式 (10) に基づいて計算した結果を用いた。

$$Y = 0.30R + 0.59G + 0.11B \quad (10)$$

YRGB 成分ごとに得られた  $l_a \sim l_d$  の大小関係を調べ、表 1 に基づいて半透明物体検出の「唯一」「非唯一」を判定した結果を、表 2 の「画像」の項に示す。表中では「唯一」を「○」、「非唯一」を「×」で示した。但し、表中の「-」は式 (8) あるいは (9) を満たさないため、唯一性の検討が出来なかったものを示す。なお、不透明物体が黒である場合の 4 通りの組合せについては、いずれも YRGB 成分が「唯一」となったことをここに明記し、表 2 から省くことにする。

この実験より、例えば緑の不透明物体の上に青の半透明物体が重なっている場合は輝度成分のみを考えると濃淡値の大小関係は「非唯一」と判断される範囲となり、正確な検出をすることができなくなる。しかし、ここで「唯一」の範囲となる B 成分を用いると、半透明物体を正しく検出することが可能である。このような輝度成分 Y では判定できなくても、色彩情報として RGB 成分を有効に利用できる場合は、表 2 中「画像」の項で、不透明物体と半透明物体の組合せが、赤と緑、青と赤、緑と青の 3 例存在する。

### 3.2 理論的計算

#### 3.2.1 実画像との対照

実画像を用いた実験の他に本研究では式 (11) を用いて、理論的計算を行なった。

$$I_i = \int S(\lambda)R(\lambda)F_i(\lambda)d\lambda, i = R, G, B. \quad (11)$$

表 2: 実画像と理論的計算値による唯一性の検討

不透明物体	成分	赤		青		緑	
		画像	計算	画像	計算	画像	計算
半透明 黄	Y	○	○	○	○	○	○
	R	○	○	○	○	○	○
	G	○	○	○	○	○	○
	B	○	○	○	○	○	○
青	Y	○	×	×	×	×	×
	R	×	×	×	×	×	×
	G	○	○	×	×	×	×
	B	○	○	×	×	○	×
緑	Y	×	×	×	×	×	×
	R	×	×	×	×	×	×
	G	○	○	×	×	×	×
	B	○	○	-	×	×	×
赤	Y	×	×	×	×	×	×
	R	×	×	○	○	×	×
	G	×	×	×	×	×	×
	B	×	×	-	×	×	×

ここで  $S(\lambda)$  は光源のスペクトル特性、 $R(\lambda)$  は被測定物体のスペクトル特性 (反射率  $a, b, c, d$  のスペクトル特性)、 $F_i(\lambda)$  は CCD カメラのフィルタ特性である。光源は白色蛍光灯を用い [13]、CCD カメラ ((株) ビクター, KY-F30) のフィルタ特性はメーカーに提供して頂いた値を用いた。また、被測定物体の反射率、透過率は (財) 日本色彩研究所に計測して頂いた。

まず、式 (11) を用いて YRGB 各成分について反射率  $a, b, c, d$  の積分値  $I_i$  を求める。  $I_i$  の大小関係から 3.1 と同様に唯一性を検討し、その結果を表 2 の「計算」の項に示す。また、実画像と同様に不透明物体が黒である場合はいずれも「唯一」となり、表 2 から省略した。この結果から、表中だけでも 4 通りの場合について、輝度成分 Y で判定できないが色彩情報 (RGB 成分) を用いることで、半透明物体の判定が可能であることがわかる。

実画像と理論的計算値との結果を比較すると、合計 64 成分中、61 成分について唯一性が一致した。実画像を取り込む際、照明条件などの違いから誤差が生じる可能性があるが、実画像による判定は理論的に判定を行なう場合とほぼ同様の結果が得られる。このことから、実際に実画像中の半透明物体を検出しようとする時、補正を行なうことなく実画像の濃淡値を用いて処理を行なうことが可

能であると考えられる。また、後述の 3.3 で用いた画像も信頼出来るものと考えられる。

### 3.2.2 色彩情報の有効性

次に、被測定物体を表 3 のように増やし、式 (11) の値を用いて、同様に唯一性の検討を行なった。

表 3: 被測定物体の種類

	有彩色	無彩色
背景物体	3(赤, 緑, 青)	17
不透明物体	3(赤, 緑, 青)	17
半透明物体	4(赤, 黄, 緑, 青)	0

20 × 20 × 4 = 1600 通りの組合せから、領域数が 4 とならない 80 通りを除外した 1520 通りについて検討した結果、「輝度成分は非唯一でも RGB 成分中の唯一成分を用いて半透明物体を検出できる」組合せは、217 通り (14.3%) 存在した。輝度成分のみで検出できないのは合計 495 通り (32.6%) であったが、その内約半分について色彩情報を用いることで、唯一に半透明物体を検出することが可能となった。全体でみると、1520 通りの内 1242 通りで、81.7% が検出可能であることがわかる。

また、単一波長ではありえない「透明条件が崩壊する」成分が 1 成分以上存在する組合せが、理論的計算から 62 通り確かめられた。ここで言う「透明条件の崩壊」とは式 (8) あるいは (9) の少なくとも 1 つが満たされなくなることである。更に 62 通りの内、30 通りで少なくとも輝度成分で透明条件崩壊が生じており、「輝度成分だけでは半透明物体の存在さえ検出できないことがある」ことが分かった。

以上のことから、有彩色物体を対象とする際、半透明物体検出の方法として輝度成分のみではなく色彩情報を用いることが有効であると言える。

## 3.3 心理実験

以上のように有彩色物体を対象とすると、計算機では YRGB の 4 成分中で「唯一」成分を用いれば半透明物体を検出できることがわかった。しかし人間の視覚システムでは、(1) 唯一成分が存在すれば人間も正確に検出できるのか、(2) 逆に唯一成分が存在しない時でも人間は正確に検出できるのか、といった疑問が生じる。そこで、これらの疑問に対して心理実験を行ない、人間の視覚システムの傾向を窺うと共に計算機との比較を行なう。

### 3.3.1 実験方法

心理実験では、色覚正常者 13 人に対して 1 枚ずつ約 10 秒間画像を表示し、4 つの選択肢の中から 1 つを選ぶ形で行なった。表示した画像の形は図 4 に示す通り、左右が反転した 2 種類とした。なお、表示した画像は影、ムラを取り除くために、図 1 と同様の形態で実際に物体を重ねたものを CCD カメラで取り込み、得られた RGB 成分の濃淡値から合成した画像を用いている。

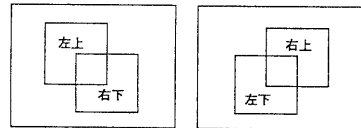


図 4: 心理実験で表示した画像の形

使用した画像の成分条件の内訳は表 4 に示す通りである。実験は、まず種別 4 に属し、特に全成分唯一である 2 枚の画像に対して、練習を行なった後で合計 21 枚を次々に表示し、時間内で解答を行なうように被験者に求めた。但し、表示の順序、半透明物体の位置については適当に決定し、正解は教えていない。

表 4: 表示画像の成分の内訳  
(存在する:有 存在しない:無)

種別	透明条件崩壊成分	唯一成分	枚数
1	有	無	4
2	無	無	2
3	有	有	6
4	無	有	9
合計			21

### 3.3.2 実験結果

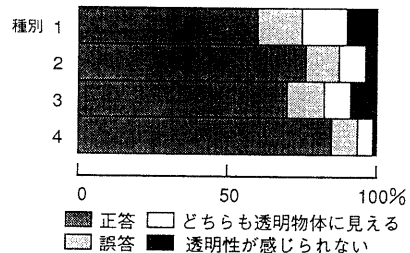


図 5: 心理実験の解答の割合

種別ごとに 4 解答の占める割合を図 5 に示す。実験結果より、以下のことが考察される。

- 透明条件が成立し唯一成分が存在する時に、正答率が一番高い。

- 透明条件崩壊成分が存在する場合、全成分透明条件成立時より、正答率は低い。
- 透明条件が同じである場合、唯一成分があると正答率は高くなる。
- 種別1で正答率が一番低く、解答にばらつきがある。

この考察から、人間の視覚システムでは個人差はあるが、透明性が成立し唯一成分が1成分でも存在すれば、正しく半透明物体を検出する傾向がある。また、唯一成分が存在しない時は解答にばらつきが生じ、人間の視覚システムでも判断しにくいことがわかる。このことから、検出の手がかりとして、色彩情報の利用が有効であることが分かる。しかしながら、全般的にみれば「正答」に偏っていることから、ここでは取り扱わなかった何らかの方法で、半透明物体を検出していることも考えられる。なお、半透明物体の位置による影響は今回は見られなかった。

## 4 画像中の半透明物体の検出

ここまでの2, 3から、従来の輝度成分のみを用いることは半透明物体検出には不十分であり、色彩情報の利用が有効であることが明らかとなった。本章では有彩色物体を含む実画像を対象として、色彩情報つまりRGB成分を用いた半透明物体の検出方法を述べ、その検出結果の一例を示す。

### 4.1 処理の流れ

2で示したように、画像中に半透明物体が存在すると知覚されるためには、濃淡値の条件が満たされねばならなかった。実際にはこの濃淡値条件の他に「幾何学的条件」が満たされないと、人間はその画像中に透明性を感じないことが知られている[4]~[7]。幾何学的条件を簡単にまとめると、(1) 画像中には少なくとも図1に示す4領域が存在する。(2) 不透明物体、半透明物体はそれぞれ一つの物体として自然に認識される形である。の二つになる。

今回対象とした実画像は、あらかじめこの幾何学的条件を満たすものとした。検出の手順は以下に示す通りである。

**STEP1.** RGB成分いずれかの濃淡値画像の入力。

**STEP2.** 濃淡値のヒストグラムを分割(閾値決定)。

**STEP3.** ヒストグラムに基づいて領域分割。

**STEP4.** 領域分割結果に対処象4領域を選択。

**STEP5.** 領域ごとに濃淡値の平均値を計算。

**STEP6.** 濃淡値平均の大小関係が「唯一」ならば検出、それ以外ならばSTEP1に戻り、別の成分を入力して繰り返す。

なお、3成分全てを用いても検出できない場合は今回扱わず、閾値の決定と4領域の選択は手動で行なった。

### 4.2 判定結果

ここでは、実画像中の半透明物体検出の一例を示す。図6に示す実画像は、棚に箱(灰色)が一つ置かれており、その手前にあるガラス(黄色)の引き戸によって、箱は直接見える領域とガラス越しに見える領域とに分けられている状態の写真である。反射パターンは2.1に示したものと同一状態を想定している。この箱を判定の対象物体と考え、直接見える領域とガラス越しに見える領域とを決定する。

この実画像のB成分の0~255までの濃淡値を入力とし、閾値として50,67,195を選択した。閾値に基づいて、領域分割をし、領域のエッジを抽出した結果は、図7のようになる。図中に示す領域A,B,C,Dを手動で選択し、領域ごとにB成分の濃淡値平均 $l_A, l_B, l_C, l_D$ を求めると、 $l_A = 62, l_B = 88, l_C = 130, l_D = 31$ となる。濃淡値の組合せの数は全体で24(4!)通り存在するが、幾何学的条件を満たす組合せは4通りとなる。この内、表1を満たし得る組合せは、背景を領域D( $l_a = l_D$ )、不透明物体を領域C( $l_b = l_C$ )、不透明物体と半透明物体の重なりを領域B( $l_c = l_B$ )、背景と半透明物体の重なりを領域A( $l_d = l_A$ )とした場合の1種類のみである。濃淡値の大小関係は $l_a < l_d < l_c < l_b$ となり、表1の状況6にあてはまる。よって、結果は「唯一」となり領域Bは直接物体が見える領域であり、領域Cがガラス越しに物体が見える領域であると、決定できる。図8に、直接に見える領域を黒色、ガラスを通して見える領域を灰色として結果を示す。

もし輝度成分を用いた場合は、領域分割の結果、 $l_A = 113, l_B = 185, l_C = 145, l_D = 43$  となり、 $l_a$  最小、 $l_c$  最大の時は表2を満たす。よって、結果は「非唯一」となり半透明物体の決定が出来なくなる。

このように、有彩色物体に対しても本手法は適用ができ、ロボットビジョン等に広く応用できると考えられる。



図6: 実画像

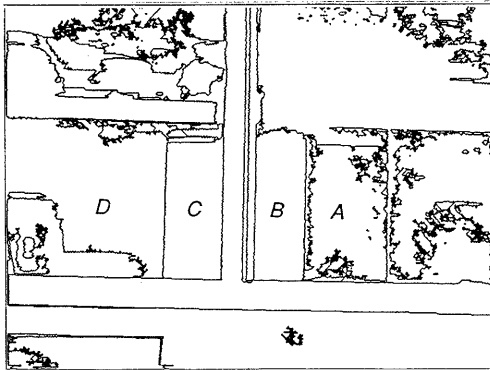


図7: エッジ抽出結果

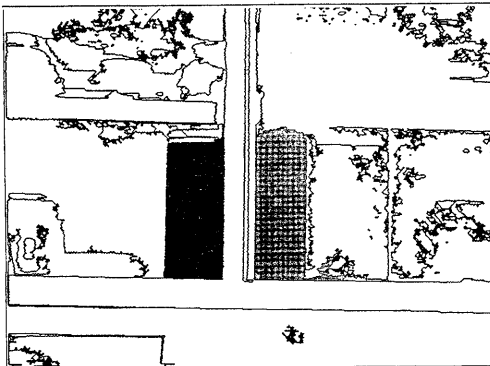


図8: 判定結果

## 5 照明条件が異なる場合の半透明物体検出条件の検討

### 5.1 物理モデル

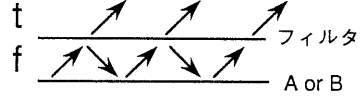


図9: 重なり領域の反射パターン2

半透明物体の正面から光が当たっている場合の反射パターンは、図2に示す通りである。しかし、暗い室内からガラス越しに外を見る場合は、図9に示すように、今までと異なってくる。この反射パターンに基づいた場合の半透明物体検出条件について検討する。2.1と同様なフィルタモデルを考えた場合、重なり領域の反射率 $c, d$ は以下の式(12)、(13)で示され、 $f, t$ は式(14)、(15)のように求められる。

$$d = ta/(1 - fa). \quad (12)$$

$$c = tb/(1 - fb). \quad (13)$$

$$f = (bd - ac)/ab(d - c). \quad (14)$$

$$t = cd(a - b)/ab(d - c). \quad (15)$$

$a, b, c, d, f, t, f+t$ は光学的物理量を満たす範囲(0,1)に収まるべき値である。また、2.1の反射率についての式(5)、(6)も上記の式から導くことができる。

### 5.2 検出条件

式(5)を満たす反射率 $a, b, c, d$ の大小関係を考えて、表5に示す8通りの状況が考えられ、その物理的可能性と2.1に示した唯一性を検討すると「結果」の項に示す通りになる[6][7]。証明は以下に示す通りである。

表5: 照明条件が異なる場合の半透明物体検出条件

状況	大小関係	結果	状況	大小関係	結果
1	$d$ 最大, $b$ 最小	不可能	2	$d$ 最小, $b$ 最大	唯一
3	$a$ 最大, $c$ 最小	非唯一	4	$a$ 最小, $c$ 最大	不可能
5	$a > d > c > b$	不可能	6	$a < d < c < b$	不可能
7	$d > a > b > c$	不可能	8	$d < a < b < c$	不可能

(i) 状況 1,4,5,6,7,8 の不可能性

$$\text{今, } a - d = a(1 - \frac{t}{1-fa}) > 0 \rightarrow a > d$$

$$\text{且つ } b - c = b(1 - \frac{t}{1-fb}) > 0 \rightarrow b > c$$

⇒ 常に  $a > d$  且つ  $b > c$  であり 1, 4, 5, 6, 7, 8 はあり得ない。

### (ii) 状況 2 の唯一性

$0 < t < 1$  より  $ab(d-c) < cd(a-b) < 0$  が成立。(\*)  $b$  と  $d$  を入れ換えると,  $ad(b-c) > 0, cb(a-d) > 0$  (\*) より,  $ad(b-c) - cb(a-d) = ab(d-c) - cd(a-b) < 0$  この時,  $t > 1$  となり制限外である。よって, 半透明物体の位置が唯一に決定できる。

### (iii) 状況 3 の非唯一性

(ii) と同様に行なうと,  $t, f, f+t$  とも (0,1) に収まる。よって, 半透明物体の位置は非唯一にしか決定できない。

以上から, この反射パターンにおいては, 式 (5), (6) を満たす  $a, b, c, d$  の唯一性は背景と不透明物体の反射率の大小関係のみで決定される。 $a > b \rightarrow$  非唯一,  $b > a \rightarrow$  唯一である。また式 (7) より, 表 5 の状況 2, 3 は濃淡値  $l_a \sim l_d$  で成立していれば反射率でも成立し, 反射率の代わりに濃淡値を用いて半透明物体の検出を行なうことが出来る。

## 6 おわりに

### 6.1 まとめ

本研究では, 対象とする物体を有彩色物体に拡張し, 実画像を用いた予備実験及び理論的計算を行なった。その結果から, 従来通りの輝度成分だけを用いる方法では半透明物体を検出できない場合でも, 色彩情報として RGB 成分を用いることで, 半透明物体を検出できる場合があることを明らかにし, 色彩情報を用いる有効性を示した。

更に心理実験から人間の視覚システムの傾向を探り, ここでも色彩情報が有効であることを確認した。しかし, 計算機では検出できない場合でも, 人間の視覚システムでは正しく検出する方に偏る現象も確認した。

また, 色彩情報の有効性を利用して, 画像中の半透明物体の検出方法について述べ, その検出結果の一例を示した。最後に照明条件 (反射パターン) が異なる場合について検討し, その検出条件を理論的に明らかにした。

### 6.2 今後の課題

今後の課題として次のことが挙げられる。

- 全成分「唯一」の場合でも, 人間は正しい判定に偏ることから, YRGB 成分の唯一性の他に何を手がかりにして半透明物体を検出しているのか, 調べる必要がある。
- 今回は, 透明条件が崩壊する時に多少正答率の低下が見られたが, 透明条件の成立, 不成立がどの程度半透明物体検出に影響するかを調べる必要がある。
- 領域分割の精度の向上と本報告のような半自動ではなく, 全自動の判定方法の確立が必要である。

将来的にはより実世界に近い状況にもあてはまる条件の確立が望まれる。

## 参考文献

- [1] 安田浩之, 安藤和久, 大西 昇, 杉江 昇: “物理的に存在しない輪郭線の抽出”, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J73-DII, No. 6, pp. 906-913 (1990.06).
- [2] R. von der Heydt et al: “Illusory contours and cortical neuron response”, Science, 224, pp. 1260-1262 (1984).
- [3] M. Teranishi, N. Ohnishi, N. Sugie: “Subjective Contours are Useful for Extracting Contours with Very Weak Contrasts”, Proc. of Int. Joint Conference on Neural Networks, Nagoya, JAPAN, Vol. 1, pp. 139-142 (1993.10).
- [4] G. カニツツア: “視覚の文法 グシュタルト知覚論”, 野口 薫監訳, サイエンス社 (1985).
- [5] J. Beck: “Perception of Transparency in Man & Machine”, Human and Machine Vision II, A. Rosenfeld and D. Siewiorek Eds., pp. 1-12, Academic Press (1986).
- [6] 朱 曉玲, 大西 昇, 杉江 昇: “画像中の半透明物体の重なるの検出”, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J77-D-II, No. 2, pp. 343-352 (1994.02).
- [7] 朱 曉玲: “画像中の半透明物体の重なるの検出”, 名古屋大学情報工学科 修士論文 (1993).
- [8] T. Watanabe and P. Cavanagh: “The role of transparency in perceptual grouping and pattern recognition”, Perception, Vol. 21, No. 1, pp. 133-139 (1992).
- [9] A. Rosenfeld and R. Jasinsch: “Special Issue on Perceptual Transparency”, Spatial Vision, Vol. 7, No. 2 (1993).
- [10] Daniel Kerstern and Heinrich H. Bülthoff: “Apparent Opacity affects Perception of Structure from Motion”, M.I.T., A.I. Memo, No. 34 (1991).
- [11] Mami Fukuda and Sergio C. Masin: “Test of balanced transparency”, Perception, Vol. 23, pp. 37-43 (1994).
- [12] William Lincoln and Josef Skrzypek: “A Neural Model for the Perception of Surface Transparency”, Computation in neurons and neural systems, Frank H. Eeckman Eds., pp. 127-132, Kluwer Academic Publishers (1994).
- [13] 日本色彩学会編: 新編 色彩科学ハンドブック, (財) 東京大学出版会 (1991).