

フーリエ変換を用いたテクスチャの構造解析†

松山 隆司^{††} 三浦 修一^{††} 長尾 真^{††}

従来、テクスチャの構造解析では、まず領域分割などにより要素を抽出し、その後要素間の配列規則を求めるといったボトムアップ的な方法がとられてきた。しかし、こうした方法では、雑音や画質の悪さ、歪みなどのために、正確に要素抽出を行うのがむずかしいという問題がある。本論文では、フーリエ変換を用いて、まず配列規則を求め、次に要素を抽出するというトップダウン的な方法により、テクスチャを構造的に解析する手法について述べる。

本手法における処理は大きく2段階に分けられる。第1段階では、テクスチャ画像をフーリエ変換し、そのパワースペクトルの分布を調べることにより、テクスチャの配列規則を与える2つのベクトルを選ぶ。第2段階では、求められた配列規則とフーリエ変換の位相情報を利用し、領域成長法により要素を抽出する。この際、要素としては、単に繰り返しの単位であるということだけでなく、人間にとって自然であるものを選ぶという観点から処理を行う。

現在のところ、本手法で解析できるのは、要素が塊状で2次元の格子状配列を持つ規則的なテクスチャに限られるが、各種の歪みや雑音の多い自然のテクスチャに対してこの手法が有効であることを実験的に示した。

1. はじめに

物体を認識する視覚処理の1つとして、テクスチャ性による対象の同定、識別がある。テクスチャとは、要素が一定の配列規則に従って配列されてできる繰り返しパターンであると考えられるが、人間がテクスチャを見て、どのようにしてその要素と配列規則を認識するかは興味深い問題である。

テクスチャの解析法は、大別すると統計的方法と構造的な方法に分けられる。統計的方法は、木目、砂地、芝生のようにその要素も規則も全く判然としないものを解析するのに有効で、その画像の統計的性質により特徴を記述するものである。構造的な方法は要素と規則が明瞭な場合に行われ、構成要素の抽出とその配列規則の記述を目的とする。

構造的な解析法としては、領域分割などにより要素を抽出した後、各要素間の配列規則を求めるといったボトムアップ的な方法がこれまでとられて来た^{1),2)}。しかし、このような方法では、自然のテクスチャを解析する場合、雑音やシェーディング、コントラストの悪さなどのために領域分割が難しく、うまく要素が抽出できないことが多い。このため、こうした弱点を補うために複雑な処理が必要となる^{2),3)}。これに対し、先に配列規則を求め、次に要素を抽出するというトップダウ

ン的な方法が近年とられるようになった^{4),5)}。これは統計的解析手法をテクスチャの配列規則の検出のために利用しようとするもので、雑音や画質の悪さに対して強く、自然のテクスチャの解析に適している。

Conners⁴⁾ や Zucker⁵⁾ は、濃度同時生起行列を利用してテクスチャの周期性を抽出した。しかし、濃度同時生起行列による方法は、計算量が膨大であり、また後に述べるように、反復格子の位相情報を含まないため、要素抽出の段階で問題が生じる。

本論文では、フーリエ変換を用いてトップダウン的にテクスチャの構造解析を行う方法について述べる。フーリエ変換は高速アルゴリズム FFT により簡単に計算でき、また位相情報を要素の抽出に利用できるなどのすぐれた特徴をもつ。

また、本手法では次のようなテクスチャを対象としており、ランダムなテクスチャや複数の異なったテクスチャを含む画像は、取り扱わない。

- (1) 画面全体が一様なテクスチャ領域である。
- (2) 要素は塊状で、画像中で濃度が一様な領域に対応する。
- (3) テクスチャは、一種類の要素から構成される。
- (4) 要素の配列規則は2方向のベクトルによって記述される。すなわち、単一方向性のテクスチャや、ひとつの要素がさらに小さな要素の配列によって構成される階層的テクスチャは取り扱わない。

以上のような性質を持つ画像として、図1に示す画像 D³⁶⁾ を例にとって説明する。画像は 128×128 の

† A Structural Analysis of Textures Based on Fourier Transformation by TAKASHI MATSUYAMA, SYU-ICHI MIURA and MAKOTO NAGAO (Department of Electrical Engineering, Kyoto University).

†† 京都大学工学部

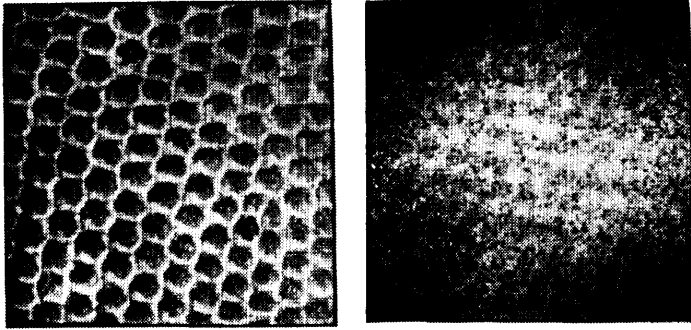


図1 テクスチャ画像 D3⁹ とそのパワースペクトル
Fig. 1 Texture D3⁹ and its power spectrum.

大きさで、濃度は256レベルに量子化されている。

2. 処理の概要

本手法における処理は大きく2段階に分けられる。第1段階はフーリエ変換のパワースペクトルからテクスチャの配列規則を求める過程、第2段階はフーリエ変換の位相情報を利用して要素の抽出を行う過程である。

第1段階の配列規則の記述では、パワースペクトル空間において、テクスチャの周期性を表わす2つの基本周期ベクトル \vec{p}_1, \vec{p}_2 を求める。

原画像が完全に周期的なパターンであれば、そのパワースペクトルもまた規則正しい配列をとり、スペクトル空間でゼロでない値を持つすべての位置ベクトルは、 $m\vec{p}_1+n\vec{p}_2$ (m, n は整数) によって与えられる。雑音や歪みのある自然のテクスチャの場合、スペクトルは空間全域に分布するが、原画像の周期性に対応する基本周期成分とその高調波にエネルギーが集中する。(図1参照)したがって、2つのベクトル \vec{p}_1, \vec{p}_2 のスペクトル強度 $P(\vec{p}_1), P(\vec{p}_2)$ 、およびその高調波成分 $P(m\vec{p}_1+n\vec{p}_2)$ の強さを調べれば、原画像の配列規則を規定する2つのベクトルが決定できる。

\vec{p}_1, \vec{p}_2 が求まると、画像平面上における要素の配列規則を表わすベクトル \vec{a}_1, \vec{a}_2 が次のようにして得られる。

$$|\vec{a}_1| = \frac{M}{|\vec{p}_1|} \cdot |\operatorname{cosec} \theta|, \quad |\vec{a}_2| = \frac{M}{|\vec{p}_2|} \cdot |\operatorname{cosec} \theta|$$

$$\angle \vec{a}_1 = \angle \vec{p}_2 + \frac{\pi}{2}, \quad \angle \vec{a}_2 = \angle \vec{p}_1 + \frac{\pi}{2}$$

ここで、 θ は \vec{p}_1, \vec{p}_2 のなす角、 M は画像の大きさ

* ここでいうベクトルとは、スペクトル空間における位置ベクトルのことで、その位置が示す2次元の空間周波数に対応する。

$(M \times M)$ を表わす。

第2段階の要素抽出では、「要素とは、濃度の一樣な領域である。」という仮定を置いて、フーリエ変換の位相情報から要素の位置を決定し、要素抽出を行う。この場合、原画像には雑音や歪みが含まれており、単純な操作では要素抽出は困難である。そこで複素フーリエ変換像を加工して逆フーリエ変換することにより、雑音や歪みを除いた復元画像を生成し、この復元画像上で要素抽出を行う。

要素の抽出法としては、フーリエ変換の位相情報と処理の第1段階で求めた配列規則とを利用して、格子状に配列する要素の核となる点を求め、それらを並列的に成長させて得られる領域の平均像を要素と見なす。

3. 配列規則の抽出

テクスチャの配列規則を得るための処理は(1)前処理、(2)ベクトル候補の選択、(3)ベクトル対の決定、の3段階に分けて進められる。

(1) 前処理

取り扱う画像がデジタル画像であるため、そのフーリエ変換は離散的フーリエ変換となり、求めたスペクトルは原画像が上下左右に無限に繰り返されたもののスペクトルとなる。したがって、原画像の上下、左右のそれぞれ対応するエッジ(端)の間に濃度の跳躍があると、それがスペクトルに雑音となって影響する。

このような雑音は有用な情報を消してしまう恐れがあるので取り除かなければならない。このため、原画像にハニングの窓をかける。ハニングの窓は次元の場合、

$$W(n) = \frac{1}{2} \left(1 + \cos \frac{2\pi n}{N} \right) \left(-\frac{N}{2} \leq n \leq \frac{N}{2} \right)$$

で表わされる⁷⁾。この重み関数は、図2に示すように中心で1、両端で0になっている。ハニングの窓を2次元に拡張した関数 $W(r)$ を、 $M \times M$ の画像に対して

$$\begin{cases} W(r) = \frac{1}{2} \left(1 + \cos \frac{2\pi r}{M} \right) & \left(r \leq \frac{M}{2} \right) \\ W(r) = 0 & \left(r > \frac{M}{2} \right) \end{cases}$$

と定義する。ただし、 r は画像の中心からの距離である。上式で表わされるハニングの窓関数を原画像にかけることにより、エッジでの濃度の跳躍をなくし、ス

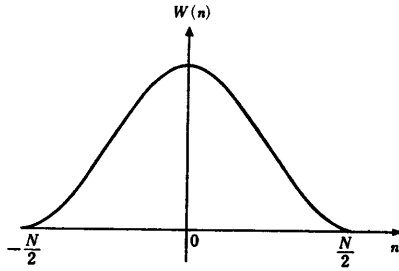


図2 ハニングの窓関数

Fig. 2 Hanning window function.

ベクトル空間での雑音を除くことができる。

(2) ベクトル候補の選択

窓関数をかけた画像をフーリエ変換し、そのパワースペクトル $P(u, v)$ を利用して、配列規則を記述するベクトル \vec{p}_1, \vec{p}_2 を求める。 $P(u, v)$ 空間では、原画像の周期性に対応する位置にエネルギーが集中することから、まずスペクトル強度のピーク（極大）点を求め、その位置をテクスチャの周期性を表わすベクトル（空間周波数）の候補と考える。

このようにして得られたベクトル候補のなかには、冗長なものが含まれており、後の計算量を減らすため

にそれらを取り除く。まず、テクスチャの繰り返し周期はあまり高くない空間周波数によって表わされる（要素が適当な大きさを持つ）と考えられるので、適当に周波数に制限を設けてもよい。また、あるベクトル \vec{p}_1 に対して $\vec{p} \equiv n\vec{p}_1 (n=2, 3, \dots)$, $P(\vec{p}) \leq P(\vec{p}_1)$ であるようなベクトル \vec{p} は、 \vec{p}_1 の高調波であり、配列規則を与えるベクトルとはならないので無視できる。

以上のことから、 $P(u, v)$ 空間において、 $-32 \leq u \leq 32$, $0 \leq v \leq 32$ の範囲で、 $P(u, v) > P(u+i, v+j)$ ($i, j = \pm 2, \pm 1, 0$) を満たすベクトル $\vec{p} = (u, v)$ を求め、上記の高調波のベクトルを除いたものを最終的なベクトル候補とする。画像 D3 の場合、ベクトル候補の数は 31 になった。

(3) ベクトル対の決定

上記のベクトル候補の任意の対に対して次のような評価関数を定義し、この評価量が最大となるベクトル対を原画像の配列規則とする。

パワースペクトル空間 $P(u, v)$ からその 7×7 の移動平均画像をひいたものを $A_7(u, v)$ とする。2つのベクトル \vec{p}_1, \vec{p}_2 の対としての評価量 $E(\vec{p}_1, \vec{p}_2)$ は、

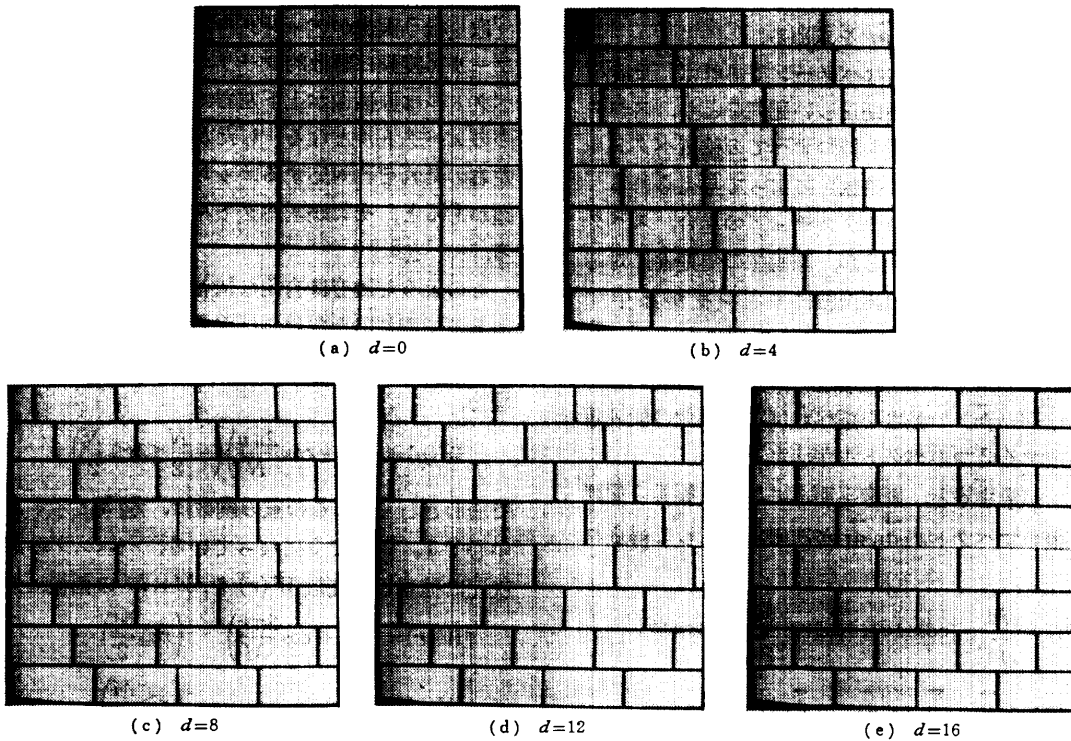


図3 位置を少しずつずらしたレンガ模様 (d : 上の行との位置ずれの画素数)

Fig. 3 Brick patterns with various horizontal displacements.

(d : displacement between two consecutive rows)

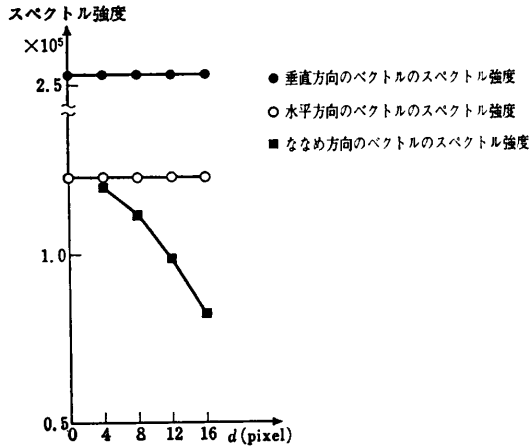


図4 ずれのピッチとスペクトル強度

Fig. 4 Displacement vs magnitude of power spectrum.

$$E(\vec{p}_1, \vec{p}_2) = P(\vec{p}_1) + P(\vec{p}_2) + \sum_{m,n} A_T(m\vec{p}_1, n\vec{p}_2)$$

と定義される。ただし、 m, n は整数であり、 $m\vec{p}_1 + n\vec{p}_2$ は \vec{p}_1, \vec{p}_2 が $A_T(u, v)$ 空間に生成する格子点である。上式第1項、第2項はベクトル自身の強さを表わし、第3項はベクトルの対としての評価量である。

多くの場合、スペクトル強度の強い独立な2つのベクトルを選べばよいのであるが、要素自身の持つ方向性と配列規則の方向性が異なる場合には、必ずしも強度の強い2つのベクトルが要素の配列規則を与えるとは限らない。レンガ模様はその典型的な例である。図3に示すような位置を少しずつずらした5枚のレンガ模様において、要素自身の方向性を示す垂直方向と水平方向の最大スペクトル強度と、配列規則を与えるななめ方向のスペクトル強度を、レンガのずれのピッチに対して描いたグラフを図4に示す。ななめ方向のスペクトル強度は、ずれのピッチが大きくなるほど弱くなり、いずれの場合も垂直、水平方向のスペクトルに比べ弱い値を持つことがわかる。しかし、これらのレンガ模様を1つの格子状配列として記述するためには、配列規則としてはななめ方向のベクトルが選ばれるべきであり、ベクトル対の高調波成分を評価に入れることによってそれが実現できる。

しかし、画質が悪く雑音のある自然のテクスチャの場合、スペクトル空間に非常に広くその成分が分布しており、 $P(u, v)$ 空間において単に高調波成分を評価量にたしあわせるだけでは正しい評価がなされない。これは低周波のベクトル対を選んだ場合、 $P(u, v)$ 空間に生成される格子点の数が非常に多くなり、余分な雑音成分を評価量にたしあわせてしまうからであ

る。そこで、 $P(u, v)$ 空間からその 7×7 の移動平均をひいた $A_T(u, v)$ 空間で高調波成分をたしあわせる。一般に、配列規則を与えるベクトル対の高調波成分は $A_T(u, v)$ 空間においても強い値を持ち、たしあわせることによって評価量が大きくなる。これに対して、配列規則を与えないベクトル対の高調波成分は、 $A_T(u, v)$ 空間では負の値をとる場合があり、たしあわせることによってかえって評価量が小さくなる。

以上のことから、 $E(\vec{p}_1, \vec{p}_2)$ によって配列規則を与えるベクトル対をうまく選ぶことができる。D3の場合、 $E(\vec{p}_1, \vec{p}_2)$ によって、 $(-2, 12)$ 、 $(7, 10)$ というベクトル対が配列規則として得られた。

4. 要素の抽出

前章で求めた基本周期ベクトルから、原画像の繰り返し最小単位、「セル」を求めることができる。セルを求める最も簡単な方法は、基本周期ベクトル \vec{p}_1, \vec{p}_2 から画像空間上の配列規則を与えるベクトル \vec{a}_1, \vec{a}_2 を求め、 \vec{a}_1, \vec{a}_2 によって格子をつくり、原画像に重ね、格子の1区画をセルとして切り出すことである。しかし、求めた格子をどこに置くかは任意であり、濃度同時生起行列を用いたConnorsらの方法ではそれを決定することはできず、テクスチャの構造記述を求める上で、大きな問題を残している。これに対し、フーリエ変換は位相情報を含み、これをうまく利用すれば格子の位置をユニークに決定できる。

図5は画像D3の基本周期ベクトル \vec{p}_1, \vec{p}_2 の位置における複素フーリエ変換像の値 $F(\vec{p}_1), F(\vec{p}_2)$ だけを取り出して逆フーリエ変換した画像である。これは2方向の正弦波状パターンの重ね合わせによって生成される画像で、濃度値の山と谷が交互に現われている。この画像の濃度値の最大点、あるいは最小点を格子点

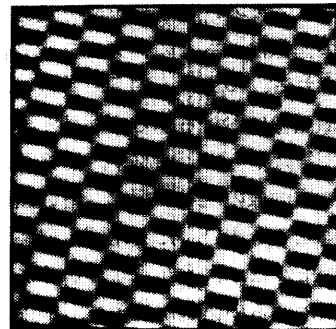
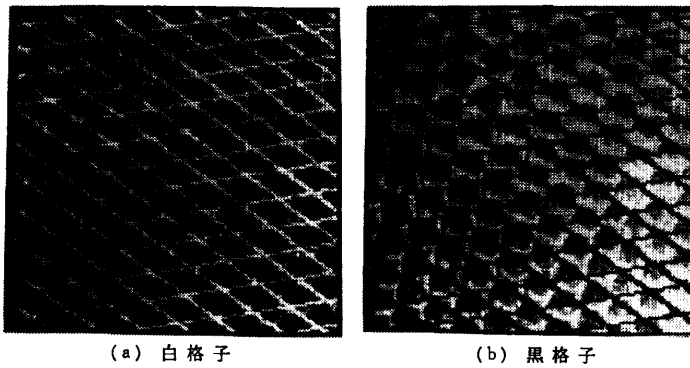


図5 画像D3の基本周期成分のみによる逆変換画像
Fig. 5 Image of inverse Fourier transformation using two selected spatial frequencies.



(a) 白格子 (b) 黒格子

図 6 画像 D3 と格子

Fig. 6 Texture D3 overlaid with (a) "white lattice" (b) "black lattice"

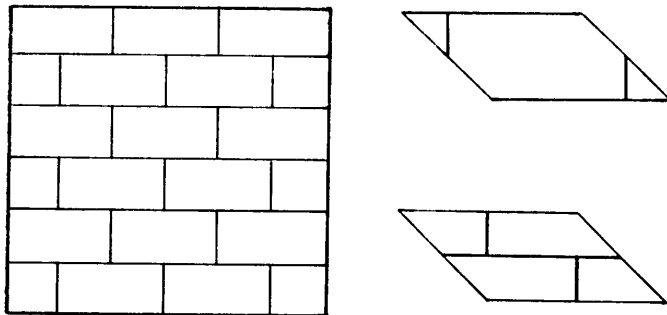


図 7 レンガ模様とセル

Fig. 7 Brick pattern and its cell patterns.

のひとつと考へ、周期性を表わすベクトル \vec{a}_1, \vec{a}_2 を用いて格子を生成すれば、2通りの格子の位置がユニークに決定できる。ここで、濃度値の最大点、最小点のどちらを格子点として考へるかによって、この2つの格子をそれぞれ「白格子」、「黒格子」と呼ぶことにする。図6に画像D3に対して「白格子」と「黒格子」を重ねた画像を示す。

次に、「白格子」、「黒格子」とテクスチャ画像との関係について考へる。格子の位置を決めるために使用した図5の画像は、もとのテクスチャのひとつの近似と考へられる。つまり、図5の画像での濃度値の山と谷は、原画像における明るい領域と暗い領域に対応している。したがって、白格子、黒格子の各格子点は、それぞれ原画像の明るい領域、暗い領域の中心に位置すると考へてもよい。たとえば、白格子によって切り出されたセルは、図6からもわかるように、平行四辺形の4角に明るい領域が位置し、中央に暗い領域が位置するようなセルとなる。テクスチャは図と背景に分けられると考へれば、白格子によって切り出されたセルは、暗い領域が図で、明るい領域が背景のよ

うに感じられ、黒格子によって切り出されたセルでは逆のことがいえる。

この段階で、白あるいは黒格子で区切られたセルを直ちにテクスチャの要素であると思つてもよいが、そうすると、人間の知覚する要素とかなり違ったものが抽出されてしまうことがある。これは、図7のレンガ模様とそのセルからもわかるように、人間が知覚する要素（濃度の一様な領域）の持つ方向性と格子の方向とが一致しない場合、要素（領域）が1つのセル内におさまらなくなってしまうためである。

以上の考察から、本手法では、白格子、あるいは黒格子によって囲まれた領域を切り出し、要素として記述するのではなく、各格子点を要素の中心と考へ、その点から領域成長を行うことにより濃度の一様な領域を求め、それを要素とする方法をとった。この操作によって、白い要素と黒い要素を抽出し、最後に一方を要素、他方を背景と判定する。以下にそのアルゴリズムを述べる。

(1) 復元画像の生成

原画像を用いて要素抽出をしようとした場合、配列規則のゆらぎや要素の欠損によって格子点が必ずしも要素の中心に落ちるとは限らず、またシェーディングやコントラストの悪さのため領域成長の閾値の決め方が難しいなど多くの問題がある。そこで、複素フーリエ変換像 $F(u, v)$ において、先に求めた基本周期ベクトル \vec{p}_1, \vec{p}_2 とその高調波成分 $m\vec{p}_1 + n\vec{p}_2$ における値 $(F(m\vec{p}_1 + n\vec{p}_2), m, n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$ だけを取り出し、それらを逆フーリエ変換することにより、歪みや画質の悪さ、雑音などのない復元画像を生成し、この復元画像上に格子点を落とす。復元画像は完全に周期的であり、格子点はすべて要素の中心に落ちる。図8に画像D3の復元画像を示す。

(2) 閾値の決定

次に領域成長のための閾値を復元画像の濃度ヒストグラムから求める。復元画像はコントラストが悪く、そのヒストグラムに明確な谷が現われず、このままでは閾値を求めるのは困難である。このため、復元画像にエッジを保ったスムージング⁸⁾を施すことによりコントラストを強調し、ヒストグラムに明確な谷が現われる状態にしてからグループ間分散法⁹⁾により閾値を

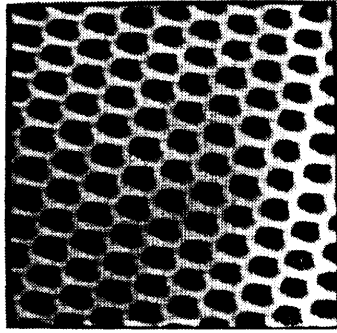


図 8 D3 の復元画像
Fig. 8 Restored image of D3.

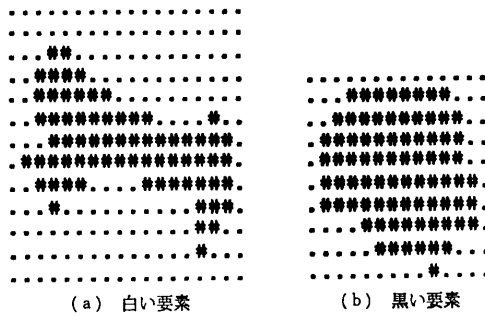


図 9 抽出された要素のモデル
Fig. 9 Extracted models of texture elements.
(a) white element (b) black element

求める。また、スムージングされた画像は閾値を求めただけで使用し、領域成長はもとの復元画像に対して行う。

(3) 領域成長による要素抽出

要素の核となる格子点の集合は白い要素に対応する白格子点と黒い要素に対応する黒格子点の2種類があり、この段階ではまだどちらを要素として選ばよいかを決定する根拠がない。したがって、ここでは、白格子点、黒格子点をそれぞれ独立に復元画像上に落とし、領域成長させて、白要素、黒要素を別々に求める。

領域成長においては、要素同志が隣接している場合にも、安定に要素抽出が行えるように、各格子点から並列的に領域を成長させる。ある領域の成長が止まる条件は、許された濃度範囲（白格子点の場合は $255 \geq \text{濃度} \geq \text{閾値}$ 、黒格子点の場合は $0 \leq \text{濃度} \leq \text{閾値}$ ）を超えた濃度の画素、あるいは並列的に成長している他の領域に囲まれたときである。（連結性は4連結を使う。）

このようにして、各格子点を並列的に成長させて求めた領域を、重心をそろえてすべて重ね合わせ、確率 $1/2$ 以上で重なった領域（部分）を要素のモデルとする。図9に、画像D3に対して求められた白と黒の要

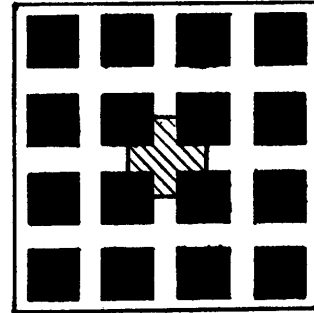


図 10 要素と背景
Fig. 10 Element and background.

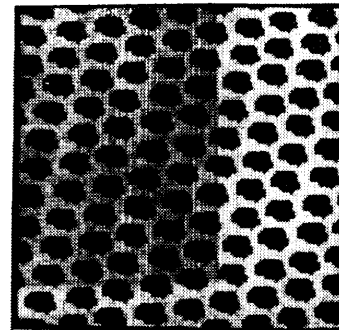


図 11 構造記述に基づく D3 の合成画
Fig. 11 Synthesized image of D3 from its structural description.

素のモデルを示す。

(4) 要素の決定

領域成長によってそれぞれ独立に求められた2つの要素のうち、どちらを最終的な要素として選ぶかを最後に決定する。このためには、「人間は濃度の一樣な領域に境界線を引くことは難しい」という事実を利用すればよい。図10のテクスチャの場合、黒い要素としては正方形の領域が抽出され、白い要素としては斜線を引いた十字の領域が抽出される。白い要素が十字の形をとるのは、各白格子点から並列的に領域成長させたためで、隣の領域と衝突したところで境界線が引かれている。人間にとって、黒い要素はそれぞれの領域が独立しているの、1つのまとまった要素として知覚できるが、白い要素の場合は、隣の領域と接しているため、要素として十字の形を知覚することは困難である。これは上記の人間の知覚特性によるもので、濃度が等しい白い領域が隣接しているため、そこに境界線を見い出すことが難しいからである。

以上のことから、白と黒の格子点をおのおの独立に成長させて得られた2枚の領域分割画像において領域の平均隣接領域数をそれぞれ求め、その値の小さい方

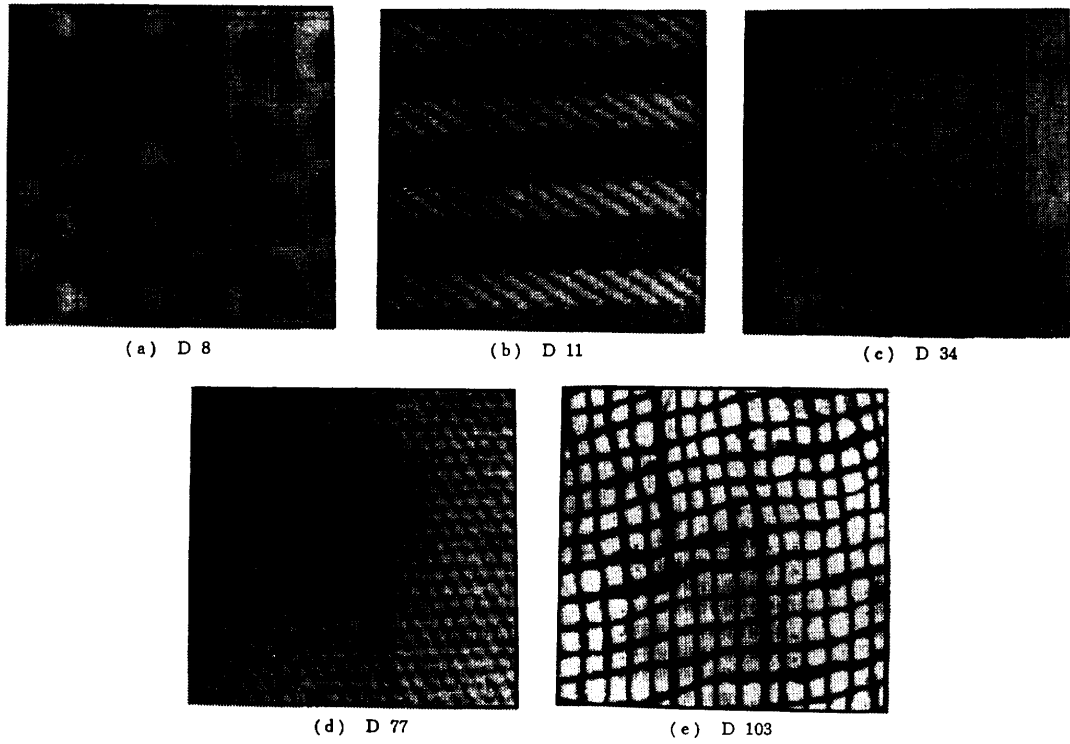


図 12 実験に使用したテクスチャ^{*)}
 Fig. 12 Other examples of textures^{*)}.

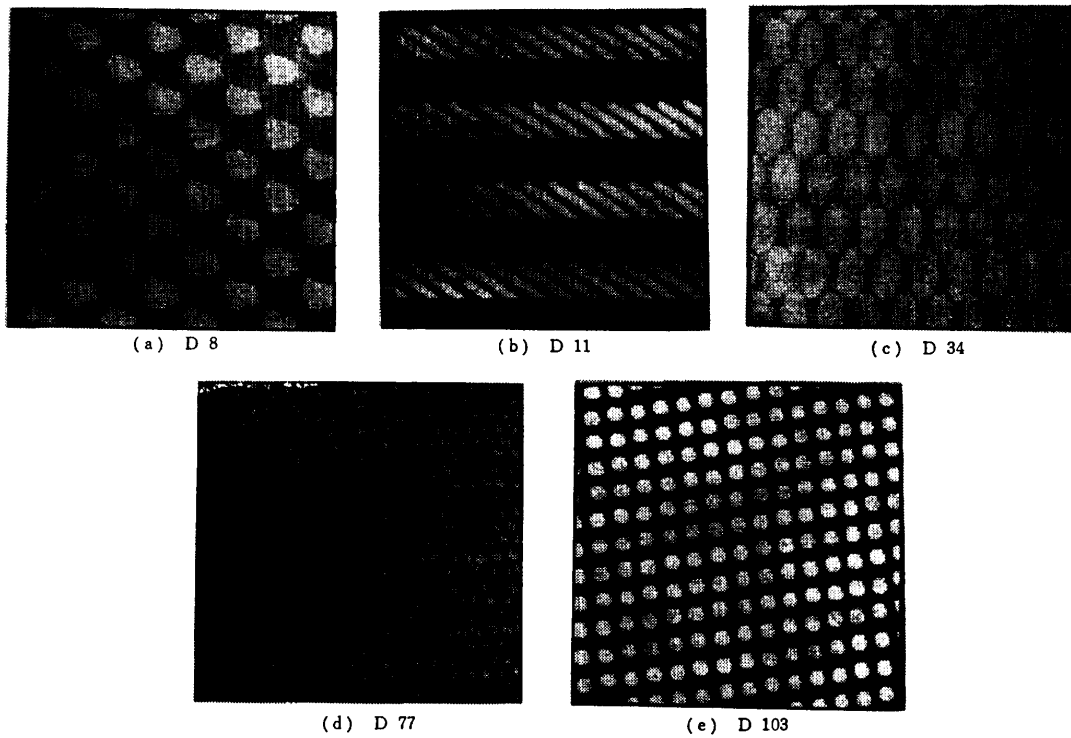


図 13 実験結果 (構造記述に基づく合成画)
 Fig. 13 Results of analysis. (synthesized images from structural descriptions)

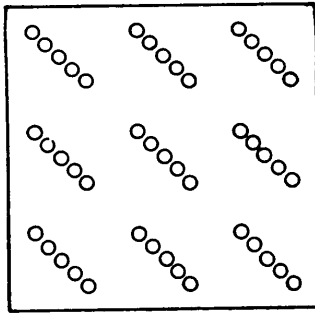


図 14 階層的テクスチャ
Fig. 14 Hierarchical arrangement.

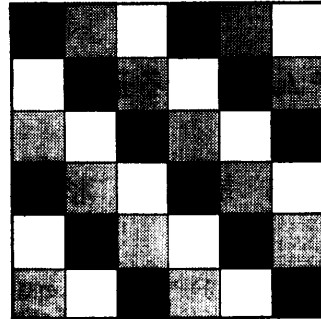


図 15 多要素テクスチャ
Fig. 15 Multi-element texture.

を最終的な要素であると決定し、もう一方を背景とみなすようにすればよい。図 10 では、このような考えから、黒い領域が要素で、白い領域が背景となる*。画像 D 3 の場合、平均隣接領域数を計算すると、白い要素に対して 4.0、黒い要素に対して 0.0 となる。よって黒い要素が最終的な要素であり、白い要素は背景であると決定する。

以上の解析によって、配列規則と要素が求められたので、テクスチャの構造記述が得られたことになる。図 11 は求められた要素のモデルを配列規則に従って並べた合成画である。

5. 考 察

図 12 の 5 枚の画像に対して本手法を用いて解析した結果を図 13 に示す。雑音やコントラストの悪さ、シェーディング、配列規則のゆらぎなどを持つ画像に対して本手法が有効であることがわかる。

ここでは、1 種類の要素が格子状に並んだテクスチャのみを対象としたが、構造的解析が有効な規則的なテクスチャには、階層的配列を持つものや要素が複数存在するものがある。

階層的テクスチャとは、図 14 に示すように 1 つの要素がさらに小さな要素の配列によって表わされるテクスチャであり、本手法によれば、図 14 の場合、その配列規則のうち、一番大きな構造が選ばれるであろう。よって次の段階としてさらに細かい構造をいかに検出するかが今後の課題である。

また、図 15 に多要素テクスチャの例を示す。本

* もちろん、心理学的には、白黒いずれを図と見なすか両方の解釈がありうるが、ここでは、「要素は孤立した塊状パターンである」という仮定を置くことにより、こうした曖昧さをなくし、ユニークなテクスチャの構造記述が得られるようにしているわけである。

手法では、テクスチャを図と背景に分けたが、このようなテクスチャは図と背景という概念では解析できない例であり、要素抽出の段階で考えなければならない問題である。

6. む す び

フーリエ変換を用いてテクスチャの構造解析をトップダウン的に行う方法を提案し、各種の歪みや雑音のある自然の(規則的)テクスチャに対して有効であることを

を示した。また、人間にとって自然であるという立場から、要素選択の 1 つの方法を示した。階層的テクスチャや多要素テクスチャを処理するために、本手法をどのように拡張すればよいかはこれからの研究課題である。

参 考 文 献

- 1) 富田, 白井, 辻: 構造解析によるテクスチャの分類, 信学論, Vol. J61-D, No. 7, pp. 457-464 (1978).
- 2) Matsuyama, T., Saburi K. and Nagao, M.: A Structural Description of Regularly Arranged Textures, Proc. of 5th ICPR, pp. 1115-1118 (1980).
- 3) 富田: 一般テクスチャの適応的解析, コンピュータービジョン 8-4, pp. 1-8 (1980).
- 4) Connors, R. W.: Towards a set of statistical features which measure visually perceivable qualities of textures, PRIP, pp. 382-390 (1979).
- 5) Zucker, S. W.: Finding Structure in Co-Occurrence Matrices for Texture Analysis, Computer Graphics and Image Processing, Vol. 12, pp. 286-308 (1980).
- 6) Brodatz, P.: Textures, Dover (1966).
- 7) ゴールド, B., レイダー, C. M. (石田晴久訳): 電子計算機による信号処理(共立出版), 第 7 章, p. 246 昭和 47 年.
- 8) Nagao, M. and Matsuyama, T.: Edge Preserving Smoothing, Computer Graphics and Image Processing, Vol. 9, pp. 394-407 (1979).
- 9) Otsu, N.: A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms, IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics, Vol. SMC-9, No. 1, pp. 62-66 (1979).

(昭和 56 年 6 月 26 日受付)

(昭和 56 年 9 月 7 日採録)