

## 仮想テクスチャの合成手法に関する研究

池井 寧      毛利之重      中川大輔      福田収一

東京都立科学技術大学

人工現実感の描画品質を高めるためには、仮想物体の形状モデルの精密化とともに、物体表面のテクスチャ描画も詳細化する必要がある。本論文では、物体表面に貼る仮想テクスチャを合成する新しい手法について述べる。本手法は、周波数領域でスペクトルを配置し、これをフーリエ逆変換することによってテクスチャ画像を得るものである。生成手順は、まず24のスペクトル位置を低周波から3つのグループに分け、それらのグループの中でランダムにスペクトルを配置する。逆変換により得られた画像を、所期のコントラスト、および相関について評価する。評価の方法を2通り設定し、それぞれの場合で最大の評価値となるものを選択する。本手法によるテクスチャ生成の初期的事例を報告する。

### A synthetic method of virtual textures

Yasushi Ikei, Yukishige Mouri, Daisuke Nakagawa, Shuichi Fukuda

Tokyo Metropolitan Institute of Technology,

6-6 Asahigaoka, Hino-shi, Tokyo 191, Japan

To enhance the reality of virtual world, it is necessary to render not only the general topology of an object surface but the detailed texture on a surface characterizing the object. We have developed a method to synthesize virtual textures to be mapped on the surface using inverse Discrete Fourier Transform. The method disposes some spectra on the frequency plane estimating generated texture images in terms of contrast and correlation which are calculated from the co-occurrence matrix of the image. The textures are selected from randomly initiated spectrum dispositions in two ways of estimation process.

## 1 はじめに

仮想空間の描画の品質を高めるためには、描画対象の形状モデルの詳細化だけでなく、対象の表面の微細な質感(テクスチャ)画像も描画することが必要である。テクスチャ画像を得る方法としては、自然画像の取込みや、幾何モデルに基づくレンダリングなどが挙げられるが、前者はサンプル数が限定されること、後者はモデルの作成と描画に膨大な計算量が必要なことが欠点である。

本研究では、周波数空間のスペクトルの配置を選択することによって、自然画像に近いテクスチャを生成する手法を開発している。本手法では、フーリエ逆変換により画像を生成するが、この方法は、比較的少量のスペクトル指定でも低周波成分から高周波成分まで効率的に操作でき、かつ自然画像に近い滑らかな質感を生成できる利点がある。また、生成画像を選択する際の基準を緩やかに設定することにより、指定したその特性の付近で多様性に富むテクスチャ画像を生成可能である。

## 2 テクスチャ特徴の評価法

### 2. 1 テクスチャの特徴量

本手法では、生成画像を逐次評価しつつ、要求する特性に合ったものを選択する。したがって、この評価の際の基準となるテクスチャの特徴量を与える必要がある。テクスチャの特徴としては、一般に、粗さ、方向性、粒状性、線状性、規則性などがある。これらの特徴を数量化したものとしては、同時生起行列、濃度レベル差分、濃度レベルランレングスなどから計算される、画像のエネルギー、エントロピー、相関、局所一様性、慣性、コントラスト、ラン強調、ランレングス分布などが多く用いられる。

ここでは、これらの特徴量の中で、結果との対応が比較的とり易い、コントラストと相関をテクスチャの特徴量として利用する。また、これらの量は、同時生起行列から求める。

### 2. 2 同時生起行列を用いた評価値の計算

テクスチャ画像のコントラストおよび相関を計算するために同時生起行列 (co-occurrence matrix) を用いる。同時生起行列とは、特定の相対距離ベクトルを持つ2点が、特定の濃度値をとる確率を要素として持つ行列である。対象とする画像  $f$  の濃度値が  $K$  レベルであるとする、この行列は  $K$  行  $K$  列となり、その  $(k_1, k_2)$  要素は、確率  $P_{k_1 k_2}(f, \mathbf{d})$  である。ここで  $\mathbf{d}$  は、2 点の画素間の相対距離ベクトルであり、 $P_{k_1 k_2}(f, \mathbf{d})$  は、関係  $\mathbf{d}$  を持つ 2 個の画素において濃度値  $k_1, k_2$  が起こる確率を表わす。

この同時生起行列から、次式によって画像のコントラストと相関を計算し、これをテクスチャの評価値とする。

・コントラスト

$$C = \frac{1}{K^2} \sum_{k_1=1}^K \sum_{k_2=1}^K (k_1 - k_2)^2 P_{k_1 k_2}(f, \mathbf{d}),$$
$$0 \leq C \leq 1 \quad (2-1)$$

・相関

$$R = \frac{\sum_{k_1=1}^K \sum_{k_2=1}^K k_1 k_2 P_{k_1 k_2}(f, \mathbf{d}) - \mu_{k_1} \mu_{k_2}}{\sigma_{k_1} \sigma_{k_2}},$$
$$-1 \leq R \leq 1 \quad (2-2)$$

但し、

$$\mu_{k_1} = \sum_{k_1=1}^K k_1 P_{k_1 k_2}$$
$$\mu_{k_2} = \sum_{k_2=1}^K k_2 P_{k_1 k_2}$$

$$\sigma_{k_1}^2 = \sum_{k_1=1}^K (k_1 - \mu_{k_1})^2 P_{k_1 k_2}$$

$$\sigma_{k_2}^2 = \sum_{k_2=1}^K (k_2 - \mu_{k_2})^2 P_{k_1 k_2}$$

### 3 仮想テクスチャの合成

#### 3.1 スペクトルの配置

自然画像を構成する空間周波数の成分は、一般に高周波数になるほど振幅が減少する。振幅の減少する程度を表す分布形は、もちろんそれぞれの画像の性質によって異なるが、周波数  $f$  について  $f^{-1} \sim f^{-2}$  程度のオーダーとなるものが多い。本研究では、スペクトルを配置する際、少数の点で高周波成分まで操作可能とするため、スペクトルの振幅を、 $f^{-1}$  に比例させて配分する。

振幅値を式(3.1)の値とし、Table 1に示す24点の座標位置にスペクトルを配置する。各点の座標は、周波数空間上ではFig. 1のとおりである。第1群は、低周波数の4点、第2群は、中間周波数の8点、第3群は、高周波数の12点である。ただし、実際には(3.2)の関係から、原点に対称な配置点が従属的に決まり、全部で48点に配置されることになる。また、第1群、第2群、第3群には、各々少なくとも1点は配置することとする。この配置では、最低周波数が8なので、テクスチャの要素画像(32x32)は、全画像平面(256x256)の中に8x8個生成されることになる。

$$F(u, v) = Z_r(u, v) + iZ_i(u, v)$$

$$= (k_r + ik_i) \cdot \min\left(\frac{1}{u}, \frac{1}{v}\right) \quad (3.1)$$

但し、

$$k_r, k_i \in \{-1, 0, 1\}, \quad k_r k_i = 0$$

$$k_r, k_i \in \left\{-\frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{2}}\right\}, \quad k_r k_i \neq 0$$

$$Z_r(u, v) = Z_r(-u, -v)$$

$$Z_i(u, v) = -Z_i(-u, -v) \quad (3.2)$$

Table 1 Coordinates of spectrum

Group 1			
F0(8, 0)	F1(8, 8)	F2(0, 8)	F3(-8, 8)
Group 2			
F4(16, 0)	F5(16, 8)	F6(16, 16)	F7(8, 16)
F8(0, 16)	F9(-8, 16)	F10(-16, 16)	F11(-16, 8)
Group 3			
F12(24, 0)	F13(24, 8)	F14(24, 16)	F15(24, 24)
F16(16, 24)	F17(8, 24)	F18(0, 24)	F19(-8, 24)
F20(-16, 24)	F21(-24, 24)	F22(-24, 16)	F23(24, 8)

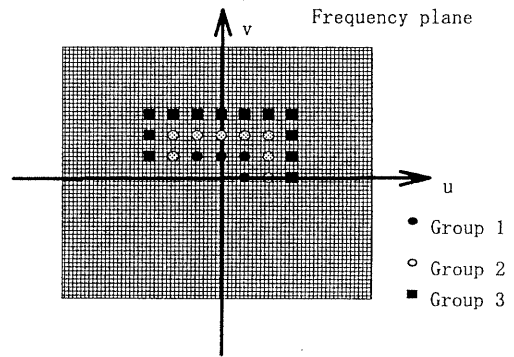


Fig. 1 Disposition of spectrum

#### 3.2 評価関数(評価値重み)の設定

前述のテクスチャの評価値であるコントラストと相関は、特定の相対距離ベクトル  $\mathbf{d}$  について計算される値である。ここでは、テクスチャの全体的な評価を行うために、代表的な相対距離ベクトル4つについて、コントラストと相関を求め、これらの加重和をテクスチャの全体的な評価関数とする。この評価関数は、次式のとおりである。

$$J_0 = \sum_{n=1}^4 (a_n C_n + b_n |R_n|) \quad (3.3)$$

但し、 $n$ はTable 2に示す相対距離ベクトルの添え字に等しく、該当のベクトルに対するコントラストと相関が $C_n$ 、 $R_n$ である。また、 $a_n, b_n$ は、両者に対する重みである。この $J_0$ では、 $32 \times 32$ 画素の要素テクスチャ領域の半分の周期で、4つの方向について評価していることになる。また、相関については、正負の相関を同様に評価している。

次項で述べる合成過程では、この他にスペクトル配置の3つの群それぞれに異なる相対距離ベクトルを用いて計算する評価関数も用いる。この時、第 $i$ 群の評価関数は次式で与えられる。

$$J_i = \sum_{n=(i-1)+1}^{4i} (a_n C_n + b_n |R_n|) \quad (3.4)$$

Table 2 Relative vectors of estimation

	$d_j = (\Delta u, \Delta v)$	
key length 16	$d_1=(16, 0)$ $d_3=(0, 16)$	$d_2=(16, 16)$ $d_4=(-16, 16)$
key length 8	$d_5=(8, 0)$ $d_7=(0, 8)$	$d_6=(8, 8)$ $d_8=(-8, 8)$
key length 4	$d_9=(4, 0)$ $d_{11}=(0, 4)$	$d_{10}=(4, 4)$ $d_{12}=(-4, 4)$

### 3.3 テクスチャ合成の手順

以上の評価関数を用いたテクスチャの合成手順としては、次の2つの方法を使用した。

#### [方法1]

低周波の群から順番に、すなわち第1群、第2群、第3群の順で配置を決定するが、各群についてそれぞれの独自の評価関数を使用する。つまり、各群についてそれぞれ $J_1, J_2, J_3$ により評価する。具体的な手順は次のとおりである。

①式(3.1)の条件に従い、まず第1群について

$k_r, k_i$ をランダムに設定する。

- ②逆fftにより変換を行い画像を得る。 $d_1 \sim d_4$ に対応する同時生起行列から、コントラスト及び相関を求め、評価値 $J_1$ を計算する。これを128回繰り返した中で、最大の評価値を与えるスペクトルの組み合わせを選択する。これにより、第1群の配置が決定する。
- ③第2群に対して、同様の手順で配置し、画像を得る。この中で、 $J_2$ を最大にするスペクトルを選択する。試行回数は、第1群と同様に128回である。
- ④第3群に対して、同様の手順で $J_3$ を最大化するスペクトルを選択する。これらの操作により、与えられた評価関数を逐次的に最大化した画像が、最終的に1枚得られる。

#### [方法2]

方法1と同様に第1群から第3群まで逐次的に配置するが、全ての群において同一の評価関数 $J_0$ を用いて評価する。

### 4 合成結果及び考察

方法1による生成画像から一部を切り出した例をFig. 2、Fig. 3、方法2による生成画像の一部をFig. 4、Fig. 5に示す。それぞれにおいて用いた評価値重みを、Table 3、また各画像のコントラスト、相関をTable 4~7に示す。

Fig. 2は、方法1による生成画像であるから、各群のスペクトルの波長の $1/2$ に相当する長さのベクトルで評価したものであり、 $x$ 軸(左右)方向についてコントラストを抑え、相関を高く重み付けした場合である。結果は、輝度変化が局所化されており、また、負の相関(白/黒のペア)となるものが選ばれている。Fig. 3も同様の重みであるが、 $y$ 軸(上下)方向が評価され、かつ正の相関が選ばれた結果、縦縞の基調を構成している。いずれも、高周波までの各群で相当する代表長さに関する選択を行った結果、細部の構造にも指定が反映されている。Fig. 4とFig. 5は、全群と同じ

代表長さ16を用いているため、全体に粗いテクスチャが選ばれている。Fig. 4では、Fig. 2と同じ重みであるが、正の相関が採られたため、横縞が明瞭に表われている。Fig. 5は、全方向のコントラストが強調され、2次元的に明瞭な図形が表われている。

Table 3 Weight coefficient about  $J_i$

	Fig. 2	Fig. 3	Fig. 4	Fig. 5
$a_1$	-4.0	0.1	-4.0	4.0
$a_2$	0.1	0.1	0.1	4.0
$a_3$	0.1	-4.0	0.1	4.0
$a_4$	0.1	0.1	0.1	4.0
$b_1$	1.0	0.1	1.0	0.1
$b_2$	0.1	0.1	0.1	0.1
$b_3$	0.1	1.0	0.1	0.1
$b_4$	0.1	0.1	0.1	0.1

Table 4  
C and R on vectors  $d_i$   
for Fig. 2

	contrast	correlation
d 1	0.061417542	-0.444636
d 2	0.038758392	0.088344
d 3	0.047569275	-0.118902
d 4	0.038758392	0.088344
d 5	0.052688446	-0.239315
d 6	0.039936676	0.060628
d 7	0.040692749	0.042844
d 8	0.041404266	0.026109
d 9	0.02343399	0.448795
d 1 0	0.030245667	0.288574
d 1 1	0.02238739	0.473413
d 1 2	0.041404266	0.242498

Table 4  
C and R on vectors  $d_i$   
for Fig. 2

	contrast	correlation
d 1	0.030323639	0.576993
d 2	0.103911895	-0.449822
d 3	0.097700348	-0.362895
d 4	0.103911895	-0.449822
d 5	0.06803421	0.05094
d 6	0.06587326	0.081084
d 7	0.074511108	-0.039411
d 8	0.077836304	-0.085796
d 9	0.048143005	0.328417
d 1 0	0.051183777	0.286001
d 1 1	0.044064178	0.385316
d 1 2	0.0684739	0.044821

Table 5  
C and R on vectors  $d_i$   
for Fig. 3

	contrast	correlation
d 1	0.063717041	-0.157743
d 2	0.064849701	-0.178326
d 3	0.02866394	0.472124
d 4	0.064849701	-0.179326
d 5	0.078152771	-0.420043
d 6	0.047559049	0.136011
d 7	0.04012558	0.270918
d 8	0.051944227	0.056167
d 9	0.045873413	0.186476
d 1 0	0.053985748	0.019074
d 1 1	0.02670517	0.514761
d 1 2	0.033013458	0.400142

Table 5  
C and R on vectors  $d_i$   
for Fig. 3

	contrast	correlation
d 1	0.139006042	-0.106698
d 2	0.149102173	-0.187079
d 3	0.127487335	-0.014992
d 4	0.149102173	-0.187079
d 5	0.122414093	0.025399
d 6	0.150113373	-0.19513
d 7	0.127918781	-0.018666
d 8	0.101363068	0.192996
d 9	0.060769501	0.516182
d 1 0	0.09683136	0.314241
d 1 1	0.067971191	0.458847
d 1 2	0.085065918	0.322747

## 5 おわりに

少数の条件による指定でありながら、多様な様相を生成し得る仮想テクスチャ合成法を提案した。本手法では、数種類の代表距離に関するコントラストと相関の操作により、概略の基調を与えながら自然画像としての滑らかさを表現することが可能である。また、評価関数の値が近い画像では、指示した特徴に関しては同様となるが、その他の部分で異なった画像が生成されており、本手法による生成画像は多様性を持つものといえる。本論文では、本手法によるテクスチャ生成の初期的な結果について示した。

## 参考文献

- 1) 森俊二, 坂倉梅子, 画像認識の基礎 [II], オーム社.
- 2) 中川大輔, 「仮想テクスチャの合成手法に関する研究」, 1993年度東京都立科学技術大学卒業論文.

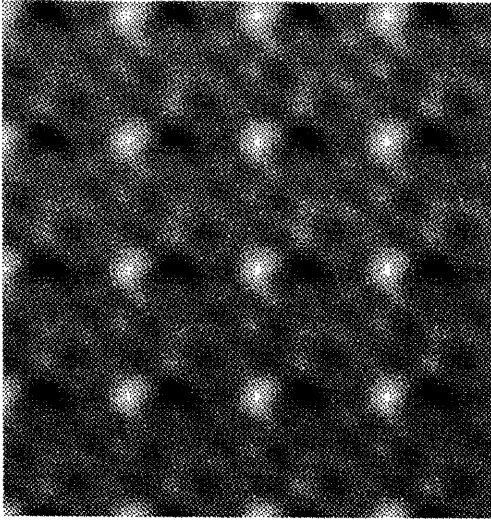


Fig. 2 Generated texture (1) by method 1

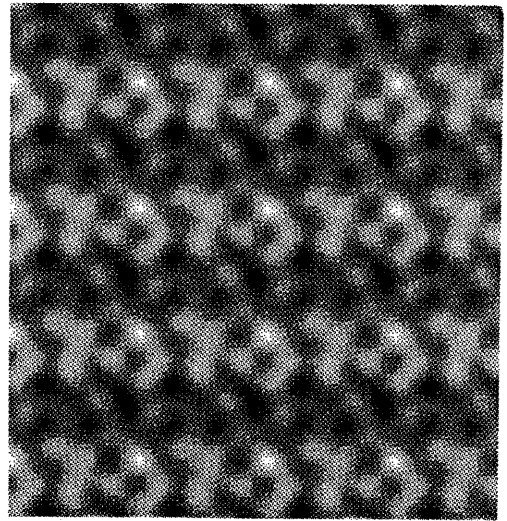


Fig. 4 Generated texture (3) by method 2

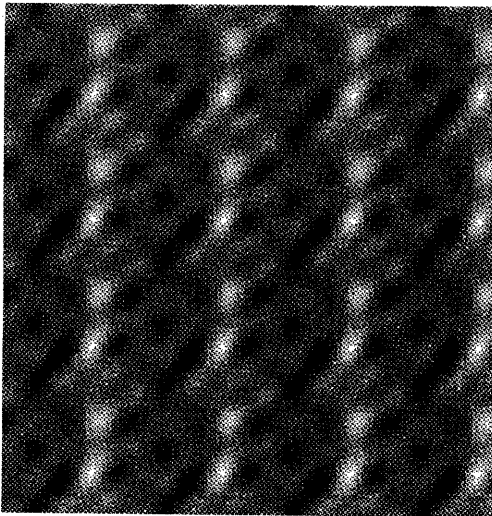


Fig. 3 Generated texture (2) by method 1

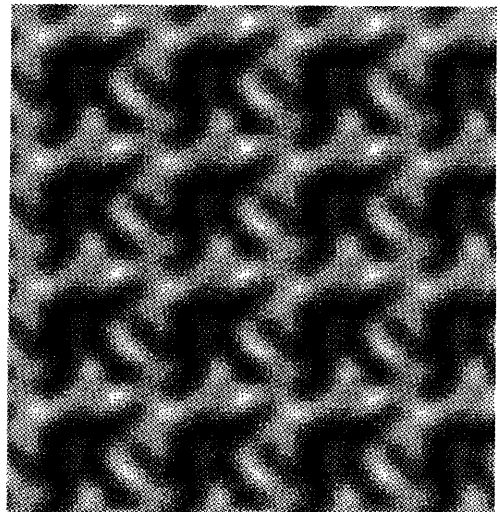


Fig. 5 Generated texture (4) by method 2