

拡張型多重濃度共起行列フラクタル法を用いた テクスチャ内部の欠損箇所補完法

遠藤 亮正† 山田 辰美‡ 徳永 幸生†

あらまし 様々なデジタル画像（テクスチャ）には、風景に写りこんだ物体や古文書における虫食い等、不要箇所や欠損箇所が存在することが多々ある。そこで、本報告ではテクスチャ内の任意の領域を自然な形で補完する手法を提案する。具体的には、多重濃度共起行列を用いてテクスチャ内の濃度パターンを抽出し、それをフラクタル法による画素決定順序に基づいて濃度を決定する。この手法により、補完箇所と他のテクスチャ部分との境界における不連続、補完した内部と外部との違和感を生じることなく補完されることを示す。

A Reconstruction Method of Defect Part in Texture Image using E-TFMCM

Akitaka ENDO †, Tatsumi YAMADA ‡, and Yukio TOKUNAGA †

Abstract We propose a reconstruction method of defect part in texture. In this method, first, multi-distance co-occurrence matrices are calculated from non-defect part in the texture image. Next, the texture is generated to defect part using E-TFMCM from these matrices. This method is applied to various digital pictures with defect parts and old documents with motheaten parts. Results have sufficiently good performance levels.

1. まえがき

様々な画像のデジタル化が進んでいる。しかし、対象となる画像には完全性が求められても、オリジナルの性格上再採取や再撮影などが困難であったり、不可能であるものが多々存在する。例えば、絵画や古文書中に生じてしまった虫食いや汚れ、撮影時に入り込んでしまった不要物等である。

この不完全な欠陥箇所をできるだけ自然な形で補完するため、重要な画像では習熟した職人が手間と時間をかけて 1 つ 1 つ手作業で行っている。テクスチャ内の欠損箇所を補完する手法は、テクスチャ内部から境界付近の濃度値が類似した領域を抜き出し欠損箇所に埋め込む手法が一般的である。これは境界付近と濃度値が類似した領域が存在しなければならず、例え類似した領域が存在したとしても境界付近と内部とで違和感が生じてしまうといった問題があった。

このような問題を解決する手法として、シーム

レステクスチャを生成する拡張型多重濃度共起行列フラクタル法^[4]を応用した手法を提案する。この手法は、濃度共起行列を拡張した多重濃度共起行列により、テクスチャ内の濃度の組み合わせを算出し、フラクタル法に基づく画素決定順序に従って濃度を決定する。

本稿では、拡張型多重濃度共起行列フラクタル法を適用した欠損箇所を補完する手法を提案し、その有効性を示す。

2. 拡張型多重濃度共起行列フラクタル法

本章では、拡張型多重濃度共起行列フラクタル法（Extended Textures generating method of based on Fractals with Multi-distance Co-occurrence Matrices（以下、E-TFMCM 法））について説明する。なお、本稿で扱うテクスチャサイズは $2^n \times 2^n$ とする。

2.1. フラクタル法

E-TFMCM 法はフラクタル法に基づく画素決定順序に従って行われる。以下にその手順を図 1

†芝浦工業大学工学部情報工学科
‡Department of Information Science and Engineering,
Shibaura Institute of Technology
‡NTTコミュニケーション科学基礎研究所
‡NTT Communication Science Laboratories

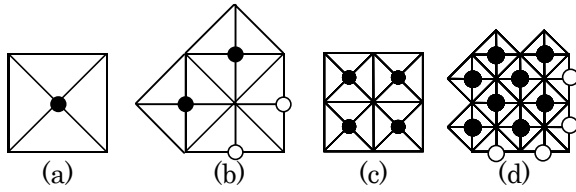


図1. フラクタル法に基づく画素決定順序

を用いて説明する。

(1) テクスチャの4頂点に初期値を設定し、この4頂点により構成される正方形の中心の画素値を中点変位法を用いて決定する(図1(a))。

(2) 既に決定されている点のうちの3点と生成領域外の1点により傾き $\pi/4$ の正方形(以下、菱形)を構成し、それぞれの正方形の中心の画素値を同様に決定する(図1(b))。

(3) 既に決定されている点の内の4点により構成される最小の正方形を構成し、それぞれの正方形の中心の画素値を決定する(図1(c))。

(4) 既に決定されている点の内の4点により構成される最小の菱形を構成し、それぞれの菱形の中心の画素値を決定する(図1(d))。

(5) (3)(4)を全画素値が決定されるまで繰り返す。

なお、手順の(1)で設定する初期値の4頂点は1つの点を共有するので共有される1点のみ設定する。また、手順の(2)および(4)における領域外の2点は、テクスチャサイズ分反対側の境界に向かって移動した点を参照しその点の画素値として計算する。

2.2. 濃度共起行列・多重濃度共起行列

E-TFMCM法で用いる濃度共起行列・多重濃度共起行列を図2を用いて説明する。

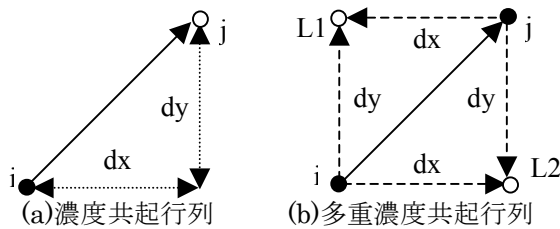


図2. 画素の位置関係

濃度共起行列・多重濃度共起行列はそれぞれ式(1)、式(2)で算出される。

$$C(i, j; dx, dy) = \sum_{x=0}^{2^n-1} \sum_{y=0}^{2^n-1} \delta(V(x, y) - i) \cdot \delta(V(x+dx, y+dy) - j) \quad (1)$$

$$M_m(Vp_1, Vp_2, Vp_3, Vp_4) = [E_{m_1}(k), E_{m_2}(k), E_{m_3}(k), E_{m_4}(k)] \quad (2)$$

式(1)で、 $\delta(x)$ は $x=0$ のときに1をとる関数、 $V(x, y)$ は位置 (x, y) の画素値、 dx, dy はフラクタル法の各分割次数時における算出画素と各参照画素の画素間の距離を示している。式(2)で、 m はフラクタル法における分割次数、 $Vp_x(x=1, 2, 3, 4)$ は分割次数 m で画素値決定に用いられる正方形、または菱形の各頂点同様の位置関係にある画素の画素値を示し、画素の順番は正方形の場合は左上を P_1 、左下を P_4 とし、菱形の場合は上を P_1 、左を P_4 として時計回りに順に番号が振られている。 $E_{m_x}(x=1, 2, 3, 4)$ は、濃度共起行列 $C(i, j; dx, dy)$ の要素である2点を底辺の端点とする直角二等辺三角形の頂点の位置の画素値が k である組み合わせの個数を示すものである。多重濃度共起行列を構成する E_{m_x} に対応する濃度共起行列 $C(i, j; dx, dy)$ は

$$\begin{aligned} E_{m_1} &: C(Vp_1, Vp_2; dx_{12}, dy_{12}) \\ E_{m_2} &: C(Vp_2, Vp_3; dx_{23}, dy_{23}) \\ E_{m_3} &: C(Vp_4, Vp_3; dx_{43}, dy_{43}) \\ E_{m_4} &: C(Vp_1, Vp_4; dx_{14}, dy_{14}) \end{aligned} \quad (3)$$

である。ただし、 dx_{mn}, dy_{mn} は P_m と P_n の x 方向並びに y 方向の距離を表すものとする。

2.3. 多重濃度共起行列からの濃度決定

濃度共起行列・多重濃度共起行列から画素値を決定する手法を説明する。この手法は図1に基づいて以下の手順で行われる。

(1) 1つの頂点を共有する4頂点(P_{init})とこの4頂点により構成される正方形の中心(P_c)の画素値を式(4)の J_1 を最大とする Vp_{init}, Vp_c として決定する。

$$J_1 = C(Vp_{init}, Vp_c; 2^{n-1}, 2^{n-1}) + C(Vp_{init}, Vp_c; -2^{n-1}, 2^{n-1}) \quad (4)$$

(2) 既に決定されている点の内の3点と生成領域外の1点により菱形(P_1, P_2, P_3, P_4)を構成し、それぞれの菱形の中心(P_c)の画素値を以下の式(5)の J_2 を最大とする Vp_c として決定する。

$$J_2 = C(Vp_1, Vp_c; 2^{n-1}, 0) + C(Vp_c, Vp_2; 2^{n-1}, 0) + C(Vp_c, Vp_3; 2^{n-1}, 0) + C(Vp_4, Vp_c; 2^{n-1}, 0) \quad (5)$$

(3) 既に決定されている点の内の4点により構成される最小の正方形(P_1, P_2, P_3, P_4)を構成し、その中心(P_c)の画素値を多重濃度共起行列を用いて算出する。まず多重濃度共起行列 $M_m(V_{p1}, V_{p2}, V_{p3}, V_{p4})$ をあらかじめ算出しておいた E_{mx} を並べるにより作成する。次に以下の式(6)を計算し、 $J_3(k)$ が最大となる k を P_c の画素値として決定する。ここで、 $f(x)$ は $x \neq 0$ の時に 1 をとる関数である。

$$J_3(k) = \sum_{x=1}^4 f(E_{mx}(k)) \quad (6)$$

(4) 既に決定されている点の内の4点により構成される最小の菱形(P_1, P_2, P_3, P_4)を構成し、菱形の中心(P_c)の画素値を(3)と同様の手順で $J_3(k)$ を算出し決定する。

(5) (3)(4)を全画素値が決定されるまで繰り返す。

ただし、 $J_3(k)$ の最大値が 1 の場合には、(6)により P_c の画素値を決定する。

(6) $J_3(k)=1$ のときに参照される画素値($V_{p1}, V_{p2}, V_{p3}, V_{p4}$)の平均(Ave)を求め、Ave と $J_3(k)=1$ である k とを比較し、最も近い値をとる k を P_c の画素値として決定する。

以上の操作が E-TFMCM 法である。

2.4. テクスチャのカラー化

E-TFMCM 法は、グレースケールテクスチャにのみ対応可能であり、カラーテクスチャには対応できていない。そこで、生成されたテクスチャのカラー化を行う。

グレースケールテクスチャでは 1 つの濃度(輝度)のみを持っていたために、E-TFMCM 法は輝度に対して行っていた。しかしながら、カラーテクスチャは、RGB の 3 つの濃度を持っているため、RGB から 1 要素(e)を選択し、E-TFMCM 法を行う。そして、生成されたテクスチャと対象テクスチャの要素 e とでマッチング処理を行う^[4]。

マッチング処理は式(7)で行われ、 $M(x,y)$ を最大とする(i,j)の位置にある対象テクスチャのRGBを生成テクスチャの(x,y)に代入する。

$$M(x,y) = \sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 \left| \begin{array}{c} \delta(W(x+m, y+n)) \\ -V(i+m, j+n) \end{array} \right| \quad (7)$$

$$\begin{cases} i, j = 0 \sim 2^n - 1 \\ x, y = 0 \sim 2^n - 1 \end{cases}$$

式(10)で、 $V(x,y)$ は E-TFMCM 法で選択された

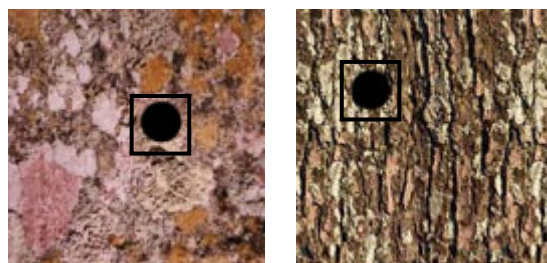
対象テクスチャの 1 要素の画素値を、 $W(x,y)$ は生成テクスチャの画素値を示している。また、 $M(x,y)$ は、対象テクスチャと生成テクスチャのマッチング数を示している。

3. テクスチャ内の補完領域の補完

本章ではテクスチャ内の欠損箇所を補完するために、E-TFMCM 法を応用した手法について説明する。

3.1. テクスチャ内の欠損箇所の指定

テクスチャ内の欠損箇所を補完するために、まずテクスチャ内の補完領域を指定する。テクスチャ内の補完領域を指定した例を図3に示す。



(a)欠損テクスチャ 1 (b)欠損テクスチャ 2

図3. 欠損テクスチャの例

図中の実線の正方形が指定した補完領域である。補完領域は、欠損箇所を含んだ領域よりも大きい領域を指定する。その補完領域のサイズは、E-TFMCM 法を用いるので、一辺が 2^m の正方形、又は対角線の長さが 2^m の菱形を指定する。このとき、補完領域の 4 頂点のうち、左上の座標を $(x_s, y_s) = P_1(x_s, y_s)$ とし、時計回りに座標を表すと、各座標は $P_2(x_s+2^m, y_s), P_3(x_s+2^m, y_s+2^m), P_4(x_s, y_s+2^m)$ となる。ただし、E-TFMCM 法より dx, dy は $1 \leq dx, dy \leq 2^{n-1}$ の範囲をとるため、補完領域のサイズは最大で、 $2^{n-1} \times 2^{n-1}$ となる。

3.2. 欠損箇所の補完法

E-TFMCM 法を応用してテクスチャ内の欠損箇所を補完する方法を説明する。

E-TFMCM 法は、テクスチャのシームレス性を保持するために 2.1 節で述べたように、テクスチャ領域外の点(参照画素)は、テクスチャサイズだけ反対側の境界に向かって移動した画素を参照する。図3に示したような補完領域を補完する場合、補完領域外に存在する画素値を参照することで、算出される画素値は領域外の画素値を考慮したものとなり、補完箇所外部と連続した画素値

が算出される。

以下に、E-TFMCM法を応用した補完領域を補完する手法の手順を示す。濃度共起行列・多重濃度共起行列は式(1)(2)から求められるが、その計算範囲は、指定されたテクスチャの補完領域を除いた $0 \leq x < x_s, x_s + 2^m < x < 2^n, 0 \leq y < y_s, y_s + 2^m < y < 2^n$ となる。

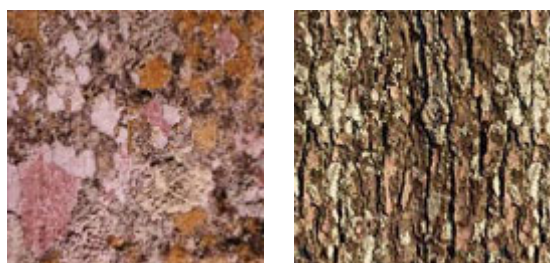
(1) 補完領域の4頂点(P_1, P_2, P_3, P_4)は対象としたテクスチャの同じ位置にある画素値を代入する。

(2) 既に決定されている4点から構成される最小の正方形を構成し、式(6)から画素値を決定する。

(3) 既に決定されている3点と補完領域外の1点から構成される最小の菱形を構成し、(2)と同様にして画素値を決定する。補完領域外にある点(参照画素)は、E-TFMCM法とは違い、そのまま参照画素として使用する。ただし、補完領域外の画素がテクスチャ領域外に存在する場合には、補完領域のサイズ(2^m)だけ反対側の境界に移動した画素値を参照する。

(4) (2)(3)を補間領域の全ての画素が算出されるまで繰り返し行う。

生成されたテクスチャの例を図4、図5に示す。



(a)図3(a)の補完例 (b)図3(b)の補完例
図4. 欠損箇所の補完例1



(a)対象テクスチャ (b)補完テクスチャ
図5. 欠損箇所の補完例2

図4に示したテクスチャは、図3にあった欠損箇所が無くなり、補間箇所とそれ以外の領域とで違和感が無いことが分かる。しかしながら、図

5(a)のように欠損箇所が小さな領域に存在し、補完領域が明らかに異なる形状をした領域を含んでいる場合は、補完領域に違和感が生じてしまう。これは、補完領域を補完する手法の手順(1)で、4頂点(P_1, P_2, P_3, P_4)に与える画素値が異なる形状をした領域の画素値であることが原因である。4頂点に異なる領域の画素値を与えると、始めに算出される画素値は、異なる領域の画素値を含んだ濃度共起行列・多重濃度共起行列から算出されることになる。算出された画素値はE-TFMCM法より、次の画素値の算出で参照画素として使われることになり、他の画素にも影響を及ぼすことになる。違和感が生じる原因がここにある。

3.4. 補完領域内部の欠損箇所の指定

前節で述べた問題を解決するために、補完領域内の欠損箇所を指定する。

前節の問題の原因は、E-TFMCM法より補完サイズが、 $2^m \times 2^m$ という2のべき乗でしか対応できないことであつた。そこで、補完領域内で更に欠損箇所を指定することを行う。欠損箇所を指定するためには、補完領域内で欠損箇所を四角形の領域で指定する。

補完領域内で欠損箇所を指定した例を図6に示す。



(a)欠損箇所指定例1 (b)欠損箇所指定例2
図6. 補完領域内の欠損領域の指定例

図中の実線が補完領域で、点線が欠損箇所を指定した領域である。補完領域と同様に順に番号を付けると、 $P_1(x_1, y_1), P_2(x_2, y_1), P_3(x_2, y_2), P_4(x_1, y_2)$ となり、補完領域との関係は $x_s \leq x_1 < x_2 \leq x_s + 2^m, y_s \leq y_1 < y_2 \leq y_s + 2^m$ となる。

更に、対象テクスチャの(8)に示した領域内に存在する画素は、E-TFMCM法を適用する時に、参照画素として使用し、この領域内に算出された画素値を参照画素として使用しない。

$$\begin{cases} x_s \leq x \leq x_1, x_2 \leq x \leq x_s + 2^m \\ y_s \leq y \leq y_1, y_2 \leq y \leq y_s + 2^m \end{cases} \quad (8)$$

補完領域内において、対象テクスチャの画素値を参照画素として使用するため、4頂点(P₁, P₂, P₃, P₄)に異なる領域の画素値が代入されても、補完領域全体にその影響が及ぶことは無い。

これより補完されたテクスチャの例を図 7～図 11 に示す。



(a)図 6(a)の補完例



(b)図 6(b)の補完例

図 7. 欠損箇所補完例 1

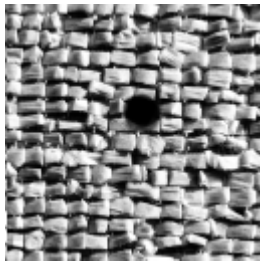


(a)対象テクスチャ

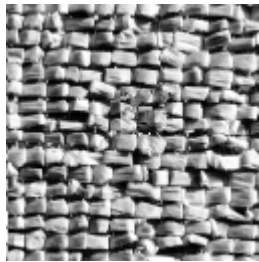


(b)補完テクスチャ

図 8. 欠損箇所の補完例 2



(a)対象テクスチャ



(b)補完テクスチャ

図 9. 欠損箇所の補完例 3



(a)対象テクスチャ



(b)補完テクスチャ

図 10. 欠損箇所の補完例 4



(a)対象テクスチャ



(b)補完テクスチャ

図 11. 欠損箇所の補完例 5

図 7(a)のテクスチャは、図 5(b)に見られたような違和感が無くなり、自然に補完されている。また、図 7(b)では、図 6(b)で補完領域が幹の切れ目を含んでいるにもかかわらず、幹の形状を保持したまま自然に補完されている。同様に、図 8(b)～図 10(b)に示したテクスチャについても、補完領域とそれ以外の領域とで自然に補完できている。

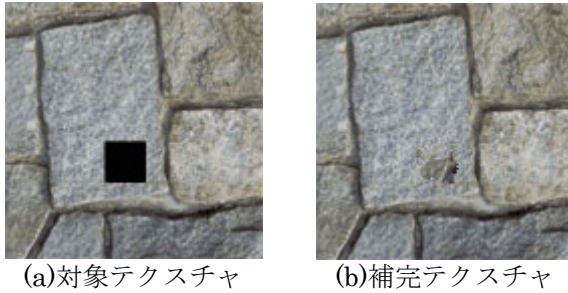
しかしながら、図 11(a)に示したように、テクスチャサイズに対し欠損箇所が大きい場合に生成されたテクスチャ(b)は、補完領域とそれ以外の領域との境界で模様の不連続が生じている。これは、補完領域が大きいため、濃度共起行列・多重濃度共起行列の算出範囲が狭くなり、行列内の濃度の組み合わせが減少していることが 1 つの原因である。この問題は、濃度共起行列・多重濃度共起行列を同様の模様をしたテクスチャサイズの大きいテクスチャから算出することで解決を図る。もう 1 つの原因は、E-TFMCM 法が正方形領域にのみ適応可能であるため、その境界は直線となり、目立ちやすくなることが 1 つの原因である。この現象は、補完領域のサイズが大きくなるにつれて顕著に現れる。

一応の目安としては、補完領域のサイズは、対象としたテクスチャサイズ $2^n \times 2^n$ に対して、 $2^{n-2} \times 2^{n-2}$ 以下のサイズが望ましい。

3.5. 共起行列の算出領域の指定

次に濃度共起行列・多重濃度共起行列の算出領域を指定する。算出領域を指定しないで補完を行った例を図 12 に示す。

図 12(b)の補完領域には、周辺の領域と比べると、模様の違和感が生じている。これは、濃度共起行列・多重濃度共起行列が、明らかに異なる画素値をした領域から算出されていることが原因である。これより、算出される画素値は、明らか

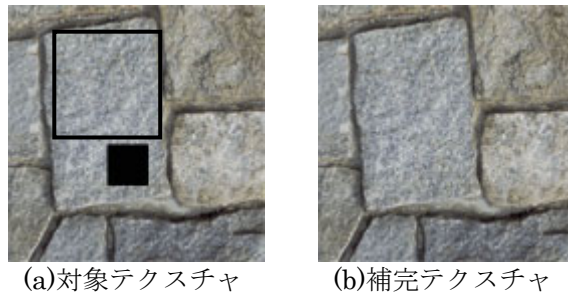


(a)対象テクスチャ (b)補完テクスチャ
図 12. 欠損箇所の補完例

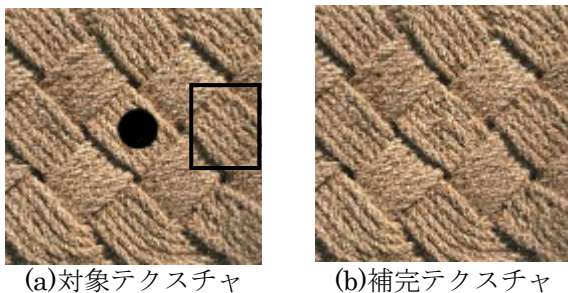
異なる画素値をした多重濃度共起行列から決定されることになり、模様の変和感を招いてしまう。これは、濃度共起行列・多重濃度共起行列を算出する領域を任意の領域に指定することで、解決することが出来る。

ただし、E-TFMCM 法で使用する濃度共起行列・多重濃度共起行列の画素間の距離(dx,dy)は式(4),式(5)より、操作の対象とする領域のサイズの1/2の距離が必要なため、算出領域は $2^{m-1} \times 2^{m-1}$ よりも大きいサイズとする。

算出領域を指定して補完したテクスチャの例を図 13, 図 14 に示す。図 13(b)は、図 12(b)に見られた変和感が無くなり、付近の領域と自然に補完されている。同様に、図 14(b)においても変和感無く補完できている。算出領域を指定することで、不要な画素値を持った領域を含まずに濃度共起行列・多重濃度共起行列の算出ができ、欠損箇所を効果的に補完することが出来る。



(a)対象テクスチャ (b)補完テクスチャ
図 13. 算出領域指定による欠損箇所の補完例 1



(a)対象テクスチャ (b)補完テクスチャ
図 14. 算出領域指定による欠損箇所の補完例 2

4. むすび

本報告では、濃度共起行列・多重濃度共起行列を使用した拡張型多重濃度共起行列フラクタル法を応用し、テクスチャ内の欠損箇所を補完する手法について提案した。更に、カラー化処理を加えることで、カラーテクスチャに対応できる手法を提案した。

本手法により、テクスチャ内に存在する欠損箇所を違和感無く補完することが可能となった。更に、補完領域内の欠損箇所を指定すること、濃度共起行列・多重濃度共起行列の算出領域を指定することにより、効果的に補完が可能となった。

しかしながら、生成されたテクスチャでは、補完領域とそれ以外の領域との境界で模様の変和が生じることが稀にある。本手法は対象としたテクスチャサイズの1/2の領域を補完することが可能であるが、境界の変和は補完領域のサイズが大きいときに顕著に現れる。

今後は、このような問題を解決するために、多重濃度共起行列の再構成や算出法を検討する。また、本手法の適応領域を明確化するための評価尺度を検討し、適応領域の拡大を行う。

参考文献

- [1] 山田辰美, 橋本秋彦, 下原勝憲, “多重濃度共起行列を用いた自然テクスチャからのシームレステクスチャ生成法” 電子情報通信学会, vol.J85-D-II, No.2, pp291-299, Feb.2002.
- [2] 山田辰美, 秋元秋彦, 安達丈夫, 下原勝憲, 徳永幸生, “遺伝的アルゴリズムを用いたシームレステクスチャ生成方法” 信学会(D-II), vol.J82-D-II, no.11, pp.2017-2025, Nov.1999.
- [3] 遠藤亮正, 徳永幸生, “多重濃度共起行列を用いたシームレステクスチャ生成法とその限界” 情報処理学会第 65 回全国大会, 3G-5, pp.2-69-70, March.2003.
- [4] 遠藤亮正, 徳永幸生, 山田辰美, “拡張型多重濃度共起行列フラクタル法を用いたカラーシームレステクスチャの生成” 第 113 回情報処理学会グラフィクスと CAD 研究会, 2003-CG-113.