

反応拡散系に基づくテクスチャ生成の効率化

2H-2

中森工慈

高井昌彰

北海道大学工学部

北海道大学大型計算機センター

1 はじめに

テクスチャを自動的に合成するための一手法として、反応拡散系 (Reaction-diffusion systems) という局所的、非線形的な相互作用のモデルが注目されている。このモデルは生体学的な見地から提唱されたもので、パラメータを変化させることにより様々な興味深い模様を形成することが可能である。

しかし反応拡散系は、パラメータの数が多く、かつその調整が非常に微妙であるという欠点をもつため、その設定を手作業で行なうには困難が伴う。したがってパラメータの設定を自動的に行なうアルゴリズムの開発が不可欠といえる [1]。

パラメータ設定を完全自動化する上で、生成されたテクスチャをいかに評価するかということが重要となる。本稿では、反応拡散系を用いて生成されたテクスチャの評価法、およびそれを応用したパラメータ自動設定アルゴリズムについて述べる。

2 反応拡散系

反応拡散系は、動物の細胞組織、例えば皮膚の模様の形成過程をモデル化したものである [2]。ある細胞の色彩を決める要素として、モルフォゲンという仮想的な伝達物質を仮定する。モルフォゲンの濃度は周囲のモルフォゲンとの相互作用によって変化し、濃度の大小によって細胞の最終的な色彩が決まる。このモルフォゲンの細胞組織中における濃度の時間変化を計算機上でシミュレートしてテクスチャの生成に応用する。

反応拡散系は、非線形偏微分方程式で表される。二次元の組織を仮定し、そこで濃度変化が起こるとする。空間中のある点におけるモルフォゲンの濃度を $C(x, y)$ とすると、 C の時間微分 $\dot{C}$ は

$$\dot{C} = \text{Tr}(D^T Q^T H Q D) C - bC + R \quad (1)$$

$$\text{ただし、} H = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} & \frac{\partial^2 C}{\partial x \partial y} \\ \frac{\partial^2 C}{\partial y \partial x} & \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \end{bmatrix}, \quad D = \begin{bmatrix} a_1 & 0 \\ 0 & a_2 \end{bmatrix},$$

$$Q = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix}$$

で表される。(1) 式の右辺の各項が反応拡散系における 拡散, 消失, 反応 という 3 つのプロセスにそれぞれ対応している [3]。ここで a_1, a_2 は軸の方向およびそれに垂直な方向への拡散係数、 b は消失係数、 θ は主軸の傾き、 R は反応関数である。

実際の計算においては、(1) 式を差分法により近似し、時間軸を細かいステップに区切って数値的に解く。濃度空間 C の初期値を与えてステップ毎の計算を行ない、ある程度のステップ数まで達したところで各点の濃度値に対して適当なカラーマップを与えてマッピングし、テクスチャを生成する。

3 テクスチャの評価

以上のモデルを用いた計算の結果は、

1. 途中で濃度空間全体が同じ値になりテクスチャが消滅する
2. 途中で濃度空間が $\pm\infty$ に発散して計算不能となる
3. 目標ステップまで計算が終了する

の 3 つのケースに分類できる。1, 2 は異常終了として定義され、テクスチャとして無意味なので、3 - 正常終了 の場合のみ対象とし、生成されたテクスチャに 2 次元フーリエ変換を施す。このパワースペクトルの分布を観測することによって、テクスチャを評価する。

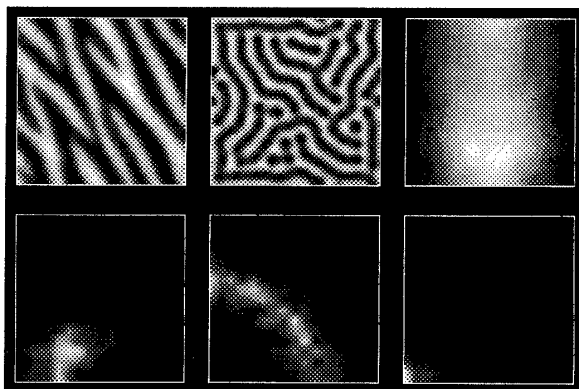


図 1: 生成されたテクスチャ (上段) とそのパワースペクトル (下段)

図1において、上段左および中のものはテクスチャとしての価値が高いもの、右は価値が低いものの典型的な例であり、下段はそれぞれのパワースペクトルを示している。テクスチャとしての価値のあるものは局所的に高調波成分を含むことが多いため、分布の原点からの距離に基づいてテクスチャを評価することができる。

分布を数値化するために、以下の操作を行なう(図2)。

1. パワースペクトルを原点を通る複数の直線で切り、原点からの距離と強度の関数を生成する
2. それらすべての和を求め、評価用関数を生成する
3. 評価用関数から距離の平均と分散を求める

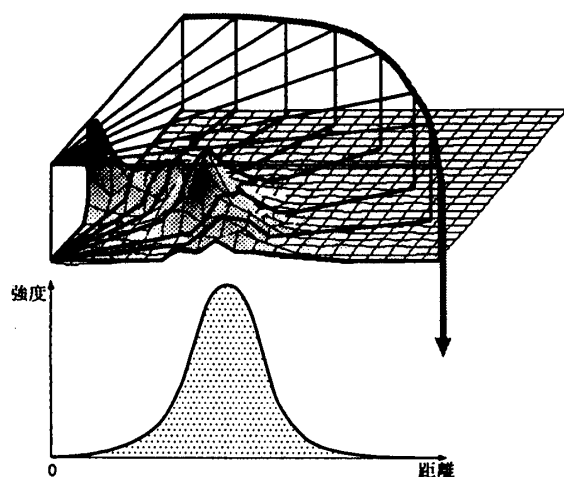


図2: 評価用関数の生成

分布の原点からの平均距離がある程度大きければ何らかの模様が生成されたと推測することが可能である。しかし、分布が全体に広がっている場合も平均値は大きくなるので、分散を同時に求めて、あまりにも分散が大きい場合は評価を下げるようにする。

4 パラメータ自動設定アルゴリズム

以上のテクスチャ評価法を応用したパラメータ自動設定アルゴリズムの概要を図3に示す。

あるパラメータの組で生成されたテクスチャ(親)のパラメータを1つ選んで微小量だけ変化させ、新しいテクスチャ(子)を生成する。両テクスチャをそれぞれ評価し、より評価の高い方を次世代の親として、前回の評価を反映したパラメータ変化を施した子テクスチャを新たに生成する。同様の作業を何度も繰り返してテクスチャを

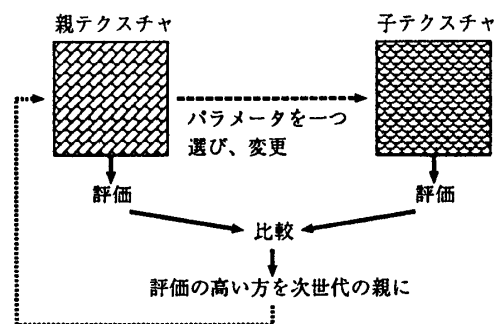


図3: パラメータ自動設定アルゴリズムの概要

進化させていく。

評価の方法は、テクスチャ生成の終了状態によって異なる。異常終了より正常終了は常に高い評価を与えられ、親子ともに異常終了の場合は終了までのステップ数を評価とする。ともに正常終了の場合はパワースペクトルを用いて評価する。

親子それぞれの終了状態の組み合わせによって、次世代のテクスチャのパラメータが適切に設定される。親の評価が高かった場合、新たに別のパラメータを選んで微小変化させ、次世代の子を生成する。子の評価が高い場合、その親が正常終了のときは変化させるパラメータを変え、親が異常終了のときは同じパラメータを再び変化させて次世代の子を生成する。

5 おわりに

本稿では、反応拡散系を用いて生成されたテクスチャに2次元のフーリエ変換を用いて評価値を与える方法、およびそれを利用してパラメータの設定を自動化するアルゴリズムを提案した。この評価法の目的は、テクスチャが生成されたか否かを判断することにある。テクスチャの美しさも判断できる評価法は今後の課題である。

参考文献

- [1] 中森工慈, 高井昌彰, 佐藤義治: “反応拡散系を用いたテクスチャの自動生成”, 情報処理北海道シンポジウム '95 予稿集, pp.96-97, 1995
- [2] Alan Turing: “The Chemical Basis Morphogenesis”, *Philosophical Transactions of the Royal Society(B)*, Number 237, pp.37-72, 1952
- [3] Andrew Witkin and Michael Kass: “Reaction-Diffusion Textures”, *Computer Graphics*, Volume 25, Number 4, pp.299-308, July 1991