

反応・拡散モデルによる 2 値画像からの領域分割とエッジ検出*

5 L-1

野村厚志

山口大学 教育学部

1. はじめに

画像処理は、人間の視覚システムの理解という観点からも研究が進められている[1]。特に、領域分割やエッジ検出といった機能に対して、そのメカニズムの解明や実現方法に関して、研究が進められてきた。

一方、まったく異なった化学の分野において、化学反応システムを用いた画像処理：領域分割とエッジ検出の例が報告された[2,3]。これは、光感受性 Belousov-Zhabotinsky(BZ)反応と呼ばれる反応で、2次元状にひろげられた反応溶液に、パターン光を照射すると、パターンの領域分割やエッジ検出を施した結果が自発的に現れるというものである。BZ 反応のメカニズムは、興奮性因子と抑制性因子と呼ばれる 2つの物質の反応現象と拡散現象が結合する反応・拡散モデルによって説明される[4]。興味あることに、生物の神経軸索における信号伝播のメカニズムを説明する FitzHugh-Nagumo(FHN)モデルも反応・拡散モデルで記述される[5,6]。

本研究では、人間の視覚システムへの興味から、反応・拡散モデルが Turing 不安定条件[7]と呼ばれる特殊な条件の下で、画像処理の領域分割・エッジ検出の機能を果たしうることを示す。特に、FHN モデルによるエッジ検出の処理が、人間の視覚システムにおけるエッジ検出のモデルと考えられてきた DOG フィルター[1]に対して、よりよい性質を持つことを示す。

2. 反応・拡散モデル

反応・拡散モデルの一般形は、興奮性因子 $u(x,t)$ と抑制性因子 $v(x,t)$ を用いた次式のような連立方程式で表される。

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} &= D_u \nabla^2 u + \frac{1}{\varepsilon} f(u, v) \\ \frac{\partial v}{\partial t} &= D_v \nabla^2 v + g(u, v) \end{aligned} \quad (1)$$

ここで $0 < \varepsilon \ll 1$ 、 $f(u, v)$ 及び $g(u, v)$ は反応項と呼ばれ、FHN モデルでは次の関数で表される。

$$\begin{aligned} f(u, v) &= u(1-u)(u-a) - v \\ g(u, v) &= u - bv \end{aligned} \quad (2)$$

ここで $0 < a < 0.5$, $0 < b$ 。式(1),(2)のモデルは、パラメータ a, b の値によって 2つの異なる性質を持つ。すなわち、式(1)において拡散のない常微分方程式を考えたとき、2つの平衡解を持つ双安定系と 1つの平衡解を持つ単安定系の 2種類がある(図 1)。

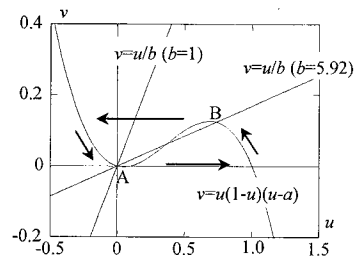


図 1: 式(1),(2)のモデルにおける解の軌道。パラメータ a, b の値により双安定系(A 点と B 点が安定点)と単安定系 (A 点が安定点) の 2つの性質がある。

3. 領域分割とエッジ検出への応用

反応・拡散モデルを、抑制性因子の拡散係数が興奮性因子のそれよりも大きい Turing 不安定条件[7]: $D_v \ll D_u$ の下で時間発展を計算する。簡単のため 1次元で、図 2 (a) のように $u(x,t)$ の初期値分布として、ランダムな値からなる領域と、一定

* Segmentation and edge detection with a reaction-diffusion model from binary image data
Atsushi Nomura
Faculty of Education, Yamaguchi University

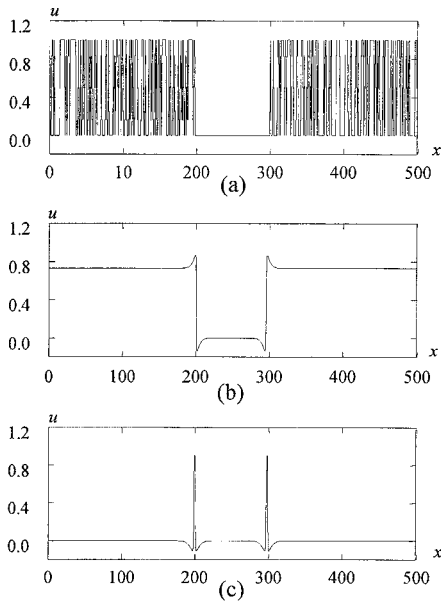


図2：1次元反応・拡散モデル式(1),(2)の時間発展。(a)初期値、(b)双安定モデルによる結果($b=5.92$)、(c)単安定モデルによる結果($b=1.0$ に設定)。他のパラメータは $a=0.1$, $\epsilon=1.0 \times 10^3$, $D_v/D_u=4$ 。

値からなる2つの領域を与える。一方で、抑制性因子の初期値はゼロ一定としておく($v(x,0)=0$)。この初期状態から、式(1),(2)に従って時間発展を計算していくと、初期値分布に対して領域分割やエッジ検出を行った結果が得られる(図2(b),(c))。

さらに2次元画像に対しても、同様に式(1),(2)によって領域分割やエッジ検出が可能なことを示す。図3のような画像を $u(x,t)$ の初期値として与え(抑制性因子は $v(x,0)=0$)、式(1),(2)に従って時間発展を計算すると、図4(a)、図5(a)のような領域分割・エッジ検出結果が得られる。一方、Gauss フィルターを図3の画像に重畳し、適当な閾値を用いて領域分割を行うと図4(b)のように、さらに2次微分を計算し(DOG フィルター)、このゼロクロスを検出するエッジ検出法[1]を用いると図5(b)のような結果となる。いずれも従来法は、Gauss フィルターによるぼかしの効果により角が丸まってしまう、それを避けるため、不十分なぼかしでは不要なエッジまで検出されてしまう。

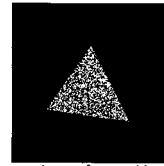


図3：サンプル2値画像。

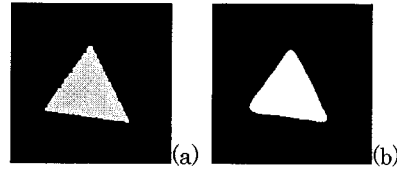


図4：サンプル画像(図3)からの領域分割結果。(a)双安定の反応・拡散モデルによる結果、(b)従来法による結果。パラメータは $a=0.1$, $b=5.92$, $\epsilon=1.0 \times 10^3$, $D_v/D_u=8$ 。

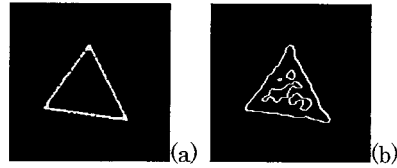


図5：サンプル画像(図3)からのエッジ検出結果。(a)単安定の反応・拡散モデルによる結果、(b)従来法による結果。パラメータは、 $b=1.0$ 、その他は図4と同じ。

4. まとめ

本研究では、反応・拡散モデルによって領域分割やエッジ検出の機能が実現されることを示した。反応項のない単なる拡散方程式は、ガウスフィルターとなるが、これに非線形性を持つ反応項が付け加わることによって、従来の方法・計算モデルと比較してより好ましい結果が得られた。

参考文献

1. デビッド・マー：“ビジョン”、産業図書(1987)
2. L.Kuhnert, K.I.Agladze & V.I.Krinsky, “Image processing using light-sensitive chemical waves,” *Nature*, **337**, 244-247 (1989)
3. V.I.Krinsky, V.N.Biktashev & I.R.Efimov, “Autowave principles for parallel image processing,” *Physica D*, **49**, 247-253 (1991)
4. 吉川研一：“非線形科学”、学会出版センター(1992)
5. R.FitzHugh: “Impulses and physiological states in theoretical models of nerve membrane,” *Biophysical Journal*, **1**, 445-466 (1961)
6. J.Nagumo, S.Arimoto & S.Yoshizawa: “An active pulse transmission line simulating nerve axon,” *Proceedings of the IRE*, **50**, 2061-2070 (1962)
7. A.M.Turing: “The chemical basis of morphogenesis,” *Philosophical transactions of the Royal Society of London, Series B, Biological Science*, **237**, 37-72 (1952)