

Mathematical Morphologyを用いた3次元画像処理

5 D-2

升屋正人 土井淳多

東京大学大学院農学生命科学研究科応用生命工学専攻

1. はじめに

Mathematical Morphology(MM)[1,2,3]による画像処理は主に2次元画像を対象として行われてきた。その理論は次元と無関係に定義されているため、3次元画像処理への広い応用も可能である。このうち本稿では骨格線抽出とcavity抽出の2つの処理を中心に述べる。

2. Mathematical Morphologyの処理

Mathematical Morphologyでは画像集合間の論理演算によって処理が行われる。その基本となる処理がHit or Miss Transformation(HMT)である。HMTにより画像に含まれる点のうち、その近傍に特定のパターンを持つ点を全て抽出することができる。特定のパターンはテンプレート(T)として用意する。 T に含まれる画素値1の点の集合を P 、画素値0の点の集合を Q として画像 X の T によるHMT(X, T)は次式で表される。

$$\text{HMT}(X, T) = \{x: P_x \subseteq X; Q_x \subseteq X\}$$

HMTに用いる集合 Q が空集合であるときHMTは縮退(Erosion)と一般に呼ばれる処理となる。画像 X の画像 Y によるErosion $\text{Er}(X, Y)$ は、 X の中を自由に Y が移動したときに Y の原点にあたる点が移動する空間で次式で表される。

$$\text{Er}(X, Y) = \{x: Y_x \subseteq X\}$$

Erosionに際して画像の補集合に着目すると、膨張(Dilation)といわれる処理になる。画像 X の画像 Y によるDilation $\text{Di}(X, Y)$ は、 Y の原点にあたる点が自由に X の中を移動したときの Y が通過する空間で次式で表される。

$$\text{Di}(X, Y) = \{x: Y_x \cap X \neq \emptyset\}$$

Erosionを行った後にDilationを行う処理はClosingと呼ばれノイズ除去などに用いる。また、Dilationを行った後にErosionを行う処理はOpeningと呼ばれ画像の平滑化などに用いる。画像 X の画像 Y によるClos-

ing $\text{Cl}(X, Y)$ と、Opening $\text{Op}(X, Y)$ はそれぞれ以下の式で表される。

$$\text{Cl}(X, Y) = \text{Di}(\text{Er}(X, Y), Y)$$

$$\text{Op}(X, Y) = \text{Er}(\text{Di}(X, Y), Y)$$

ErosionとOpeningを用いるとMorphological Skeletonization(MS)と呼ばれる骨格線抽出処理が次式のように実現できる。

$$\text{MS}(X) = \bigcup_{n=0}^N [\text{Er}(X, nB) / \text{Op}(\text{Er}(X, nB), B)]$$

B は単位球、 nB は大きさ n の球を表す集合である。

離散画像に対してMSを行った場合には連続した図形が得られない。しかし、求めた骨格線から元の画像をDilationによって復元することができるのでMSはデータ圧縮の手法として用いる。

Morphological Thinning(MT)により連続した線図形を画像から抽出する手法がある。MTでは、その消去により画像の連結が変化しない点をHMTにより抽出し、その点を消去することにより細線化を次式のように実現する。

$$\text{MT}(X, T) = X / \text{HMT}(X, T)$$

MTにあたっては、連結が失われないようなテンプレートをあらかじめ用意しておく。線図形はテンプレート T_1 とその回転対称体の集合による次式のMTを繰り返すことにより求める。

$$\text{MT}(X, \{T\}) = \text{MT}(\dots \text{MT}(\text{MT}(X, T_1), T_2) \dots, T)$$

$$\{T\} = \{T_1, T_2, \dots, T_n\}$$

同じテンプレート集合で線図形とならなければ、異なったテンプレート集合(T_i とその回転対称体)を用いて線図形が得られるまで処理を繰り返す。

3. 3次元骨格線抽出手法 [4]

従来の、細線化により3次元画像から骨格線を抽出する手法では、得られた一つの線図形を骨格線とするものである。しかし、同じ形状の骨格線を求める場合にも手法により骨格線が異なったり、座標軸に対してどのように配置するかにより骨格線が異なったりする。本稿では3次元画像からMTによって複数の線図形を抽出し、それらの中から適当な骨格線を選択する手法[4]について述べる。

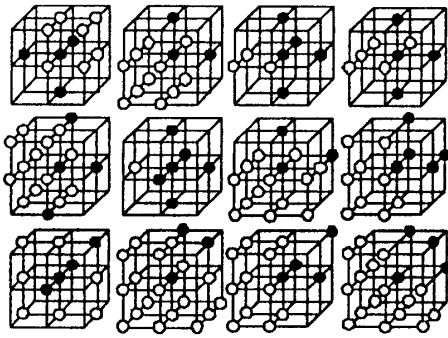


図1 処理に用いるテンプレートの例

3次元のテンプレートを用いたMTは報告されていないため、図1のようにテンプレートが満たすべき条件を定た。これらのテンプレートの組み合わせと順序を変更してMTに用いることにより、複数の線図形を得た。

複数の線図形の中から骨格線を選択するにあたっては、1) MSの結果に近い2) 線図形の重心位置が対象とする画像に含まれる形状と近い、の2つの条件を用いた。

図2に立方体から得た複数の線図形の一部を示す。上述の基準を用いた評価により左端の図形を骨格線として採用した。

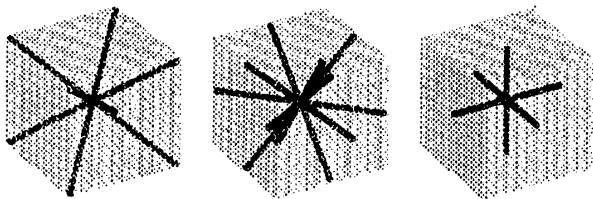


図2 立方体の複数の線図形の例。

4. 3次元cavity抽出手法

本稿ではMathematical Morphologyを用いて3次元離散化画像から直接表面に存在する凹部(cavity)の構造を求める手法について述べる。

処理は画像に対して、任意の大きさの球を作用させる画素集合(プローブ)としてClosingを行い、その結果と元の画像の差をとることにより行う。Closingの結果はプローブ球が入ることのできない空間を表す。この空間と元の画像との差をcavity構造とする(図3)。

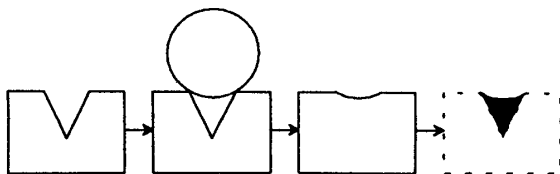


図3 Cavity抽出の原理

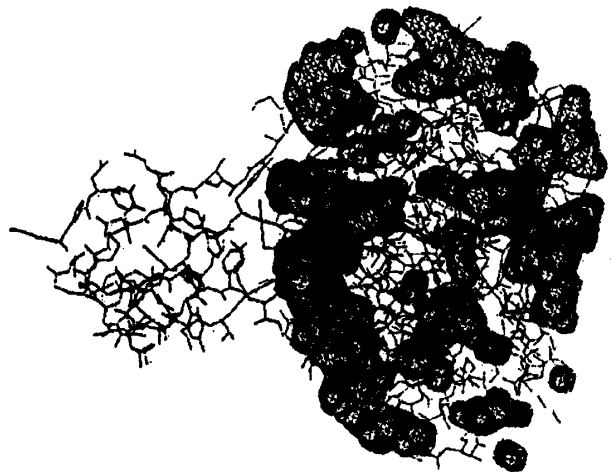


図4 β -trypsinのcavity構造。左の線図形はinhibitor。

あらかじめOpeningによりノイズ処理を行う。また、Openingによりcavity構造に存在する微細な構造を削除する。

応用例として、タンパク質分子(β -trypsin)のcavity構造を図4に示す。3次元画像データは同分子を構成する各原子の3次元位置座標値を用いてDilationによって作成した。約1Å以下の微細な構造はOpeningにより消去してある。cavityの可視化にはマーチングキューブ法を用いた。

5. まとめ

本稿では、Mathematical Morphologyを用いた3次元画像処理として、骨格線抽出とcavity抽出を行った例を示した。Mathematical Morphologyにより、3次元の離散化データを対象として形状の特徴抽出まで含めた画像処理が可能であることが示された。

参考文献

- [1] J. Serra, *Image Analysis and Mathematical Morphology*, Academic Press, London, 1982.
- [2] J. Serra eds., *Image Analysis and Mathematical Morphology: Theoretical Advances*, Academic Press, London, 1988.
- [3] R. M. Haralick, S. R. Sternberg and X. Zhuang, "Image analysis using mathematical morphology," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. PAMI-9, pp. 532-550, 1987.
- [4] Masato Masuya and Junta Doi, "Use of Three-dimensional Templates for Multiple Skeletons," in *Proceedings of MVA '94 IAPR Workshop on Machine Vision Applications*, pp. 293-294, Kawasaki, Japan, December 13-15, 1994.