

4N-8

テクスチャ解析手法を用いた
癌進行度診断システムの開発

前田 潤治 國井 利泰 中村 昌平 石井 創 坂野 匡弘
 東京大学理学部 自治医科大学 武蔵野赤十字病院 産能大学

1. はじめに

テクスチャ(日本語では「きめ」などと訳される)は画像のなんらかの連続パターンを表す重要な属性である。本稿では癌細胞の画像のテクスチャを解析することにより、癌の進行度を診断する新システムを提案し、かつ開発を行った。応用結果は、新システムの有用性を実証している。

正常な細胞は碁盤の目のように規則的に配列していると考えてよいか、癌になり、それが進行すればするほどその配列は乱れてくる。本稿の目的はこの癌細胞の乱れを定量化することである。

テクスチャ解析手法は大きく二つのタイプに分類できる[1]。画像の粗さや滑らかさといった特徴を統計的に計算する統計的アプローチと、画像になんらかの構造を仮定し、その要素の性質を解析する構造的アプローチである。前者は画像をピクセル単位で考え、あらゆる種類の画像に適用可能なのに対して、後者はプリミティブと呼ばれるテクスチャの構成単位やその配列規則が抽出できるような画像に対してのみ適用できる。本稿で扱う手法は後者であり、プリミティブとして癌細胞を考え、その配列の乱れを定量化することによって癌の進行度を診断する。

2. テクスチャの乱れの定量化

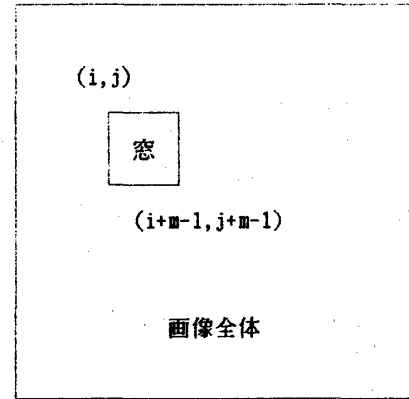
画像の持つある特徴がランダムであるということは、その特徴が部分によってばらばらで、予測しにくいということである。すなわち、本研究の場合は、プリミティブの配列が乱れば乱れるほど、画像中の部分部分に含まれるプリミティブの個数がばらばらであるということである。このことを次のように定式化する。

図1のように画像に小さい窓をかけることを考える。この窓が画像内を動くとき、プリミティブの配列が乱れていればいるほど窓の中に含まれるプリミティブの個数の分散が大きくなる。式(1)は窓に含まれるプリミティブの個数の平均を、式(2)は分散を表す。

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=0}^{n-m} \sum_{j=0}^{m-1} x(i,j)}{(n-m+1)^2} \quad (1)$$

$$\sigma_x^2 = \frac{\sum_{i=0}^{n-m} \sum_{j=0}^{m-1} \left\{ x(i,j) - \bar{x} \right\}^2}{(n-m+1)^2} \quad (2)$$

(0,0)



(n-1, n-1)

図1

ここで、 n と m はそれぞれ画像全体と窓の一辺の長さ、 i と j はそれぞれ画像上における水平方向と垂直方向の座標値(画像の左上隅を(0,0)、右下隅を(n-1,n-1)とする)、 $x(i,j)$ は左上隅の座標が(i,j)である窓の中に含まれるプリミティブの個数である。

しかし、この分散をそのまま使うと、画像に含まれるプリミティブの個数の影響を大きく受けてしまう。本稿の応用の場合、一般に癌が進行すればするほど細胞の大きさがばらばらになり、画像に含まれる細胞は少なくなる。この影響を排除するために、窓に含まれるプリミティブの個数でなく、画像全体に含まれるプリミティブの個数に対する、窓内のプリミティブの個数の割合を用いて計算する。これを式(3)に示す。

$$y(i,j) = \frac{x(i,j)}{a} \quad (3)$$

ここで、 a は画像全体に含まれるプリミティブの総数である。

この $y(i,j)$ の平均と分散は、それぞれ式(4)、(5)から求められる。画像中のプリミティブの配列の乱れを式(5)で得られる量で定量化する。

Development of a Cancer Grading System using a Texture Analysis Technique

Junji Maeda¹, Toshiyasu L. Kunii¹, Shouhei Nakamura², Tsukuru Ishii³, Masahiro Sakano⁴

¹The University of Tokyo, ²Jichi Medical School, ³Musashino Red-Cross Hospital, ⁴Sanno College

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=0}^{n-m-1} \sum_{j=0}^{n-m-1} y(i,j)}{(n-m+1)^2} = \frac{\bar{x}}{a} \quad (4)$$

$$\sigma_y^2 = \frac{\sum_{i=0}^{n-m-1} \sum_{j=0}^{n-m-1} \{y(i,j) - \bar{y}\}^2}{(n-m+1)^2} = \frac{\sigma_x^2}{a^2} \quad (5)$$

3. 癌進行度診断システムの概略

我々が開発したシステムの概略は以下の通りである。

- ① 原画像中の癌細胞と背景を区別するための濃淡のしきい値をユーザが対話的に指定する。しきい値を自動的に求める方法 [2] もあるが、これらは高価なアルゴリズムを必要とする。
- ② ①で指定されたしきい値を用いて、オブジェクトとみなされるピクセルに対して連結成分発見アルゴリズム [3] を適用する。
- ③ ②で得られた対象物のうち、解析対象として不適切なもの、すなわち、画面の端で切れているものや画像中の雑音とみなされるものを対話的に消去する。
- ④ ③で残った細胞の重心の位置を求める。
- ⑤ ④で得られたデータに対し、2節で述べた方法でその乱雑度を定量化する。
- ⑥ ⑤で得られた量を用いて、その画像の癌の進行度を診断する。

4. システムの応用例

膀胱癌の細胞の切片の染色写真を40枚（進行度2および進行度3をそれぞれ20枚ずつ）用意し、上で述べた手法を用いて進行度を分類することを試みた。図2、3は上のステップ③で得られる画像のうち、それぞれ進行度が第2度、第3度のものの例である。512×512ピクセルの画像に対して32×32の窓を用いて乱雑度を定量化した。そのデータを線形判別分析にかけた結果を表に示す。表からわかる通り、90パーセントの判別率を得た。

5. むすび

テクスチャ解析手法を用いた癌進行度診断システムを提案し、90パーセントの判別率を得た。本稿で提案したシステムは、画面全体に対するオブジェクトの大きさと窓の大きさの関係などの課題を残している。

ここで示した手法が病理学者の診断手法と完全に一致するわけではないが、癌細胞の乱れ方を定量化するものであり、本格的な利用は今後の医学的研究による。

本稿で用いたテクスチャ乱雑度を測る方法は特定の応用向きではなく、一般的に利用可能なものである。他の応用として、肌のきめの定量化、交通流の定量化などが考えられる。

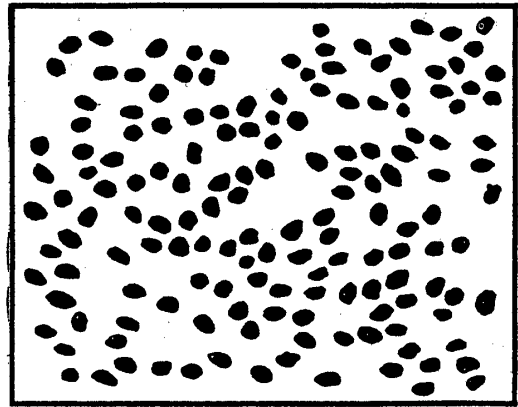


図2

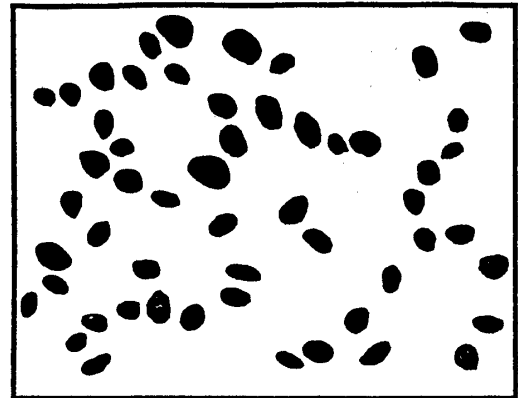


図3

表

		G 2	G 3	正判別率
対 象	G 2	19	1	95%
	G 3	3	17	85%

参考文献

[1] Van Gool L., Dewaele P., and Oosterlinck A., "Texture Analysis Anno 1983," *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, Vol. 29, No. 3, 1985, pp. 336-357.

[2] Weszka J. S., "A survey of threshold selection techniques," *Computer Graphics and Image Processing*, Vol. 7, No. 2, 1978, pp. 259-265.

[3] Rosenfeld A., "Connectivity in digital pictures," *Journal of the ACM*, Vol. 17, No. 1, 1970, pp. 146-160.