136 二値画像のパターンマッチング用相関係数と その高速アルゴリズム

関西大学 植村知正[○], 大阪大学 井口 学
関西大学 吉本元信, 木村 誠

High Speed Algorithm for Pattern Matching of Binary Pictures

Tomomasa UEMURA*, Manabu Iguchi**,
Motonobu Yoshimoto, Makoto Kimura

In order to identify binary patterns between a template pattern and given ones, a new and high speed algorithm is proposed by combining a binary image correlation coefficient and a simultaneous multiple processing algorithm. The correlation coefficient is derived analytically from an ordinary correlation coefficient. And the relation to a difference-accumulation method is also shown. The performance of the new method is examined by evaluating the coefficient between a 32x32-pixel template pattern and various ones. It is found that the new method offers a quite reliable index and high speed performance by obtaining 20000 correlation coefficients per one second on a common personal computer.

1. はじめに

二値画像のパターンマッチングは文字やマークの認識, 位置合わせなどに広く利用されており, ソフトウェア的にもハードウェア的にもすでに多くの手法が開発, 実用されている. ここでは高速に評価できる二値画像用の相関係数を用いてパターンの一緻度を評価する方法を提案している.

本論文では流れの速度分布の画像計測用に開発された二値画像相関法¹⁾ (以下ではB I C)を用いてパターン認識への適用の可能性を検討している. 一般に, 画像データ間の相関係数の計算は単一の画像間 operation としては計算量が多い部類に属するが, B I Cは二値データに対して計算量を極めて少なくなるように相関係数を定義して, 極めて少ない計算量で評価するアルゴリズムである. ここでは, 従来のB I Cに使用されている相関係数の定義式と一般の相関係数の定義式との関係を明らかにし, 従来よりも計算時間を短縮できる計算法を提案している.

2. 画像の類似度の評価方法

2. 1. 相関係数による類似度の評価

二値画像相関係数は下記のように定義され, 僅かな計算量で二値画像パターンの類似度を評価できる.

$$C_{pq}^b = \sum p^b \cdot q^b / \sqrt{mn} \quad (1)$$

ただし, Σ は画像中の全画素に対する総和を表す.

* Dept. Industrial Eng. Kansai University, 3-3 Yamate, Suita, Osaka 564

** Dept. Material Science & Processing, Osaka University, 2-1 Yamada, Suita, Osaka 565

一般には2画像間の相関係数としては(2)の定義がよく知られている。

$$C_{pq} = \sum (p_{ij} - \bar{p})(q_{ij} - \bar{q}) / \sqrt{\sum (p_{ij} - \bar{p})^2 \cdot \sum (q_{ij} - \bar{q})^2} \quad (2)$$

ただし、 p_{ij}, q_{ij} は対応画素の輝度、 $\bar{p}, \bar{q}$ は画素の平均値、 Σ は画像中の全画素に対する総和を表す。

この定義式に基づいた計算では、式に含まれる平均輝度の取り扱いが計算を複雑にし、さらに、整数データである画素の取り扱いに画像浮動小数点演算を要求している。平均輝度を差し引くのは相関係数の値が $(-1, 1)$ の範囲になるように調整するためであるが、二値画像の相関係数(1)は画像間の相関係数は $(0, 1)$ の範囲で十分であることに着目して定義された。この相関係数を提案した文献1)では(1)式の導出方法については特に言及されていない。

2. 2. 相関係数 と二値画像相関係数 の関係

N個の画素で構成されたPの画素を p 、同じ寸法の画像Qの画素を q であるとし、(1)式の括弧を展開して整理し、さらに、 p, q が二値データの場合には、(3)の形で表現できる。

$$C_{pq} = \{C_{pq}^b - \frac{\sqrt{mn}}{N}\} / \left\{ \left(1 - \frac{m}{N}\right) \left(1 - \frac{n}{N}\right) \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

ただし、 m, n はそれぞれの画像中の明画素の数

2つの画像が一致する場合には、 $m=n$ であるから、(3)式の値は'1'になる。このとき分子第1項も'1'である。つぎに、2つの画像の明画素部分が全く重なりを持たない場合には、 C_{pq} の値は第2項の作用で負になることが分かる。

以上のことから、(3)式の分子第2項は C_{pq} を負に引き下げる効果を受け持っており、分母はパターンが完全に一致する場合に C_{pq} の値を'1'にするための係数の役割を担っていることがわかる。したがって、二値画像の相関係数が $(0, 1)$ の変域でよい場合には、(3)式の分子第2項(=(1)式)だけで足りることが分かる。

2. 3. 画像間の差の絶対値の総和による類似度の評価

加賀ら²⁾は2画像の類似度の評価に画像間の輝度差の絶対値の総和を用いる方法を提案している。二値画像の場合には、2個の画素 p^b, q^b の差の絶対値は両者の排他的論理和に対応し、2つの二値画像に対する総和は重ならない部分の明画素数(面積)に対応している。

$$S^b = \sum |p^b - q^b| = \sum (p^b \text{ xor } q^b) \quad (4)$$

$$S^b = m + n - 2 \sum p^b \cap q^b = m + n - 2C_{pq}^b \cdot \sqrt{mn} \quad (5)$$

このことを考慮すれば、 C_{pq}^b と S^b に関する関係式(5)が得られ、この式から、二値画像のパターン一致を検出するのに(1)の相関計数の最大値を検出する方法と、輝度差の絶対値の総和の最小値を検出する方法とが全く等価であることが分かる。

3. 二値画像データの加算と判定時間の短縮法

最近のマイクロコンピュータのCPUは32bitのデータ幅を持つものが多く、このことは同時に4画素分のデータを処理できる可能性を意味している。画像データは1画素は8bitで連続したメモリ領域に格納されているとし、以下では二値画素の基本的な演算を4画素同時に行う方法を示す。

3. 1. 明画素の計数

画素値が1/0であるということは、8bitのデータ幅の中の最下位の1bit (LSB) だけしか使用されていないことを意味する。このような8bitの整数データを4画素分まとめて32bitの整数データとして加算しても、加算回数が255回までは累積値は8bitの中に止まっているため、相互のデータ間の干渉は起こらない。

たとえば、矩形領域内の明画素の数を計数するには、4画素分のデータを32bitの整数として加算し、加算回数が255回以内であれば、最後に4個の8bitのデータに分解して加算すればよい。矩形ではない領域のデータを加算する場合には、(6)のようにデータの領域を表す窓データW(領域内で1、それ以外では0)を使用すればよい。

$$A = \Sigma P \cap W \quad (6)$$

ただし、Aは加算結果、Pは4画素分の画像データ、Wは窓データ。

3. 2. 画素値の判定

二値画像では一般に同じ値の画素が連続している場合が多く、明暗の画素が隣り合わせて並ぶことは少ない。暗い背景中の明画素を検出する場合には暗画素が連続して並んでいる場合が多いと考えられる。その場合には4画素分の値を判定して、すべてが同時に'0'にならないときにだけ画素毎の値を調べて、その位置を検出するようにすれば能率良く非零をサーチできる。

4. 二値画像のパターンの類似度の評価

二値画像相関係数(1)を用いて二値画像のパターンの類似度を評価する方法についてのべる。

まず、テンプレート画像Pと参照画像Qの明画素の数は画像を二値化する際に得られるので、(1)式の分母は容易に計算できる。

相関係数(1)の分子は2つの画面を重ねた状態で対応する画素間の論理和の総和である。これは、2つの画像の明画素同士が重なる数を表しているから、既知の画像(テンプレート)の明画素の位置を窓として、窓の位置に対応する参照画像の画素値を単純に加算すれば計算できる。この計算には3.1.で述べた4画素同時計算法が利用できる。

5. 計算結果の検討

32×300画素の領域に10個の単純な形のパターンを並べておき、32×32画素の十字型のパターンのテンプレートを1画素ずつ横方向にずらせながら268個の相関係数を計算した結果を図1に示す。図において、上部の折れ線は、それぞれの位置における二値画像相関係数の値を示している。左から5番目のマークは十字の上棒を2画素横にずれ、さらに横棒も少し長くなっている。二値画像相関係数の値は0.83であり、十分に異なったパターンであることが識別できる。

参考のため、図2に(2)の相関係数の変化を示す。図1の相関係数と際だった相違はない。

表1にこれらのパターンの比較に要した時間を示す。表中で、テンプレートの明画素位置が既知の場合をKnown、すべての画素について計算を行う場合をUnknownと表示して

いる。また、 $m \& n$ known は 2 画像の明画素数が既知の場合を意味している。表中の計算時間は 32×32 画素のパターン間の相関係数 100 個に要する時間である。(2) 式の相関係数の計算には、 32×32 画素の比較 100 回に付き 692 msec 要しているのに対して、(1) 式では 53.1 msec で済む。さらに、(1) 式の計算に 3.1. の 4 画素同時計算法を用いると計算時間は 4.7 msec に短縮できる。

謝辞 本研究の一部はは文部省科学研究助成金一般研究(C) (No. 02650484)，および関西大学学部共同研究助成金の補助を受けたことを記して謝意を表します。

参考文献

- (1) 植村知正, 山本富士夫, 幸川光雄, 2 値化相関法—粒子追跡法の高速画像解析アルゴリズム—, 可視化情報, 10-38, 1990, pp. 196-202,
- (2) 加賀昭和, 井上, 山口, 気流分布の画像計測のためのパターン追跡アルゴリズム, 可視化情報, 14-53, 1994, pp. 108-115.

Figure 1: Binary patterns and correlation coefficient function eq(1). Template size= 32×32 pixels.

Figure 2: Binary patterns and correlation coefficient function eq(2). Template size= 32×32 pixels.

Table 1: Calculation Time

Equation	Present Method			Binary Image Correlation		Correlation
	(1) 4 pixels			(1)	(2)	(2)
Template	m&n Known	Known	Unknown	Known	Unknown	Unknown
Data msec.*1	4.7	25.4	23.8	53.1	120.3	692

*1: calculation time for 100 coefficients