

統計的な検定方法に基づいた画像ヒストグラムの

5 J-4

ピークの整合手法

周長明 高木幹雄

東京大学生産技術研究所

1. はじめに

ヒストグラムに基づいた処理は画像処理の最も基本的なものである。ピーク検出については、様々な方法が提案されてきたが [1][2]、手法やパラメータの値によって、検出結果が異なっている。本報告では、統計的な検定方法および判別分析の手法を用いて、検出されたピークを整合することによってパラメータに依存しない最適な数に帰着させる方法を提案し、さらにその実験結果について述べる。

2. ピーク検出方法

本実験で用いるピーク検出方法は、まず画像の濃淡ヒストグラムから一種のピーク検出関数を作成し、次にその検出関数の値の正負の変化(ゼロとの交差)状況に基づいて、ピークの始点、中心点および終点を求めるものである [1]。以下では、具体的なアルゴリズムについて説明する。

画像の濃淡レベル数は M とし、各レベルにおけるヒストグラムの値は $h(n)$ 、その累積ヒストグラムは $c(n)$ とする。 $c(n)$ から新たに $\bar{c}_N(n)$ 関数を次式で求める。

$$\bar{c}_N(n) = c(n) \otimes w_N(m) \quad (1)$$

ここで、 \otimes 演算はたたみこみ(convolution)演算を意味している。また矩形窓は次式のように定義される。

$$w_N(m) = 1/N, \quad -(N-1)/2 \leq m \leq (N-1)/2 \quad (2)$$

ここで、パラメータ N は奇数である。ピーク検出関数 r_N は次式で求められる。

$$r_N(n) = c(n) - \bar{c}_N(n) \quad (3)$$

式(3)に従って、ピーク検出関数 $r_N(n)$ を導出したあと、次の方法で各ピークの始点、中心点、終点を定める。(1) r_N のゼロ交差点(正から負へ)をピークの始点 s_i とし、その次の交差点(負から正へ)をピークの中心点 m_i とする。同様に、その次の s_{i+1} と m_{i+1} は求められる。(2) 連続した2つのピークの始点(s_i と s_{i+1})の間において、 r_N が最大値に達したところをその最初のピークの終点 e_i とする。

以上の方法を画像レベル M 全体に繰り返し適用することによって、ヒストグラムのすべてのピークを検出することができる。以後1つのピークは (s_i, m_i, e_i) で記することにする。

3. 検定方法および実験結果

まず、上述のアルゴリズムを図1に示す原画像に適用した結果を示す。図2,3はそれぞれヒストグラム、ピーク検出関数($N=11$)であり、検出されたピークは表1の左側のようになる。表1に示すように、パラメータ N により検出できるピークの数に左右される。そこで、我々は統計的な検定方法及び判別分析方法を利用して、パラメータに依存しないピーク検出の方法を提案する。1つピークの分布は正規分布の性質を有するという仮定の下で検出された隣合うピークを比較し、Fisher distance(FD)及びマハラノビス距離(MD)から基準に従って決定される。統合できる2つのピークを1つにし、そうした処理を統合できるピークがなくなるまで繰り返すことによって、最適な数のピークを検出することができる。

Fisher distance の2乗は次式で示される。

$$FD^2 = n(\mu_1 - \mu_2)^2 / (n_1\sigma_1^2 + n_2\sigma_2^2) \quad (4)$$

ここで、 n_1, n_2 は2つ分布のサンプル数であり、 n はその和である。 μ_1, μ_2 は2つ分布のそれぞれの平均値であり、 σ_1, σ_2 はそれぞれの標準偏差である。文献[3]では FD^2 の最大値 $\max(FD^2)$ を混合分布関数の bimodality の判定基準として利用し、良い結果が得られていると報告している。また、正規分布の場合 FD^2 が最大値に達したところは平均値 μ とかなり離れたところにあると判明している。

我々は上述の方法で検出した連続する2つのピークを混合正規分布と仮定し、その密度関数の区間 $[s_i, e_{i+1}]$ において、分離点を1つずつずらしてすべての FD^2 を計算する。 FD^2 の特性(最大値に達するところは分布関数の bimodality によって異なる)に基づいて、 FD^2 が最大となる分離点が2つのピークの中心点の間 $[m_i, m_{i+1}]$ に位置するならば、その2つのピーク (s_i, m_i, e_i) 及び $(s_{i+1}, m_{i+1}, e_{i+1})$ を分離すべきであり、さもなければ1つのピーク $(s_i, \max(m_i, m_{i+1}), e_{i+1})$ に統合すべきであることを基準とする(FD^2 基準と呼ぶ)。

また、実際の画像ヒストグラムにおいては、ノイズのため生じたピーク、または全体の分布の中で無視できるピークを除くため、判別分析のマハラノビス距離を利用することにした。隣合うピークの終点と始点の中心点 $((e_i + s_{i+1})/2)$ を境目にして、 $[s_i, e_{i+1}]$ 区間内のすべてのサンプル数(画像の部分レベル数)について前後ピークとのそれぞれのマハラノビス距離を計算し、判別分析を行ったあと、各グループ(ピーク)に属するそれぞれのサンプル数の2つグループの合計サンプル数に対する割合が一定値(本実験では10%)以下、また全体レベル数(M)との割合が一定値(本実験では5%)以下なら、統合すべき

であるという基準 (MD 基準と呼ぶ) を設けた。 FD^2 基準と MD 基準とを合わせて、2つのピークを統合するかしないかを判断する。

具体的なピークの組合せ及び処理は以下の手順に従って行なう。

- (1) 2. で述べた方法で検出されたすべてのピーク (p 個とする) から $(s_1, m_1, e_1), (s_2, m_2, e_2), \dots, (s_p, m_p, e_p)$ のようにピーク順列を作成する。
- (2) ピーク順列の最初から連続した奇数番目と偶数番目のピークを組合わせて統合処理を行なう。統合されたピークが存在するなら (3) に従い、さもなければ (4) に従う。
- (3) ピーク順列を整理し、(2) を繰り返す。
- (4) ピーク順列の2番目から、連続する偶数番目と奇数番目のピークを組合わせて処理を行なう。統合されたピークが存在するなら、(2) に従い、さもなければ、処理を終了する。

表1はパラメータ N の3つの値について、検定前及び検定後の結果を示している。検定前の結果では、3つの N の値についてそれぞれ15,6,5個のピークが検出されたが、検定後の結果では、いずれも5個のピークが得られており、さらに5つのピークのパラメータ (s_i, m_i, e_i) はほとんど一致している。図4は5つのピークに対応する5つのレベル (閾値はそれぞれ $(e_i + s_{i+1})/2$ とする) で図1に示す8 bit/pixel ($M=256$) の画像を分割したものを示しており、原画像の主な情報を保っていることが明らかである。

4. おわりに

本稿では、統計的な検定方法及び判別分析の手法を利用して画像の濃淡ヒストグラムにおいて検出されたピークを整合する方法を提案し、またその結果について分析した。提案した方法によって、ピーク検出アルゴリズムのパラメータに依存しない、安定した結果が得られた。従って、ヒストグラムに基づいて画像情報を圧縮する場合、原画像の主な情報を保持する最適なレベル数をこの方法によって求められる。また、画像の濃淡ヒストグラムの変化に対応した最適な数のピークが得られるので、事前にクラス数が分からない場合の最適なクラス数を推定することもできる。今回の実験では、文献 [1] のピーク検出アルゴリズムを例として利用しているが、他のアルゴリズムで検出されたピークに対して適用することも可能である。

表1: 検出されたピーク

N	検定前			検定後		
	s	m	e	s	m	e
7	13	19	19	13	44	63
	20	41	42	65	90	95
	43	44	47	110	148	151
	51	52	53	161	175	181
	55	57	58	189	204	223
	59	62	63			
	65	86	86			
	89	90	95			
	110	113	113			
	114	117	117			
	120	148	151			
	161	175	181			
	189	204	207			
	217	218	220			
	221	222	223			
11	11	44	47	11	44	47
	59	88	88	59	90	95
	89	90	95	110	148	151
	110	148	151	160	176	181
	160	176	181	189	204	207
	189	204	207			
23	5	44	49	5	44	49
	59	89	95	59	89	95
	113	147	154	113	147	154
	161	175	181	161	175	181
	190	204	209	190	204	209



図1: 原画像 (TV 学会標準画像)

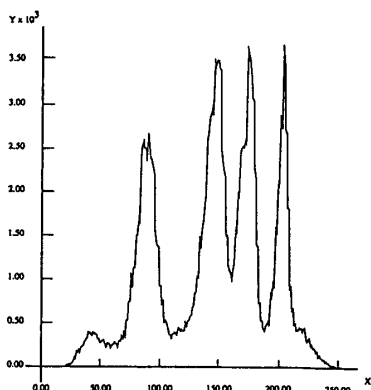


図2: 原画像のヒストグラム

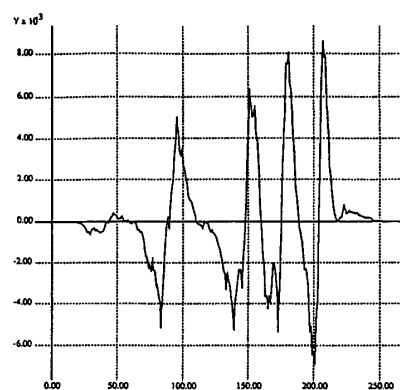


図3: ピーク検出関数 $r_N(n)$ ($N = 11$)



図4: 5つのレベルで圧縮された結果画像

参考文献

[1] M.I.Sezan, "A Peak Detection Algorithm and Its Application to Histogram-Based Image Data Reduction", Comput.Vision Graph.Image Process.36-51(1990)
 [2] S.Boukharouba, et al, "An Amplitude Segmentation Method Based on the Distribution Function of an Image", Comput.Vision Graph.Image Process.47-59(1985)
 [3] T.Y.Philips, et al, "O(log n) BIMODALITY ANALYSIS", Pattern Recognition.741-746,1989.