

統計検定関数に基づく画像ヒストグラムの 最適数のピークの自動決定法

2D-3

周 長明 高木幹雄
東京大学生産技術研究所

1. はじめに

画像処理の分野において、ヒストグラムに基づいた処理が多く、またヒストグラムのピークを検出することによって、量子化や画像情報圧縮などの処理も盛んに行われている[1]。しかし、手法やパラメータの値によって、ピークの検出結果が異なっている。我々は、検出された複数のピークを統計関数に基づいて、パラメータに依存しない最適数に帰着させる方法を提案した[3]。本報告では、その検定関数の特性をさらに分析し、[3]で提案した方法を改良して得られた最適数のピークの自動検出方法について述べる。

2. ピーク検出及び整合方法

本実験で用いるピーク検出方法は、まず累積ヒストグラムと幅がNである矩形窓とをたたみこみ演算して、一種のピーク検出関数を作成し、次にその検出関数のゼロ交差状況に基づいて、ピークの始点(s_i)、中心点(m_i)および終点(e_i)を求めるものである[1]。本稿では、この方法によって検出されたすべてのピークを(s_i, m_i, e_i)の形で記述することにする。

この方法では、明かにパラメータNにより検出できるピークの数左右される。そこで、Nに依存しない結果を求めるため、我々は統計検定関数を利用して、検出されたピークを整合する方法を提案した[3]。整合手法には式(1)に示すFisher distanceの2乗(FD^2)が利用されている。

$$FD^2 = n(\mu_1 - \mu_2)^2 / (n_1\sigma_1^2 + n_2\sigma_2^2) \quad (1)$$

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つ分布の平均値であり、 σ_1, σ_2 はそれぞれの標準偏差である。

正規分布関数の FD^2 が最大値に達したところは分布関数の平均値 μ とかなり離れたところにあり、混合分布の場合最大値に達するところは分布関数のbimodalityによって異なる[2]。我々は FD^2 のそうした特性に基づいて、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、 FD^2 が最大となるところが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。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、上述の基準を用いて2つのピークを統合するかしないかを決定する。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。

3. 改良した最適な数のピーク自動決定法

以上の整合方法では、正規分布に近似できないピークの場合、 FD^2 の局部極大値が現れる。この場合、単純に区間 $[s_i, e_{i+1}]$ において、 FD^2 が最大となるところを求めると、望ましくない結果となる。例えば、図2は図1に示す画像(8 bit/pixel)の濃淡ヒストグラムを示しており、図3は図2のヒストグラムから検出されたピークに対して、[3]で提案したピーク整合手法によるピーク統合処理を行なう途中段階の FD^2 の変化状況を示す。この時のピーク数は6つであり、3つの区間 $[49, 145], [147, 211], [215, 240]$ に分けて検定している。区間 $[49, 145]$ において、 FD^2 が $x = 49$ の時最大値に達している。上述の基準に従えば、この2つのピーク($49, 96, 131$), ($132, 144, 145$)を統合すべきである。しかし、図2のヒストグラムから、直観的にこの2つのピークを分離すべきであることがわかる。そこで、 FD^2 基準関数から得られた差分関数のゼロ交差状況を利用して、局部的に極大値・極小値に達したところを求める。差分関数が極小となる点の FD^2 の値が区間 $[s_i, e_{i+1}]$ の両側の値より小さく、局部極大値も存在し、しかもその区間の FD^2 が最大となるところは区間の両側にある場合、 FD^2 のいくつかの局部極大値中の最も大きい値が現れたところを区間 $[s_i, e_{i+1}]$ において最大値に達したところとする。例えば、図3では FD^2 が $x = 83, x = 115$ のところでそれぞれ局部極小及び極大となっている。従って、上述の改良方法によって区間 $[49, 145]$ における FD^2 が最大となるところは $x = 115$ となる。

また、実際の画像ヒストグラムにおいては、ノイズの



図1：原画像

An automatic determination method of the plausible histogram peaks using the statistical test function
Changming ZHOU, Mikio TAKAGI
Institute of Industrial Science, Univ. of Tokyo

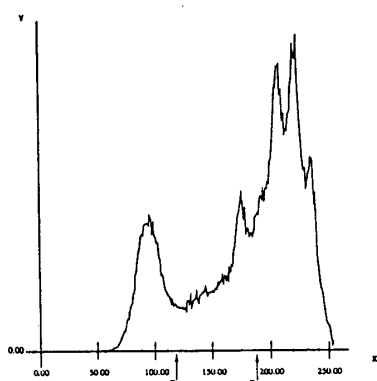


図2：原画像のヒストグラム

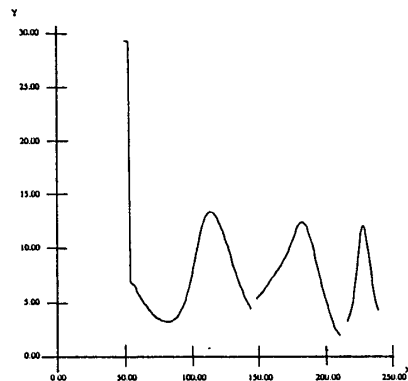
図3： FD^2 の変化状況

図4：図1を3値化した画像

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、[3]ではマハラノビス距離(MD)を利用するMD基準を設けたが、本稿ではMD基準を省略して、式(2)を利用するにした。

$$s_{k+1} - e_k \leq \alpha \quad (2)$$

ただし、一般性を失わないため、後で示す例では α を最小限の1とした。

具体的な処理は以下の手順に従って行なう。

- (1) 最初に検出されたピーク中の式(2)に満たすすべてのピークを統合する[1]。
- (2)(1)で得ら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。
- (3) 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(4)に従い、さもなければ(5)に従う。
- (4) ピーク順列を整理し、(3)を繰り返す。ただし、前段階の統合処理の過程において、分離された2つの隣合うピークの番号を記憶しておき、次の段階の処理で再び組み合わせられたら、統合処理を行なわない。
- (5) 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、(3)に従い、さもなければ、処理を終了する。

4. 実験結果

図2に示すヒストグラムから、上述のピーク検出及び整合方法によって、表1に示すようなピークが検出された。表1に示すように、3つの N の値についてそれぞれ13, 8, 3個のピークが検出されたが、ピーク整合処理を行なった後、いずれも3個のピークが得られ、さらに3つのピークのパラメータ(s_i, m_i, e_i)もほとんど一致している。従って、この3つのピークは本稿で提案した方法で求めた最適な数のピーク(図2のヒストグラムを対象として)であると言える。また、3つのピークに対応して、式(3)によって求められた閾値に基づいて、図1に示す画像を3値化した結果は図4に示すようになり、原画像の主な情報を保っていることが明らかである。式(3)によって(この場合、 μ を0.2とした)得られた2つの閾値 T_1, T_2 はそれぞれ119, 183である(図2参照)。比較するため、文献[4]で

表1：図2から検出したピーク

N=7			N=11			N=33		
NO=13			NO=8			NO=3		
s	m	e	s	m	e	s	m	e
51	96	105	49	96	105	38	95	105
123	176	179	123	176	179	123	179	179
184	223	240	184	222	240	183	221	241

注：NOは統合処理を行なう前のピーク数である。

提案した対象画像に対して多値化すべき最適クラス数を推定する評価式を図2のヒストグラムに適用してみた。その結果、最適クラス数は3となっており、その時の2つの閾値はそれぞれ137, 196である。2つの方法による最適クラス数が一致しており、閾値も近い結果となっている。

$$T_i = \text{int}[\mu e_i + (1 - \mu)s_{i+1}], \quad 0 \leq \mu \leq 1 \quad (3)$$

5. むすび

本稿では、統計検定関数(FD^2)の特性を利用して画像の濃淡ヒストグラムにおける最適な数のピークの自動決定法を提案し、またその結果について分析した。この方法によって、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く画像情報圧縮の最適なレベル数、またクラス数が未知である場合の最適な量子化レベル数もこの方法によって求められる。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。今後はピークの組合せ方法、またこの方法の並列処理について検討したい。

参考文献

- [1] M.I.Sezan, CVGIP, 36-51(1990)
- [2] T.Y.Philips, et al, Pattern Recog. 741-746, 1989
- [3] 周、高木：情報処41回全大、5j-4(1990)
- [4] 大津：信学論、Vol.J63-D 349-356(1980)