

文章编号:1001-9081(2006)09-2077-04

## 图像分割中区域灰度重叠问题研究

曹建农<sup>1</sup>, 孙承志<sup>2</sup>

(1. 长安大学 地球科学与国土资源学院, 陕西 西安 710064; 2. 国家测绘局 国土测绘司, 北京 100830)  
(caojannong@126.com)

**摘要:**通过对图像不同区域灰度强度重叠问题以及图像平滑与滤波概念差异的分析,发现图像平滑对于无噪声污染图像的分割具有抑制次要目标、加剧区域边界渐变的作用,认为对图像进行平滑处理可以减小区域灰度重叠,产生过渡区域便于图像中特定目标的分割。实验表明图像灰度重叠是实现正确分割的障碍,图像平滑可以消除或减弱它的影响。

**关键词:**图像平滑; 图像滤波; 图像分割; 过渡区; 灰度重叠

**中图分类号:** TP391.41    **文献标识码:**A

## Study on the overlap of regional intensity ranges in image segmentation

CAO Jian-nong<sup>1</sup>, SUN Cheng-zhi<sup>2</sup>

(1. College of Earth Science and Land Resources, Chang'an University, Xi'an Shaanxi 710064, China;  
2. Department of National Land, State Bureau of Surveying and Mapping, Beijing 100830, China)

**Abstract:** This paper studied the overlap of regional intensity ranges in image segmentation, and probed into the concept difference between image smoothing and filter. It was found that image smoothing can decrease minor objects and aggravate gradual change for segmentation. Therefore, it was thought that image smoothing could reduce the overlap of regional intensity ranges and bring out transition region for the segmentation of specific image objects. The experiments indicate that the overlap of regional intensity ranges in image is obstacle to correct image segmentation, and image smoothing can eliminate or weaken its impact.

**Key words:** image smoothing; image filter; image segmentation; transition region; overlap of intensity ranges

### 0 引言

图像不同区域的灰度重叠是分割的主要障碍。就光谱学而言,在理想状态下,不同物体在图像中应该具有不同的光谱强度范围,即不同物体对应不同的光谱强度波段。然而,在实际光学成像中,由于环境和采集方式等因素的影响,不同物体的成像中却包含着相同的光谱强度,即同谱异物的现象,这一现象的实质是图像不同区域的灰度重叠。图像平滑(image smooth)和滤波(image filter)一般都是针对图像噪声进行处理<sup>[1,2,5~8]</sup>。实质上,图像噪声也是一种同谱异物现象,图像平滑和滤波处理的实质就是消除这种特殊的同谱异物现象,使不同图像区域具有不同的光谱区间,其间的灰度重叠尽可能小。

图像平滑和滤波在理论概念和算法实践上存在一定的差异。本文认为平滑是对所有近邻像素的处理,无需噪声像素点定位,所以对于噪声污染图像处理,平滑方法(或实质是平滑思想的滤波)会在几何和光谱上都对图像造成较大损失;而滤波(或实质是滤波思想的平滑)需要噪声像素定位,所以对于噪声污染图像处理,滤波方法不会在几何和光谱上对图像造成较大损失<sup>[1,2]</sup>。

图像分割是图像模式识别的基本工作,图像分割前的预处理包含多种内容,其中图像平滑与滤波是常用的预处理方法,通常对它们的研究都是着眼于图像被污染后去除噪声的

目的,已经存在大量算法<sup>[1~8]</sup>。显然,如果图像含有噪声则必须对其进行平滑或滤波预处理,否则得不到理想分割结果。但是,如果图像不含噪声,而存在不同区域的灰度重叠(即同谱异物)的现象,虽然这一现象的解决是复杂的问题,但是无疑图像平滑处理可以在一定程度上改善图像分割的条件。本文探讨无噪声图像分割中,平滑预处理的特殊作用,并对图像平滑和滤波的概念差异进行讨论。

### 1 图像的区域灰度重叠与平滑处理

图像由于不同区域具有较大的灰度强度重叠,致使图像区域分割困难,如果对其进行图像平滑,就可以消除不同区域较大的灰度强度重叠,实现图像的正确分割。这是因为图像平滑可以压缩图像中每个区域的灰度强度范围,同时图像中各个区域的灰度强度范围的重叠度也得到了很大的缩减<sup>[3,9]</sup>。

#### 1.1 图像区域灰度重叠的含义及对分割的影响

为了说明图像灰度重叠的原理,给出一幅人工合成图像,其背景和目标的灰度范围分别是[25, 180]和[128, 250],如图1(a)所示。图1(b)是图1(a)的直方图,从中可以看出灰度重叠达到40%。

图像区域的灰度强度范围是指图像的某个区域的灰度最大变动范围,例如图1(a)中背景的灰度范围是[25, 180],目标的灰度范围是[128, 250]。图像区域的灰度强度范围的重叠度是指图像不同区域的共有灰度最大变动范围,例如图1(a)中

收稿日期:2006-03-16; 修订日期:2006-06-15

基金项目:地理信息工程国家测绘局重点实验室基金资助项目(1469990324233); 国家863计划资助项目(2001AA135081)

作者简介:曹建农(1963-),男,湖北浠水人,副教授,博士,主要研究方向:遥感、图像分析、地理信息系统、空间数据挖掘; 孙承志(1964-),男,黑龙江人,高级工程师,博士研究生,主要研究方向:数字摄影测量与遥感、图像分析。

背景和目标的共有灰度范围是[128,180]。在图像分割问题中,除了噪声等因素之外,不同区域的灰度重叠也是影响图像分割的重要因素。对具有图像灰度重叠的人工合成图像(图1(a))直接进行分割,一般都得不到正确的分割结果,例如采用直接灰度门限法对图1(a)进行分割,结果如图1(c),可以看出两个区域没有很好地分开,背景和目标区域被混淆。

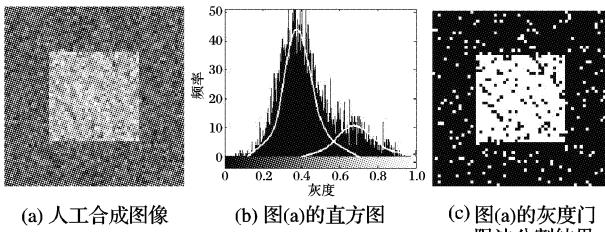


图1 有灰度重叠图像分割效果分析

## 1.2 图像平滑与滤波的概念辨识初探

图像的平滑、滤波都是图像分割等图像模式识别的预处理方法,但是两者在理论概念上和算法实践中是有区别的。

图像滤波可以看作图像平滑的特殊情况,即当图像灰度含有噪声时所发生的灰度直方图非连续性异常频率波动(例如椒盐噪声),一般平滑方法不能很好地消除这种图像噪声。例如椒盐噪声作为一种典型的图像噪声,极大地降低了图像质量,许多方法都得不到有效的滤波结果<sup>[4~8]</sup>,文献[1,2]提出基于脉冲耦合神经网络(PCNN)的滤波算法,通过神经元的点火捕获特性<sup>[3]</sup>实现对椒盐噪声污染图像的准确噪声定位,从而实现针对性滤波。

粗略地看,图像平滑和滤波不外乎两个基本目的:首先是图像模式识别(一般主要是图像分割)的预处理方法;其次是满足人类视觉系统的生理接受需求,即图像恢复目的。为图像分割而进行的平滑或滤波,主要关注的是区域间减少灰度重叠、边界较少畸变;为视觉观察而进行的平滑或滤波,主要关注的是图像灰度的总体平稳、光滑,视觉上具有连续性和真实感。

区分图像平滑和滤波这两个概念的主要目的在于:消除一般对图像平滑的狭义理解,即仅仅满足视觉舒适,以及高信噪比的评价标准。事实上,图像平滑的主要功能并不应该仅限于满足视觉舒适和高信噪比,而应该是有利于图像模式识别,为图像分割等目标提取服务,是进一步理解图像的预处理,所以图像平滑的评价标准也应该是多样的,仅仅使用信噪比评价是不全面的,因为有时图像平滑是为了屏蔽掉一些次要目标而达到突出主要目标的目的,边界损失量和信号保留量在这种平滑目的中就毫无意义(如图7)。而图像滤波的目的就比较单纯,它就是滤除掉图像中的噪声,此时视觉舒适和高信噪比评价是主要标准。

本文提出图像平滑与滤波的概念定义。1) 图像平滑是对图像中所有相邻像素强度数据的针对性数学处理,它以图像数据在空间上的连续光滑(产生丰富过渡区域)为目的,是对图像的主观性较强的处理。2) 图像滤波是对图像数据在空间中的噪声像素以及其他极端异常数据的针对性的数学处理,它以剔除异常数据(消除排异性数据)为目的,是对图像客观性较强的处理。

## 2 过渡区与图像分割

对灰度图像的分割一般基于图像灰度值的两个性质:不连续性和相似性。分割算法也可以据此分为基于边界的算法

和基于区域的算法两种。事实上这两种算法在实际数字图像中并无本质区别,因为实际数字图像中的边界总是有宽度的(至少一个像素宽度),由此可见边界其实也是一个区域,它既有边界的特点——把不同的区域分开,也有区域的特点——其自身有宽度,面积不为零,这个特殊的区域就是过渡区<sup>[10]</sup>。

过渡区是介于目标和背景之间的区域。它包含的像素灰度一般也在对应的目标和背景之间。基于过渡区的分割法是一种介于边界和区域方法之间的分割法。

### 2.1 无灰度重叠图像平滑处理与过渡区

图2(a)是合成图像,它的两个灰度区域之间不存在灰度重叠;图2(b)是对图2(a)进行平滑处理后的图像,从中可以看出,图2(b)的两个区域的边缘产生了过渡区,即生成了灰度渐变的效果。

从这个实例中,一方面说明了图像平滑处理会对图像的区域边缘产生灰度渐变(模糊);另一方面说明了任何图像中必定存在过渡区<sup>[10]</sup>。文献[10]等首次提出并证明了的图像中过渡区存在的普遍性。合成图像的过渡区可以由图像平滑来模拟产生,这实际上也是图像平滑的边缘畸变效应。既然可以利用过渡区进行图像分割,所以基于图像平滑可以产生过渡区的研究对于图像分割也有重要意义。

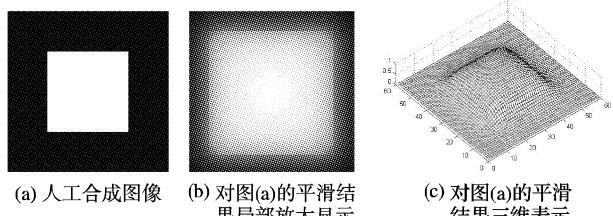


图2 无灰度重叠图像多次平滑(20次)效果分析

### 2.2 有灰度重叠图像平滑处理与过渡区

图1(a)是合成图像,从图1(b)可以看出,图像两个灰度区域(目标和背景)之间的灰度重叠非常大(由人工合成的效果)。在这种情况下绝大多数图像分割算法都达不到好的分割效果,如图1(c)。

对图1(a)进行5次迭代平滑,将中间结果分别列在图3中,从图3中可以看出,与原始直方图(如图1(b))相比较,它们的直方图分别表现出了逐渐明显的双峰特征,即两个图像区域之间的灰度重叠不断减小(如图3(a)和图3(b)),这种特征有利于任何形式的图像分割算法,用普通阈值法对其实施分割,其相应的分割结果也逐渐变好(边角误差变小——如图3(k)~图3(m))。平滑的实质是灰度内插,所以过度平滑会对图像产生不良影响,原始图像逐渐模糊(如图3(f)~图3(j)),如果过度平滑会在图像区域边缘产生较严重的几何畸变(如图3(h)~图3(j)),其相应的分割结果也逐渐变差(边角误差变大——如图3(m)~图3(o))。然而在图像边缘产生几何畸变(模糊)的过程就是产生过渡区的过程,它将有利于过渡区法图像分割。当对图1(a)进行多次(20次)平滑后,直方图的双峰特征又会逐渐消失(如图3(c)~图3(e)),重新形成一个近似单峰的形式(如图4(c)),这表明边界已完全消失(如图4(a)),被融入过渡区之中。在图像平滑中,边缘保持问题始终是一个困难的研究课题。所以,虽然适当平滑处理有利于图像分割等操作,但是不能认为只要图像平滑处理后,就可以获得好的图像分割结果。既然平滑可以产生过渡区,所以将平滑处理与过渡区分割方法相结合不失为一种有效的图像分割策略。

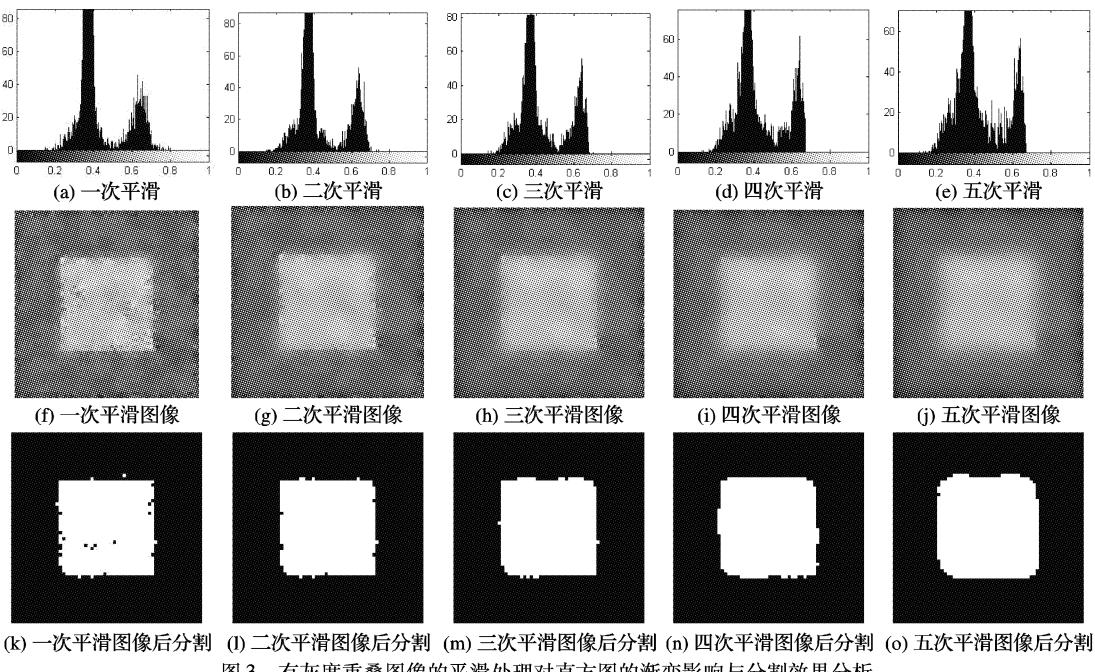


图3 有灰度重叠图像的平滑处理对直方图的渐变影响与分割效果分析

从图4(a)和图4(b)可以明显看到原始图像(有灰度重叠)经过多次平滑后产生的过渡区域,对此图像进行基于过渡区域的图像分割就可以获得较好的分割结果<sup>[10]</sup>。然而边界特别是转角处的几何变形很难逆转,这是单纯平滑算法的致命缺陷,如果能结合其他思想对边界进行保护,将会大大改善不利因素。

分别比较图4(a)、图4(b)和图2(b)、图2(c)可以看出,相同的平滑强度下,有灰度重叠图像的阶梯状坡度比无灰度重叠图像的阶梯状坡度要小得多,即有灰度重叠图像的平滑速度更快,这恰恰是因为不同区域存在灰度重叠,致使像素之间的灰度差异由于内插下降传递较快,所以有灰度重叠图像的平滑程度更强。这种比较试验表明了图像平滑的本质特性。

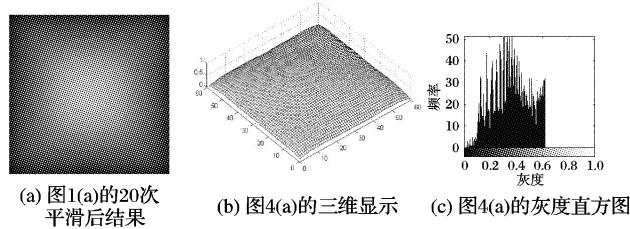


图4 有灰度重叠图像多次平滑(20次)效果分析

### 3 图像平滑与分割实验比较分析

根据第2节的实验与分析,可以得出结论:

1) 图像平滑使空间相邻像素之间的灰度联系更加紧密。即通过内插灰度的方法,消除了其间较大的灰度差异(抖动),均值(中值)等操作必然降低灰度抖动,使之平滑。

2) 经过第1)的处理,每一个近邻像素之间的灰度抖动都被降低,即每一个近邻像素的灰度都相互更加接近了,那么区域之间的灰度重叠也必然降低了。

3) 经过1)的处理,对于合成图像而言,其边界处的尖锐灰度变化,必然由于内插平滑而形成阶梯状变化,这正是生成过渡区的物理基础。

上述结论1)和2)对图像分割等图像模式识别处理有着重要意义,结论3)对基于过渡区的图像分割有重要意义。

#### 3.1 基于平滑的过渡区法合成图像分割

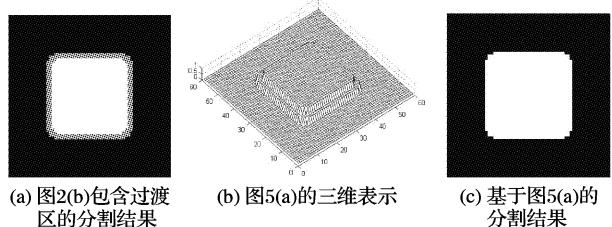


图5 无灰度重叠图像经平滑处理后基于过渡区的分割结果分析

图2(b)是图2(a)(无灰度重叠图像)经过20次平滑后的结果,对图2(b)进行过渡区法分割,结果如图5(a),其中过渡区(灰色区域)有三个像素宽度,恰好包含正确区域的边界,图5(b)是其三维表示,图5(c)是最终分割结果,与标准图像(图2(a))比较,边界有一个像素的误差,拐角有两个像素的误差。

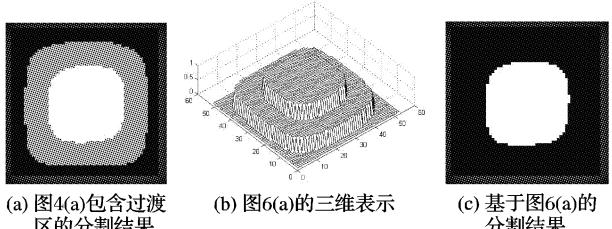


图6 有灰度重叠图像经平滑处理后基于过渡区的分割结果分析

图4(a)是图1(a)(有灰度重叠图像)经过20次平滑后的结果,对图4(a)进行过渡区法分割,结果如图6(a),其中过渡区(灰色区域)有多个像素宽度,包含正确区域的边界,图6(b)是其三维表示,图6(c)是最终分割结果,与标准图像(图1(a))比较,可以看出无论边界或拐角的分割误差都较大。主要原因是当图像区域灰度发生重叠时,近邻灰度的传递比较快,在压缩灰度范围和灰度重叠范围的同时,也使得灰度的两极分化减小(比较图1(b)和图4(c)的直方图灰度区间),边界信息损失严重,所以在相同平滑次数以及相同目标图形的情况下,它的分割结果误差都比无灰度重叠时大。

### 3.2 基于平滑的过渡区法真实图像分割

实验材料选自某国战争中被轰炸城市的一幅爆炸烟雾图像(如图7(a))。军事上,需要快速确定城市被炸地点,评估打击效果。所以本问题的关键是快速确定被炸点位置。从原始灰度图像(图7(a))可以看出,烟雾与地面建筑物之间的植被在灰度强度上有较大重叠(同谱异物),虽然图像不含噪

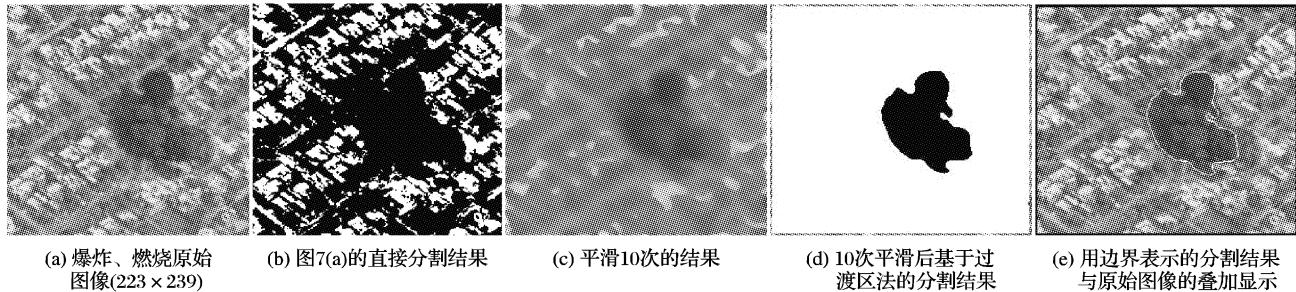


图7 真实图像经平滑处理后基于过渡区的分割结果分析

## 4 结语

图像平滑处理可以压缩图像灰度范围和灰度重叠范围,而图像噪声一般都具有使区域之间灰度发生重叠的性质,所以图像平滑可以用来进行噪声滤波,但是图像平滑和滤波在理论概念和算法实践上是有区别的。图像平滑可以在无灰度重叠图像的区域之间产生过渡区域,可以在有灰度重叠图像的区域之间减小灰度重叠,过渡区的产生和较小的区域灰度重叠都是有利于图像分割的重要因素,因此图像平滑处理也是无噪声污染图像分割的重要预处理方式。

### 参考文献:

- [1] RANGANATH HS, KUNTIMAD G. Pulse coupled neural networks for image processing[ A]. Proceedings of the IEEE Southeastcon '95 [ C]. Raleigh, NC, USA, 1995. 37 - 43.
- [2] 张军英,卢志军,石林,等.基于脉冲耦合神经网络的椒盐噪声图像滤波[J].中国科学(E辑),2004,34(8):882 - 894.
- [3] KUNTIMAD G, RANGANATH HS. Perfect Image Segmentation Using Pulse Coupled Neural Networks[ J]. IEEE Trans on neural networks, 1999, 10(3): 591 - 598.
- [4] 姚庆栋,毕厚杰,王兆华等.图像编码基础[M].北京:人民邮电出版社,1984.
- [5] 杨述斌,彭复员,谢志远,等.散斑噪声污染的激光水下图像滤波算法[J].红外与激光工程,2002,31(4):318 - 321.
- [6] SUN T, NEVVO Y. Detail-Preserving Median Based Filters In Image-Processing[ J]. Pattern Recognition Letters, 1994, 15(4):341 - 347.
- [7] FLORENCIO D, SCHAFER R. Decision-based median filter using local signal statistics[ A]. Proc SPIE Int Symp Visual Communications Image Processing[ C]. Chicago, 1994.
- [8] ENG HL, MA KK. Noise Adaptive Soft-Switching Median Filter [ J]. IEEE Trans on Image Processing, 2001, 10(2): 242 - 251.
- [9] 曹建农.基于可分解马尔科夫网的图像分割方法研究[D].武汉:武汉大学,2005.
- [10] ZHANG YJ , GERBRANDS JJ . Transition region determination based thresholding[ J]. Pattern Recognition Letters, 1991, 12(1): 13 - 23.

(上接第 2076 页)

边缘模式算法要略差一些,这说明采用三种块边缘模式是可行的。提取三种块边缘模式要比五种块边缘模式的计算复杂度要低,形成的特征向量的维数又更小,更能提高图像检索的速度。

### 3.2 提取特征向量的计算复杂度

由式(1)和(2)可知,从 DCT 域提取块边缘模式不需要乘法和加法计算,而文献[4]中的算法计算均值和方差采用式(4)和(5),它需要计算 67 个乘法和 128 个加法。由此可见,直接从 DCT 域提取块边缘模式要比文献[4]中提取图像特征的计算复杂度低,因此,图像检索的速度更快。

## 4 结语

本文提出了一种基于游程编码的三种块边缘模式图像检索算法,与其他传统的从 DCT 域提取特征向量的算法相比,主要优点在于以极低的计算复杂度达到了较高的查准率,查全率。本文提出的算法,具有较快的检索速度,适合于需要快

声,但是直接图像分割可能将植被与烟雾相混淆(如图 7(b))。如果对图像进行平滑处理,就会大大削减这种灰度重叠(如图 7(c)),虽然烟雾边界被严重破坏了,但是炸点位置会很快被确定(如图 7(d)、(e)),烟雾边界不影响本问题的实质。在这个问题中,虽然还有其他方法可以使用,但是简单的高速平滑计算显然更加有效。

速图像检索的场合,比如互联网和动态数据库的图像查询。并且由于特征向量的维数小,在实际的图像检索中还可以结合颜色等其他信息,采用相关反馈图像检索等方法,来进一步提高图像的检索性能。

### 参考文献:

- [1] KIM TY , HAN JH . Model - based discontinuity evaluation in the DCT domain[ J]. Signal Processing, 2001, 81(4): 871 - 882.
- [2] PARK DK, JEON YS, WON CS. Efficient use of local edge histogram descriptor[ A]. Proceedings of the ACM Workshops on Multimedia[ C]. Los Angeles, 2000. 51 - 54.
- [3] CHANG HS, KANG K. A compressed domain scheme for classifying block edge patterns[ J]. IEEE Transactions on image processing, 2005, 14(2).
- [4] FENG GC, JIANG JM. JPEG compressed image retrieval via statistical features[ J]. Pattern Recognition, 2003, 36(4):977 - 985.
- [5] LEE HY, LEE HK, HA YH. Spatial color descriptor for image retrieval and video segmentation [ J]. IEEE Transaction on Multimedia, 2003, 5(3).