

文章编号: 1002-1582(2009)02-0221-04

基于 HSI 颜色空间的彩色边缘检测方法研究<sup>\*</sup>

孙慧贤, 张玉华, 罗飞路

(国防科技大学 机电工程与自动化学院, 长沙 410073)

**摘 要:** 针对在 RGB 空间中很难有效区分颜色相似性的问题, 通过选择更加符合颜色视觉特性的 HSI 颜色空间进行图像处理与分析, 提出了一种新的色差度量方法, 在此基础上设计了一种彩色边缘检测方法。首先计算色度、饱和度、亮度等三个分量的边缘信息, 然后对三个分量进行加权得到彩色边缘信息, 通过非极大值抑制和阈值选取后, 得到彩色图像的边缘。实验结果表明, 该方法可以充分利用彩色图像的色度、饱和度和亮度信息来有效地检测彩色边缘。

**关 键 词:** 彩色图像; 边缘检测; HSI 颜色空间; 色差度量

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

## Color edge detection based on HSI color space

SUN Hui-xian, ZHANG Yu-hua, LUO Fei-lu

(College of Electromechanical Engineering and Automation, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract:** Because it is difficult to evaluate the similarity of two colors from their distance in RGB color space, color image processing is implemented in Hue Saturation Intensity (HSI) space which reflects the features of human vision. A new method of color distance measurement is presented. A novel color edge detection method is designed. The edge information of hue, saturation and intensity are calculated, and the color edge information is obtained combining the component edge information. The color edge detection is accomplished by non-max suppression and thresholding selection. Experimental results show that the proposed color edge detection method utilizes the hue, saturation and intensity information adequately, and the color edge can be detected effectively.

**Key words:** color image; edge detection; HSI color space; color distance measurement

## 1 引 言

边缘是图像中的重要信息,也是视觉感知的重要线索,它不仅能够传递图像的大部分信息,而且能够勾勒出物体的基本轮廓,为图像的识别、恢复、增强、重建等提供了手段<sup>[1,2]</sup>。长期以来,人们主要致力于灰度图像边缘检测的研究,并取得了很好的效果。但彩色图像能比灰度图像提供更多的信息。已有研究表明,彩色图像中大约有 90% 的边缘与灰度图像中的边缘相同,也就是说,有 10% 的边缘在灰度图像中是检测不到的<sup>[3]</sup>。因此,彩色图像处理受到了越来越多的关注<sup>[4-6]</sup>。

近年来,研究人员针对彩色图像的边缘检测问题提出了各种各样的算法,大多数的算法都是在 RGB 颜色空间中实现的,即首先将灰度边缘检测方法扩展成 RGB 空间中的三个分量,然后采用一定的逻辑算法将三个分量的边缘结合起来,得到彩色图

像的边缘<sup>[7]</sup>。但由于 RGB 三个分量的相关性很强,例如当光线发生变化时,RGB 三个分量将同时发生变化。因此,检测结果与转换为灰度图像后的检测结果相比变化不大。在 RGB 空间中,另一类比较成熟的方法是矢量空间法,其主要思想是将图像中的每一个像素看成是 RGB 空间中的一个三维矢量,那么整幅彩色图像就被认为是一个二维三分量的矢量场。目前,该类算法有矢量排序统计算子<sup>[8]</sup>、方向算子<sup>[9]</sup>、RGB 矢量角算子<sup>[10]</sup>等。RGB 颜色空间的主要缺点对颜色感知来说是不均匀的,即两个颜色点之间的距离不等于两个颜色之间的颜色感知的差异,不能直接从 RGB 数值中估计出颜色的色度、饱和度和亮度等感知属性。为了克服 RGB 颜色空间的不均匀和不直观的缺点,在彩色图像处理中可以采用更加符合颜色视觉特性的颜色空间。HSI 颜色空间便是其中的一种,它采用色度(Hue)、饱和度(Saturation)和亮度(Intensity)三个分量来表征颜

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2008-03-18

E-mail: saber-sun@163.com

基金项目: “十一五”国防预研基金资助项目(51317030106)

作者简介: 孙慧贤(1946-),男,内蒙古人,国防科技大学机电工程与自动化学院博士研究生,主要从事数字图像处理、视觉检测的研究。

色。各分量之间相互独立,且与人感受彩色的方式紧密联系。色差的度量是 HSI 空间中进行边缘检测的重要问题,但是目前对该问题的研究并不多,文献[11]将色度分量分解为两个正交的分量,这样可以解决色度分量模  $2\pi$  特性的影响,但是没有考虑色度分量与饱和度分量之间的相关性。文献[12]给出了一种色差度量的方法,通过对色度分量之差取模和计算来消除模  $2\pi$  特性的影响,但是色度与饱和度之间的相关性系数的计算比较复杂。

本文选择对 HSI 颜色空间进行彩色图像的边缘检测。首先给出了一种新的色差度量的方法,在此基础上提出一种基于 HSI 颜色空间的彩色图像边缘检测方法。实验结果表明,该方法可以很好地利用图像的亮度和色度信息,检测效果得到了明显的提高。

2 HSI 颜色空间

HSI 颜色空间是从人的视觉感知角度建立的。 $H$  为色度,是描述纯色的属性; $S$  为饱和度,给出一种纯色被白光稀释的程度的度量; $I$  为亮度,是视觉对光刺激的亮度响应。HSI 颜色空间在彩色图像中从携带的彩色信息(色度和饱和度)里消去强度分量的影响,因此这种颜色空间对人来说是自然的、直观的<sup>[13]</sup>。

图 1 所示为基于圆形彩色平面的 HSI 颜色空间模型。HSI 颜色空间由一个垂直的亮度轴  $I$  以及垂直于此轴的一个圆形平面上的彩色点的轨迹组成。对于其中任一个颜色点,其  $H$  值对应指向该点的矢量与  $I$  轴的夹角。该点的  $S$  值与指向该点的矢量长度成正比。 $I$  的值同该点所在平面与最下方黑色点的距离成正比。

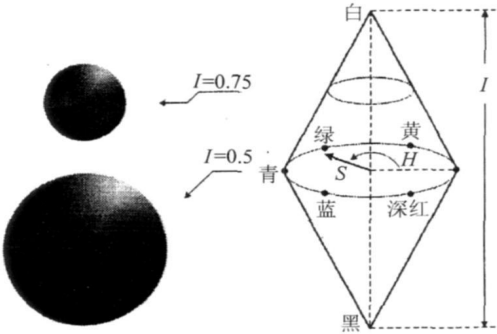


图 1 基于圆形彩色平面的 HSI 颜色空间模型

HSI 颜色空间与 RGB 颜色空间可以通过一定的算法相互转换。给定一幅 RGB 彩色格式的图像,每一个 RGB 像素的色度分量为

$$H = \begin{cases} \theta & B \leq G \\ 360 - \theta & B > G \end{cases} \tag{1}$$

式中,  $\theta = \arccos\{ (1/2)[(R - G) + (R - B)] / [(R - G)^2 + (R - G)(G - B)]^{1/2} \}$ 。饱和度分量为

$$S = 1 - \frac{3}{R + G + B}[\min(R, G, B)] \tag{2}$$

强度分量为

$$I = \frac{1}{3}(R + G + B) \tag{3}$$

从上面的公式可以看出,色度分量在  $[0^\circ, 360^\circ]$  范围内,将其除以  $360^\circ$  归一化到  $[0, 1]$  范围内。如果给出的 RGB 值在  $[0, 1]$  区间内,则饱和度分量与强度分量也在  $[0, 1]$  范围内。

HSI 颜色空间有两个重要的特点:首先亮度分量与图像的彩色信息无关,因色度与耀斑、阴影无关,所以在一些亮度变化的场合特别有用;其次是色度分量与饱和度分量和人感受彩色的方式紧密相连,对于区分通用颜色的物体非常有用。这些特点使得 HSI 颜色空间非常适合基于人的颜色感知特性来进行处理和分析图像。

3 色差的定义

在彩色图像边缘检测中,色差的度量十分重要。从本质上说,它是颜色之间相似性的度量,色差大代表颜色相似性程度小,色差小代表颜色相似性程度大。在 RGB 颜色空间中常用的色差度量方法有两种:欧氏距离法和矢量角法。文献[14]中采用欧氏距离方法检测 RGB 颜色空间中彩色图像的边缘,这种方法虽简便易行,但由于欧氏距离方法在 RGB 空间中过于注重亮度区域变化,对色彩差异信息不太敏感。为了在 RGB 空间中得到较好的检测效果,文献[10]提出了矢量角法,该方法对两个相邻体素的矢量角进行计算,对色彩的差异较敏感,但是对亮度差异并不敏感。

在对 HSI 颜色空间进行色差度量时,主要考虑两个颜色点之间的色度分量的相似程度。两个原因:一是色度分量是圆形对称的,且具有模  $2\pi$  特性,即色度在  $0\text{rad}$  和  $2\pi\text{rad}$  时的颜色是相同的,具有  $0\text{rad}$  和  $2\pi\text{rad}$  的相邻目标不应该有色调边缘,但由于模  $2\pi$  特性的存在,却能检测出边缘,这些边缘是虚假边缘;二是色度分量与饱和度分量是相关的。本文提出了一种基于 HSI 颜色空间的色差度量方法,并应用到了彩色边缘检测。

在 HSI 颜色空间中的两点  $P_1$  和  $P_2$ ,  $H_1$ ,  $S_1$  和  $I_1$  分别为对应于  $P_1$  点的色度、饱和度和亮度。同样,

$H_2$ ,  $S_2$  和  $I_2$  为  $P_2$  点的色度、饱和度和亮度。则两点之间的色度差公式为

$$\Delta H(H_1, H_2) = \frac{1}{2}(S_1 + S_2) \sin\left(\frac{|H_1 - H_2|}{2}\right)$$

(4)

从本质上来看, 这种色度差定义方法是基于欧氏几何距离的。如图 2 所示, 如果两个颜色点的饱和度值大小相同(设为  $r$ ), 且位于同一个色度平面, 则两个颜色点色度之间的夹角  $\theta = |H_2 - H_1|$ , 该夹角对应的弦长为  $2r\sin(\theta/2)$ 。考虑

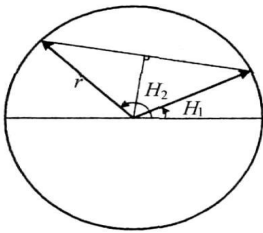


图 2 由色度差定义  
的欧氏几何距离

到色度与饱和度之间的相关性, 同时为了将色度差定义在  $[0, 1]$  范围内, 令  $r = (S_1 + S_2)/4$ , 则可得如式(4)所示的色度差公式。这种色度差定义方法可以消除 HSI 颜色空间模  $2\pi$  特性带来的问题, 同时可有效地描述色度差异。

两点之间的饱和度差和亮度差被定义为

$$\Delta S(S_1, S_2) = |S_1 - S_2|$$

(5)

$$\Delta I(I_1, I_2) = |I_1 - I_2|$$

(6)

4 彩色边缘检测方法

基于所提出的色差度量方法, 用其进行了彩色图像边缘检测。图 3 所示为边缘检测流程图。首先需要将图像从 RGB 颜色空间转换为 HSI 颜色空间, 并将彩色图像分解为  $H$ ,  $S$ ,  $I$  三个分量, 再对每个分量进行边缘检测得到各分量的边缘信息, 然后将三个分量的边缘信息合成得到彩色边缘信息, 并进行非极大值抑制和阈值选取, 最终得到彩色图像的边缘。

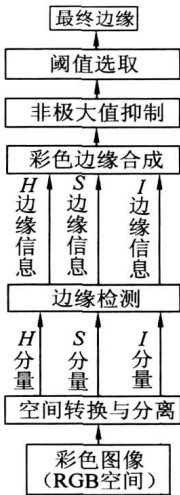


图 3 彩色边  
缘检测流程图

4.1 梯度算子与分量梯度

为了保证能检测到所有方向的边缘, 采用改进的四方向 Sobel 边缘检测算子<sup>[4]</sup>, 分别为水平方向、垂直方向、45°方向和 135°方向。图 4 分别给出了  $3 \times 3$  邻域示意图和四个边缘检测算子的结构。

对于像素  $p(x, y)$  来说,  $\text{HOH}(x, y)$ ,  $\text{VOH}(x, y)$ ,  $\text{NOH}(x, y)$  和  $\text{SOH}(x, y)$  分别代表色度分量在水平方向、垂直方向、45°方向和 135°方向的边缘强度。

$$\begin{aligned} \text{HOH}(x, y) = & |\Delta H(H_{-1,-1}, H_{1,-1}) + \\ & 2\Delta H(H_{-1,0}, H_{1,0}) + \\ & \Delta H(H_{-1,1}, H_{1,1})| \end{aligned}$$

(7)

$$\begin{aligned} \text{VOH}(x, y) = & |\Delta H(H_{-1,-1}, H_{-1,1}) + \\ & 2\Delta H(H_{0,-1}, H_{0,1}) + \\ & \Delta H(H_{1,-1}, H_{1,1})| \end{aligned}$$

(8)

$$\begin{aligned} \text{NOH}(x, y) = & |\Delta H(H_{-1,0}, H_{0,1}) + \\ & 2\Delta H(H_{-1,-1}, H_{1,1}) + \\ & \Delta H(H_{0,-1}, H_{1,0})| \end{aligned}$$

(9)

$$\begin{aligned} \text{SOH}(x, y) = & |\Delta H(H_{-1,0}, H_{0,-1}) + \\ & 2\Delta H(H_{-1,+1}, H_{1,-1}) + \\ & \Delta H(H_{0,1}, H_{1,0})| \end{aligned}$$

(10)

式中,  $H_{-1,-1}$  代表像素  $p(x-1, y-1)$  的色度值。

$(x-1, y-1)$	$(x-1, y)$	$(x-1, y+1)$
$(x, y-1)$	$(x, y)$	$(x, y+1)$
$(x+1, y-1)$	$(x+1, y)$	$(x+1, y+1)$

(a)

1	2	1
0	0	0
-1	-2	-1

1	0	-1
2	0	-2
1	0	-1

2	1	0
1	0	-1
0	-1	-2

0	1	2
-1	0	1
-2	-1	0

(b)

图 4 改进的四方向 Sobel 边缘检测算子  
(a) 像素  $(x, y)$   $3 \times 3$  邻域图; (b) 四个方向的卷积模板。

定义像素  $p(x, y)$  的局部边缘强度最大值  $\text{MOH}(x, y)$  为四个方向边缘强度的最大值, 同时也作为该像素的边缘信息。

$$\begin{aligned} \text{MOH}(x, y) = & \max\{\text{HOH}(x, y), \text{VOH}(x, y), \\ & \text{NOH}(x, y), \text{SOH}(x, y)\} \end{aligned}$$

(11)

同理, 可以得到像素  $p(x, y)$  饱和度分量和亮度分量的边缘信息, 分别定义为  $\text{MOS}(x, y)$  和  $\text{MOI}(x, y)$ 。

4.2 彩色边缘强度合成

利用所得到的彩色像素的三个分量的边缘信息的综合可以得到该像素的边缘。因为在坐标转换时将 HSI 三个分量都归一化在  $[0, 1]$  范围内, 且所采用的色差度量方法也定义在  $[0, 1]$  范围内, 所以采用三个分量的加权作为彩色边缘强度信息。定义  $\text{MOE}(x, y)$  为像素  $p(x, y)$  的彩色边缘强度,  $p$  为加权因子, 则

$$\begin{aligned} \text{MOE}(x, y) = & p \cdot \text{MOH}(x, y) + \frac{1}{2}(1-p) \times \\ & [\text{MOS}(x, y) + \text{MOI}(x, y)] \end{aligned}$$

(12)

4.3 非极大值抑制

采用改进后的四方向 Sobel 算子所得到的边缘

线宽一般都不是单像素的,由色度、饱和度和亮度三个分量合成的彩色边缘会使图像边缘变宽,这不利于图像的分割和特征提取,并且在图像细节区域会造成边缘的模糊。因此需要采用非极大值抑制的方法来使边缘宽度变细。考虑到数字图像像素排列的特点,在进行非极大抑制时只考虑垂直和水平两个方向。当像素点  $p(x, y)$  不满足式(13)或式(14)时,就认为它不满足极大值条件,需被抑制。

$$\begin{aligned} \text{MOE}(x, y) &\geq \text{MOE}(x-1, y) \\ \text{MOE}(x, y) &\geq \text{MOE}(x+1, y) \end{aligned} \tag{13}$$

$$\begin{aligned} \text{MOE}(x, y) &\geq \text{MOE}(x, y-1) \\ \text{MOE}(x, y) &\geq \text{MOE}(x, y+1) \end{aligned} \tag{14}$$

4.4 阈值选取

由于图像中会存在许多微小起伏,所以在所得到的边缘强度信息中,包含很多弱边缘信息,使得图像中的物体轮廓不清晰。本文选用 Otsu 方法确定最佳边缘阈值<sup>[15]</sup>,进而确定边缘。Otsu 方法是由 N

Otsu 于 1979 年提出的一种动态门限方法,是经典的非参数、无监督自适应阈值选取方法。利用 Otsu 方法的自适应选取阈值的能力,自动搜索边缘强度信息图的最佳灰度阈值,即分界点  $T$ ,去除弱边缘信息的干扰。如式(15)所示,为得到边缘图,  $E(x, y)=1$  表示该像素为边缘点,  $E(x, y)=0$  说明该像素不是边缘点。

$$E(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{MOE}(x, y) \geq T \\ 0 & \text{MOE}(x, y) < T \end{cases} \tag{15}$$

5 实验结果与分析

采用所提出的方法进行了实验,并将结果与在 RGB 空间内的三种彩色边缘检测方法进行了对比分析。这三种方法是:利用 Sobel 算子对 RGB 三个分量进行边缘梯度合成的彩色边缘检测方法<sup>[7]</sup>,基于 Euclidean 距离的边缘检测方法<sup>[13]</sup>,RGB 矢量角算子<sup>[10]</sup>。

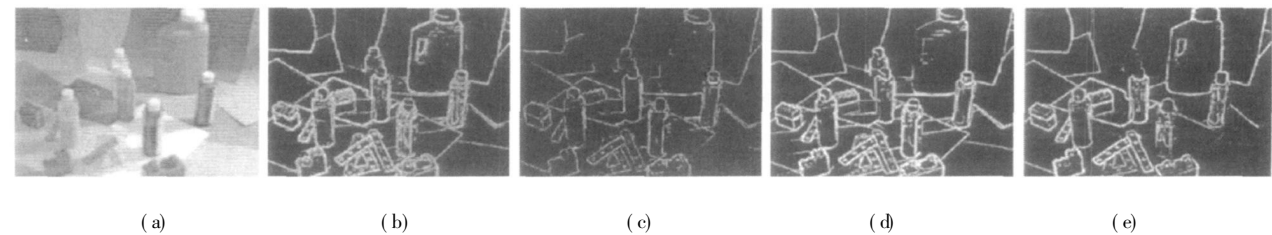


图 5 由各种算法检测得到的边缘图像  
(a) 原图; (b) 用本文算法得到的边缘(  $p=0.5$  ); (c) RGB 空间中梯度合成边缘检测方法;  
(d) RGB 空间中基于 Euclidean 距离的检测方法; (e) RGB 空间中的矢量角算子。

选择如图 5(a) 所示的图像作为实验对象,对所提出的算法进行了分析。该图中包含了不同的区域:色度相同饱和度或者亮度变化的区域;色度不同亮度相同的区域和阴影等。图 5(b) 所示为采用本文提出的算法得到的边缘。图 5(c) 所示为在 RGB 空间内利用 Sobel 算子进行边缘梯度合成得到的结果。从中可以看出,RGB 空间内三个分量相关性强,可以检测出亮度变化的边缘,但是对于亮度相差不大,而色度变化缓慢的地方却无能为力,例如原图中青色壶的壶柄和左上方彩色纸张之间的边缘等处。图 5(d) 为在 RGB 空间内基于 Euclidean 距离的由边缘检测方法得到的边缘,该图反映出 Euclidean 距离在 RGB 空间中对亮度变化比较敏感,能够检测出物体的轮廓,同时受光照和阴影的影响也比较大,而且对于色度变化缓慢的地方也不敏感。图 5(e) 为采用 RGB 矢量角算子得到的结果,矢量角方法是对两个相邻体素的矢量角进行计算,它与 RGB 空间中的 Euclidean 距离不同,矢量角不仅可区分色彩上的差异,而且对色度和饱和度的差异较敏感,还可以捕捉更多的边缘数据,但该方法对亮度差异并不敏感,特别是

当两个色彩矢量位于同一直线上时(即色度和饱和度都相同),检测不到边缘信息。如图中左上角和左下角彩色纸张之间的边缘有不少漏检的地方。相比之下,本文提出的算法能够较好地检测出亮度变化强烈的地方,对于色度变化也较为敏感,受光照影响较小,能够较好地实现彩色图像的边缘检测。

6 结 论

本文选择符合人眼颜色感知特性的 HSI 颜色空间来进行图像处理,在充分考虑模  $2\pi$  特性的影响和饱和度与色度之间的相关性的基础上,提出了一种新的色度差的定义方法,在此基础上进行了彩色边缘的检测。首先选用改进的四方向 Sobel 边缘检测算子得到色度、饱和度和亮度分量的边缘信息,对这三个分量进行加权得到彩色边缘信息,然后采用非极大值抑制的方法细化边缘,最后利用 Otsu 方法确定最佳边缘阈值。实验结果表明,所提出的彩色边缘检测方法能够较好地利用色度、饱和度和亮度信息,是一种有效的彩色边缘检测方法。

(下转第 228 页)

5(b) 中的位置要稍超前于图 5(a)。图 5(c) 是没有采用运动补偿处理而直接将两帧图像相减后的结果。显然, 盒子在相邻两帧中的错位信息明显地反映在帧差后的图像中, 激光光带信息因这种错位而全部淹没在杂波中。图 5(d) 是经运动补偿处理后两帧相减的效果, 除了少量的噪声点外, 激光光带信息已经非常完整。

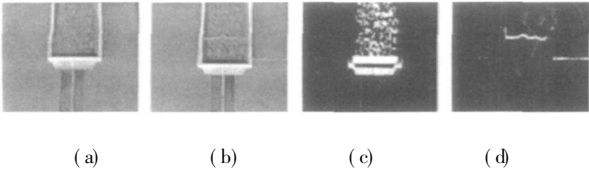


图 5 运动补偿的实验结果

图 6(b) 是根据测量数据重构出的整盒煤堆的三维立体图。为了获得更好的显示效果, 加入了阴影与光照处理。煤堆原始形状如图 6(a) 所示。

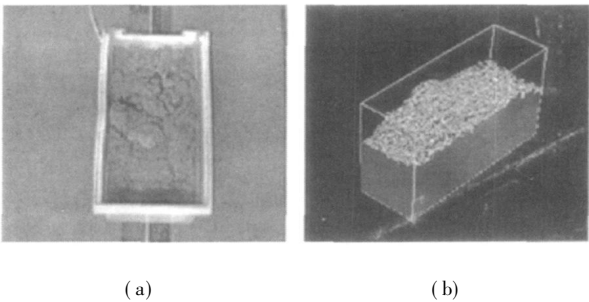


图 6 煤堆重构效果图

表 1 煤堆体积测量结果 实际值: 2072.98 cm<sup>3</sup>

测量次数	1	2	3	4	5
测量结果/cm <sup>3</sup>	2035.032	2030.968	2043.257	2051.831	2047.956
相对误差/%	1.83	2.02	1.43	1.02	1.21

同一盒煤堆测量 5 次的结果如表 1 所示。由实验数据可以看出, 无论是测量精度还是可重复性都是比较高的。

7 结 论

本文提出了一套完整的在线测量运动车厢中煤堆体积的检测系统。该系统主要由运动车厢边缘检测、车厢运动补偿、光带中心提取、煤堆体积计算等模块构成, 有效地解决了车厢运动、煤堆表面低反射特性等因素造成的光带中心难以提取的难题。实验结果表明, 该方法具有较高的计算精度, 能够达到实际应用的要求。该套测量系统虽然是为测量运动车厢中的煤堆而专门设计的, 但仍可应用到其它运动工件表面粗糙度的自动化测量和形貌的三维重建。

参考文献:

[ 1 ] Hongwei Guo, Zhan Zhao. Nonlinearity correction in digital fringe projection profilometry by using histogram matching technique[ J ] . Proceedings of SPIE, 2007, 6616: 661621-1—661621-9.

[ 2 ] Jiahui Pan, Peisen S Huang, Fu-Pen Chiang. Color-coded binary fringe projection technique for 3-D shape measurement[ J ] . Optical Engineering, 2006, 44( 2) : 023606-1—023606-9.

[ 3 ] 许平, 陈文静, 苏显渝. 高精度的数字光投影傅里叶变换轮廓术[ J ] . 光电工程, 2005, 32( 1) : 59—62.

[ 4 ] 吴剑波, 赵宏, 谭玉山. 一种解决光刀断线问题的新方法[ J ] . 光学技术, 2001, 27( 2) : 189—191.

[ 5 ] WU Jian-bo, CUI Zhen, ZHAO Hong, et al. Self-adaptive threshold method for light-knife center acquiring [ J ] . Tool Engineering, 2000, 34( 10) : 27—29.

[ 6 ] 王文成, 徐建强, 司书春. 一种改进的重心法在光带中心提取中的应用[ J ] . 光电子激光, 2005, 16( 10) : 1239—1242.

[ 7 ] 潘锋, 王宣银, 向桂山, 等. 一种新的运动目标检测与跟踪算法[ J ] . 光电工程, 2005, 2( 1) : 43—46.

[ 8 ] 刘震亚, 何平安, 王卫平, 等. 激光光切法测量不规则堆料的截面积[ J ] . 光学技术, 2005, 31( 1) : 146—148.

( 上接第 224 页 )

参考文献:

[ 1 ] D Marr, E Hildreth. Theory of Edge Detection[ A ] . Proc of the Royal Society[ C ] . 1980. 187—207.

[ 2 ] B Jahne. Digital Image Processing (Fifth Edition) [ M ] . Heidelberg: Springer, 2002.

[ 3 ] C L Novak, S A Shafer. Color edge detection[ A ] . Proc of DARPA Image Understanding Workshop[ C ] . 1987. 35—37.

[ 4 ] J Fan, W G Aref, M Hacid, et al. An improved automatic isotropic color edge detection technique[ J ] . Pattern Recognition Letters, 2001, 22( 3) : 1419—1429.

[ 5 ] S K Naik, C A Murtly. Standardization of edge magnitude in color images[ J ] . IEEE Transactions on Image Processing, 2006, 15 ( 9) : 2588—2595.

[ 6 ] R Lukac, K N Plataniotis. Color image processing: methods and applications[ M ] . New York: Taylor & Francis Group, LLC, 2007.

[ 7 ] R C Gonzalez, R E Woods. Digital Image Processing(Second Edition)[ M ] . New York: Prentice Hall, 2003.

[ 8 ] P E Trahanias, A N Venetsanopoulos. Color Edge Detection Using Vector Order Statistics[ J ] . IEEE Transactions on Image Process-

ing, 1993, 2( 2) : 259—264.

[ 9 ] J Scharanski, A N Venetsanopoulos. Edge detection of color images using directional operators[ J ] . IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1997, 7( 2) : 397—401.

[ 10 ] R D Dony, S Wesolkowski. Edge detection on color images using RGB vector angles[ A ] . Proc of IEEE Conference on Electrical and Computer Engineering[ C ] . 1999. 687—392.

[ 11 ] A R Weeks, C E Felix, H R Myer. Edge detection of color images using the HSL color space[ A ] . Proc of SPIE[ C ] . 1995. 291—301.

[ 12 ] T Carron, P Lambert. Color edge detector using jointly hue, saturation and intensity[ A ] . Proc of IEEE International Conference Image Processing[ C ] . 1994. 977—981.

[ 13 ] K N Plataniotis, A N Venetsanopoulos. Color image processing and applications[ M ] . Heidelberg: Springer, 2000.

[ 14 ] S Wesolkowski, E Jernigan. Color edge detection in RGB using jointly euclidean distance and vector angle[ A ] . Proc of Vision Interface[ C ] . 1999. 9—16.

[ 15 ] N Otsu. A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms[ J ] . IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1979, 9( 1) : 62—66.