

# 基于 CCD 摄像机石材表面颜色识别方法

赵 民,李天敏,邵 萌,邹媛媛

(沈阳建筑大学机械工程学院,辽宁 沈阳 110168)

**摘 要** 目的 解决石材颜色识别中存在的人工检测效率低、识别结果受主观因素影响大的问题,实现石材表面色差自动识别,为实现石材表面质量检测的自动化奠定基础. 方法 基于 HSV 颜色模型根据人类视觉系统对颜色感知的经验值对图像的色调、亮度和饱和度进行均匀量化,并将量化后得到的 72 柄一维矢量进行计算. 由 CCD 摄像机采集石材样板图像,通过 MATLAB 编程软件实现图像的提取、处理、分析等过程,完成石材表面颜色识别. 结果 通过实验与人眼识别的颜色对比,匹配值可达到 0.82 以上,检测方案可行,基本可以完成石材抛光表面的颜色识别. 结论 该色差检测系统可实现石材表面颜色从模糊识别到数字化识别过程,量化识别与模糊识别的结果相近似,为石材表面色差自动化检测提供理论和实验基础.

**关键词** 抛光石材;表面色差;CCD 工业摄像机;图像处理

中图分类号 TP391;TH16

文献标志码 A

## Color Recognition Method of Stone Surface Based on CCD Camera

ZHAO Min, LI Tianmin, SHAO Meng, ZOU Yuanyuan

(School of Mechanical Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang, China, 110168)

**Abstract:** In order to solve the problems of low efficiency of manual detection and large influence of subjective factors in stone color recognition, the automatic identification of color difference on the stone surface is achieved and can be considered as the foundation of the automation of quality testing on stone surface. Based on the HSV color model, the hue, value and saturation of the image are uniformly quantized according to the experience values of the human vision system for color perception, and the quantized 72-axis one-dimensional vector can be calculated. Firstly, stone sample images are collected by CCD industrial camera. Then image extraction, processing, analysis and other processes are achieved through MATLAB programming software. Finally, color recognition of the stone surface is completed. By comparing the color of the experiment with the human eye recognition, the detection system can basically complete the color recognition of the polished surface of the stone. The color difference detection system can realize the color of stone surface from fuzzy identification to digital recognition, and quantification recognition is similar to the result of

收稿日期:2018-06-28

基金项目:国家自然科学基金项目(51405481)

作者简介:赵民(1958—),男,教授,博士,主要从事脆性材料加工技术和机电一体化技术方面研究.

fuzzy recognition. It provides the theoretical and experimental basis for the automatic detection of color aberration on the stone surface.

**Key words:**polished stone;color aberration;CCD industrial camera;image processing

经过我国经济迅速发展,中国石材业已成为世界石材行业中的重要组成部分<sup>[1]</sup>. 石材企业生产样品与标准样品之间的色差是质量检测管理的一项重要指标,因此,在石材行业中测定石材表面色差有着重要的意义. 石材是天然矿物制成的,大理石主要由方解石、石灰石、蛇纹石和白云石构成,它的成矿原因不同,形成的颜色不同. 花岗岩主要有云母、长石、石英等矿物构成,其表面颜色更为杂乱无章,由此为石材表面颜色识别带来一定困难. 随着人们对石材产品颜色质量要求的不断提高以及计算机智能技术的快速发展,一些重点石材企业在石材加工设备上开始全面应用机器视觉技术,使得石材表面质量检测越来越趋于智能化、自动化,如使用便携式测量仪和表面光泽度测量仪可以实现对石材尺寸和表面光泽度的检测<sup>[2]</sup>. 然而,目前国内石材行业缺少石材色差检测标准和相应的检测手段及方法,大部分石材工厂对石材质量的检测仍然凭借肉眼人工检测<sup>[3]</sup>. 对颜色没有统一识别标准,造成色差判断误差大,影响装饰效果和质量评价. 在颜色检测方面主要集中在单一颜色产品上,如瓷砖、布匹等. 曹利钢等<sup>[4]</sup>提出并设计了一种以工业相机为核心,包括定位检测和上位机控制功能的墙地砖外形自动检测硬件系统. 毕明德等<sup>[5]</sup>提出了一种基于机器视觉的布匹疵点检测系统用于取代人工检测,并提出了一种基于类别共生矩阵与支持向量机的布匹疵点检测算法. 那丽红<sup>[6]</sup>开展过虚拟石材加工技术的研究,设计了石材特征采集仪模型.

由于石材颜色复杂多样,图案纹路也是变化多端,导致对石材色差的检测是个困难的过程. 针对目前在石材色差检测方面的研究并不多,笔者结合先进的机器视觉技术设

计了基于 CCD 摄像机石材表面色差检测的硬件系统,通过采集图像、对图像处理完成对待测石材图像提取颜色特征值得到数字化的颜色,通过与人眼对比验证了检测系统的可行性.

1 颜色识别

由于 CCD 工业摄像机拍摄完成的原始抛光石材图像含有较多的无用特征信息,所以必须经过图像处理才能得到石材表面色差检测的图像. 整个图像处理过程包括图像预处理、边缘检测、阈值分割<sup>[7]</sup>. 图像处理完成后通过色差检测算法和色号匹配算法完成整个色差检测过程. 根据抛光石材表面颜色识别所需步骤,制定颜色识别流程图如图 1 所示.

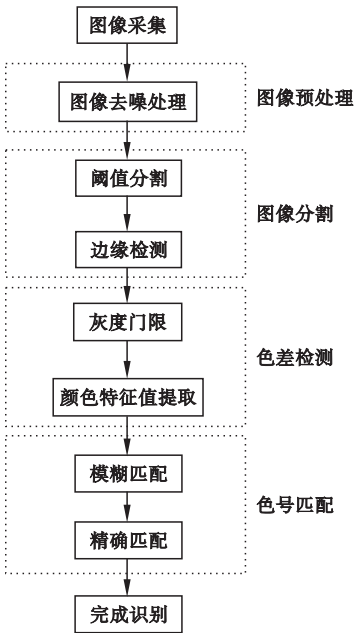


图 1 图像处理流程图

Fig. 1 Image processing flow chart

1.1 图像预处理

图像预处理技术是指在图像处理之前对图像进行滤波和增强,以提高图像质量并使

其更接近真实图像<sup>[8]</sup>. 笔者采用的图像预处理为图像平滑处理,即去除图像噪声的过程<sup>[9]</sup>. 有两种最常用的图像平滑处理方法:均值滤波和中值滤波. 均值滤波器在进行平滑处理时不区分边缘点和噪声点,从而导致图像边缘信息的缺失. 另外均值滤波并不是真正的消除噪声点而是将噪声点无限放大直至无法察觉. 中值滤波实际上是一种低通滤波器,能够真实的消除脉冲信号产生的噪声,又不破坏图像边缘的特性,避免滤波处理后引起的图像细节模糊,因而特别适用于图像扫描<sup>[10]</sup>. 对图像平滑处理的目的是有效地保护图像边缘且能够去除脉冲型噪声,因而选择中值滤波器<sup>[11]</sup>.

中值滤波器的本质是用数字图像或数字序列中某点周围一个确定范围的区域中所有点的值的中值代替该点的值<sup>[12]</sup>. 中值的定义如下:设数组  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , 将它们按值的大小排序:  $x_{i_1} \leq x_{i_2} \leq \dots \leq x_{i_n}$ .

$$y = med \{ x_1, x_2, x_3, \dots, x_n \} = \begin{cases} x_{i(\frac{n+1}{2})}, n \text{ 为奇数} \\ \frac{1}{2} [x_{i(\frac{n+1}{2})} + x_{i(\frac{n}{2}+1)}], n \text{ 为偶数} \end{cases} \quad (1)$$

其中,  $y$  为序列  $x_1, x_2, \dots, x_n$  的中值. 在一维情况下,通常把某一点的特征(即长度或形状)的领域称为窗口,中值滤波器是一个包含单数个像素的滑动窗口,窗口中间的像素值被窗口中像素值的中值所取代<sup>[13]</sup>.

设输入序列:  $\{x_i, i \in I\}$ ,  $I$  是自然数的一个集合或子集,并且窗口长度是  $n$ ,那么过滤器的输出为

$$Y = med \{ x_i \} = med \{ x_{i-u}, \dots, x_i, \dots, x_{i+u} \}. \quad (2)$$

式中:  $i \in I; u = \frac{(n-1)}{2}$ .

很容易将中值滤波的概念推广到二维,在这种情况下,可以使用某种形式的二维窗口<sup>[14]</sup>. 设  $\{x_{ij}, (i, j) \in P\}$  为图像中每个点的灰度值,  $A$  表示某一滤波窗口,则其二维中值滤波定义为

$$y_{ij} = med_A \{ x_{ij} \} = med \{ x_{i+r, j+s}, (r, s) \in A, (i, j) \in P \}. \quad (3)$$

其中,二维中值滤波器可以是方形的,也可以用圆或十字形<sup>[15]</sup>.

简言之,中值滤波的主要原理:首先选择一个以任一像素为中心的窗口,通常是方形的;然后在该窗口中的对各个像素的灰度值进行排序,取所有灰度值的中间值作为其中心点像素灰度的新值;当窗口在图像中的不同位置被变换时,图像可以通过中值滤波算法来平滑. 具体步骤如下:

- (1) 使用模板选择图像中的任何位置,以使模板的中心与图像中像素的位置重合;
- (2) 读取模板选取的各像素点的灰度值;
- (3) 对该窗口下所有灰度值按顺序进行排列;
- (4) 找出排在中间的值;
- (5) 将其赋给图像中对应的中心位置的像素.

由于中值滤波器的输出像素由窗口的中间值确定,因此,它对极限像素值(与周围像素的灰度值差别很大的像素)不太敏感,从而达到消除孤立的噪声点,同时降低图像的模糊程度的目的<sup>[16]</sup>.

1.2 图像分割

图像分割技术就是将图像的某种表征(如纹路、颜色等)分解成最小的基元. 在实验中采集到的图像是包含石材图像及背景图像的,采用有效的分割方法将图像中石材所在的部分从含背景的图像中提取出来,可以提高颜色特征提取的准确性和检测精度,因此图像分割在机器视觉和图像处理中起着十分重要的作用. 图像分割包括两个步骤:第一步进行阈值分割;第二步进行边缘检测.

1.2.1 阈值分割

阈值分割是根据灰度特征的不同,将图像作为有不同灰度级区域的组合来处理,选取合适的阈值作为开关将这些区域分割开

来,生成一个新的二值化图像<sup>[17]</sup>.

阈值分割分为两个步骤:首先,确定一个分割阈值;其次,用此阈值与每一个像素点的灰度值进行比较,将图像转换成两个灰度级不同的区域. 其计算公式为

$$g(x,y)=\begin{cases} 1, f(x,y)>T \\ 0, f(x,y)\leq T \end{cases} \quad (4)$$

式中: $f(x,y)$  为分割前的图像; $g(x,y)$  为分割后的图像; $T$  为所选定的阈值.

采用全局阈值分割技术中的迭代阈值算法,即利用迭代算法来选取阈值. 首先,根据原始迭代开关函数将原始图像分成前景区域与背景区域两部分;然后分别对这两个区域进行积分运算,并对运算结果求均值作为新的阈值;接下来用新的阈值开关再次对图像分割前景与背景两部分,重复上述步骤直到迭代结果收敛于某个稳定的阈值,此时该阈值即作为图像分割的阈值. 计算过程如下:

(1) 设  $L$  为整幅图像总的灰度级数,  $T_0$  为初始阈值,取值为整幅图像总的灰度范围的中值;

(2) 初始阈值选取号以后进行迭代;迭代公式为

$$T_{i+1}=\frac{1}{2}\left\{\frac{\sum_{K=0}^{T_i} h_K K}{\sum_{K=0}^{T_i} h_K}+\frac{\sum_{K=T_{i+1}}^{L-1} h_K K}{\sum_{K=T_{i+1}}^{L-1} h_K}\right\} \quad (5)$$

式中: $h_K$  为灰度为  $K$  值的像素的个数.

(3) 迭代到  $T_{i+1}=T_i$  时结束,阈值取为  $T_i$ .

1.2.2 边缘检测

不同区域的边缘上像素灰度值的变化较

$$\begin{cases} \Delta G_x=f(x-1,y+1)+2f(x,y+1)+f(x+1,y+1)-f(x-1,y-1)-2f(x,y-1)-f(x+1,y-1), \\ \Delta G_y=f(x-1,y-1)+2f(x-1,y)+f(x-1,y+1)-f(x+1,y-1)-2f(x+1,y)-f(x+1,y+1), \\ G[x,y]=|\Delta G_x|+|\Delta G_y|. \end{cases} \quad (6)$$

式中: $G[x,y]$  为处理后的图像; $f(x,y)$  为输入图像; $\Delta G_x$  为点  $x$  的梯度值; $\Delta G_y$  为点  $y$  的梯度值.

为剧烈,边缘检测方法就是据此进行检测的<sup>[18]</sup>. 图像边缘检测有很多种算法,对比多种常用的边缘检测算子,运用 MATLAB 分别进行仿真,它们对石材边缘检测的结果如图 2 所示.

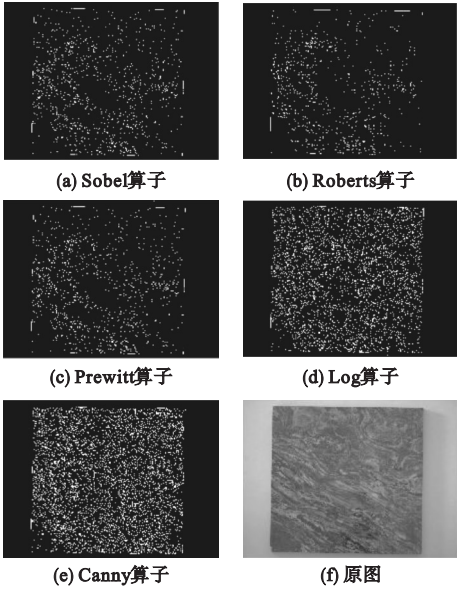


图 2 不同边缘检测算子比较

Fig. 2 Comparison of different edge detection operators

通过图 2 可知,Sobel 算子的边缘检测是利用像素的上、下、左、右邻域的灰度加权算法<sup>[19]</sup>,它能将细微的边缘检测出来,所检测出来的边缘比较清晰,对独立噪声起到一定的抑制作用,同时对平直边缘的检测效果较好,适合抛光石材边缘的检测. 因此,笔者采用 Sobel 算子.

Sobel 算子是将像素点做加权平均,再进行微分,最后求出梯度值. 其计算公式为

1.3 色差检测

1.3.1 灰度门限处理

在将 RGB 图像转换成 HSV 图像之后,导出要测量的抛光石像的某分量的灰度直方



图. 在该分量灰度直方图中,像素值出现的频数大致在某一范围,这表明图像中有用的特征像素点大致在此范围,如果选取一组合适的阈值  $t_1$  和  $t_2$ ,则可将无用的像素点排除在外,这组阈值即为门限,该方法称为灰度门限法<sup>[20]</sup>.

笔者采用最大类间方差法完成门限的选取,具体方法如下:设定  $t_1$  和  $t_2$  分别为分割的阈值; $W_0$  为有用像素点占图像比例, $U_0$  为有用像素点平均灰度; $W_1$  为无用像素所占图像比例, $U_1$  为无用像素的平均灰度;设定整个图像的平均灰度  $U$ ,其计算公式见式(7);遍历图像中所有像素的灰度值,其计算式见式(8).

$$U = \frac{(W_0 U_0 + W_1 U_1)}{W_0 + W_1}.$$

(7)

$$g = W_0 (U_0 - U)^2 + W_1 (U_1 - U).$$

(8)

其中, $t_1$  取  $g$  的最小值, $t_2$  取  $g$  的最大值,这两个值即为分割的最佳阈值.

门限分割前后图像及直方图的对比如图 3 所示.

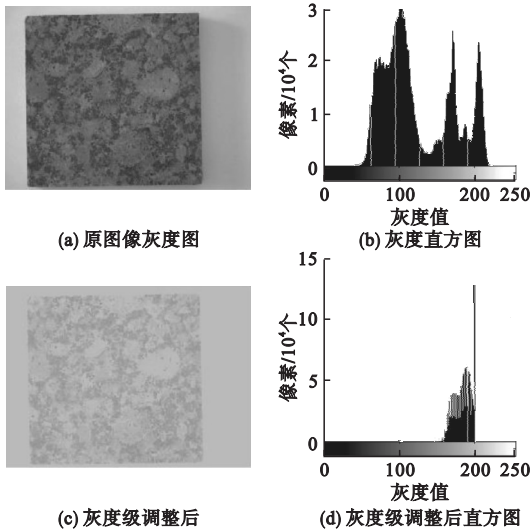


图 3 门限分割处理对比

Fig. 3 Threshold split processing comparison chart

1.3.2 特征值提取

图像的颜色有多种表示方式,一般从图像中可得到 RGB 值,再将 RGB 值转换成 HSV 模型. HSV 颜色模型是一种更接近于人

类对颜色的感知的模型,它把彩色信息表示为 3 种属性:即色调( $H$ )、饱和度( $S$ )和亮度( $V$ ),这种颜色模型可用三维空间坐标系统表示<sup>[21]</sup>,如图 4 所示.

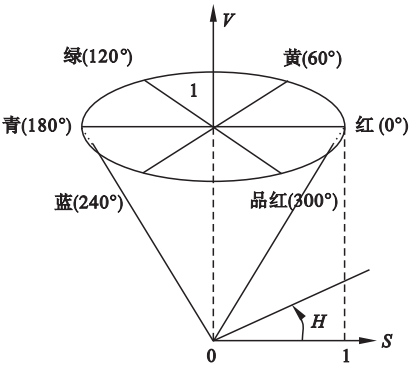


图 4 HSV 颜色空间模型

Fig. 4 HSV color space model

HSV 模型的色调由颜色的名称标识,如红色,橙色和绿色,且以  $0 \sim 360^\circ$  的角度测量;亮度是颜色的亮度或黑度,通常以黑色(0%)到白色(100%)的百分比来衡量;饱和度指颜色的深浅程度,用百分比  $0 \sim 100\%$  来度量<sup>[22]</sup>.

为了简化计算,第一步是根据人类颜色感知来等间隔量化 HSV 空间,将色调  $H$  分成 8 块,饱和度  $S$  和亮度  $V$  分别被分成 3 块,量化的色调、饱和度和亮度值分别为  $H$ 、 $S$  和  $V$ ,然后再计算直方图.

$$H = \begin{cases} 0, h \in [0, 25] \cup (340, 360] \\ 1, h \in (25, 70] \\ 2, h \in (70, 115] \\ 3, h \in (115, 160] \\ 4, h \in (160, 205] \\ 5, h \in (205, 250] \\ 6, h \in (250, 295] \\ 7, h \in (295, 340] \end{cases} \quad (9)$$

$$S = \begin{cases} 0, s \in [0, 0.3] \\ 1, s \in (0.3, 0.7] \\ 2, s \in (0.7, 1] \end{cases} \quad (10)$$

$$V = \begin{cases} 0, v \in [0, 0.3] \\ 1, v \in (0.3, 0.7] \\ 2, v \in (0.7, 1] \end{cases} \quad (11)$$

根据上述量化步骤,三个颜色分量被组合成一维特征向量:

$$l = HQ_sQ_v + SQ_s + V. \tag{12}$$

其中,  $Q_s$  和  $Q_v$  分别是  $S$  和  $V$  的量化级数. 当取  $Q_s = 3, Q_v = 3$  时, 式(12)表示为

$$l = 9H + 3S + V. \tag{13}$$

三种颜色分量的这种显着权重降了图像亮度和饱和度对检测结果的影响, 并且可以充分利用颜色特征来检测图像.

按上述量化方法,  $l$  取值范围为  $[0, 1, 2, \dots, 71]$ , 通过计算  $l$  即可获得 72 维的颜色直方图.

图 5 显示了提取 6 号石材样板图像颜色特征值的结果.

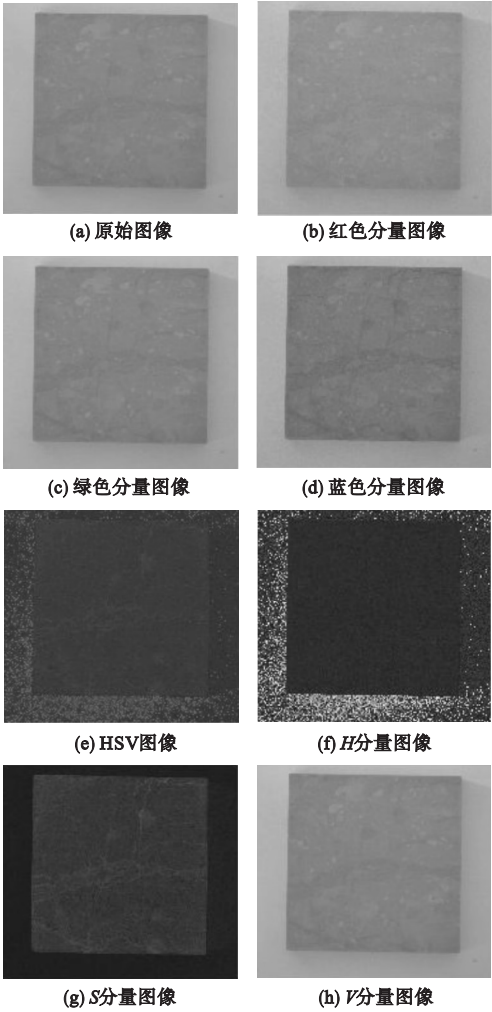


图 5 颜色特征值提取

Fig. 5 Color feature extraction

1.4 色号匹配

笔者采用的色号匹配是用不同图像在颜色特征上的相似性度量来实现的, 包括模糊匹配和精确匹配.

模糊匹配是指在上述特征提取方法下先把特征矢量中的各特征值单位化, 然后, 利用模板图像  $Q$  的特征向量与数据库图像  $K$  的特征向量之间的欧几里德距离  $D$ , 其计算公式为

$$D = [ \sum (L_Q - L_K)^2 ]^{\frac{1}{2}}. \tag{14}$$

式中:  $L_Q$  为样板图像特征单位化的特征矢量;  $L_K$  为数据库图像特征单位化的特征矢量. 计算得出最小的距离值所对应的数据库抛光石材色号即为初步匹配成功的色号.

初步确定该待测抛光石材色号后开始进行精确匹配, 即调用模糊匹配成功的标准抛光石材图像, 通过在待测抛光石材图像滑动标准抛光石材图像块进行精确匹配. 精确匹配公式为

$$R_{ccorr}(x, y) = \sum_{x', y'} [ (x, y) \cdot I(x + x', y + y') ]^2. \tag{15}$$

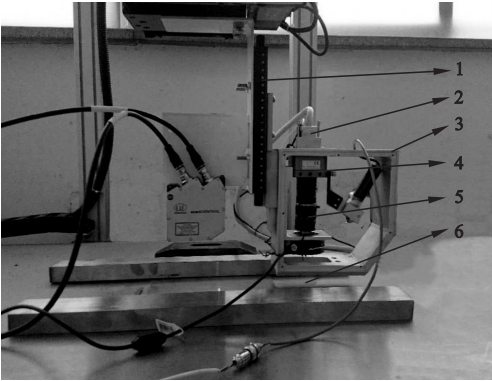
式中:  $R_{ccorr}$  为匹配值. 当  $R_{ccorr} = 1$  时, 匹配成功, 并且该值越接近于 1, 匹配效果越好. 当  $R_{ccorr} = -1$  时, 匹配失败, 且其值越接近于 -1, 匹配效果越差.  $R_{ccorr} = 0$  时, 表示没有任何相关性.

2 系统设计

2.1 硬件系统设计

根据检测装置基本原理及抛光石材表面色差的特点, 成功搭建了如图 6 所示的抛光石材表面色差检测系统实验装置. 该装置由高度调整装置、支架、CCD 工业摄像机、光学镜头和实验台几部分构成. 竖直方向的主支架固定在实验台上, 摄像机通过螺钉安装在副支架上, 调节高度调整装置可使副支架沿主支架上下移动实现摄像机调焦操作, 采用 BASLER acA1600 - 20gc 工业摄像机拍照,

通过网口连接计算机,应用与相机配套软件 Basler pylon 采集图像并储存于计算机内。



1.高度调整装置;2.采集网口;3.支架;4.CCD工业摄像机;  
5.光学镜头;6.样板放置台。

图 6 石材表面色差检测系统实验装置

Fig. 6 Experimental device for detecting the color difference on stone surface

实验时,将待测石材样板放置在样板放置台上,确保光照条件一致。调节高度调整装置,使摄像机采集到的图像最为清晰,然后采集图像并保存,再进行下一块样板的采集。接下来结合 MATLAB 软件对保存好的原始图像做图像处理,完成石材样板表面颜色的提取及识别。最后与人工肉眼检测结果比较分析,完成整个实验过程。

2.2 软件系统设计

笔者利用 MATLAB 软件对 CCD 工业相机拍摄的石材图像进行提取,处理和分析,完成了石材图像采集到颜色识别的过程。根据流程图编写控制系统,图像分析界面如图 7 所示。

该检测系统是基于 MATLAB GUI 平台进行开发的,用于抛光石材表面颜色的识别。通过控制系统,可以对采集的照片进行图像预处理,图像分割,色差检测和色号匹配,完成抛光石材表面颜色的检测工作,实现对石材颜色进行识别。主界面相当于整个系统的一个菜单,各项操作均为菜单操作,每一个菜单都对应流程图中的一个模块,按次序点击选项,就会对打开的图像完成对应的处理。

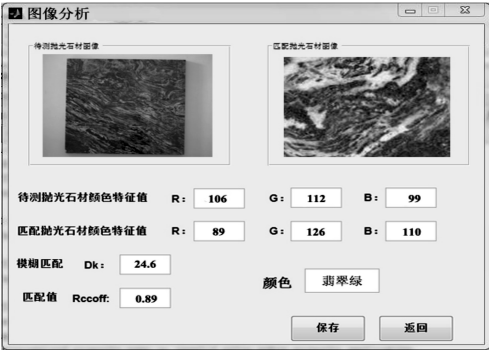


图 7 图像分析界面

Fig. 7 Image analysis interface

3 实验及结果分析

抛光石材表面色差检测系统实验装置调试完成后,在光照充足的条件下,选取了 6 块实际长宽为 140 mm × 150 mm 的标准石材样板进行了实验。石材样板如图 8 所示。

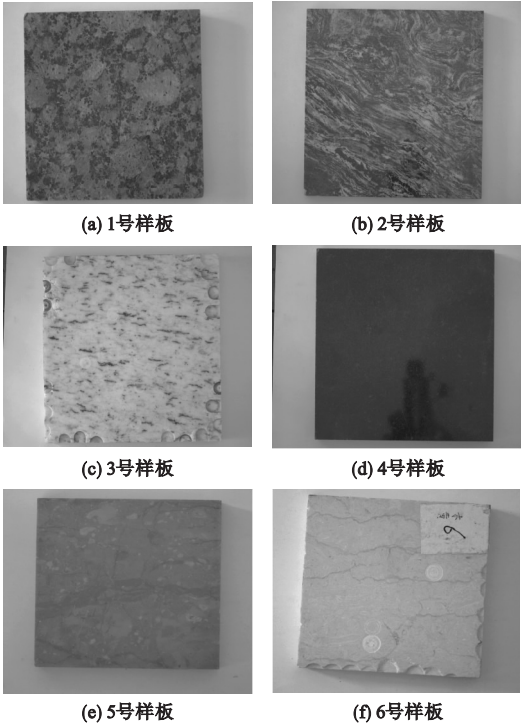


图 8 石材样板图

Fig. 8 Stone model diagram

根据上述原理,基于 MATLAB 软件编写程序,并对实验所得图像进行预处理,并进行灰度门限处理得到每块样板的红、绿、蓝三色分量的直方图,图 9 为 2 号样板的颜色分

量直方图.

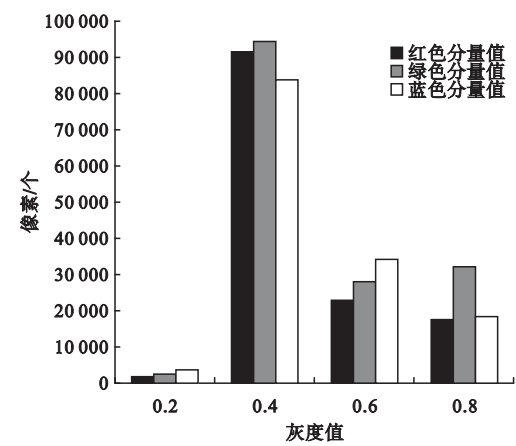


图9 颜色分量直方图

Fig. 9 Color component histogram

根据直方图选取一组合适的阈值 $t_1$ 和 $t_2$ 代入式(8)~(11),得到分割的最佳阈值.根据公式(12)编写程序计算每块样板的红、

绿、蓝三色分量,将红、绿、蓝三色分量值代入式(13)、(14),计算最小距离值和匹配值.其结果如表1所示.

从表1中可以看到,第一个样本的红色分量 $\mu_r$ 在三个颜色分量中占比例较大,显示颜色偏红色;样本2的 $\mu_g$ 占的分量较大,所显示颜色偏向于绿色;样本3的三个分量值均等,且更接近255,故而样本呈白色,其中夹杂少量黑点;样本4的三个分量都很小,按纯黑色标准其RGB值应均为0,因为样板有少许白点,或是反光的影响导致其值并不为0;样本5的红色分量所占比例略大于其余二者,因而颜色显示偏向于红色;样本6的颜色与标准米黄(RGB值分别为247,238,214)对比,颜色略深,从数值上看各色分量均略低,因为石材存在不均匀成分,均值比标准值小,总体上呈现出的色泽与米黄接近.

表1 实验测量结果

Table 1 Experimental measurement results

样本	红色分量 $\mu_r$	绿色分量 $\mu_g$	蓝色分量 $\mu_b$	最小距离值 $D_K$	匹配值 $R_{corr}$	产品名称	人眼识别颜色
1	220	165	147	22.4	0.87	金钻麻	深红
2	106	112	99	24.6	0.89	翡翠绿	浅绿
3	212	212	212	28.3	0.82	美国白麻	白黑相间
4	28	27	20	17.3	0.87	蒙古黑	黑色
5	145	128	115	15.0	0.85	浅咖网	浅棕
6	211	195	176	23.0	0.87	新米黄	米黄

4 结 论

(1)笔者设计了基于 CCD 摄像机石材表面色差检测的硬件系统,选择 BASLER acA1600-20gc 工业摄像机采集图像.通过与人眼识别的颜色对比,验证了检测系统的可行性.

(2)利用图像处理技术完成对待测石材图像提取颜色特征值得到数字化的颜色,与标准石材的颜色特征值分别比对,从实验结果来看,该系统基本可以完成石材抛光表面的颜色识别,实现石材表面颜色从模糊识别到数字化识别过程,量化识别与模糊识别的

结果相近似,为石材表面色差自动化检测提供理论和实验基础.

参考文献

[1] 谭金华. 国内外石材产业概况及发展趋势[J]. 超硬材料工程, 2008(4): 37-41. (TAN Jinhua. General situation and development trend of domestic and foreign stone industry[J]. Superhard material engineering, 2008(4): 37-41.)

[2] 赵民,武晓龙. 石材表面的线类缺陷检测[J]. 现代制造工程, 2017(2): 113-116. (ZHAO Min, WU Xiaolong. Lines defect detection on the surface of the stone[J]. Modern manufacturing engineering, 2017(2): 113-116.)

[3] 赵民,周嘉伟. 基于 CCD 摄像机石材表面粗



- 糙度检测方法[J]. 光学技术, 2018, 44(3): 310-314.  
(ZHAO Min, ZHOU Jiawei. Detection method of stone surface roughness based on CCD camera[J]. Optical technique, 2018, 44(3): 310-314.)
- [4] 曹利钢, 唐磊, 冯浩. 基于计算机视觉的墙地砖外形检测系统设计[J]. 陶瓷学报, 2018, 39(3): 332-335.  
(CAO Ligang, TANG Lei, FENG Hao. Design of tile appearance inspection system based on computer vision[J]. Journal of ceramics, 2018, 39(3): 332-335.)
- [5] 毕明德, 孙志刚, 李叶松. 基于机器视觉的布匹疵点检测系统[J]. 仪表技术与传感器, 2012(12): 37-39.  
(BI Mingde, SUN Zhigang, LI Yesong. Fabric defect detection system base on machine vision[J]. Instrument technique and sensor, 2012(12): 37-39.)
- [6] 那丽红. 基于 CCD 石材大板在线测量系统研究[D]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2011.  
(NA Lihong. Research on on-line measurement system based on CCD stone slab[D]. Shenyang: Shenyang Jianzhu University, 2011.)
- [7] YANG Xue, WEI Zhicheng. Video segmentation and summarization based on genetic algorithm[C]// International congress on image and signal processing. [S. l.]: IEEE, 2011: 460-464.
- [8] ARORA S, ACHARYA J, VERMA A, et al. Multilevel thresholding for image segmentation through a fast statistical recursive algorithm[J]. Pattern recognition letters, 2008(2): 119-125.
- [9] MATOS F M D S, SOUZA R M C R D. Hierarchical classification of vehicle images using NN with conditional adaptive distance[C]// Neural information processing. [S. l.]: Springer Berlin Heidelberg, 2013: 745-752.
- [10] 康牧, 李永亮. 一种基于正切图像处理(TIP)模型的图像滤波算法[J]. 计算机科学, 2012(4): 258-260.  
(KANG Mu, LI Yongliang. Image filtering algorithm based on TIP model[J]. Computer science, 2012(4): 258-260.)
- [11] 蒋俊正, 程小磊, 欧阳缙. 双原型离散傅里叶变换调制滤波器组的快速设计方法[J]. 电子与信息学报, 2015(11): 2628-2633.  
(JIANG Junzheng, CHENG Xiaolei, OUYANG Shan. Fast design of double-prototype discrete fourier transform modulated filter banks[J]. Journal of electronics & information technology, 2015(11): 2628-2633.)
- [12] AWAL M A, MOSTAFA S S, AHMAD M, et al. An adaptive level dependent wavelet thresholding for ECG denoising[J]. Biocybernetics & biomedical engineering, 2014, 34(4): 238-249.
- [13] 何德军. 基于 FPGA 的图像中值滤波处理技术研究[J]. 现代防御技术, 2014(2): 111-115.  
(HE Dejun. Median filtering for image processing based on FPGA[J]. Modern defense technology, 2014(2): 111-115.)
- [14] ZHANG J. An efficient median filter based method for removing random-valued impulse noise[J]. Digital signal processing, 2010, 20(4): 1010-1018.
- [15] 李晓峰, 徐军, 罗积军, 等. 激光主动成像图像噪声分析与抑制[J]. 红外与激光工程, 2011(2): 332-337.  
(LI Xiaofeng, XU Jun, LUO Jijun, et al. Noise analyzing and denoising of intensity image for laser active imaging system[J]. Infrared and laser engineering, 2011(2): 332-337.)
- [16] YUKSEL M E, BASTURK A. Application of type-2 fuzzy logic filtering to reduce noise in color images[J]. Computational intelligence magazine, 2012, 7(3): 25-35.
- [17] 祝贵, 杨恢先, 岳许要. 自适应的最大散度差图像阈值分割法[J]. 计算机工程与应用, 2013(15): 188-191.  
(ZHU Gui, YANG Huixian, YUE Xuyao. Thresholding image segmentation based on adaptive maximum scatter difference[J]. Computer engineering and applications, 2013(15): 188-191.)
- [18] 周莉莉, 姜枫. 图像分割方法综述[J]. 计算机应用研究, 2017(7): 1921-1928.  
(ZHOU Lili, JIANG Feng. Survey on image segmentation methods[J]. Application research of computers, 2017(7): 1921-1928.)
- [19] DENG Caixia, MA Weifeng, YIN Yin. An edge detection approach of image fusion based on improved sobel operator[C]// International congress on image and signal processing. [S. l.]: IEEE, 2011: 1189-1193.
- [20] WEN J, YAN Z, JIANG J. Novel lattice boltzmann method based on integrated edge and region information for medical image segmentation[J]. Bio-medical materials and engineering, 2014, 24(1): 1247-52.
- [21] 王娟, 孔兵, 贾巧丽. 基于颜色特征的图像检索技术[J]. 计算机系统应用, 2011, (7): 160-164.  
(WANG Juan, KONG Bing, JIA Qiaoli. Color-based image retrieval[J]. Computer systems & applications, 2011, (7): 160-164.)