

基于单目多视角视觉的珍珠品质检测*

汤一平 夏少杰 李陈荣 朱治亮 陈新峰 冯亦军

(浙江工业大学信息工程学院, 杭州 310023)

摘要: 利用单目多视角摄像装置直接获取5个不同视角的珍珠表面图像,对其进行图像预处理并按照成像规则进行融合拼接,从融合拼接的珍珠全景图像中提取出珍珠表面颜色、光泽度及均匀度等特征参数;依据与国家标准相一致的判断指标与相应的检测算法来识别和检测珍珠品质。实验结果表明,设计的基于单目多视角机器视觉装置能保证在一个统一的颜色系统中一次获得珍珠整个球体表面的图像,可实时完成珍珠的颜色、光泽度及均匀度等外观品质指标的视觉检测与分类,各个指标的检测精度均达到了80%以上。

关键词: 珍珠 品质检测 机器视觉 单目多视角 图像融合

中图分类号: TP391.4; TS933.23 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)04-0276-08

引言

珍珠是一种珍贵的有机宝石,其质量取决于大小、形状、颜色、光泽度和瑕疵等外观特性,其中评价珍珠质量的主要标准是光泽度、颜色及均匀性。珍珠光泽实际上是珍珠质从表面到疏松层由光的反射散射综合作用形成的。珍珠光泽的强弱与珍珠层厚度、珍珠层文石或方解石排列的有序程度、珍珠的生长状况、水体微量元素等有密切关系,它既是珍珠层厚度的一种外在指标,又是珍珠母贝生长健康情况的一种体现。在珍珠饰品中,只有光泽度较好并且相互之间颜色差异较小的饰品才具有更高的价值。因此,对珍珠颜色、光泽度以及色度均匀性的检测与分类尤为重要。

目前国内外对珍珠颜色、光泽度和色度均匀性的分类研究比较鲜见,国外已有相关测量珍珠光泽度级别和色度级别的检测设备,价格高达几十万美元,具体相关资料没有披露。目前国内对珍珠颜色和光泽度测量与分类的研究仍处于起步阶段,李革等^[1-2]用 HIS 颜色模型和 HSL 颜色模型分别对珍珠颜色和光泽度进行了测量与分类,由于检测所用珍珠图像属于平面图像以及缺少对珍珠表面的漫反射成分和镜面反射成分的有效分析,导致检测精度不够理想。另外,在珍珠质量鉴定中均匀度也是一个非常重要的检测指标,因此研究和开发一种快速、准确、高效的珍珠颜色光泽度及均匀度的测量方法和设备显得尤为重要。

珍珠的珠层主要包括晶体微层和壳角蛋白交替

年轮状同心分布的珍珠质层,二分光反射模型能较好地揭示珍珠表面的光反射机制。光线在珍珠表面的反射主要由2部分组成,即镜面反射光和漫反射光。这2部分的光线对判别珍珠的颜色和光泽有着十分重要的意义。光滑表面的反射光一般很强,而粗糙表面的漫反射光由于射向各个方向,则其亮度相对比较弱。因此,珍珠高反光区^[3]中包含着大量的光亮信息,在检测珍珠光泽度的时候需要特别关注;对于漫反射光形成的光亮区域则主要包含着物体表面光谱反射率等信息,尤其适用于珍珠颜色的检测。本文将二分光模型作为设计光源和检测光泽度及颜色的理论基础,对5个不同视角的珍珠图像进行融合检测珍珠品质。

1 单目多视角立体视觉装置设计

1.1 装置构成

为了一次性、全方位地获取被检珍珠整个球体表面的图像,本文设计了由1台普通 CMOS 摄像机和4个平面镜构成的单目多视角立体视觉装置,通过一个摄像机的一次成像来获取从5个不同视角拍摄的珍珠表面图像,实现一种以珍珠为观察中心的全方位视觉装置。为了能较好地检测珍珠的颜色、光泽度及均匀度,设计时要求平面镜的反射率达到80%以上,其他设计细节参照文献[4]。

1.2 照明光源系统设计

照明系统是珍珠检测系统的重要组成部分,设计一个合适的照明系统可以使检测系统达到最佳效果。衡量一个照明系统性能的优劣有两个重要指

标:照明均匀性和能量利用率。珍珠是由薄层的文石矿物日久天长层叠而成的,一般光线入射透过珍珠薄层文石时,会发生反射及干涉等光学现象(这种现象符合二色反射模型条件),如果直接用点光源照明会使得珍珠表面产生较强的镜面反射,对珍珠图像的获取产生很大的影响。不均匀的照明会造成珍珠表面各部分反光不一致,从而会产生珍珠局部的强光现象,理想的光源设计应将照明光源设计成体光源,使珍珠整个表面都能均匀地受到柔光照射。

本文设计了一种面向珍珠视觉检测的照明系统。采用数只白色LED均匀分布在摄像机周围,在各LED前面罩着白色薄膜,使得LED光更加柔和平均;由于设计的单目多视角立体视觉箱中有4个平面镜围绕着被检珍珠,从视觉箱的顶部发射过来的柔和平面光经4个平面镜折射构成了一个柔和体光源,均匀地照射到整个珍珠的表面。为了取得好的拍摄效果,为下一步的图像处理作准备,需要选择与珍珠颜色差异较大的黑色作为背景,并且背景不能反光。设计中采用含棉量较高、表面较为稠密且不容易反光的绒布作为背景,将被检珍珠放置在绒布上面。

2 珍珠颜色、光泽度及均匀度检测

光线在珍珠表面的反射主要由2部分组成,即镜面反射光和漫反射光。根据文献[5],物体表面的反射光 I 的强度可以表示为镜面反射 I_d 与漫反射 I_s 的叠加,这就是所谓的二色反射模型,即

$$I = I_d + I_s \quad (1)$$

将物体表面反射波长为 λ 的光强记为 $C(x, \lambda)$,根据式(1)得

$$C(x, \lambda) = \alpha(x)S(\lambda)E(\lambda) + \beta(x)E(\lambda) \quad (2)$$

式中 $\alpha(x)$ ——漫反射权重系数

$S(\lambda)$ ——物体表面反射率

$E(\lambda)$ ——照明能量分布函数

$\beta(x)$ ——镜面反射权重系数

x ——像素坐标

式(2)的右边两项分别代表漫反射和镜面反射成分。

根据文献[6], $S(\lambda)$ 和 $E(\lambda)$ 又可以展开成3个基底函数的线性叠加,即

$$E(\lambda) = \sum_{i=1}^3 \varepsilon_i E_i(\lambda) \quad (3)$$

$$S(\lambda) = \sum_{i=1}^3 \sigma_i S_i(\lambda) \quad (4)$$

式中, $E_i(\lambda)$ 可参照文献[7]中的结果, $S_i(\lambda)$ 参照文献[8]的主成分分析结果, ε_i 、 σ_i 为 $E_i(\lambda)$ 、 $S_i(\lambda)$ 的权重系数,反射光经过摄像机成像后得到像素值

$\rho_k(x)$,计算式为

$$\rho_k(x) = \int C(x, \lambda) R_k(\lambda) d\lambda \quad (k=1, 2, 3) \quad (5)$$

式中 $R_k(\lambda)$ ——摄像机响应函数

为了能分别计算得到物体表面的漫反射向量 Ω 和镜面反射向量 p ,这里引入

$$\begin{cases} p_i^{(j)} = \int E_i(\lambda) R_j(\lambda) d\lambda \\ p = [p_1^{(j)}, p_2^{(j)}, p_3^{(j)}] \\ (i=1, 2, 3; j=1, 2, 3) \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} \Omega_i^{(j)} = \sum_{i=1}^3 \varepsilon_i \int E_i(\lambda) S_j(\lambda) R_j d\lambda \\ \Omega = [\Omega_1^{(j)}, \Omega_2^{(j)}, \Omega_3^{(j)}] \\ (i=1, 2, 3; j=1, 2, 3) \end{cases} \quad (7)$$

$$p = [p_1, p_2, p_3] \quad (8)$$

$$\sigma = [\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3]^T \quad (9)$$

$$\varepsilon = [\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3]^T \quad (10)$$

$$\Omega\sigma = \sum_{i=1}^3 \varepsilon_i \int E_i \sum_{j=1}^3 (S_j R_j \sigma_j) d\lambda \quad (11)$$

$$p\varepsilon = p_i^{(j)} \varepsilon_i \quad (12)$$

$$\rho(x) = \alpha(x)\Omega\sigma + \beta(x)p\varepsilon \quad (13)$$

式(13)为成像方程,从中得知,物体表面的颜色是由投影光的光谱成分、物体表面光谱反射率以及摄像机对光谱的敏感度共同决定的。式(13)中的 $p\varepsilon$ 反映了物体表面镜面反射成分强度, $\Omega\sigma$ 反映了漫反射成分强度,并且有 $\alpha(x) + \beta(x) = 1$ 。

通过式(13)能直接计算得到珍珠的颜色,但是计算十分耗时,不利于珍珠的在线检测。由于珍珠表面非常光滑,所拍摄的珍珠图像的高反光区(镜面发射)特别明亮。从工程角度考虑,这部分信息对珍珠的颜色信息提取意义不大,并且会对珍珠的颜色识别带来一定的干扰,故此在颜色识别时将高反光区域进行剔除,仅考虑式(13)中的 $\alpha(x)\Omega\sigma$ 这一项(视 $\alpha(x)$ 远大于 $\beta(x)$)。在光泽度识别时则主要利用高反光区域,即仅考虑 $\beta(x)p\varepsilon$ (视 $\alpha(x)$ 远小于 $\beta(x)$)。为此,把拍摄到的珍珠图像分为反光区和光亮区。反光区主要用于珍珠光泽度的识别,光亮区用于珍珠颜色的识别,使问题的求解简单化。

2.1 图像预处理

图像预处理模块的处理流程如图1所示。通过图像预处理最终得到的是融合拼接后的全景珍珠图像的光亮区部分和反光区部分。再根据珍珠颜色、光泽度及均匀度的视觉检测原理,对整个珍珠表面进行颜色、光泽度及均匀度识别和检测。

2.1.1 图像旋转

由于采用的视觉检测装置所获取的珍珠图像并非上下左右分布,为使图像拼接更加方便,需要对获

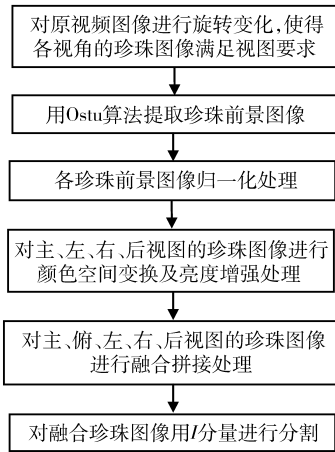


图1 多视角珍珠图像预处理流程图

Fig.1 Flow chart of pearl images preprocessing in multi-view

取的珍珠图像进行旋转,使它满足上下左右分布。这样在进行图像拼接过程中所有视图就能在水平或者垂直方向上直接对齐。

2.1.2 珍珠前景提取及归一化处理

珍珠在检测箱中进行检测时,光照条件、图像背景的灰度和珍珠的反射光强度均恒定在一定区域内,本文采用了全局 Ostu 算法对 5 幅珍珠图像进行分割,由于珍珠区域最外面有一层光晕,需利用腐蚀算法去除最外层的光晕。

在提取珍珠前景后,还需要对所有视角的珍珠图像进行归一化处理。由于真实相机与虚拟相机拍摄距离不同,俯视图与其他视角的图像会存在大小差别,因此需要调整各个视角珍珠前景的大小,使其满足“长对正,高平齐,宽相等”的条件。

2.1.3 亮度增强

由于左、主、右、后视图是通过折反射成像的,珍珠图像的亮度受到镜面反射率的影响会有一些衰减。因此,需要调整左、主、右、后视图中珍珠图像的亮度,使得调整后的亮度与折射成像的俯视图一致。本文采用彩色图像增强的方式对左、主、右、后视图的拼接融合图像进行处理。首先将左、主、右、后视图的拼接融合图像转换到 HSI 颜色空间,公式为

$$\begin{cases} H = \arcsin \frac{R - G + R - B}{2[(R - G)^2 + (R - B)(G - B)]^{\frac{1}{2}}} \\ S = 1 - \frac{3}{R + G + B} [\min(R, G, B)] \\ I = \frac{1}{3}(R + G + B) \end{cases} \quad (14)$$

然后根据镜面制造商提供的镜面反射率为 80%,对亮度分量 I 进行调整,调整后亮度为

$$I' = 1.2I \quad (15)$$

经过亮度调整后的左、主、右、后视图的拼接融合图

像与俯视图中的图像具有相同亮度。

2.1.4 图像融合拼接

经过亮度增强后,为了对反映整个珍珠表面品质的颜色、光泽度和均匀度等指标进行全面检测,需要对 5 幅从不同视角获取的珍珠图像进行拼接融合。

对于单目多视角立体视觉检测装置,本文将 4 个平面镜与中心轴线的倾斜角度设计成满足实体摄像机与各虚拟摄像机之间以及各虚拟摄像机之间都各为相互垂直透视平面关系。这样各视图之间就满足“长对正、高平齐、宽相等”的对应关系,根据画法几何学的基本理论,空间点在 2 个不同方向的投影可以完全确定点在空间的位置,即点和线在不同视图中的坐标值应具有对应相等的关系。对于本文中的 5 个视图,若用 T 、 M 、 R_c 、 R 、 L 分别表示俯视图、主(前)视图、后视图、右视图和左视图上的点的集合,那么主视图中的点 m ($m \in M$) 具有 x 、 z 坐标,用 $x(m)$ 、 $z(m)$ 表示;同理,俯视图中的点 t ($t \in T$) 用 $x(t)$ 、 $y(t)$ 表示,后视图中的点 R_c ($r_c \in R_c$) 用 $x(r_c)$ 、 $z(r_c)$ 表示,右视图中的点 r ($r \in R$) 用 $y(r)$ 、 $z(r)$ 表示,左视图中的点 l ($l \in L$) 用 $y(l)$ 、 $z(l)$ 表示。空间某点在不同视图中的坐标值应满足以下关系:

$$\begin{cases} x(m) = x(t) \text{ 或 } x(t) = x(r_c) \\ y(t) = y(r) \text{ 或 } y(t) = y(l) \\ z(m) = z(r) \text{ 或 } z(m) = z(l) \end{cases} \quad (16)$$

对重叠区域图像采用图像融合方法^[9]时,因为加权平均法具有算法简单、运算速度快的优点,所以采用加权平均法融合策略;该算法的思想是将 2 幅图像对应的像素点乘以一个加权系数后再相加得到融合图像的像素值;对于源图像和拼接图像,通过融合得到的图像为

$$I(x, y) = \begin{cases} I_1(x, y) & ((x, y) \in I_1) \\ L(x, y)(1 - \alpha_1) + R(x, y)\alpha_1 & ((x, y) \in (I_1 \cap I_2)) \\ I_2(x, y) & ((x, y) \in I_2) \end{cases} \quad (17)$$

其中 $\alpha_1 = s_1 / (s_1 + s_2)$

式中 α_1 ——权值,取 $[0, 1]$

$L(x, y)$ ——图像 I_1 的重叠区域

$R(x, y)$ ——图像 I_2 的重叠区域

s_1 —— I_1 中重叠区域的所有像素和

s_2 —— I_2 中重叠区域的所有像素和

式中, $L(x, y) \in I_1$, $R(x, y) \in I_2$, α_1 的值可以由重叠区域的像素点计算得到,在实际融合过程中,由于不同视角的珍珠光照角度不同,采用上述融合算法会

在融合区域出现较大的色差。因此,对于更高要求的图像融合可以采用拉普拉斯金字塔方法^[10]对珍珠图像进行二次融合处理,使得珍珠的重叠区域过渡更加平滑。

考虑到珍珠基本上为圆形球体,本文用主视图上的珍珠图像水平直径 D 为拼接融合的基准。首先将左视图和主视图、右视图和后视图按“高平齐和宽相等”原则进行拼接融合,得到左、主和右、后视图的融合拼接图像,拼接融合中,水平方向直径上的重合长度为 $0.287D$;然后对左、主和右、后视图的融合拼接图像进行二次融合拼接得到左、主、右、后视图的融合拼接图像,融合拼接处在主视图和右视图部分,拼接融合中,水平方向直径上的重合长度仍然为 $0.287D$ (图2)。

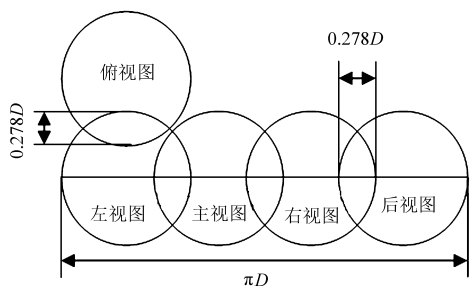


图2 珍珠融合示意图

Fig.2 Schematic diagram of pearl fusion

最后对二次融合拼接得到左、主、右、后视图的融合拼接图像与俯视图中的珍珠图像在左视图部位进行融合拼接(图2),拼接对齐的策略是符合“长对正”的原则,拼接融合中,垂直方向直径上的重合长度为 $0.287D$ 。这样一个三维珍珠球面的5幅不同视角的图像拼接融合为一幅珍珠全景图像。

2.1.5 基于 I 分量的图像分割

为了在珍珠全景图像上分割出反光区和光亮区,用 I 分量对珍珠全景图像进行分割。具体做法是根据亮度信息 I 用直方图进行分割,在直方图上选取一个合适的阈值 T ,依据原理是反光区的亮度要高于光亮区的亮度,其中反光区主要用于珍珠光泽度的识别,光亮区用于珍珠颜色的识别。

2.2 颜色识别

依据 GB/T 18781—2008 珍珠分级国家标准对被检珍珠进行分级。珍珠的颜色分为白色、红色、黄色、黑色及其他5个系列,各系列包括多种体色。珍珠颜色以体色描述为主,伴色和晕彩描述为辅。

在一幅全景珍珠图像中,往往少数几种颜色就涵盖了图像的大多数像素,而且不同颜色在图像中的出现概率是不同的,因此可以通过统计图像中各种颜色出现的概率,选出最频繁出现的几种作为主色。本文把色调 H 和饱和度 S 用来表示颜色的类

别与深浅程度。在识别珍珠的颜色和光泽度时,首先把珍珠按照颜色 H 、饱和度 S 分类,然后,在同一色系、同一饱和度等级下根据 I 分量进行分类。

识别被检珍珠主色、伴色和晕彩的方法是:对 HSI 颜色模型下全景珍珠图像光亮区域的 H 分量做直方图,分析直方图上被检珍珠的分布情况,采用分水岭算法扫描全景珍珠 H 分量直方图,如果 H 分量直方图中只有1个峰值,那么该峰值处的 H 分量就判定为被检珍珠的主色;如果 H 分量直方图中除了有1个最高峰值以外还有1个或者多个次峰值,那么最高峰值处的 H 分量就判定为被检珍珠主色,次高峰处的 H 分量就判定为被检珍珠的伴色和晕彩的颜色。珍珠颜色的细分主要通过饱和度 S 的阈值来确定被检珍珠属于哪种颜色大系列下的细分类别。

2.3 光泽度检测

珍珠光泽度的识别,通过融合拼接后的全景珍珠图像中的反光区域来反映。一般来说,反光区域的面积越大珍珠的光泽度越好。因此,珍珠的光泽度指标与珍珠的反光区和光亮区的面积比有关。

根据式(13),利用珍珠图像的反光区和光亮区的光强度信息加权得到珍珠的亮度,计算公式为

$$I_p = \frac{S_s}{n(S_s + S_d)} \sum_{i=0}^n I_s(i) + \frac{S_d}{m(S_s + S_d)} \sum_{j=0}^m I_d(j) \quad (18)$$

式中 S_s ——全景珍珠图像中光亮区面积

S_d ——全景珍珠图像中反光区面积

$\frac{1}{n} \sum_{i=0}^n I_s(i)$ ——光亮区的光强度平均值

$\frac{1}{m} \sum_{j=0}^m I_d(j)$ ——反光区的光强度平均值

针对珍珠亮度分选的模糊特性,应用柯西隶属函数作为光泽度强弱分析的数学模型,进行光泽度等级的判别;由于珍珠的颜色 H 和饱和度 S 均和亮度 I 有一定的关联,珍珠的光泽度需要在同一颜色、同一饱和度的基础上进行分选;因此,设计了相应数据库的光泽度分类表,对不同颜色和不同饱和度的珍珠进行分类,形成一张珍珠颜色表,表中的色度 H 与饱和度 S 是从专业人员挑选出的17档颜色珍珠中直接测得的;然后在珍珠颜色表中增添与亮度 I 有关的光泽度,在识别时,根据颜色和饱和度检测结果查找珍珠颜色表得到光泽度,然后将所得到4个光泽度分别与检测所得到的亮度 I 进行比较,最接近的就是所识别的光泽度。

根据国家标准被检珍珠的光泽度级别可分为

$$V = \{A(\text{极强}), B(\text{强}), C(\text{中}), D(\text{弱})\}$$

根据光泽分选经验和大量数据分析得出,对于每一种颜色的珍珠都有其相对应的光泽度指标,各隶属函数为

$$\begin{cases} \mu_A(I_p) = \frac{1}{1 + \alpha (I_p - a_A)^\beta} \\ \mu_B(I_p) = \frac{1}{1 + \alpha (I_p - a_B)^\beta} \\ \mu_C(I_p) = \frac{1}{1 + \alpha (I_p - a_C)^\beta} \\ \mu_D(I_p) = \begin{cases} 1 & (I_p \leq \alpha) \\ \frac{1}{1 + \alpha (I_p - a_D)^\beta} & (I_p > \alpha) \end{cases} \end{cases} \quad (19)$$

式中 $\mu_A(I_p)$ ——光泽度为极强的隶属度
 $\mu_B(I_p)$ ——光泽度为强的隶属度
 $\mu_C(I_p)$ ——光泽度为中的隶属度
 $\mu_D(I_p)$ ——光泽度为弱的隶属度
 a_A ——A分类的光泽度
 a_B ——B分类的光泽度
 a_C ——C分类的光泽度
 a_D ——D分类的光泽度
 α, β ——参数,取 $\alpha = 0.0005, \beta = 2$

如对于某种颜色的珍珠, I_p 位于 200 附近为极强,这样的珍珠表面反射光很明亮,表面映像很清晰; I_p 位于 190 附近为强,这样的珍珠表面反射光明亮,表面能看见物体映像; I_p 位于 185 附近为中,这样的珍珠表面反射不很明亮,表面能照见物体,但映像模糊; I_p 低于 180 无映像;这些信息以被检珍珠光泽度指标的形式保存在珍珠颜色表中,当识别被检珍珠颜色后就能得到其相关的光泽度,分别代入式(19)中的 a_A, a_B, a_C, a_D ,得到

$$\begin{cases} \mu_A(I_p) = \frac{1}{1 + 0.0005 (I_p - 200)^2} \\ \mu_B(I_p) = \frac{1}{1 + 0.0005 (I_p - 190)^2} \\ \mu_C(I_p) = \frac{1}{1 + 0.0005 (I_p - 185)^2} \\ \mu_D(I_p) = \begin{cases} 1 & (I_p \leq 180) \\ \frac{1}{1 + \alpha (I_p - 180)^2} & (I_p > 180) \end{cases} \end{cases} \quad (20)$$

根据式(18)计算得到的被检珍珠 I_p 分量值代入式(20)计算具体的各隶属函数的计算值,选4个隶属函数的计算值中的最大值就是被检珍珠的光泽度判定结果。

2.4 均匀度检测

在某些珠宝级的珍珠检测中,除了要识别珍珠颜色和光泽度以外,还需要对其表面光泽的不均匀

区域以及色度不均匀区域进行测量,只有光泽度较高、光泽和色度的均匀度较好的珍珠才判定为等级较好的珍珠。

对于颜色的均匀度测量,本文只对光亮区的色度进行检测,计算方法为

$$\sigma_c = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} \sqrt{(\bar{H}_s - H_s(i))^2 + (\bar{S}_s - S_s(i))^2} \quad (21)$$

式中 σ_c ——色度均方差,值越小颜色均匀度越好
 \bar{H}_s ——珍珠光亮区中 H 分量的平均值
 $H_s(i)$ ——珍珠光亮区中某个像素的 H 分量值
 \bar{S}_s ——珍珠光亮区中 S 分量的平均值
 $S_s(i)$ ——珍珠光亮区中某个像素的 S 分量值
 N ——珍珠光亮区中像素总数

对于光泽的均匀度测量,本文只对反光区的亮度进行检测,计算方法为

$$\sigma_i = \frac{1}{M} \sum_{j=0}^{M-1} \sqrt{(\bar{I}_d - I_d(j))^2} \quad (22)$$

式中 σ_i ——亮度均方差,值越小光泽均匀度越好
 \bar{I}_d ——珍珠反光区中 I 分量的平均值
 $I_d(j)$ ——珍珠反光区中某像素的 I 分量值
 M ——珍珠反光区中像素总数

3 实验

为了验证本文设计的单目多视角立体视觉检测装置获取珍珠整个球体表面的图像质量,进行了珍珠表面颜色、光泽度和均匀度测量实验。图3为通过单目多视角立体视觉检测装置获取并经阈值前景提取的5个视角的珍珠图像;图4为经过拼接融合处理后的珍珠全景图像,从珍珠的全景图像来看,能有效地反映整个珍珠球体表面的颜色和光泽度特征。图5为经拼接融合后的珍珠全景图像的 I 分量直方图,经阈值 T 分割后分别得到珍珠全景图像的反光区和光亮区,如图6所示。

3.1 颜色和光泽度识别结果

图7是经拼接融合后的珍珠全景图像的 H 分量直方图。实验所选的珍珠具有白色主色、红色伴色,从 H 分量的统计结果发现,白色像素值占总像素的 52.21%,红色像素值占总像素的 41.56%,判别结果是珍珠主色为白色,伴色为红色,与专业检测人员的实际目测结果一致。不同颜色种类的珍珠识别实验结果表明,对于珍珠颜色识别结果与专业人士判定结果具有很好的一致性,5大类别的色系识别精度达到90%以上。对于珍珠色系的细分,本文主要将某种色系大类情况下采用饱和度 S 阈值根据国家标准 GB/T 18781—2008 从深到浅进行细分,细

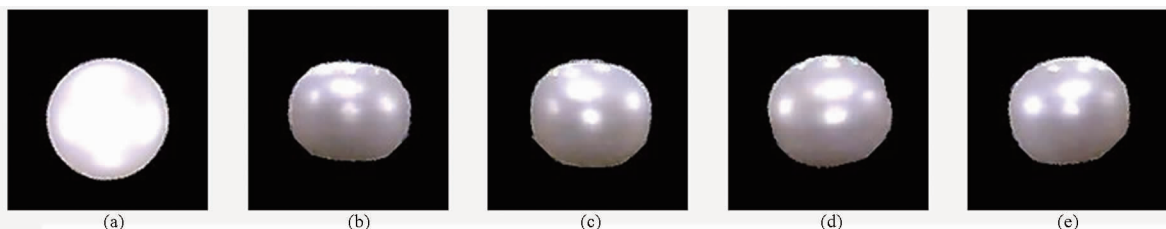


图 3 5 个不同视角的珍珠图像

Fig. 3 Pearl images from five different views

(a) 俯视图 (b) 主视图 (c) 右视图 (d) 后视图 (e) 左视图



图 4 5 个不同视角珍珠图像融合后的图像

Fig. 4 Fused image with five different views pearl images

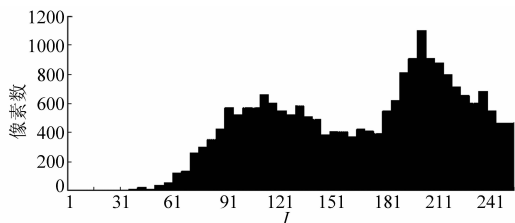


图 5 5 个视角珍珠图像的 I 分量直方图

Fig. 5 I value histogram of five views pearl images



图 6 用 I 值分割后的珍珠图像

Fig. 6 Pearl image segmented with I value

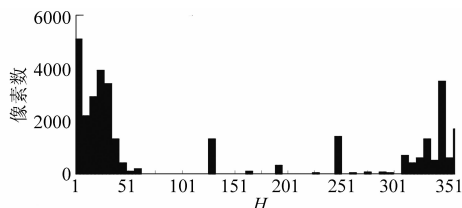


图 7 5 个视角珍珠图像的 H 分量直方图

Fig. 7 H value histogram of five views pearl images

分的结果与专业人员的检测结果具有良好的吻合。

关于珍珠光泽识别实验研究,相对于颜色识别更偏重于心理感受。实验结果发现,在不同色度下

珍珠光泽的心理感受是有差异的。为了与目前人工光泽鉴别结果进行比较验证,本文随机抽取了人工已经分类好的 5 个不同色系情况下的 4 种不同光泽级别珍珠进行识别,检测结果如表 1 所示。

表 1 珍珠光泽度检测结果

Tab. 1 Results of pearl's luster detection

光泽度等级	抽检数目	正确识别个数	正确识别率/%
极强	20	20	100
强	20	18	90
中	20	17	85
弱	20	19	95

3.2 均匀度测量结果

本文对抽检进行光泽度识别的珍珠进一步进行了颜色和光泽的均匀度测量实验,表 2 和表 3 分别为珍珠颜色均匀度和光泽均匀度的检测结果,检测结果与专业人士判定结果基本吻合,表明了本文提出的颜色和光泽均匀度检测方法的有效性。

表 2 珍珠颜色均匀度检测结果

Tab. 2 Results of pearl's chroma uniformity detection

均匀度等级	抽检数目	正确识别个数	正确识别率/%
好	20	17	85
中	20	16	80
差	20	16	80

表 3 珍珠光泽度均匀度检测结果

Tab. 3 Results of pearl's luster uniformity detection

均匀度等级	抽检数目	正确识别个数	正确识别率/%
好	20	18	90
中	20	16	80
差	20	17	85

3.3 检测结果保存和输出

图 8 和图 9 分别为珍珠色度和光泽度检测的人机界面,对于珠宝级珍珠检测,本文还设置了均匀度检测栏。每一粒珍珠的检测结果都保存在检测数据库中,用户可以通过选择任何一个检测结果记录浏览和确认。人机界面上包括被检珍珠形状、大小、光洁度、颜色和光泽度等检测结果报告,同时也显示了 5 幅不同视角拍摄的珍珠图像和融合拼接后的图

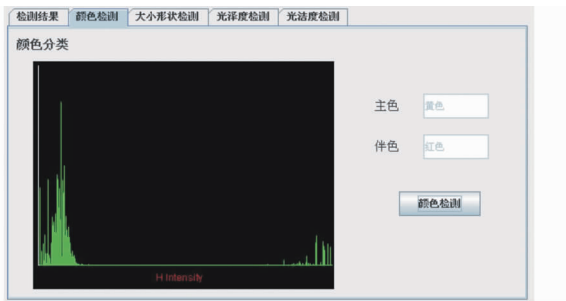


图8 珍珠颜色检测系统界面

Fig. 8 Main user interface of pearl's color detection system



图9 珍珠光泽度检测系统界面

Fig. 9 Main user interface of pearl's luster detection system

像。本文也设计了一种珍珠分级鉴定证书 PDF 格式输出模式,对于珍宝级珍珠鉴定,用户点击人机界面上的自动生成检测报告,装置根据输入的信息检索数据库中存储的检测数据自动生成一张珍珠分级鉴定证书。

4 结论

(1)在进行颜色及光泽度检测时,将整个珍珠球面分解成反光区域和光亮区域两个部分,反光区域用于光泽度检测,光亮区域用于颜色检测,使得在保证具有较高的检测精度的情况下具有较好的实时性能。

(2)对于光泽度检测,设计了相应的光泽度分类表,使光泽度的分类能够在统一的色度与饱和度情况下进行,提高了光泽度检测精度。

(3)对于球面的珍珠色度、光泽及均匀度的检测,在颜色、光泽的识别及均匀度检测时采用从不同视角的5幅图像融合拼接后图像进行综合识别和判断,融合拼接后的珍珠图像具有更全面的检测视角,因而有效地提高了珍珠识别和检测精度。

参 考 文 献

- 李革,李斌,王莹,等.基于HIS颜色模型的珍珠颜色分选方法[J].农业工程学报,2008,24(8):284-287.
Li Ge, Li Bin, Wang Ying, et al. Method for classification of pearl color based on HIS model[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(8):284-287. (in Chinese)
- 李革,李斌,王莹,等.基于HSL模型的珍珠光泽度分选方法[J].农业机械学报,2008,39(6):113-117.
Li Ge, Li Bin, Wang Ying, et al. Classification method of pearl luster degree based on HSL[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(6):113-117. (in Chinese)
- 李革,李斌,王莹,等.珍珠形状的计算机视觉识别[J].农业机械学报,2008,39(7):129-132.
Li Ge, Li Bin, Wang Ying, et al. Pearl shape recognition based on computer vision [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008,39(7):129-132. (in Chinese)
- 汤一平,夏少杰,冯亦军,等.基于单目多视角机器视觉的珍珠在线检测分类装置[J].农业机械学报,2014,45(1):288-292,280.
Tang Yiping, Xia Shaojie, Feng Yijun, et al. Pearl online detecting and grading device based on monocular multi-view machine vision[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(1):288-292,280. (in Chinese)
- David A, Forsyth, Jean Ponce. 计算机视觉——一种现代方法[M].林学圃,王宏,译.北京:电子工业出版社,2004.
- Keisuke T, Yoshinori K, Naoki I. Illuminant color estimation using a polarizing filter and its application to color correction[C]//电子情报通信学会论文集(日)D-II,2001,84(3):480-487.
- Judd D B, Macadam D L, Wyszecki G. Spectral distribution of typical daylight as function of correlated color temperature[J]. Journal of the Optical Society of America, 1964, 54(8):1031-1040.
- Takebe K, Nakauchi S, Usui S. A computational model for color constancy by separating reflectance and illuminance edges within a scene[J]. Neural Networks, 1996, 9(8):1405-1415.
- 李寒,牛纪楨,郭禾.基于特征点的全自动无缝图像拼接方法[J].计算机工程与设计,2007,28(9):2083-2085.
Li Han, Niu Jizhen, Guo He. Automatic seamless image mosaic method based on feature points[J]. Computer Engineering and Design, 2007, 28(9):2083-2085. (in Chinese)
- 赵万金,龚声蓉,刘全,等.一种用于图像拼接的图像序列自动排序算法[J].中国图象图形学报,2007,12(10):1861-1864.
Zhao Wanjin, Gong Shengrong, Liu Quan, et al. An auto-sorting arithmetic for image sequence used in image mosaics[J]. Journal of Image and Graphics, 2007, 12(10):1861-1864. (in Chinese)
- Dowlati M, Guardia M, Mohtasebi S S. Application of machine-vision techniques to fish-quality assessment[J]. TrAC-trends in Analytical Chemistry, 2012, 40:168-179.
- Kita Y. Special section on machine vision and its applications; foreword[J]. IEICE Transactions on Information and Systems,

2012, E95D(7): 1721.

- 13 Lorente D, Aleixos N, Gómez-Sanchis J, et al. Recent advances and applications of hyperspectral imaging for fruit and vegetable quality assessment[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2012, 5(4): 1121 – 1142.
- 14 Tian Yuanyuan, Liu Siyang, Tan Qingchang. Application of detecting part's size online based on machine vision [C] // 2012 International Conference on Future Energy, Environment and Materials, 2012: 1948 – 1956.
- 15 Wang Yan, Tian Subo, Li Chunqiu. Application of machine vision in grading and identification of grafting seedlings [C] // 2nd International Conference on Advances in Materials and Manufacturing Processes, 2011: 1705 – 1708.

Evaluation of Pearl Quality Based on Monocular Multi-view Machine Vision

Tang Yiping Xia Shaojie Li Chenrong Zhu Zhiliang Chen Xinfeng Feng Yijun
(College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: In order to evaluate pearl color and luster, a monocular multi-view imaging device was designed by placing a HD camera in front of a symmetric bucket cavity body which constituted by the multiple pieces of plane mirror. The device could achieve the pearl's surface images taken from five different perspectives. Then image processing was used to fuse the five pearl images and achieve a new image which contained the pearl's whole surface. After that, a pearl's region was divided into highlight areas and bright area, then the characteristic parameter of color was picked-up from bright area and the characteristic parameter of luster from highlight area. Finally, the feature fusion was used to determine the quality of the pearl. The experimental results showed that the monocular multi-view machine vision device could obtain the entire surface of the pearl in the same color system, and accomplish the real-time detection and grading for pearl's color, luster and uniformity.

Key words: Pearl Quality detection Machine vision Monocular multi-view Image fusion

(上接第 258 页)

Biological Effects of Pulsed Electric Field Based on Multi-shelled Dielectric Model of Spherical Cell

Zhang Xiaohui¹ Zhang Zhixia² Li Yanzhen¹ Ma Hongbiao³ Zhang Hongwei⁴ Liu Wufeng¹

(1. College of Electrical Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China

2. School of Information Engineering, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, China

3. Xinke College, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, China

4. The 27th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Zhengzhou 450047, China)

Abstract: In order to determine the electric parameters of pulsed electric field (PEF) biological effects, we researched the response of the equivalent circuit model in the PEF based on multi-shelled dielectric model of spherical cell. The simulation of the transfer function revealed that the cell outer membrane had low-pass filter characteristic and the inner membrane had band-pass filter characteristic. Time domain characteristic of transmembrane potentials on cell outer membrane showed that the pulsed electric field, which had less than 2.83 Hz of PEF frequency, more than 69.7 kV/m of PEF electric field intensity, and ms/ μ s class of pulse width, could produce reversible electroporation on cell outer membrane. Extremely low frequency pulsed electric field of 100 kV/m, 1 Hz and 80 ms was used to treat germinating mung beans seedling. It was found that the seed germination process was significantly promoted: on the 4th day of germination, and the shoot length and root length of germinating mung beans seed increased by 65.8% and 80.2% respectively compared with those of the control group.

Key words: Pulsed electric field Biological Cell multi-shelled dielectric model Simulation