水果表面亮度不均校正及单阈值缺陷提取研究*

李江波　饶秀勤　应义斌

（浙江大学生物系统工程与食品科学学院，杭州 310059）

【摘要】 提出了一种水果表面亮度不均校正算法。以脐橙为研究对象，首先提取 R 分量图像并除去背景后获得原始图像；然后根据照度-反射模型，利用低通滤波获得该图像的入射分量图，将此入射分量图作为该图像的亮度图像；最后，原始图像与亮度图像相除后即为亮度校正后的图像。基于亮度校正后的图像，利用单阈值对水果表面缺陷一次性成功分割。利用开发的算法对正常样本和带有10类不同缺陷的样本共计788幅图像进行处理，总体识别正确率达到97%。

关键词：脐橙　缺陷检测　计算机视觉　亮度校正

中图分类号：TP391.41　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1000-1298(2011)08-0159-05

Correction Algorithm of Illumination Nonuniformity on Fruit Surface and Defects Extraction Using Single Threshold Value

Li Jiangbo　Rao Xiuqin　Ying Yibin

(*College of Biosystems Engineering and Food Science*, *Zhejiang University*, *Hangzhou* 310059, *China*)

Abstract

An algorithm was proposed to overcome the difficulty that defects could not be successfully segmented at one time due to illumination nonuniformity on fruit surface. Navel orange was selected as experiment object. Firstly, the R-component image of navel orange was extracted and original image was obtained by removed R-component image background. Then, incident component of original image was obtained by low pass filtering based on illumination-reflectance model. The incident component was considered as illumination image of original image. Finally, the corrected image was computed by original image dividing by illumination image. Defects were successfully segmented at one time by a threshold value. The sound samples and samples with other ten types of peel diseases were detected by using the proposed method. The experimental result showed that the recognition rate was over 97% based on 788 obtained images.

Key words　Navel orange, Defect detection, Computer vision, Illumination correction

引言

目前，运用机器视觉技术进行水果表面缺陷检测的主要难点之一是由于水果通常呈球体或椭球体，在水果边缘光线的反射方向与相机的夹角很大。根据朗伯的光线反射定律，从相机方向看，水果边缘的亮度较低，表现为水果边缘的灰度较低，而水果表面缺陷通常以较低灰度的形式在水果图像中出现，这就导致了水果表面缺陷检测困难。目前水果表面缺陷检测主要通过3种方式：① 基于传统RGB成像系统[1~3]或者CCD成像系统[4]。目前基于RGB图像在理论上探讨的识别方法算法复杂、速度慢，很难达到在线检测的要求。② 基于标准球模型的单阈值分割法[5~9]。尽管标准球法取得了较好的效

收稿日期：2010-10-25　修回日期：2010-12-15

* 国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2010AA101401)

作者简介：李江波，博士生，主要从事基于计算机视觉技术的水果无损检测研究，E-mail：lijiangbo_1982@tom.com

通讯作者：饶秀勤，副教授，主要从事农产品无损检测研究，E-mail：xqrao@zju.edu.cn

果,但是标准球法存在着两个假设条件:假设水果是一个标准球体或者椭球体;机器视觉视场内,光源的照度是均匀的,镜头和相机组成的光学系统是线性的。这两个假设在实际的水果在线检测中都很难满足。因此,标准球法适应性弱。③ 多相机融合法[10~13]。多相机融合法存在的主要问题是:相机增加使得图像处理的工作量大大增加,严重降低了机器视觉系统的处理速度,提高了系统成本。

很多亮度校正算法的开发是基于标准球体,为了克服这一弊端,本文在试验中采用脐橙为样本,提出一种水果表面亮度不均校正算法。基于亮度校正后的图像,采用一个全局阈值实现水果表面缺陷的一次性分割。

1 图像采集系统

脐橙图像采集系统如图 1 所示。该系统由 TMC-7DSP 型数字彩色摄像机、Matrox/Meteor-Ⅱ型图像采集卡、Advantech Industrial Computer 610 型工控机、6 支 F40BX/840 型荧光灯光源、光照箱、遮光板和样本平台组成。光照箱内表面涂成白色,开启光源 20min 后,光照箱内的光强趋于稳定,使用 TES1336A 型光度计测量,光照箱底面上光照强度基本均匀,照度约为 4 760 lx。为了增强背景与目标水果的反差,采用浅蓝色纸板作为背景来获取水果图像[14]。

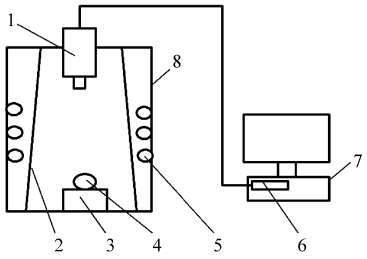

图 1 计算机视觉系统

Fig. 1 Computer vision system

1. 数字彩色摄像机 2. 遮光板 3. 样本平台 4. 样本 5. 光源 6. 图像采集卡 7. 工控机 8. 光照箱

2 亮度校正

2.1 亮度图像获取

根据照度-反射模型,在光照下采集到的目标图像 $f(x,y)$ 可以用其入射分量 $i(x,y)$ 与反射分量 $r(x,y)$ 的乘积来表示,数学模型为

$$f(x,y)=i(x,y)r(x,y) \tag{1}$$

图像入射分量通常以空间域的缓慢变化为特征,这一特征导致图像傅里叶变换的低频成分与照度相联系。因此,如果把一幅图像的低频成分从原始图像中分离出来,此低频成分即为图像表面不均匀的亮度信息,再经傅里叶反变换后即可以得到亮度图像,获得的亮度图像可以对原始亮度不均的灰度图像进行亮度校正。

水果表面亮度图像 $i'(x,y)$ 获取步骤如下:

(1)用 $(-1)^{x+y}$ 乘以输入图像 $f(x,y)$ 来进行中心变换并计算其离散傅里叶变化,即

$$F(u,v)=\frac{1}{MN}\sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1}f(x,y)\mathrm{e}^{-\mathrm{j}2\pi(ux/M+vy/N)}$$

$$(u=0,1,\cdots,M-1;\ v=0,1,\cdots,N-1) \tag{2}$$

式中 u、v——频率变量

M、N——图像长度和宽度

(2)将 $F(u,v)$ 作为低通滤波器 $H(u,v)$ 的输入,输出得到的低频分量为

$$G(u,v)=H(u,v)F(u,v) \tag{3}$$

(3)从 $G(u,v)$ 的傅里叶反变换中得到被滤波的图像 $g(x,y)$ 为

$$g(x,y)=\frac{1}{MN}\sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1}G(u,v)\mathrm{e}^{-\mathrm{j}2\pi(ux/M+vy/N)} \tag{4}$$

(4)取 $g(x,y)$ 实部并乘以 $(-1)^{x+y}$ 以取消输入图像的乘数,即可获得最终水果表面的亮度图像 $i'(x,y)$。

2.2 滤波器设计

本试验中低通滤波主要目的是对图像的入射分量,即水果表面亮度分量进行处理,这就需要选择一个合适的滤波器函数。在诸多低通滤波器中,Butterworth 低通滤波器具有较好的适应性,因此本算法采用 Butterworth 低通滤波器。对于 n 阶 Butterworth 低通滤波器的传递函数定义为

$$H(u,v)=1/[1+(D(u,v)/D_0)^{2n}] \tag{5}$$

其中 $D(u,v)=u^2+v^2$

式中 D_0——截止频率,Hz

n——阶数,用来控制衰减速度

通过改变参数并观察亮度校正效果的试验,最终确定 Butterworth 低通滤波器最佳截止频率 D_0 为 25,阶数 n 为 1。

2.3 水果表面亮度不均校正

图 2a 所示的灰度图像是一幅带有溃疡病斑的脐橙去除背景后的 R 分量图像 $f(x,y)$。背景分割采用掩模法[15]。图 2b 所示的灰度图像表示原始图像 $f(x,y)$ 通过低通滤波后获取的水果表面亮度图像 $i'(x,y)$。图 2a 和 2b 中灰度图像下方对应的是过图像中部一条灰色剖面线上所有像素的强度曲线。正如图 2a 灰度图像所示,脐橙图像中部显示为高亮,而边缘区域显示为较低的灰度,其表现在剖面线强度曲线上特征即为中间区域强度大,两边区域强度小。缺陷处也表现出了较低的灰度。观察图 2b 剖

面线强度曲线图发现：① 与原始灰度图像 $f(x,y)$ 具有相似的亮度特征，即中间亮两边暗。② 溃疡处的亮度值略低于正常果皮的亮度值。根据以上特征，如果原始图像 $f(x,y)$ 与亮度图像 $i'(x,y)$ 相除，由于两幅图像边缘区域均为低灰度区，因此相除后整体边缘亮度会提升；由于两幅图像中间均为高亮区，相除后中间区域亮度或提升或不变；由于缺陷区域在原始图像 $f(x,y)$ 中为较低灰度，而在亮度图像中这个特征非常不明显，因此，相除后其缺陷处依然为低灰度区。综合以上分析，水果表面亮度不均可以通过原始灰度图像 $f(x,y)$ 与亮度图像 $i'(x,y)$ 相除进行校正。

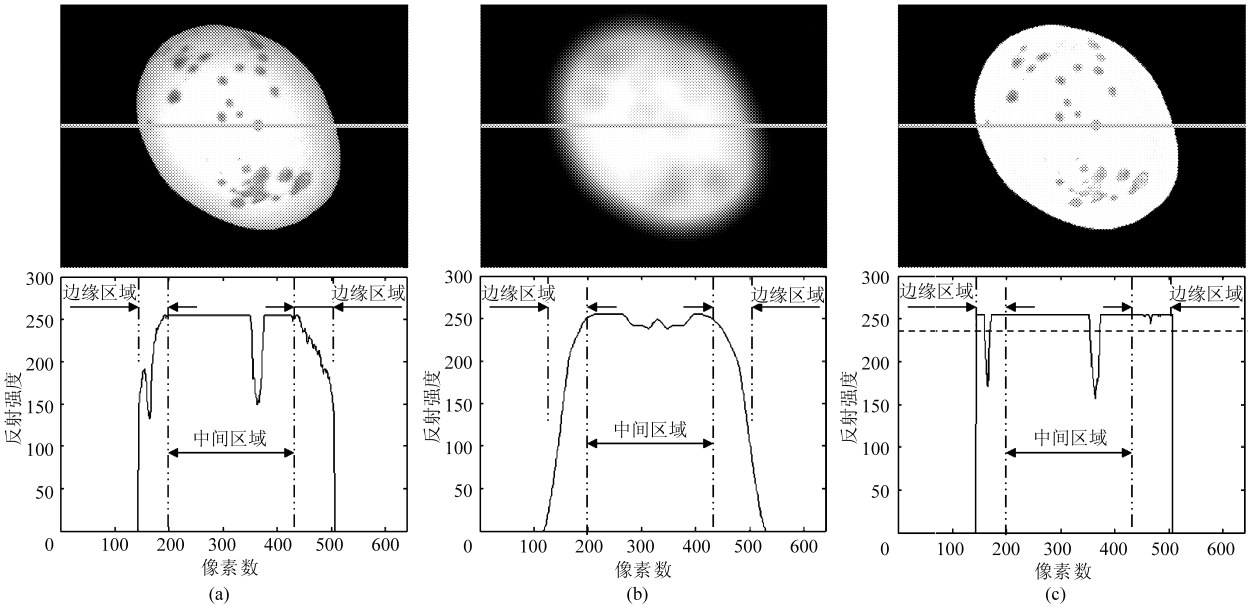

图 2　图像亮度校正

Fig. 2　Illumination correction on image

（a）原始图像　（b）亮度图像　（c）校正后图像

需要注意的是两幅图像相除后其灰度范围为 0 ~ 1，因此相除后获得的图像需要乘以 255 进行强度变换，即

$$f'(x,y)=\frac{255f(x,y)}{i'(x,y)} \tag{6}$$

图 2c 上方为校正后的灰度图像 $f'(x,y)$，下方为过两个溃疡点剖面线的强度曲线。正如分析，无论是中间区域，还是边缘区域都被校正为高亮，而缺陷区域依然表现为低灰度。整体图像获得了非常好的亮度校正效果。尽管被校正后的图像仍然存在极少的噪声点（如图 2c 强度曲线右侧边缘区域），但是这并不影响整体亮度不均的校正效果。因此，水果表面的溃疡点很容易利用单阈值一次性成功分割。图 2c 强度曲线图中的水平虚线表示缺陷分割阈值线（$T=235$），基于此阈值，可以对校正后的图像进行缺陷分割。

为了验证算法的有效性，对正常脐橙及带有 10 类不同缺陷的脐橙进行缺陷提取，图 3 为采用单阈值（$T=235$）分割法对脐橙常见缺陷分割前、后的效果对照图。

3　试验结果与分析

试验研究对象为赣南脐橙，产地江西省龙南县。样本于 2009 年 12 月通过手摘的方式采自当地商业化橙园。样本由专家根据不同的皮种类分为 11 类，在实验室共采集图像 788 幅，包括风伤果 45 幅、蓟马果 80 幅、介壳虫果 59 幅、溃疡果 73 幅、虫伤果 40 幅、日灼果 43 幅、药害果 70 幅、炭疽病果 57 幅、黑心病果 22 幅、裂果 89 幅及正常果 210 幅。图像中缺陷随机分布，单阈值 T 设定为 235，缺陷分割结果如表 1 所示。

结果表明，风伤果、蓟马果、日灼果、药害果、炭疽病果、黑心病果、裂果及正常果识别率均为 100%，虫伤果的识别率最低，仅为 65%，主要是由于样本中的大部分虫伤果缺陷处呈淡白色（图 3），在 R 分量图像上，这种缺陷基本呈现出与正常果皮非常相似的灰度，因此基于单分量图像提取虫伤缺陷是非常困难的，但是采用多光谱主成分图像识别这类缺陷就会变得很容易[16]。对于介壳虫果，有 4 幅图像出现了误识别，主要是由于这 4 幅图像中的介壳虫太小（一般小于 1 nm），当缺陷分割后的二值化图像进行形态学去噪时，把这些介壳虫当作噪声被去除。另外还有 3 个溃疡果没能正确检测，主要是由于在这 3 幅图像中的溃疡病斑位于水果最边缘处。最后，对 11 类不同的样本总体识别率达到 97.3%。

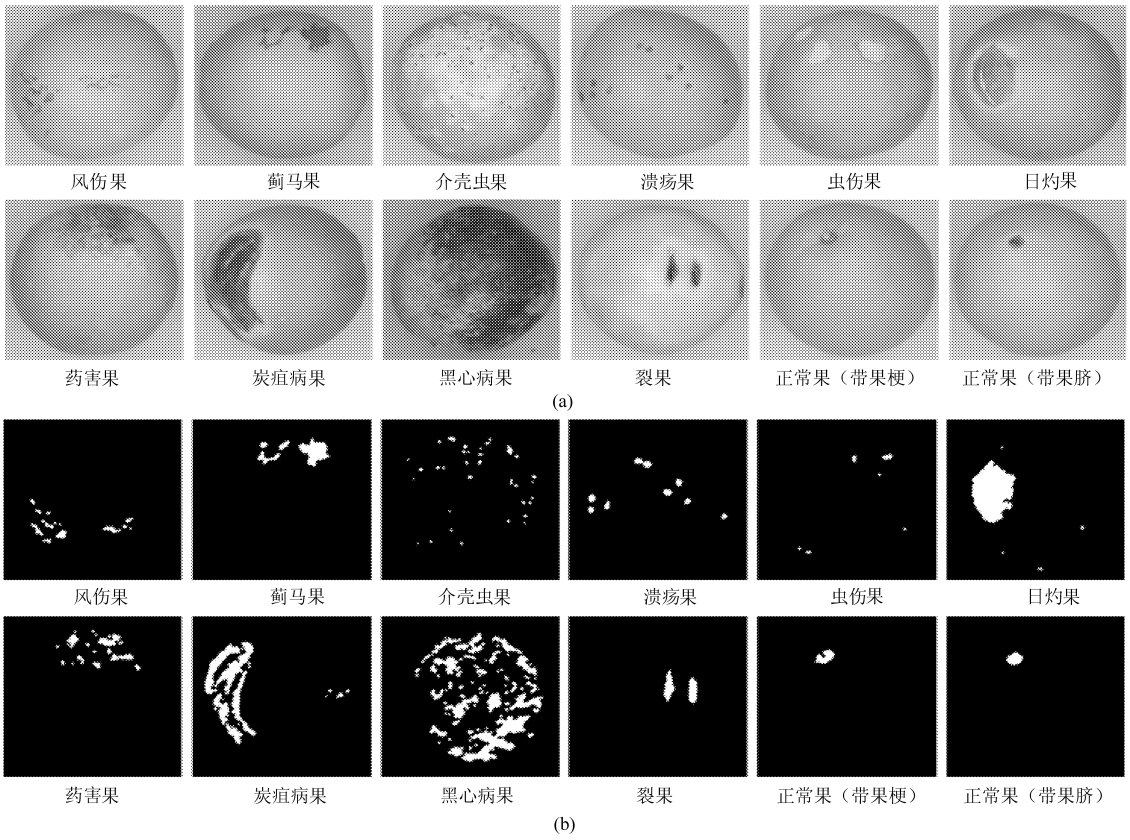

图 3 常见缺陷分割前、后对照图

Fig. 3 Comparison between original images and their segmented version of common defects

(a) 分割前 (b) 分割后

表 1 缺陷分割结果

Tab. 1 Results of defects segmentation

病果种类	样本图像/幅	正确分割/幅	正确率/%
风伤果	45	45	100
蓟马果	80	80	100
介壳虫果	59	55	93
溃疡果	73	70	96
虫伤果	40	26	65
日灼果	43	43	100
药害果	70	70	100
炭疽病果	57	57	100
黑心病果	22	22	100
裂果	89	89	100
正常果	210	210	100
合计	788	767	97.3

4 结论

(1)提出了一种水果表面亮度不均校正及缺陷单阈值分割方法。克服了传统缺陷检测算法的复杂性、标准球亮度校正法弱适应性和多相机融合的高成本及低处理速度。

(2)基于亮度校正后的图像,利用一个简单阈值对水果表面缺陷一次性成功分割,方便了水果表面缺陷检测。

(3)对正常和带有 10 类不同缺陷样本处理,总体识别率达到 97.3%。

参 考 文 献

1 朱伟华,曹其新. 基于模糊彩色聚类方法的西红柿缺陷分割研究[J]. 农业工程学报,2003,19(3):133~136.
Zhu Weihua, Cao Qixin. Defect segmentation of tomatoes using fuzzy color clustering method [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2003, 19(3): 133~136. (in Chinese)

2 Diaz R, Gil L, Serrano C, et al. Comparison of three algorithms in the classification of table olives by means of computer vision[J]. Journal of Food Engineering,2004,61(1):101~107.

3 López-García F, Andreu-García G, Blasco J, et al. Automatic detection of skin defects in citrus fruits using a multivariate image analysis approach[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2010, 71(2): 189~197.

4 Blasco J, Aleixos N, Moltó E. Computer vision detection of peel defects in citrus by means of a region oriented segmentation algorithm [J]. Journal of Food Engineering, 2007,81(3):384~393.

5 Tao Y, Wen Z. An adaptive image transform for high-speed fruit defect detection[J]. Transactions of the ASAE, 1999, 42(1):241~246.

6 冯斌,汪懋华. 计算机视觉技术识别水果缺陷的一种新方法[J]. 中国农业大学学报,2002,7(4):73 ~ 76.
Feng Bin, Wang Maohua. Study on identifying measurement about default of fruit in computer vision[J]. Journal of China Agricultural University, 2002, 7(4): 73 ~ 76. (in Chinese)

7 付峰,应义斌. 球体图像灰度变换模型及其在柑桔图像校正中的应用[J]. 农业工程学报,2004,20(4):117 ~ 120.
Fu Feng, Ying Yibin. Gray level transform model of ball image and its applicationin citrus image correction [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004, 20(4): 117 ~ 120. (in Chinese)

8 应义斌,付峰. 水果品质机器视觉检测中的图像颜色变换模型[J]. 农业机械学报,2004,35(1):85 ~ 89.
Ying Yibin, Fu Feng. Color transformation model of fruit image in process of non-destructive quality inspection based on machine vision[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2004, 35(1): 85 ~ 89. (in Chinese)

9 Gómez-Sanchis J, Moltó E, Camps-Valls G, et al. Hyperspectral system for early detection of rottenness caused by Penicillium digitatum in mandarins [J]. Journal of Food Engineering, 2008, 89(1):80 ~ 86.

10 Wen Z, Tao Y. Dual-camera NIR/MIR imaging for stem-end/calyx identification in apple detect sorting [J]. Transactions of the ASAE, 2000, 43(2): 449 ~ 452.

11 Aleixos N, Blasco J, Navarrón F, et al. Multispectral inspection of citrus in real-time using machine vision and digital signal processors[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2002,33(2): 121 ~ 137.

12 Kleynen O, Leemans V, Destain M F. Development of a multi-spectral vision system for the detection of defects on apples [J]. Journal of Food Engineering, 2005, 69(1): 41 ~ 49.

13 赵杰文,刘文彬,邹小波. 基于三摄像系统的苹果缺陷快速识别[J]. 江苏大学学报,2006,27(6):287 ~ 290.
Zhao Jiewen, Liu Wenbin, Zou Xiaobo. Fast identification of apple defect based on three imaging system[J]. Journal of Jiangsu University, 2006, 27(6): 287 ~ 290. (in Chinese)

14 庞江伟. 基于计算机视觉的脐橙表面常见缺陷种类识别的研究[D]. 杭州:浙江大学,2006.
Pang Jiangwei. Study on external defects classification of navel orange based on machine vision[D]. Hangzhou: Zhengjiang University, 2006. (in Chinese)

15 李江波,饶秀勤,应义斌,等. 基于掩模及边缘灰度补偿算法的脐橙背景及表面缺陷分割[J]. 农业工程学报,2009,25(12):133 ~ 137.
Li Jiangbo, Rao Xiuqin, Ying Yibin, et al. Background and external defects segmentation of navel orange based on mask and edge gray value compensation algorithm[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(12): 133 ~ 137. (in Chinese)

16 李江波,饶秀勤,应义斌,等. 基于高光谱成像技术检测脐橙溃疡[J]. 农业工程学报,2010,26(8):222 ~ 228.
Li Jiangbo, Rao Xiuqin, Ying Yibin, et al. Detection of navel oranges canker based on hyperspectral imaging technology [J]. Transactions of the CSAE, 2010,26(8):222 ~ 228. (in Chinese)

(上接第 177 页)

10 Kwok N M, Jia X, Wang D, et al. Image contrast enhancement based on histogram smoothing and continuous intensity relocation[C]//Image and Signal Processing (CISP), 2010 3rd International Congress, 2010,2: 1 ~ 5.

11 Sengee N, Sengee A, Heung Kook Choi. Image contrast enhancement using bi-histogram equalization with neighborhood metrics[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2010, 56(4): 2 727 ~ 2 734.

12 Chen Hee Ooi, Isa N A M. Quadrants dynamic histogram equalization for contrast enhancement[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2010, 56(4): 2 552 ~ 2 559.

13 Akkoul S, Ledee R, Leconge R, et al. A new adaptive switching median filter[J]. Signal Processing Letters, IEEE, 2010, 17(6): 587 ~ 590.

14 Wang Xiao, Xue Hui. An improved canny edge detection algorithm based on predisposal method for image corrupted by Gaussian noise[C]//World Automation Congress (WAC) IEEE Conferences, 2010: 113.

15 洪英,党宏社,宋晋国. 基于图像处理的不规则形体表面积测量方法[J]. 计算机测量与控制,2009,17(19):1 679 ~ 1 681.
Hong Ying, Dang Hongshe, Song Jinguo. Method for irregular solid surface area measurement based on image processing [J]. Computer Measurement & Control, 2009, 17(19):1 679 ~ 1 681. (in Chinese)