

类球形水果表皮颜色变化校正方法研究*

李江波^{1,2} 黄文倩¹ 张保华¹ 彭彦昆² 赵春江¹

(1.北京市农林科学院北京农业智能装备技术研究中心,北京 100097; 2.中国农业大学工学院,北京 100083)

摘要:针对类球形水果表面较大的曲率变化会引起表面亮度不均,从而导致水果颜色分级评价中存在误差大、准确率低等问题,提出了二维B样条水果表面亮度不均校正算法。利用该算法分别对原始RGB图像各单通道图像进行亮度校正,然后将校正后的RGB图像转换成HIS颜色空间图像,提取色调H和亮度I分量,通过对比较正前后H和I分量图像像素灰度标准差评价校正效果。对160幅橙图像处理结果表明,校正后的图像在色调和亮度上比原始图像更加均匀,色调H分量和亮度I分量的平均标准差分别为原始图像标准差的21.57%和33.94%,色调和亮度均匀性得到了明显的改善。

关键词:橙 机器视觉 图像处理 亮度校正 颜色变化

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)04-0226-05

引言

颜色是影响消费者衡量水果品质最为重要的指标之一,它通常可以反映水果的成熟度,并且与水果内部糖酸度等也有着间接的联系^[1-2]。高品质水果一般具有较好的色泽及较为均匀的着色^[3-4]。

前人的研究主要通过转换颜色空间,将RGB模型转换至其他颜色空间模型,其中以HIS或HSV居多^[5-12]。尽管转换后的颜色模型更不容易受到光照强度的影响,但是对于类球形水果,水果表面曲率变化非常大,并且表皮通常光滑,反光强。Mendoza等研究发现即使采用转换后的HSV模型进行分析,其表面颜色也会受到光照不均影响,从而导致类球形水果颜色分级误差大、准确率低^[10]。因此,水果表面亮度不均有效校正对于水果颜色更为准确的分级评定十分必要。然而目前并没有发现此类研究报告。本文以橙为例,基于二次B样条理论对RGB图像各独立通道图像进行亮度不均校正来实现对水果整体亮度及色调的变换,从而克服亮度不均致水果颜色等级有效评定的影响。

1 图像获取系统

图像获取系统包括RGB相机(Pulnix TMC-7DSP型)、图像采集卡(Matrox Meteor II型)、6支管

状荧光灯((F40BX/840型,20W)、遮光板和计算机(CPU Pentium 2.00 GHz,内存256 MB)等。获取图像为640像素×480像素,分辨率为0.28 nm/像素。详细的系统介绍参照文献[13]。

2 实验方法

2.1 朗伯反射模型分析

通常类球形水果表面存在较大的曲率变化^[14],依据朗伯反射原理,球面上任意一点的亮度与该点法向量和该点与光源连线间的角度 θ 存在关系式

$$I_D = I_L \cos\theta \quad (1)$$

式中 I_D ——反射光强度

I_L ——入射光强度

图1为朗伯反射模型(该模型中光源布置于水果两侧),通常在视觉检测时,光源对称布置于水果的侧上方,相机处于水果的正上方,且相机到水果的物距远大于水果的尺寸,因此相机所获得的图像中水果表面各点亮度差异主要由夹角 θ 决定。水果边缘区域反射光线与法向量的夹角 θ_2 大于中间区域的夹角 θ_1 ,因而在球形水果表面的亮度在实际获得的图像中显示为中间区域较亮而边缘区域较暗。

2.2 B样条曲线拟合获取亮度掩模

水果表面亮度不均反映在图像上即为灰度不均。图像行或列上的亮度变化可以看作一条曲线,

收稿日期:2013-05-11 修回日期:2013-06-05

*“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2013BAD19B02)、中国博士后科学基金资助项目(2012M520193)和北京市博士后科研活动经费资助项目(2013ZZ-70)

作者简介:李江波,助理研究员,中国农业大学博士后,主要从事农产品及食品无损检测研究,E-mail:lijb@nrcita.org.cn

通讯作者:赵春江,研究员,博士生导师,主要从事农业信息化与自动化研究,E-mail:zhaocj@nrcita.org.cn

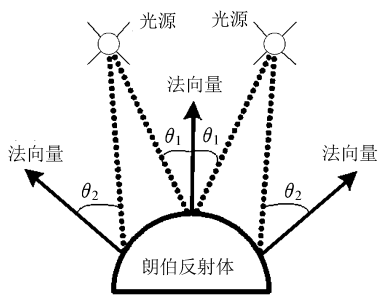


图 1 朗伯反射模型示意图

Fig. 1 Diagram of Lambertian reflection model

通过多项式拟合的方法, 获得其近似的亮度偏差分布掩模, 通过除法运算对不均匀的亮度进行拉伸, 可以有效地对图像的亮度不均进行校正。相对于图像归一化处理、伽马校正、直方图均衡化等方法, 拟合理论既能得到亮度均匀的图像又能保持图像的连续性和图像内部的亮度突变边界。相对于常规的最小二乘法的多项式拟合, B 样条曲线因具有良好的调整性、连续性、分段性等优点, 拟合过程中能呈现图像表面整体亮度区域, 且保留图像中的细节信息。因此, 在复杂的图像处理中得到广泛的应用^[15-16]。

二维 B 样条曲线拟合可以同时行像素和列像素进行拟合, 获得二维图像亮度掩模, 图像的亮度拟合曲面可以写成张量积的形式, 即

$$B_0 = \sum_{x=1}^x \sum_{y=1}^y P_{m,n} B_{x,m}(X) B_{y,n}(Y) \quad (2)$$

式中 $P_{m,n}$ ——样条曲面控制点
 $B_{x,m}(X)$ ——节点向量 X 的 m 阶 B 样条基函数
 $B_{y,n}(Y)$ ——节点向量 Y 的 n 阶 B 样条基函数

拟合曲面上各点的值对应各像素的亮度, 经过均值归一化处理, 可以得到图像二维 B 样条曲线拟合的亮度掩模

$$M_{B_0} = B_0 / \text{mean}(B_0, B_0 > 0) \quad (3)$$

获取的亮度掩模用于亮度校正分析。

2.3 亮度校正及效果评估

二次 B 样条拟合获得的 RGB 图像各单通道图像的亮度掩模图像与原始 R 、 G 和 B 通道分量相除后获得校正后的各单通道图像。随后各单通道图像合成为校正后的 RGB 图像, 然后将图像从 RGB 颜色空间转换至 HIS 颜色空间, 该颜色模空间模型转换为非线性变换, 其转换关系为^[17]

$$\begin{cases} I = (R + G + B) / 3 \\ S = 1 - \frac{\min(R, G, B)}{I} \\ W = \arccos \frac{2R - G - B}{2(R^2 + G^2 + B^2 - RG - GB - RB)^{\frac{1}{2}}} \\ H = W \quad (B \leq G) \\ H = 2\pi - W \quad (B > G) \end{cases} \quad (4)$$

式中 R 、 G 、 B ——RGB 空间颜色分量

H 、 I 、 S ——HIS 空间颜色分量

最后提取 HIS 空间中的色调 H 和亮度 I 分量, 通过计算这 2 个分量中水果对象各像素的标准差对校正效果进行评价。标准差为

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2} \quad (5)$$

式中 n ——图像目标物的像素总数

x_k ——图像目标物第 k 个像素的亮度或色调

\bar{x} ——色调 H 或亮度 I 分量中目标物的均值

亮度的标准差越小表示图像中水果表面亮度越均匀, 间接地反映出亮度不均对色调的影响越小; 色调的标准差越小表示水果表面色度更加均匀, 表示受亮度不均的影响越小。

本实验中所有图像处理均基于 Matlab 2008 (MathWorks, Inc., Natick, MA, USA) 软件平台。图像分析采用的计算机配置: 处理器为 Intel (R) Core (TM) i5 - 2400, 3.10 GHz, 内存为 4 GB。

3 实验结果与分析

图 2 为任意选取的一个橙样本去除背景后的原始 RGB 图像和 R 、 G 和 B 单通分量图像。为了减少图像处理时间, 在图像分析时, 首先对原始 640 像素 \times 480 像素的图像中部分背景区域进行了自动裁剪去除。背景去除采用掩模法^[18]。从原始图像上可以看出, 正如在 2.1 节朗伯反射模型分析, 水果中部区域呈高亮, 亮度沿着半径区域逐渐递减。同样, 这种亮度不均的变化也不同程度的反映在各单通道图像中, 其中 R 通道表现最为明显, B 通道最弱。从图中也很容易发现, 这种亮度不均也间接地引起样本表皮上颜色的改变 (中部高亮区域颜色更加偏黄), 从而导致颜色精确分级困难。

图 3 表示利用 B 样条亮度校正理论对 R 、 G 和 B 通道图像分别进行处理后获得的亮度掩模 M_{B_0} 。这些亮度掩模反映了样本表面不均匀的亮度分布。

利用获得的各单通道掩模图像与原始对应的单通道图像进行除法运算后获得如图 4 所示的校正后的 R 、 G 和 B 分量图像及合成后的 RGB 图像。

与图 2 比较, 很容易看出校正后的图像表面亮度更加均匀。为了验证这一效果, 分别提取了原始图像和校正后图像中部一条剖面线上的像素强度, 如图 5 所示。剖面线分别为图 2a 和图 4d 中部白色的线条。图 5 为校正前、后 RGB 图像中剖面线像素强度。对比图 5a 和图 5b 可以发现校正后 3 个通道图像均较好地克服了由朗伯模型反映出的亮度不均性。3 个分量的强度分别位于各自较小的亮度变换

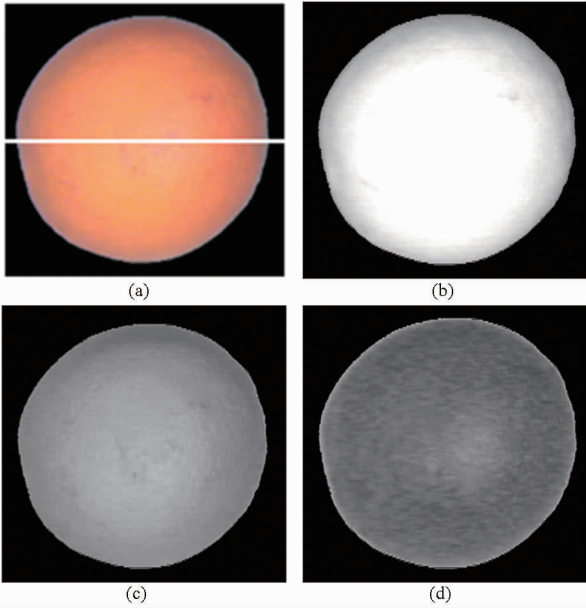


图 2 原始去背景后的 RGB 图像和各单通道图像
 Fig. 2 Original RGB image and R, G and B channel images after removing background
 (a) RGB 图像 (b) R 通道图像
 (c) G 通道图像 (d) B 通道图像

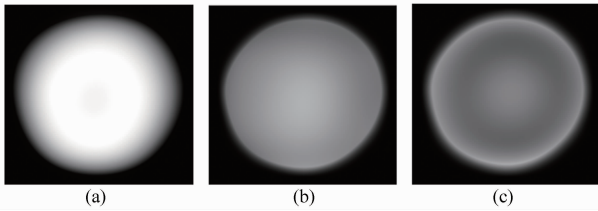


图 3 亮度掩模图像
 Fig. 3 Mask images from original R, G and B channel images
 (a) R 通道亮度掩模图像 (b) G 通道亮度掩模图像
 (c) B 通道亮度掩模图像

范围内,各分量的反射强度波动较小。由于水果是一自然生长的生物体,其表皮中微小区域存在着颜色差异,这种差异表现出微小的波动,尽管这种波动非常小,甚至有时候用肉眼都难以识别,但是,表现在表皮图像上各像素间颜色的差异始终是存在的。因此,这种波动是难以避免的。

为了更加直观地对校正前、后色调 H 分量中强度的变化,提取了校正前、后 HIS 颜色模型中的色调 H 分量的能量图,如图 6 所示。图中不同的颜色代表色调分量上不同的强度,从图中可以看出,校正后的色调分量强度更加均匀,这种均匀性非常有利于基于机器视觉系统的水果颜色等级的精确评估。由于本研究中选取橙子作为研究对象,橙表皮颜色较为均匀,因此所获得的校正后 H 分量能量图中颜色表现出一致性。

本文中共选取 160 个橙作为样本,橙表面无任

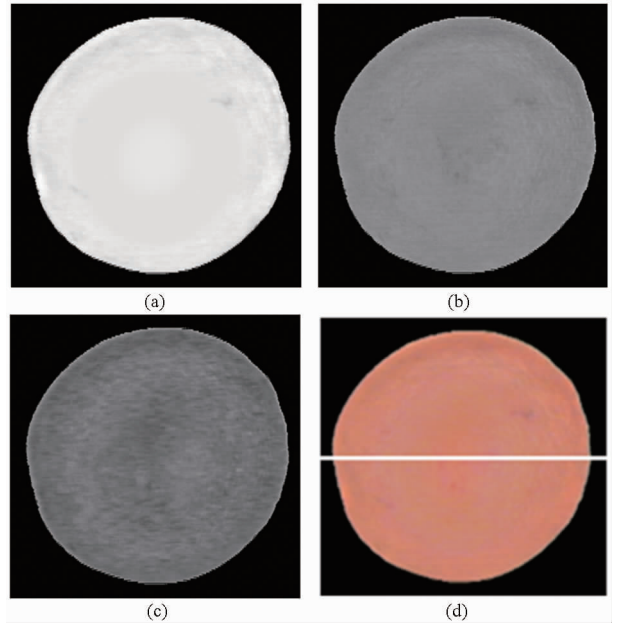


图 4 亮度校正后图像
 Fig. 4 Images obtained after correcting non-uniform light
 (a) R 通道图像 (b) G 通道图像
 (c) B 通道图像 (d) RGB 图像

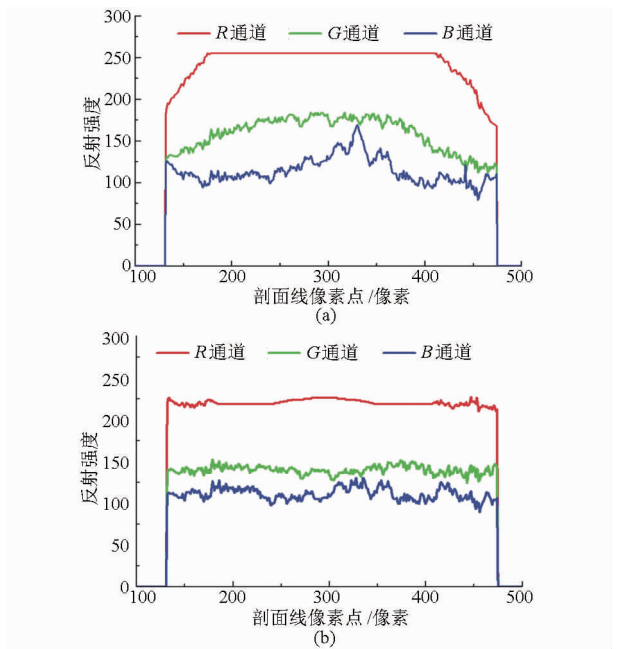
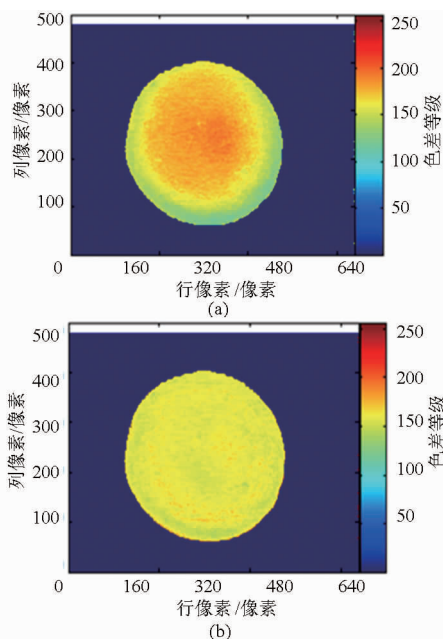


图 5 亮度校正分析
 Fig. 5 Lighting correction analysis
 (a) 原始 RGB 图像 (b) 校正后 RGB 图像

何缺陷,颜色包括橙红色、橙黄色、橙色、偏黄色以及各色之间的过渡色等 8 种颜色等级,每个橙采集 1 幅图像,共计 160 幅图像。通过校正前、后 HIS 空间的色调 H 分量和亮度 I 分量的标准差评价校正效果,结果如表 1 所示。

160 幅图像校正前色调 H 分量的标准差均值仅为原标准差的 21.57%,色调均匀性得到明显的改善。校正前亮度 I 分量标准差仅为原标准差的

图6 H 分量图像灰度能量图Fig.6 Gray intensity images of H component

(a) 校正前 (b) 校正后

表1 校正前、后色调 H 分量和亮度 I 分量的平均标准差
Tab.1 Meanstandard deviations of hue H and illumination I components before and after correction

测试分量	校正前标准差	校正后标准差
H	42.137 1	9.088 8
I	19.014 2	6.452 5

33.94%,亮度不均性也得到了非常好的改善,并且这种改善直接反映在色调分量上。

4 结束语

提出了一种基于二维B样条亮度不均校正方法。通过校正,图像的亮度及色调分量的均匀性有了非常明显的改善。160幅图像校正前、后亮度分量和色调分量的平均标准差表明,该校正算法可以有效地改善水果表面因亮度分布不均导致的色调变化,为基于机器视觉技术的水果颜色等级(包括轻微等级差异)的精确评估提供了帮助。

参 考 文 献

- Pathare P B, Opara U L, Al-Said F A. Colour measurement and analysis in fresh and processed foods; a review[J]. Food and Bioprocess Technology, 2013, 6(1):36-60.
- Li Jiangbo, Huang Wenqian, Zhao Chunjiang, et al. A comparative study for the quantitative determination of soluble solids content, pH and firmness of pears by Vis/NIR spectroscopy[J]. Journal of Food Engineering, 2013, 116(2):324-332.
- Mendoza F, Aguilera J M. Application of image analysis for classification of ripening bananas[J]. Journal of Food Science, 2004, 69(9):E471-E477.
- Lee D. Rapid color grading for fruit quality evaluation using direct color mapping[J]. Automation Science and Engineering, 2011, 8(2):292-302.
- Tao Y, Heinemann P H, Varghese Z, et al. Machine vision for color inspection of potatoes and apples [J]. Transactions of the ASAE, 1995, 38(5):1555-1561.
- 何东健, 杨青, 薛少平, 等. 用人工神经网络进行果实颜色分级技术研究[J]. 西北农业大学学报, 1998, 26(6):109-112.
He Dongjian, Yang Qing, Xue Shaoping, et al. Color classification of fresh fruits by neural network [J]. Acta Universitatis Agriculturae Boreali-Occidentalis, 1998, 26(6):109-112. (in Chinese)
- 冯斌, 汪懋华. 基于颜色分形的水果计算机视觉分级技术[J]. 农业工程学报, 2002, 18(2):141-144.
Feng Bin, Wang Maohua. Computervision classification of fruit based on fractal color [J]. Transactions of the CSAE, 2002, 18(2):141-144. (in Chinese)
- Zou Xiaobo, Zhao Jiewen, Li Yanxiao. Apple color grading based on organization feature parameters [J]. Pattern Recognition Letters, 2007, 28(15):2046-2053.
- Abdullah M Z, Mohamad-Saleh J, Fathinul-Syahir A S, et al. Discrimination and classification of fresh-cut starfruits (*Averrhoa carambola* L.) using automated machine vision system [J]. Journal of Food Engineering, 2006, 76(4):506-523.
- Mendoza F, Dejmek P, Aguilera J M. Calibrated color measurements of agricultural foods using image analysis [J]. Postharvest Biology and Technology, 2006, 41(3):285-295.
- 饶秀勤, 应义斌. 水果按表面颜色分级的方法 [J]. 浙江大学学报:工学版, 2009, 43(5):869-871.
Rao Xiuqin, Ying Yibin. Grading a fruit by its surface color [J]. Journal of Zhejiang University: Engineering Science, 2009, 43(5):869-871. (in Chinese)
- Lee D J, Archibald J K, Chang Y C, et al. GrecoRobust color space conversion and color distribution analysis techniques for date maturity evaluation [J]. Journal of Food Engineering, 2008, 88(3):364-372.
- Li Jiangbo, Rao Xiuqin, Wang Fujie, et al. Automatic detection of common surface defects on oranges using combined lighting transform and image ratio methods [J]. Postharvest Biology and Technology, 2013, 82:59-69.
- 黄文倩, 李江波, 张驰, 等. 基于类球形亮度变换的水果表面缺陷提取 [J]. 农业机械学报, 2012, 43(12):187-191.
Huang Wenqian, Li Jiangbo, Zhang Chi, et al. Detection of surface defects on fruits using spherical intensity transformation [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(12):187-191. (in Chinese)

- 15 江兴方, 潘国卫, 陶纯堪. 基于样条曲线的一种遥感图像去云方法[J]. 激光技术, 2007, 31(6):581-583.
Jiang Xingfang, Pan Guowei, Tao Chunkan. Cloud elimination method in remote sensing image based on spline curve[J]. Laser Technology, 2007, 31(6):581-583. (in Chinese)
- 16 Vovk U, Pernus F, Likar B. A review of methods for correction of intensity inhomogeneity in MRI[J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 2007, 26(3):405-421.
- 17 赵杰文, 刘少鹏, 邹小波, 等. 基于支持向量机的缺陷红枣机器视觉识别[J]. 农业机械学报, 2008, 39(3): 113-115.
Zhao Jiewen, Liu Shaopeng, Zou Xiaobo, et al. Recognition of defect chinese dates by machine vision and support vector machine [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(3): 113-115. (in Chinese)
- 18 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和表面常见缺陷分割研究[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)

Correction Algorithm of Lighting Non-uniformity on Spherical Fruit

Li Jiangbo^{1,2} Huang Wenqian¹ Zhang Baohua¹ Peng Yankun² Zhao Chunjiang¹

(1. *Beijing Research Center of Intelligent Equipment for Agriculture, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China*

2. *College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China*)

Abstract: In terms of spherical fruits, the lighting was usually uneven distribution on the surface of fruits due to the larger change of curvature from fruit surface. Therefore, some drawbacks such as large error and low accuracy were still existed in the grading and assessing for fruit peel color. In order to solve this problem, B-spline lighting correction method was proposed in this study. Using the proposed algorithm, R , G and B channel images abstracted from original RGB image were firstly corrected respectively. Then, the corrected RGB image was changed into HIS color space image and hue H and illumination I component images were abstracted. Finally, the correction performance was assessed by computing the standard deviation of pixels in H and I component images before and after correction. For the investigated 160 orange sample images, the result showed that the corrected images were more uniform in terms of hue and illumination. Only 21.57% and 33.94% of mean standard deviations of original hue and illumination component were obtained. The uniformity of hue and illumination was effectively improved.

Key words: Orange Machine vision Image processing Lighting correction Color transformation