

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

李江波, 饶秀勤^{*}, 应义斌, 马本学, 郭俊先

(浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 杭州 310029)

摘要: 缺陷检测一直是利用计算机视觉技术进行水果自动分级的难点。为了解决带有缺陷的水果在图像分割时部分缺陷容易被误分割为背景这一问题, 以脐橙为研究对象, 首先提取 B 分量, 利用 B 分量构建掩模图像, 然后对 R 分量图像进行掩模, 从而在不损伤缺陷的情况下实现了水果与背景 100% 分割。考虑到水果呈球状, 检测时边缘灰度较低, 在缺陷分割时容易出现误分割, 提出快速水果图像边缘灰度补偿算法, 利用此算法, 对 6 种常见脐橙缺陷, 共计 220 幅图像, 设定分割阈值为 165, 使不同灰度等级的缺陷一次性分割成功, 分割率最高为 100%, 最低为 79.5%。试验结果表明由于单阈值的使用, 提高了缺陷分割效率。

关键词: 计算机视觉, 缺陷, 提取, 脐橙, 背景分割

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2009.12.024

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2009)-12-0133-05

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 with English abstract)

0 引言

柑橘包括柑、橘、橙等, 目前全世界超过 135 个国家种植柑橘, 年产量近 1 亿 t, 约占水果总产量的 1/4。柑橘增长最快的国家主要是巴西和中国。2007 年, 中国柑橘总产量是 2 058.3 万 t, 但出口量仅占 2.3%^[1], 一个关键原因是中国水果商品化处理水平低, 而水果分级是其商品化处理的重要环节。

水果的大小、形状、颜色和表面缺陷是基于计算机视觉的水果自动分级的主要指标。大小、形状、颜色的自动化检测方法已经比较成熟且部分已商业化^[2-4], 水果表面缺陷是决定水果价格最有力的因素之一, 因为外部缺陷是对水果品质最直接的反映。缺陷的快速识别一直是水果实时分级中最难、耗时最多、研究人员最感兴趣的研究内容^[5], 并且缺陷的有效分割是缺陷检测的基础, 也是对缺陷进行分类的前提。

冯斌等^[6]从试验中得知, 图像中部即使是缺陷, 其灰度也远高于边缘部位, 因此, 采用单阈值分割方法不能把中部缺陷分割开来, 并且多阈值分割方案又容易在各阈值边缘产生接缝。因此, 他建立了标准球体灰度模型,

实现了对水果缺陷的分割。朱伟华等^[7]在 HSL 颜色模型的基础上, 提出了基于模糊颜色聚类的缺陷分割方法。应义斌等^[8-9]分析球体的大小、表面颜色和图像采集位置等因素对球体图像颜色的亮度、色调和饱和度的影响后发现, 球体图像的颜色失真主要是亮度失真, 中心部位的像素值较高, 而靠近边缘部位的像素灰度值较低, 并且沿球体半径方向随着与球体中心像素的距离逐渐增大, 各像素的灰度逐渐降低, 基于此建立了摄像视区中心球体图像的亮度校正模型。赵杰文等^[10]提出了利用高光谱图像技术检测水果轻微损伤的方法, 然后设计不均匀二次差分消除了苹果图像亮度分布不均匀的影响。蔡健荣等^[11]利用波段比算法降低了光谱图像光照不均匀的影响, 增强了谱间差异。Tao 等^[12-13]考虑到球形水果被检测时水果中心容易形成高光区, 而水果周围亮度较低, 在水果缺陷检测时非常容易造成误判, 针对这个问题开发了一套水果图像自适应球形变换算法, 使水果表面缺陷可用单阈值进行分割, 解决了水果图像由于中部缺陷部分灰度值高于边缘正常部分灰度值而不能一次分割的问题。但计算与原图像相应的反向无缺陷图像复杂, 处理耗时多。Leemans 等^[14]用 Bayes 分类器, 将彩色图像的每个像素依据颜色分为“正常”和“缺陷”2 类, 从而实现缺陷的分割。Ariana 等^[15-16]采用一种多光谱反射图像与荧光图像融合的方法进行水果缺陷的检测。Kleynen 等^[17]利用多光谱成像系统识别“乔纳金”苹果的缺陷, 寻找特征波段的图像然后采用阈值分割法分割缺陷。Blasco 等^[18-19]为了能够更好地对柑橘的缺陷进行检测分类, 在 HSI 颜色空间下采用 3 种成像系统分别获取了缺陷的近红外 (NIR)、紫外 (UV) 和荧光 (FL) 图像。

上述主要方法或者是多相机结合、或者是利用较为

收稿日期: 2009-07-04 修订日期: 2009-11-28

基金项目: 国家自然科学基金 (30825027); 国家科技支撑计划课题 (2006BAD11A12)

作者简介: 李江波 (1982-), 男, 山西阳泉人, 博士生, 中国农业工程学会会员 (E040000234A), 研究方向为基于计算机视觉技术的水果表面缺陷检测。杭州 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 310029。

Email: lijiangbo_1982@tom.com

*通信作者: 饶秀勤 (1968-), 男, 湖北天门人, 博士, 副教授, 研究方向为农产品品质快速检测的机器视觉技术研究。杭州 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 310029。Email: xqrao@zju.edu.cn

复杂的算法进行灰度补偿, 尽管有些方法已取得了比较好的效果, 但是这无疑造成成本提高, 并且实时性也会受到影响。

经过多次试验发现, 在进行缺陷分割时, 使用单阈值分割法去除背景很容易使部分缺陷误分割为背景, 从而提出一种在不破坏缺陷部位的背景分割法; 由于水果边缘灰度较低, 去除背景的水果在缺陷分割时较易出现缺陷误分割, 这一点比水果中心高亮区造成的缺陷少分割更为明显。针对这种情况, 本文以经济价值较高柑橘类水果脐橙为例, 对边缘灰度进行补偿, 从而实现了对不同灰度等级的缺陷利用单阈值一次性分割成功。

1 图像获取

本研究采用的计算机视觉检测系统如图 1 所示, 主要有光照箱、彩色 CCD 相机、计算机、加拿大 Matrox 公司的 Matrox Meteor II/Standard 图像采集卡等。光照箱内表面涂成白色, 光源采用 8 支 20 W 的日光灯, 开启光源 20 min 后光照箱内的光强趋于稳定, 使用 TES1336A 光度计测量, 光照箱底面上光照强度基本均匀, 照度约为 4 830 lx。

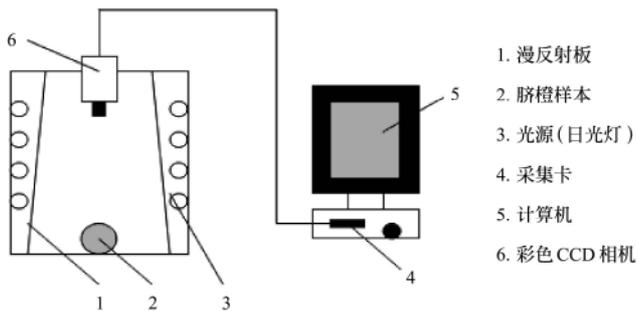
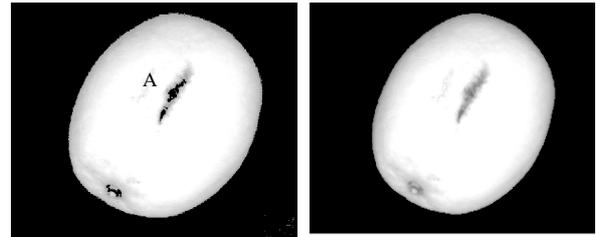


图 1 计算机视觉系统组成

Fig.1 Composition of computer vision system

2 背景分割

为了增强背景与目标水果的反差, 本研究采用浅蓝色作为背景色来获取水果的图像^[20]。从拍摄的图像中随机挑选一幅带有缺陷的图像, 提取 RGB 图像 3 个通道的分量图像, 分析发现, R 分量图中脐橙缺陷部位与完好部位灰度差最大, 最有利于缺陷的分割, 因此, 采用 R 分量图像作为处理图像对其进行背景分割。提取 R 分量灰度直方图发现其存在较为明显的双峰, 可以直接采用单阈值分割法对其进行背景分割, 但是经过多次试验发现, 脐橙中缺陷部位由于与背景灰度接近也被误分割为背景并且水果图像出现“毛边”, 如图 2a 所示, 所以直接利用单阈值分割法不可行。庞江伟^[20]对这种单阈值分割方法做了改进, 他根据背景及各个水果的表面颜色特征来动态地为每一幅图像生成 1 个阈值, 然后再进行背景分割, 最后把误判为背景的缺陷点(如 A 点)通过设计算法进行恢复。动态阈值的计算以及缺陷恢复算法设计均较为复杂, 且最后不能保证缺陷 100% 恢复。基于此, 提出一种水果(对有或缺陷水果均有效)背景快速分割算法。



a. 单阈值去除背景 b. 掩模去除背景

图 2 R 分量图像背景分割

Fig.2 Background segmentation of R-component image

首先构建 1 个掩模图像 I_R 。对比各分量图像, B 分量更有利于 I_R 的构建。提取 B 分量图像中部一行像素点的灰度, 灰度图显示当阈值 $T=140$ 时, 图像与背景可以有效分割。因此, 选 $T=140$ 对 B 分量分割后形成二值图像 I , 为了去除背景, 需执行如下操作

$$I_R = I^c \quad (1)$$

$$I_{\text{mask}} = I_R \cdot * R \quad (2)$$

式中: I^c ——二值图像 I 取反; I_{mask} ——对 R 分量掩模后的图像。

图 2b 为图像 I_{mask} , 可以发现经过掩模去除背景, 水果表面的缺陷可以 100% 保留并且没有“毛边”现象, 同时, 此种方法也可以避免由于水果表面颜色的变换而需设定动态阈值的问题。

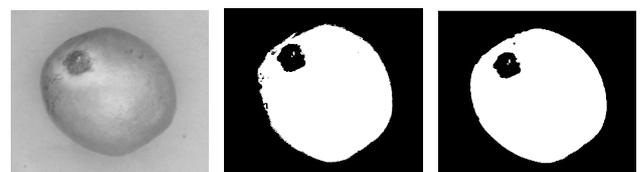
3 缺陷提取

3.1 脐橙边缘灰度图像获取

对缺陷的提取也就是对缺陷的有效分割, 根据鲜柑橘 GB/T12947-1991^[21]规定, 缺陷指果实在生长发育和采摘过程中受物理机械作用或化学作用使果实造成影响美观甚至使果实腐烂的伤害。本文以 6 种常见脐橙的缺陷, 即裂果、划伤、愈合伤、溃疡、黑心病、日灼为研究对象讨论缺陷的提取方法。

由于水果边缘灰度值较低, 甚至在很多情况下其灰度值低于缺陷的灰度值, 无论是采用单阈值或双阈值分割法均会造成水果边缘的误分割, 如图 3b 所示(图 3a 为原始图像), 最后会在计算水果缺陷总面积时出现较大误差。尽管模糊聚类法可以取得比较好的效果, 但是由于水果表面亮度的不均匀, 水果表面颜色也会失真^[7], 同时模糊聚类需要判断每个像素的 H 、 S 、 I 值, 计算量会非常大。

为了对这种由于光照不均引起的误分割进行校正, 提出了对边缘部分进行亮度补偿。



a. 原始图像 b. 亮度补偿前 c. 亮度补偿后

图 3 单阈值分割对比

Fig.3 Comparison of single threshold segmentation

对去除背景后的 R 分量进行边界提取，利用洞填充把边界内部为零的像素全部置为 1，设此二值图像为 P ，其连通区域为 X ， S 为圆心在原点的圆盘形结构元素，利用 S 扫描图像 P ，找到第 1 个像素值为 1 的点 (x, y) ， S 的原点移动到该点，将其记作 S_{xy} ，判断 S 所覆盖范围内的像素值是否全部为 1，如果是，则图像 P 的相同位置上的像素值置为 1，如果至少有 1 个像素的值为 0，则图像 P 相同位置上的像素值置为 0，对图像 P 中所有像素值为 1 的点重复以上操作，则最终的图像 B 可表示为

$$B = P \odot S = \{x, y | S_{xy} \subseteq X\} \quad (3)$$

求取脐橙外边缘环状区域的灰度图像。

$$C = P - B \quad (4)$$

式中 C ——脐橙外边缘环状区域的二值图像。

利用 C 作为掩模图像对原 R 分量图像进行掩模，获取 R 分量图像的边缘环形灰度图像 D ，即

$$D = R * C \quad (5)$$

3.2 环状边缘灰度图像亮度补偿

设虚拟矩阵 M 大小为 $1 \times N$ ，即

$$M_{1 \times N} = [a_1, a_2, \dots, a_n] \quad (6)$$

如图 4 所示，从上到下，从左到右扫描整幅图像 D ，当遇到第 1 个不为零的点（如 O 点）时记录此点的灰度值，把此灰度值存入虚拟矩阵第 1 个元素 a_1 处，继续扫描，当遇到第 2 个不为零的点时把此灰度值存入虚拟矩阵的第 2 个元素 a_2 处，依次类推，最后把整幅图像 D 中不为零的点的灰度值全部存入 M 中。对图像的边缘灰度值及缺陷灰度值分别提取多次比较发现对 M 中的元素（灰度值）全部加 40 进行亮度补偿后，在最后的缺陷分割中会出现较少的漏分割及过分割。

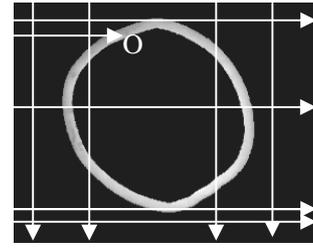


图 4 扫描示意图

Fig.4 Sketch of image scanning

设亮度补偿后的脐橙图像为 F ，则

$$E = M_{1 \times N} + 40 \quad (7)$$

$$F = E + B * R \quad (8)$$

式中： E ——亮度补偿后的环状图像； F ——亮度补偿后的脐橙图像。

将补偿后的图像 F 利用单阈值进行缺陷分割，效果如图 3c 所示。为了除去一些由于没有完全被补偿而被误判为缺陷的像素点，执行开运算进行修正，即

$$T \circ Se = (T \ominus Se) \oplus Se \quad (9)$$

其中

$$T \ominus Se = \{x, y | S_{xy} \subseteq X\} = Q \quad (10)$$

$$Q \oplus Se = \{x, y | S_{xy} \cap X \neq \emptyset\} \quad (11)$$

式中： T —— F 经过单阈值缺陷分割后的图像； Se ——结构元素； X ——图像 T 的连通区域； x, y ——连通区域中任意不为 0 的点。

通过对照图 3b 和图 3c，可以看出其边缘部位基本没有出现误分割，缺陷部位较完整地分割出来。为了验证算法的有效性，对正常脐橙及带有 6 种常见缺陷的脐橙进行缺陷提取，图 5 为采用单阈值分割法对脐橙常见缺陷分割前后的效果。

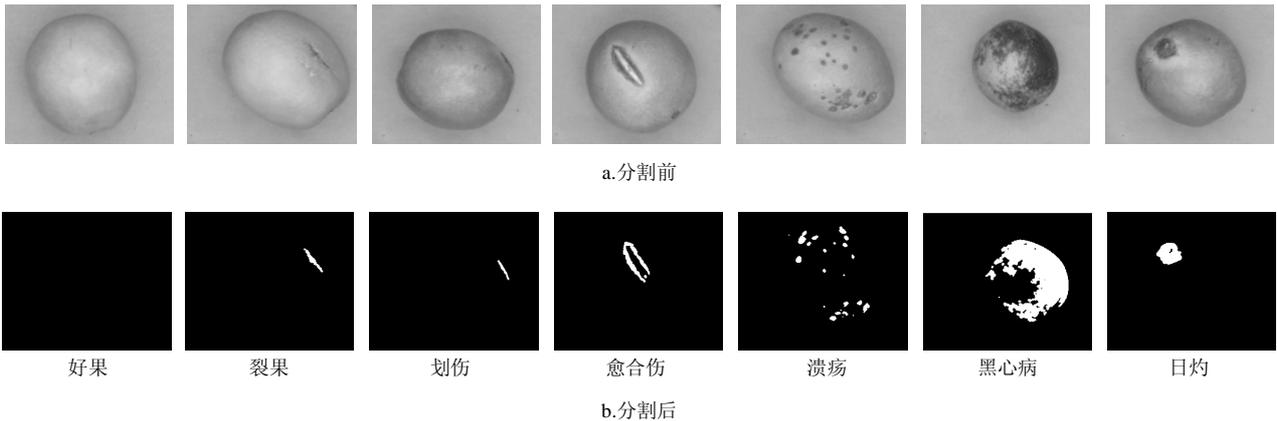


图 5 常见缺陷分割前后对照

Fig.5 Comparison between original images and their segmented version of common defects

4 试验结果与分析

试验中，任意选取带有 6 种常见缺陷和没有缺陷的完好脐橙图像共 220 幅，其中正常果 45 幅，裂果 30 幅，划伤 17 幅，愈合伤 22 幅，溃疡 45 幅，黑心病 22 幅，日灼 39 幅，图像中缺陷随机分布，缺陷分割结果如表 1

所示。

结果表明，黑心病缺陷分割率为 100%，划伤和日灼分割率最低，分别为 82.4% 和 79.5%。研究发现：在试验中，黑心病缺陷面积较大且颜色较深，易分割，而部分带有划伤和日灼的脐橙样本颜色为深红色（其他为桔黄色），在同样的光照环境下，它们在图像上反映的颜色比

桔黄色的脐橙偏暗,这样就导致在单阈值下,尽管图像亮度经过补偿,但是其最边缘部位灰度还是低于试验中的阈值 165,从而引起误分割。对于这种情况,把补偿的灰度值增加到 50,采用半径为 27 的结构元素,然后对这两种缺陷再次进行提取,正确率分别达到了 94.1% 和 97.4%,有了较大的提高。试验中部分裂果和溃疡没有被检测到,主要是因为有些缺陷处于脐橙图像中间部位,也就是图像的高亮区,从而导致少分割;部分颜色较浅的溃疡病斑处于脐橙最边缘,在边缘亮度补偿后,病斑的灰度超过了 165,也引起了漏分割。但试验发现,实际分割中绝大部分缺陷由于颜色较深(灰度在 100 以下),尽管其位于边缘,但亮度经过补偿后其灰度值依然小于 165,从而可以有效分割,如图 5 中关于划伤缺陷的分割所示。

表 1 缺陷分割结果

Table 1 Results of defects segmentation

种类	样本图像数	分割结果	正确率/%
好果	45	43	95.6
裂果	30	27	90.0
划伤	17	14	82.4
愈合伤	22	21	95.5
溃疡	45	42	93.3
黑心病	22	22	100.0
日灼	39	31	79.5

注:单阈值 T 设定为 165。

5 结 论

1) 介绍了一种在不破坏水果缺陷的前提下,水果与背景快速分割方法,这种方法比先利用阈值分割,然后再对缺陷部位实施恢复的处理算法更快、更有效,并且背景分割后可以保证缺陷 100% 保留。

2) 提出了边缘灰度补偿算法,利用此算法对 6 种常见脐橙表面缺陷进行提取,平均正确率为 90.1%,但日灼和划伤正确率较低,在增加灰度补偿值及调整结构元素半径后,日灼和划伤的分割正确率分别达到 97.4% 和 94.1%,有了显著提高。

3) 试验中,部分裂果及溃疡由于其处于高亮区没有正确分割,从而使这两缺陷分割正确率也相对较低,为此,可以对高亮区进行校正,这属于下一步要研究的问题。

4) 利用开发的算法对不同灰度等级的缺陷利用单阈值一次性分割成功,从而保证了算法在线实施的可行性。此种方法简单有效,适用于多数外形呈球状或亚球状水果的边缘亮度补偿,通过改进光源或采用更均匀的照明方式,缺陷有效分割率会提高。本文并不讨论果梗与果萼部位的识别。

[参 考 文 献]

- [1] 中国农业年鉴编辑委员会. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008.
- [2] Diaz R, Faus G, Blasco M, et al. The application of a fast algorithm for the classification of olives by means of computer vision[J]. Food Research International, 2000, 33: 305-309.
- [3] Laykin S, Alchanatis V, Fallik E, et al. Image-processing algorithm for tomato classification[J]. Transaction of the ASAE, 2002, 45(3): 851-858.
- [4] Hahn F. Multispectral prediction of unripe tomatoes[J]. Biosystems Engineering, 2002, 81(2): 147-155.
- [5] 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): 147-145. (in Chinese with English abstract)
- [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 with English abstract)
- [7] 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 with English abstract)
- [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 with English abstract)
- [9] 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 application in citrus image correction[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004, 20(4): 117-120. (in Chinese with English abstract)
- [10] 赵杰文, 刘剑华, 陈全胜, 等. 利用高光谱图像技术检测水果轻微损伤[J]. 农业机械学报, 2008, 39(1): 106-109.
Zhao Jiewen, Liu Muhua, Chen Quansheng, et al. Detecting subtle bruises on fruits with hyperspectral imaging[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(1): 106-109. (in Chinese with English abstract)
- [11] 蔡健荣, 王健黑, 陈全胜, 等. 波段比算法结合高光谱图像技术检测柑橘果锈[J]. 农业工程学报, 2009, 25(1): 127-131.
Cai Jianrong, Wang Jianhei, Chen Quansheng, et al. Detection of rust in citrus by hyperspectral imaging technology and band ratio algorithm[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(1): 127-131. (in Chinese with English abstract)

- [12] Tao Y. Spherical transform of fruit images for on-line defect extraction of mass objects[J]. *Optical Engineering*, 1996, 35(2): 344—350.
- [13] Tao Y, Wen Z. An adaptive image transform for high-speed fruit defect detection[J]. *Transaction of the ASAE*, 1999, 42(1): 241—246.
- [14] Leemans V, Magein H, Destain M F. Defect segmentation on 'Jonagold' apples using color vision and a Bayesian classification method[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 1999, 23: 43—53.
- [15] Ariana D P, Shrestha B P, Guyer D E. Integrating reflectance and fluorescence imaging for apple disorder classification[Z]. ASAE Paper 2003.
- [16] Ariana D, Guyer D E, Shrestha B. Integrating multispectral reflectance and fluorescence imaging for defect detection on apples[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2006, 50: 148—161.
- [17] Kleynen O, Leemans V, Destain M F. Development of a multispectral vision system for the detection of defects on apples[J]. *Journal of Food Engineering*, 2005, 69: 41—49.
- [18] Blasco J, Aleixos N, Gomez J, et al. Citrus sorting by identification of the most common defects using multispectral computer vision[J]. *Journal of food Engineering*, 2007, 83: 384—393.
- [19] Blasco J, Aleixos N, Gómez-Sanchís J, et al. Recognition and classification of external skin damage in citrus fruits using multispectral data and morphological features[J]. *Biosystems engineering*, 2009, 103: 137—145.
- [20] 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: 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 2006.
- Pang Jiangwei. Study on External Defects Classification of Navel Orange Based on Machine Vision[D]. Hangzhou: College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, 2006.
- [21] GB/T12947-1991, 鲜柑橘[S].

Background and external defects segmentation of navel orange based on mask and edge gray value compensation algorithm

Li Jiangbo, Rao Xiuqin^{*}, Ying Yibin, Ma Benxue, Guo Junxian

(College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

Abstract: Detection of fruits surface defects is always a challenging project for automated fruit grading of computer vision. A new method was developed to solve the problem of a part of defects easily being mistaken for the background when the fruits with defects were segmented from the background. First the B-component image of navel orange was extracted and built mask, then R-component image was masked by B-component image, thus 100% fruits and background segmentation with intact defects was achieved. Considering false segmentation of defects owing to the lower edge gray values of spherical fruits, an algorithm of fast fruit image edge gray value compensation was advanced. Using this algorithm, six kinds of common defects of navel orange, for a total of 220 images, setting the threshold for 165, the defects of different gray value was successfully segmented at one time. The highest segmentation rate was 100% and the lowest was 79.5%. Test results showed that the segmentation efficiency of the defects was improved as a result of the use of a single threshold.

Key words: computer vision, defects, extraction, navel orange, background segmentation