

基于计算机视觉的葡萄检测分级系统^{*}

陈英 廖涛 林初靠 万虎 李伟

(中国农业大学工学院, 北京 100083)

【摘要】 设计了一套基于计算机视觉的葡萄检测分级系统,包括驱动装置、输送机构、夹持机构、图像采集与处理系统和分级控制系统,葡萄以悬挂方式连续输送,两个 CCD 摄像机在外触发模式下实时采集葡萄的两面图像。基于 RGB 色彩空间计算果面着色率,采用投影面积法和果轴方向投影曲线计算果穗大小和形状参数,进而实现葡萄外观品质分级。选用 20 穗巨峰葡萄进行 3 次分级试验,与人工分级对比,颜色和大小形状分级的准确率分别为 90% 和 88.3%,同时在分级过程中不会对葡萄造成损伤。

关键词: 葡萄 分级 计算机视觉 图像处理

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)03-0169-04

Grape Inspection and Grading System Based on Computer Vision

Chen Ying Liao Tao Lin Chukao Wan Hu Li Wei

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract

A grape grading system based on computer vision was developed. The system consisted of 5 parts: the driving unit, conveying unit, holding unit, image grabbing-processing unit and grading control unit. Through a special chain, bunches of grapes were hung and conveyed continuously along a path. Two CCD cameras were installed to capture two images from two sides of each bunch simultaneously under external trigger motion. The color feature was extracted on RGB space, the size and shape features were calculated from the projection area and pixel accumulation curve. Then external inspection and grading of grapes were conducted. Twenty bunches of grapes were graded on the system for three times. Experiments showed that the accuracy was 90% for color grading and 88.3% for size-shape grading. The grapes were not damaged during grading.

Key words Grapes, Grading, Computer vision, Image processing

引言

我国鲜食葡萄产量居世界首位,然而由于采后处理、分选分级技术水平低,我国鲜食葡萄产品在国际市场上的竞争力较差,出口量很小^[1]。目前葡萄的分选分级主要由人工完成,效率低下且难以做到客观准确,无法适应规模化和产业化生产的要求。计算机视觉检测具有客观、准确、快速、无损等优点,已广泛应用于苹果、柑桔、西红柿、桃子、梨等近球形单粒水果的外观品质检测与

分级^[2]。葡萄是一种穗状水果,形状复杂,每穗果实包括相互堆积的多枚果粒,且果实柔软多汁,因此基于机器视觉进行葡萄分级具有一定的特殊性,目前在国际上应用较少,已报道的研究成果主要是 Philippe Blanc 申请的美国专利^[3],国内此方面的研究未见报道。本文参考人工分级标准开发一套葡萄实时检测和分级系统,将葡萄以悬挂方式连续输送,采用计算机视觉技术,提取葡萄的果面颜色、果穗大小、形状等图像信息,以实现葡萄外观品质的在线检测分级。

收稿日期: 2009-04-20 修回日期: 2009-06-03

^{*} 国家“863”高技术研究发展计划资助项目(2006AA10Z255)

作者简介: 陈英,副教授,主要从事计算机视觉检测研究, E-mail: cy@cau.edu.cn

1 分级系统设计

1.1 系统结构设计

葡萄的检测分级不同于苹果、柑橘等水果,由于葡萄果实柔软多汁,不允许将其采用滚动或翻转式上、下料,也不允许其在检测台上滑动或滚动。本文开发的葡萄分级系统采用人工上、下料,将葡萄以悬挂方式连续输送,系统由驱动装置、悬挂式输送机构、葡萄夹持机构、图像采集与处理系统、分级控制系统 5 部分组成,如图 1 所示。

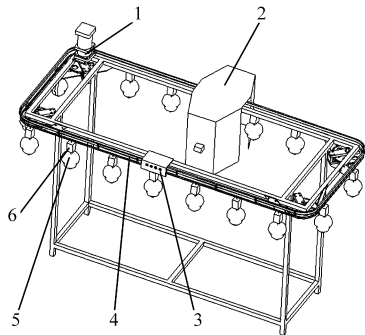


图 1 葡萄分级系统结构示意图

Fig. 1 Structure of the grapes inspection and grading system

1. 驱动装置 2. 图像采集区域 3. 分级控制系统 4. 悬挂式输送机构 5. 葡萄 6. 葡萄夹持机构

驱动装置是一套链传动机构,电动机通过传动轴带动主动链轮转动,进而通过链条带动另外 3 个从动链轮转动,从而驱动一个环形输送系统;悬挂式输送机构由机架、环形轨道、链条、滚动轴承组件等组成,如图 2 所示,输送链条采用上、下分别带有吊耳的精密滚子链,上方吊耳通过滚动轴承组件悬挂在环形轨道中,下方吊耳连接夹持机构以夹持葡萄果柄,从而实现葡萄的悬挂式输送;葡萄夹持机构吊装在输送链条下吊耳的下方,能可靠地将葡萄果柄夹持在两片橡胶夹持垫之间,并通过调节弹簧预紧程度保证不损伤果柄。在检测过程中,葡萄其他部位均不与检测装置产生接触或碰撞,既可以避免其在检测过程中的损伤,又便于摄像系统从不同角度获取尽量多的果面信息。

1.2 图像采集与分级控制

为了在不翻转滚动葡萄的情况下获取输送线上每穗葡萄较为完整的果面信息,本系统采用单 PC 机、单采集卡、双摄像头同时采集一穗葡萄两面图像的采集方案,图 3 为图像采集与分级控制原理图。横跨一侧机架的灯箱构成图像采集区域,灯箱内的 4 块灯座板上分别安装 5 根 20 W 的荧光灯管,使得进入到图像采集区域的葡萄表面形成均匀的光照效果。选用两个 JVC TK-C1481BEC 型彩色 CCD 摄像机,分别安装在灯箱两侧,配合日本精工的 12 mm

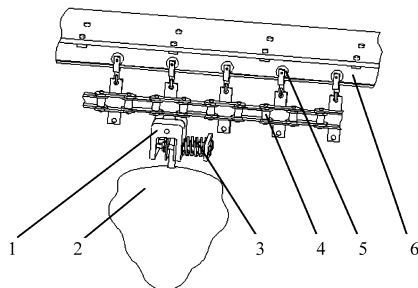


图 2 输送机构与夹持机构简图

Fig. 2 Conveying unit and holding unit

1. 夹持体 2. 葡萄 3. 弹簧 4. 链条 5. 滚动轴承 6. 环形轨道

手动光圈定焦镜头,在物距为 600 mm 下进行图像采集。选用微视凌志 Matrox Morphis 采集卡,其双视频解码器构架支持从双路标准视频同步采集连续图像。图像采集与分级控制采用 PC-PLC 的主从式构架,PC 作为上位机主要完成图像信息的采集、处理和分析,PLC 作为下位机主要完成逻辑控制,一方面处理由传感器传送的葡萄位置信息,控制图像采集,另一方面通过与上位机的通讯,实现分级信息的显示控制。上位 PC 机与 PLC 以 PPI 多主站编程电缆通讯方式,选择点对点接口 PPI 协议实现 PLC 与 PC 的通讯。每当葡萄运行到采集区域时,电感式接近传感器检测到与葡萄相连的夹持机构,产生一个脉冲触发信号并传送给 PLC,该脉冲触发信号被 PLC 用于记录并跟踪该穗葡萄的位置,同时触发采集卡采集该葡萄的两幅图像。采集到的图像经过计算机处理后判定该葡萄的等级,并通过 RS232 串口将等级值发送给 PLC。PLC 接收、保存葡萄等级信息,待该串葡萄运动至分级区域时,控制指示灯显示该葡萄的等级。

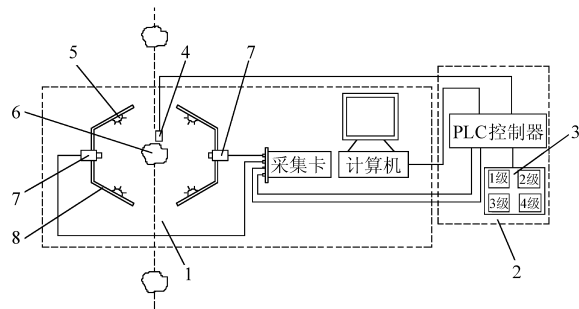


图 3 图像采集与分级控制原理图

Fig. 3 Image grabbing-processing and grading control

1. 图像采集与处理系统 2. 分级控制系统 3. 分级指示灯 4. 传感器 5. 光源 6. 葡萄 7. CCD 摄像机 8. 光照箱

2 图像处理及特征参数提取

本文的研究对象为我国栽种面积最广的巨峰葡萄,参照鲜食葡萄的国家标准和农业行业标准^[4],巨峰葡萄外观品质等级指标主要包括果面颜色、果

穗大小、形状、果粒大小及均匀度等,本文主要进行果面颜色、果穗大小和形状分级。

2.1 图像预处理

对检测线上采集的每穗葡萄的两幅图像,如图4所示,首先采用 3×3 中值滤波去除噪声。分析葡萄图像R、G、B 3个通道的直方图,发现每个通道直方图均表现为明显的双峰,而B通道直方图的波谷宽度较大,且对于不同成熟度的葡萄,在灰度210附近都有明显的波谷,因此,选取B通道固定阈值 $T=210$ 进行目标分割。

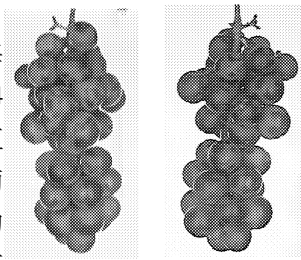


图4 一串巨峰葡萄的两面图像

Fig. 4 Two images of a bunch of Jufeng grapes

2.2 果面颜色特征参数提取

颜色在某种意义上代表水果的成熟度和口感,水果颜色分级中,大多基于RGB^[5]或HSI^[6]两种色彩空间提取特征参数,建立分级模型。巨峰葡萄等级标准中按照果面紫黑着色率将葡萄分为优等果(紫黑着色率大于95%)、一级果(紫黑着色率大于85%)和二级果(紫黑着色率小于85%)。通过大量试验,发现颜色特征参数 $C_{\text{color}} = 2G - R - B$ (R、G、B分别为R、G、B颜色通道的灰度值)能较好地区分果面的紫黑色区域和非紫黑区域,对于紫黑色区域 $C_{\text{color}} > 0$ 。据此可以计算出葡萄果面紫黑区域百分比,进而进行颜色分级。

2.3 果穗大小参数提取

在机器视觉检测分级中,可以采用投影面积^[7]、周长^[8]、最大横径^[9]、体积^[10]等作为大小分级参数。本文采用投影面积法,计算一穗葡萄的两幅图像中葡萄目标的投影面积 s_1 、 s_2 ,取其平均值 $C_{\text{area}} = (s_1 + s_2) / 2$,作为大小分级的特征参数。

2.4 果穗形状参数提取

目前水果形状检测的方法主要分两种,一是用简单的几何量如圆度^[11]、横纵径之比、曲率^[10]等作为形状分类的特征参数,二是采用傅里叶描述子重建水果形状^[12]。葡萄果穗的形状受环境因素影响而千差万别,且随机性很大,难以采用简单的几何量加以描述或重建果形。

在人工分级中,巨峰葡萄果穗典型的形状缺陷是扁担形,即两端大中间小,如图5。由于扁担形的葡萄果穗下半部分质量较大,而中间部分细弱,容易出现掉粒和下部脱落的情况。本文基于果轴方向投影曲线提取形状参数以识别扁担形果穗,首先逐行扫描图像,计算每一行目标像素点个数的累加值 n ,

从而得到果轴方向(l)投影曲线,如图6。对于扁担形果穗,曲线呈明显的双峰,谷点位置标记为 $G(l_g, n_g)$,下峰点位置标记为 $F(l_f, n_f)$,通过统计55穗形状各异葡萄的110幅图像(每穗采集两面图像),发现谷点位置 l_g 的取值在 $0.15L \sim 0.65L$ 范围内,其中 L 为果轴长度。

求 $n_g = \min n(l), l \in (0.15L, 0.65L)$,从而得到谷点 $G(l_g, n_g)$,求 $n_f = \max n(l), l \in (0, l_g)$,从而得到下峰点 $F(l_f, n_f)$,定义形状参数 $C_{\text{shape}} = n_g / n_f$ 。一般 $C_{\text{shape}} \leq 1$, C_{shape} 越小说明扁担形越严重。

选取55穗巨峰葡萄(其中25穗为扁担形,30穗为正常形状),在检测线上采集110幅图像,按上述方法求得每幅图像的形状参数,得到图7所示的形状参数分布散点图,可以看出扁担形葡萄的 C_{shape} 基本在0.55以下,而正常形状葡萄的 C_{shape} 一般在0.55以上。故确定形状分级模型为:若 $C_{\text{shape}} < 0.55$,则判断为畸形果。

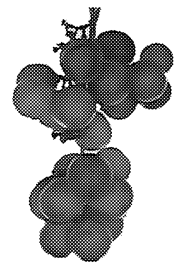


图5 扁担形果穗

Fig. 5 Bunch of abnormal shape

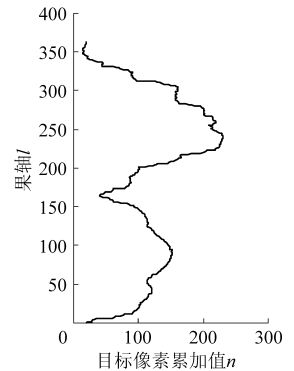


图6 形状特征参数提取

Fig. 6 Shape feature extraction

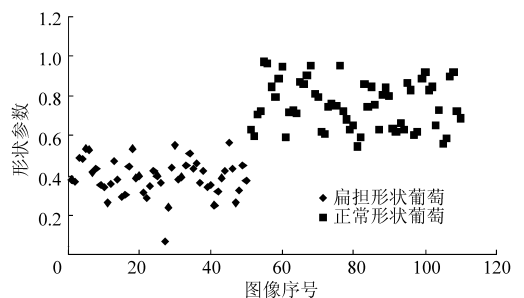


图7 形状参数分布图

Fig. 7 Shape parameters distribution

3 分级试验与结果

3.1 颜色分级试验

选用20穗巨峰葡萄,人工按颜色分为3级后,将其分别悬挂在检测线的夹持机构上,并将各自的等级在夹持机构上做标记,以便与在线检测结果进行对比。进行了3次试验,每次试验前将葡萄绕果轴随机旋转一定角度后吊装,从而使拍摄图像的角

度有所不同。统计在线分级与人工分级不一致的穗数,结果如表 1 所示,分级精度为 90%。

表 1 颜色分级结果
Tab.1 Color grading results

参数	等级		
	一级	二级	三级
果面紫黑色着色率/%	>95	>85	≤85
人工分级穗数	11	5	4
第 1 次试验	1	1	0
在线错分穗数	第 2 次试验	1	0
第 3 次试验	1	1	0

3.2 果穗大小形状分级试验

将 20 穗巨峰葡萄人工按大小和形状分为 3 级,然后按照上述方法进行分级试验。统计在线分级与人工分级不一致的穗数,结果如表 2 所示,分级精度为 88.3%。

4 结束语

设计了一套计算机视觉葡萄分级系统,将葡萄

表 2 果穗大小形状分级结果
Tab.2 Bunch size and shape grading results

参数	等级		
	一级	二级	三级
分级标准	$C_{area} > 130\text{ cm}^2$ 且 $C_{shape} > 0.55$	$C_{area} > 110\text{ cm}^2$ 且 $C_{shape} > 0.55$	$C_{area} < 110\text{ cm}^2$ 或 $C_{shape} \leq 0.55$
人工分级穗数	8	5	7
第 1 次试验	1	1	1
在线错分穗数	第 2 次试验	1	1
第 3 次试验	1	1	0

以悬挂方式连续输送,分级过程中不会对葡萄造成损伤。在外触发模式下同时采集一串葡萄的两面图像,以提取较为全面的果面信息。基于颜色特征参数 $C_{color} = 2G - R - B$ 统计巨峰葡萄果面着色率,采用投影面积法和果轴方向投影曲线计算果穗大小和形状参数,试验结果表明,与人工分级对比,颜色和大小形状分级的准确率分别为 90% 和 88.3%。

参 考 文 献

1 翟衡,杜远鹏,孙庆华,等. 论我国葡萄产业的发展[J]. 果树学报, 2007,24(6):820~825.
Zhai Heng, Du Yuanpeng, Sun Qinghua, et al. On the development situation of Chinese grape industry[J]. Journal of Fruit Science, 2007,24(6):820~825. (in Chinese)

2 Tadhg Brosnan, Da-Wen Sun. Inspection and grading of agricultural and food products by computer vision systems—a review[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2002,36(2~3):193~213.

3 Philippe Blanc. Unit for sorting and packaging products capable of being hung on a hooking member for the purpose of their conveyance, such as bunches of fruits, in particular table grapes or truss tomatoes: US,6957940[P].2005-10-25.

4 NY/T 470—2001 鲜食葡萄[S].

5 Dah-Jye Lee, James K Archibald, Chang Yuchou. Robust color space conversion and color distribution analysis techniques for date maturity evaluation[J]. Journal of Food Engineering, 2008, 88(3): 364~372.

6 Tao Y, Heiemann 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.

7 Bato P M, Nagata M, Cao Q, et al. Study on sorting system for strawberry using machine vision (part 2)[J]. Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery, 2000,62(2):101~110.

8 Sarkar N, Wolfe R R. Feature extraction techniques for sorting tomatoes by computer vision[J]. Transactions of the ASAE, 1985, 28(3): 970~979.

9 Blasco J, Aleixos N, Moltó E. Machine vision system for automatic quality grading of fruit[J]. Biosystems Engineering, 2003,85(4):415~423.

10 Chong V K, Kondo N, Ninomiya K, et al. Features extraction for eggplant fruit grading system using machine vision[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2008, 24(5): 675~684.

11 Vooren V D, Polder J G, Heijden V D. Identification of mushrooms cultivars using image analysis[J]. Transactions of the ASAE, 1992, 35(1): 347~350.

12 应义斌. 水果形状的傅立叶描述子研究[J]. 生物数学学报, 2001, 16(2): 234~240.
Ying Yibin. Fourier descriptor of fruit shape[J]. Journal of Biomathematics, 2001,16(2):234~240. (in Chinese)