

# 角点检测的甜瓜瓜蒂高效分离法<sup>①</sup>

徐莹莹<sup>1</sup>, 冯全<sup>1</sup>, 王书志<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(甘肃农业大学 工学院, 兰州 730070)

<sup>2</sup>(西北民族大学 电气工程学院, 兰州 730030)

**摘要:** 准确检测并分离甜瓜瓜蒂, 对于基于计算机图像处理的甜瓜品质分级系统具有重要意义。提出了一种基于角点检测的瓜蒂检测和分离方法, 该方法利用瓜蒂区域和甜瓜其它部分角点分布差异较大特点, 可准确地找到并擦除瓜蒂, 本算法对瓜蒂形状、长短、粗细不敏感, 有较好的适应性。与多种已知瓜蒂检测算法的对比实验表明, 本算法具有很高的识别率和较小的耗时。

**关键词:** 图像处理; 甜瓜瓜蒂; 角点检测

## Efficient Separation on Melon Pedicel with Corner Detection

XU Ying-Ying<sup>1</sup>, FENG Quan<sup>1</sup>, WANG Shu-Zhi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(College of Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

<sup>2</sup>(College of Electrical Engineering, Northwestern University for Nationalities, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** Accurate detection and segmentation of the pedicels are important tasks in a melon quality-rating system which is based on image processing. It presents a novel method of detecting the pedicels and erasing them in the melon images. The corners of a melon image are extracted firstly, and most of them distributes in the pedicel. Utilizing this feature, the pedicels exactly and erase them easily can be detected. The proposed method is not sensitive to variations of their shape, length, thickness of pedicels, and thus is adaptable. The experimental results show that, compared with the several existing approaches, the accuracy of the proposed method is improved and the average time cost is reduced.

**Key words:** image processing; melon; corner detection

## 1 引言

近年来, 计算机视觉技术在瓜果分级中的应用广泛。为提高计算机分级精确率和速度, 各国学者进行了大量研究。识别水果果梗和分离, 是进行果形、果径、大小等品质的精确分析的前提。目前区分果梗的方法多基于 CVC (Concave-Convex-Concave)、细化、梯度、条纹光和形态学及开运算等。CVC 法<sup>[1]</sup>是计算轮廓曲线上每个像素点的曲率决定该点的凹凸性, 根据凹-凸-凹(CVC 结构)确定果梗的位置, 该法依赖果实外形轮廓, 对不规则果梗或较长较粗者判断不出唯一正确的 CVC 结构。细化法<sup>[2]</sup>是根据果体的点多于果梗的点, 对边界进行反复细化使之变成空架子再恢复, 不能恢复的点就是果梗上的点, 该算法计算量极大,

不适合实时处理的要求。梯度法<sup>[3]</sup>计算每个像素梯度值, 按照正值、负值、变化不大值分别用符号表示, 解析出字符串与系统对应指标相比来判断果梗, 缺乏灵活性, 判断准确度低。条纹光法<sup>[4]</sup>通过一组平行光照射到果实表面, 由此凹凸面产生条纹的不同形状来判断是果梗、花萼还是坏损, 但由于要分析所有条纹的形状, 计算量大实时性差, 消除果径难度大。N Sarkar<sup>[5]</sup>利用形态学方法对图像重复收缩直到果梗消失再对图像进行等次的反复膨胀处理, 从而得到无果梗的图像, 识别率高, 但非常耗时。开运算也是基于图像形态学的处理算法, 果梗的检测速度有所提升, 但无法解决果梗极长的情况。瓜类的瓜蒂比起其他常见果实如苹果、梨、桔等的果梗更粗更长, 形状多样,

① 基金项目:国家自然科学基金(61062012)

收稿时间:2011-03-08;收到修改稿时间:2011-04-15

采用以上算法不能兼顾处理速度和处理效果。张建华等基于 CVC 结构, 计算甜瓜瓜蒂凹点组间链码长度和欧氏距离的比值识别瓜蒂<sup>[6]</sup>, 优点是运行时间短, 适合实时处理, 缺点是对细、直型的果梗有效, 遇到不规则瓜蒂比如梗部弯曲或带叶等复杂情况下不能识别。为了在甜瓜品质实时检测系统中可靠地检测和分离瓜蒂, 本文提出了一种基于角点检测的新算法, 该算法对瓜蒂形状、长度、粗细、局部遮挡、光照变化和旋转等不敏感, 具有很强的鲁棒性, 并具有运算快的优势和较高的瓜蒂去除精度。

## 2 瓜蒂检测与分离算法

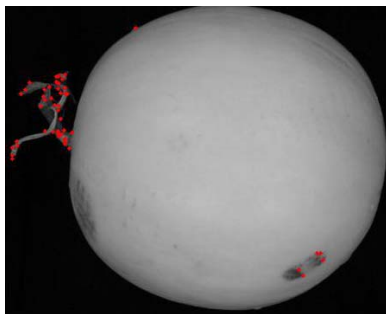


图 1 甜瓜角点分布图

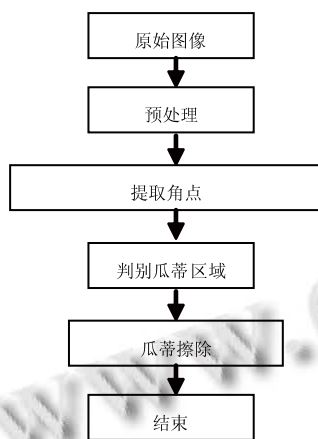


图 2 新算法处理框图

观察甜瓜 (如图 1), 瓜蒂上有很多高曲率点而且分布很集中, 而瓜体上高曲率点很少且稀疏。我们将这些高曲率点看成是角点, 采用角点检测算法找出这些高曲率点, 并根据曲率点分布的稠密与稀疏特点来探测瓜蒂区域。对甜瓜角点分析发现角点出现在瓜体缺陷破损干瘪伤疤处、瓜蒂头部和连接处, 而瓜蒂上的角点密度远远超过瓜体上的伤疤处。本算法在灰度

图像上提取出角点, 依据瓜蒂上角点分布集中特点, 找到瓜蒂大致区域, 在这个区域中逐步擦除瓜蒂, 完成瓜蒂与瓜体分离的任务。整个处理过程的框图如图 2。

### 2.1 预处理

预处理包括三个部分: 灰度化、甜瓜快速定位、高斯滤波去噪。其中快速定位利用全阈值网格分割法, 可用简单阈值确定果体表面像素点, 通过等间距网格点扫描降低处理工作量。设图像大小为  $n \times m$ , 网格的长与宽均相等, 间距为  $d$  个像素点, 阈值为  $t$ ,  $h(x, y)$  为灰度级, 则图像中瓜果网格集合  $Z$  表示为:

$$Z(x, y) = \begin{cases} 1 & h(x, y) > t \\ 0 & h(x, y) \leq t \end{cases}$$

通过简单阈值获取的甜瓜网格  $Z(x, y)$  数据中可以找到最左、最右、最上和最下四个坐标点, 利用这些坐标点得出能包括甜瓜的最小窗口。对我们所采集的图像预处理后, 剔除像素点比例占总像素点的 55% 以上 (见图 3), 为后期图像的实时处理提供了良好的基础。



图 3(a) 甜瓜原图



图 3(b) 预处理结果图

### 2.2 提取角点

目前角点检测方法大致分为两类: 一类是基于图像轮廓边缘信息, 如基于边界链码的角点检测<sup>[7]</sup>, 基于边界曲率的角点检测<sup>[8]</sup>, 基于小波变换的角点检测<sup>[9]</sup>, 基于尺度空间的角点检测<sup>[10]</sup>, 此类角点检测方法对图像分割和边缘提取依赖较大, 如果边缘线由于某种原因发生缠绕或连接中断, 则会对角点的提取结果造成影响; 另一类是基于图像灰度信息, 如 Moravec 算法, Harris 算

法<sup>[11]</sup>, Susan 算法<sup>[12]</sup>。考虑到瓜蒂处检测窗口中心点灰度值与其周围邻域内其他像素点灰度值的相似程度不大,其梯度非常大,用基于灰度图像信息提取算法来对瓜蒂判断更有效。本文分别采用 Susan、Harris 算法提取角点。但由于 Harris 算法采用  $9 \times 9$  的矩形高斯窗口(共 8 个像素),Prewitt 算子为方向导数,在计算量很难满足实时性要求较高的场合,我们还实现了文献[13]提出的改进 Harris 算法,并比较了这三种算法的效果。图 4(a)给出了改进 Harris 算法提取角点的例子。

Susan 算法是用一个圆形模板在图像上移动,比较模板内所有点与中心点的灰度值的一种局部灰度特征的算法。通过统计灰度差值小于一定值的个数与一个阈值进行比较,来判断该点是否为该区域的角点。Harris 算法是设计一个局部检测模板在图像中扫描,当移动模板内的平均灰度强度的变化超过一定阈值时,就将模板的中心点提取为角点。模板移动  $(m, n)$  的灰度强度变化表示为公式 1:

$$F_{m,n}(x,y) = \sum_{m,n} G_{m,n} \left\{ m \frac{\partial f}{\partial x} + n \frac{\partial f}{\partial y} + o(m^2, n^2) \right\}^2 \quad (1)$$

灰度为  $f(x, y)$ ,  $G_{m,n}$  是高斯窗在位置  $(m, n)$  处的系数。

改进的 Harris 多尺度角点检测算法,首先在尺度  $j=0$  时计算图像的相关矩阵,再根据各个尺度下计算每个像素的角点响应函数确定局部极大值,在尺度  $j=1$  下执行非极大值抑制去噪消除伪角点。最后,在尺度分别为  $j=1, 2, \dots, j$  下由细到粗筛选角点。利用小波变换重新规整公式(1)定义图像的灰度强度变化新公式 2:

$$F_{m,n}(x,y) = (m,n) \begin{Bmatrix} A & C \\ C & B \end{Bmatrix} (m,n)^T \quad (2)$$

本实验中  $T=25, k=0.06$ , 结果表明:改进的 Harris 算法通过阈值除噪声,对局部噪声不敏感,抗噪能力强,抑制非极大值后定为角点,能提取出更多有效的角点并准确定位,时效性强。

### 2.3 瓜蒂区域识别

提取角点后,判别非瓜蒂区域角点并删除,剩下的角点集中区域就是瓜蒂区域。根据实验统计,角点在瓜体上出现位置多在伤疤或霉变处,瓜体边缘上基本较少,但是瓜体伤疤或霉变处的角点密度远小于瓜蒂处(见图 1)。因此,根据利用这些特点,可以判定瓜体及边缘上的角点,快速有效去除非瓜蒂区域角点。

方法是以每个角点为中心,在其周围  $n \times n$  的邻域进行搜索,若此范围内角点数不超过  $t$  个,则可认为不是瓜蒂区域的角点,删除即可。在剩下的角点中找到最左、最右、最上和最下四个角点,它们围成的区域就是瓜蒂区域。通过反复实验,确定  $n=30, t=3$ ,能很好地将瓜蒂区域找出。

### 2.4 瓜蒂擦除

首先对灰度图像采用全局二值化处理。经过处理效果比对,阈值设在 28-50 之间最佳。

其次,在二值图上对角点附近瓜蒂进行擦除,方法是在瓜蒂区域内的每个角点周围  $m \times m$  邻域内,用一个小模板搜索判断模板内各个像素点的像素值,分别统计模板内黑白像素点值的个数进行判定;如果黑像素点个数大于等于白像素点个数时,则全部用黑色种子填充模板。实验表明  $m$  值大小很关键,经过反复试验,  $m$  取 21 较为合适;而小模板取  $3 \times 3$  模板。对应于图 4(a),图 4(b)给出了上述算法擦除瓜蒂后的例子。可以看出瓜蒂大部分被擦除,但还存在零星的、与瓜体分离残余瓜蒂。

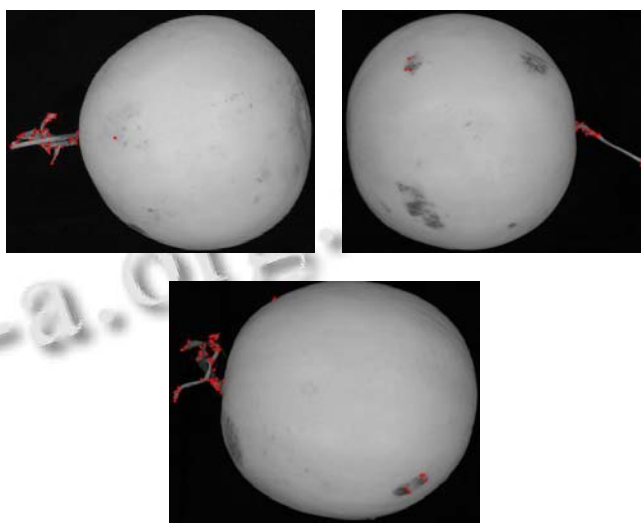
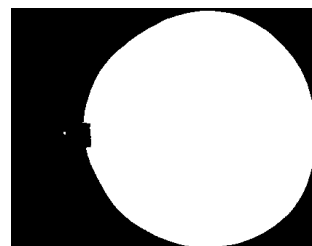


图 4(a) 角点提取的例子



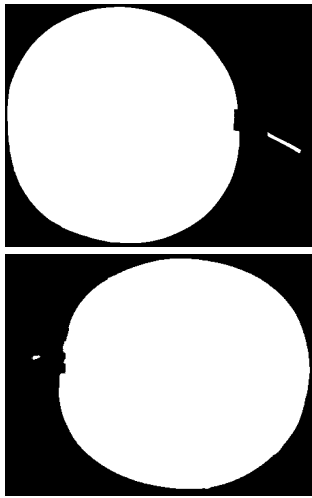


图 4(b) 对应(a)的瓜蒂初步擦除的例子

为了进一步去除残余瓜蒂，可以在原来瓜蒂区域内继续查找，通过搜索小的孤立区域的方法得到残余瓜蒂的位置。鉴于残余瓜蒂区域是封闭的，即仅有一条外边界并且区域内不存在孔洞特点，搜索闭合区域的算法采用了图案填充算法<sup>[14]</sup>。最后，比较各孤立区域面积与整个图像像素点的比例，如果所占比例不足整幅图像 1/8 时，就可断定为非瓜体区域，黑色种子填充面积区域。

### 3 试验结果与分析

本文试验中选择市场上普通甜瓜，通过计算机视觉检测系统采集了 300 幅含有甜瓜可疑区域的图像作为样本集，其中包括 100 幅瓜蒂形状各异，包含直长瓜蒂、短粗瓜蒂、弯曲瓜蒂、分叉瓜蒂、带有瓜叶瓜蒂等作为训练样本，另外 200 幅作为测试样本。在 MATLAB7.0 平台上实现本文的瓜蒂与瓜体分离算法。

#### 3.1 不同角点探测算法的检测结果和计算速度比较

图 5 给出了 Susan、Harris 和改进 Harris 算法提取角点的两个例子。实验结果表明，Susan 算法漏检了很多重要的角点并且角点位置偏移和易受噪，有可能会在真正的角点附近的邻域里同时出现几个“伪角点”。从图 5 可以看出 Harris 算法可以准确检测出角点位置，而改进 Harris 算法对角点定位精度并不逊与 Harris 算法，而其速度较 Harris 算法快了很多。表 1 给出了图 5 的两个例子中 Susan 算法和改进 Harris 算法检测角点的速度。

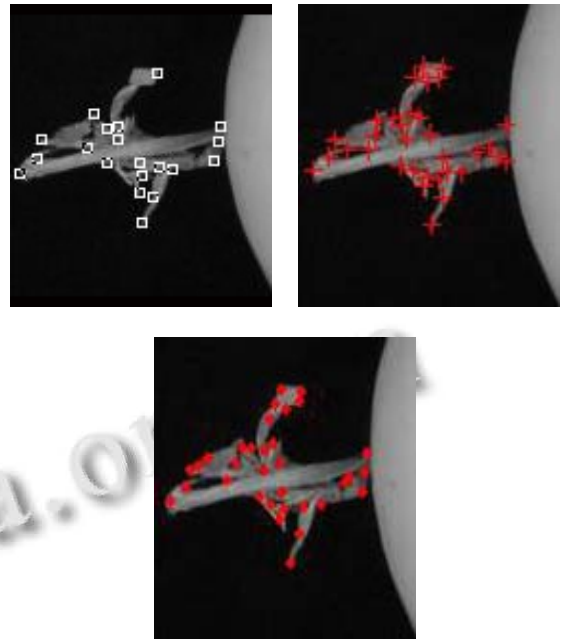


图 5(a) Susan、Harris 与改进的 Harris 角点检测算法提取出的角点效果之例 1

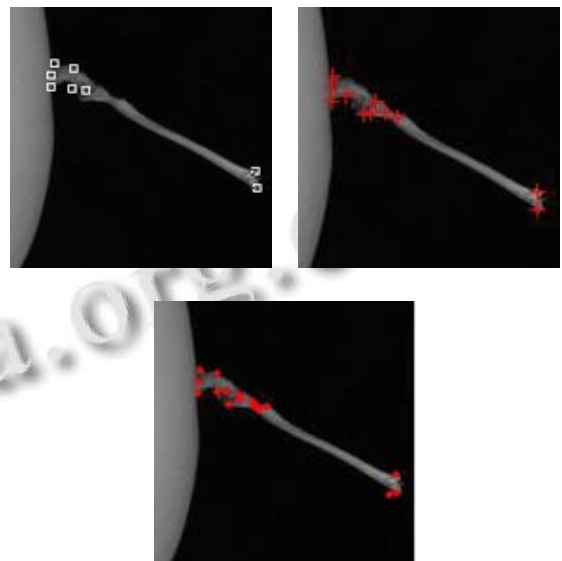


图 5(b) Susan、Harris 与改进的 Harris 角点检测算法提取出的角点效果之例 2

表 1 Susan 和改进 Harris 算法的计算速度比较

检测器	例 1 Susan 算法	例 1 改进 Harris 算法	例 2 Susan 算法	例 2 改进 Harris 算法
用时 (s)	1.0820	0.0710	0.0880	0.0110



### 3.2 瓜蒂擦除效果实验结果

分别选取不同结构的瓜蒂甜瓜测试，图 6(a)给出了带叶瓜蒂、分叉瓜蒂、短粗瓜蒂、弯曲瓜蒂的例子，快速处理阈值  $T_1=65$ ，瓜蒂擦出阈值  $T_2=40$  时它们的瓜蒂擦除效果如图 6(b)。对原始甜瓜图片进行  $45^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $180^\circ$  翻转再次检测，瓜蒂分离效果不受任何影响，平均运行时间差在 20ms 左右，可以看出本算法对形状、长短、粗细等各种类型的瓜蒂均能很好检测并分离，而不受破损缺陷区域的干扰，对瓜蒂旋转不敏感，具有较好的鲁棒性。

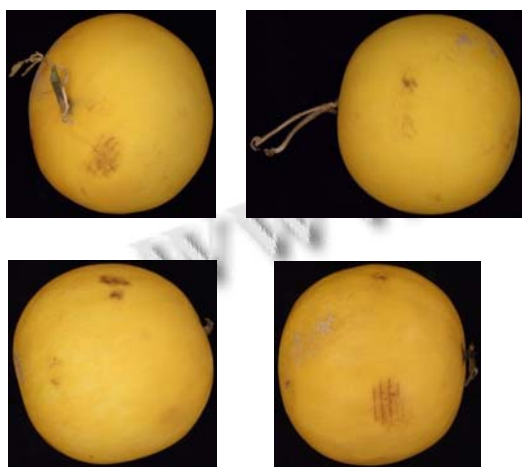


图 6(a) 不同类型甜瓜瓜蒂，第一排从左至右为：(1) 带瓜叶 (2) 分叉 第二排为(3) 短粗 (4) 弯曲

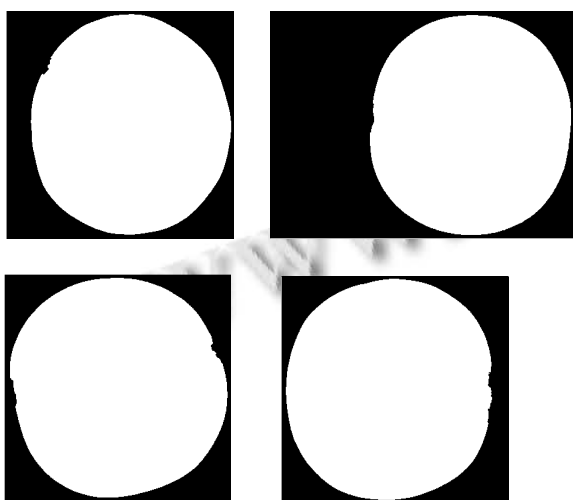


图 6(b) 本方法的瓜蒂分离效果

为了比较本方法与其它瓜蒂分离算法的性能差异，在 MATLAB7.0 平台上实现形态学法<sup>[5]</sup>、CVC 法<sup>[1]</sup>和文

献[7]的算法，其中采用形态学方法即先调用 40 次收缩再调用 40 次膨胀，CVC 法采用循环检测 CVC 结构直到未查到结束，选取带有伤疤缺陷干扰的甜瓜 100 幅图像进行比较，每幅图片大小为  $640 \times 480$  像素，背景色为黑色。表 2 给出了四种算法的平均处理时间和瓜蒂识别率的实验结果。

表 2 各算法瓜蒂识别率和识别时间

算法名称	平均处理时间 (s)	识别率 (%)
本算法	0.28	96
形态学法	4.93	97
CVC 法	0.12	71
文献[7]算法	0.10	78

从实验中看出，在处理较直、粗短型瓜蒂时各种算法都能在大致相当时间内检测出来。而对带有瓜叶、瓜蔓卷曲、分叉复杂形状瓜蒂时，各种算法用时差异很大，甚至不能精确检查瓜蒂位置。如表 2 所示，文献[7]和 CVC 算法处理速度最快，但对于弯曲和分叉瓜蒂，两种算法瓜蒂上常常找不到 CVC 结构，造成瓜蒂的识别率低。本方法耗时接近 CVC 法，而且不受瓜蒂结构影响，故识别精度明显高于后者。形态学法虽然瓜蒂擦除效果好，但因反复调用收缩和膨胀算法，平均处理时间明显多于其它算法，很难用于实时处理场合。

实验发现本算法对下面情形有时不能完全擦除瓜蒂：瓜蒂与瓜体连接处有瓜叶遮挡，使瓜蒂与瓜体连接处结合为一体，此处提取角点数量不足以使瓜蒂与瓜体完全分离。对这类情形，我们认为是失败的例子，故本算法的识别率只有 96%。

从图 6 也看出本算法尚存在一个缺点，就是在瓜蒂和瓜体的结合部常会多擦除一些像素，这在精确计算甜瓜面积和周长时造成一定误差，这将是今后我们需要改进的。

### 4 结语

本文提出了一种高效和鲁棒的瓜蒂检测与分离算法，该算法的检测结果不受噪声、瓜果外形轮廓、伤疤缺陷等影响。利用瓜蒂上有很多高曲率点且分布集中特点，本算法采用角点检测算法找出这些高曲率点，根据区域内角点密度判断出瓜蒂区域，在瓜蒂区域内逐个擦除角点周围瓜蒂，使之与瓜体分离，最后搜索并擦除孤立、小面积残余瓜蒂。在不同类型的瓜蒂上

用该方法的平均擦除率达到了 96%，与形态学算法基本相当，比 CVC 法提高了 35%，而处理速度只有形态学算法的 6%，满足实时处理的要求。

### 参考文献

- 徐娟,汪懋华.图像形态学在苹果自动分级视觉信息处理中果梗判别与边缘检测中的应用.农业工程学报,1999,15(2): 177-180.
- Ruiz LA, Molto E, Juste F. Location and Characterization of the Stem-Calyx Area on Oranges by Computer Vision. Journal of Agricultural Engineering Research, 1996, 64: 165-172.
- Wolfe RR, Sandler WE. An algorithm for detection using digital image analysis. Trans of the ASAE, 1985, 28(2): 641-644.
- Yang QS. Machine Vision for Fruit Blemish Detection. UK: Cranfield Univesity Silsoe Campus, 1995,65-93.
- Sarkar N, Wolfe RR. Feature extraction techniques for sorting tomatoes by computer vision. Trans of the ASAE, 1985,28(3):970-974.
- 张建华,王书志,冯全.一种计算机视觉识别硬皮甜瓜瓜蒂的新方法.计算机系统应用,2009,18(7):186-189.
- Freeman H, Davis LS. A corner-finding algorithm for chain-coded curves. IEEE Trans. on Computers, 1977,26(3): 297-303.
- Mokhtarian F, Suomerla R. Curvature scale space based image corner detection. Processing European Signal Processing Conference, Island of Rhodes, Greece, 1998: 2549-2552.
- Lee JS, Sun YN, Chen CH. Multiscale corner detection by using wavelet transform. IEEE Trans. on Image Processing, 1995, 4(1):100-104.
- Koenderink JJ. The structure of image. Biological Cybernetics, 1984,50(5):363-370.
- Harris C, Satephens MJ. A combined corner and edge detector. Alvey Vision Conference, Manchester, 1988, 147-152.
- Smith SM, Brady JM. SUSAN: A new approach to low level image processing. Internertional Journal of Computer Vision, 1997, 23(1):45-78.
- 张小洪,李博,杨丹.一种新的 Harris 多尺度角点检测.电子与信息学报,2007,(7):1735-1738.
- 王琪,王丽萍,陈凯迪.一种简单的图案填充算法.微计算机信息,2005,(27):116-117.

(上接第 22 页)

## 4 结语

该系统实时性强,智能程度高,具有模块化、便携、可靠等特点。该系统在实际中可以应用于机器视觉、导航、医疗、监控、军事检测等场所。

### 参考文献

- ADSP-BF533 DATASHEET, Analog Devices Incorporation, 2008.http://www.analog.com
- 徐婉莹,刘建军,黄新生.基于 CPLD 和 DSP 的高速图像采集技术研究.电子工程师,2004,30(6):48-50.
- ADSP-BF533 Hardware Reference, Analog Devices Incorporation, 2008.http://www.analog.com
- Zhang Z. A Flexible New Technique for Camera Calibration. Technical Report MSR TR-98-71, Microsoft Research, December 1998.
- Scharstein D, Szeliski R. A Taxonomy and Evaluation of Dense Two-Frame Stereo Correspondence Algorithms. Int'l J. Computer Vision, 2002,47(1):7-42.
- Zabih R, Woodfill J. Non. Parametric Local Transforms for Computing Visual Correspondenc Third European Cone Computer Vision 1994,150-158.
- 陈峰.Blackfin 系列 DSP 原理与系统设计.北京:电子工业出版社,2004.4-11.