

# 光谱图像技术结合 SAM 算法识别自然场景下的成熟柑橘\*

蔡健荣, 王建黑<sup>†</sup>, 陈全胜, 王锋, 吕强

(江苏大学 食品与生物工程学院, 江苏 镇江 212013)

**摘 要:** 为了实现采摘机器人在复杂的自然场景下正确识别树上果实, 来完成果实采摘, 研究了不同环境下柑橘的识别方法. 针对复杂的自然环境的影响及传统方法的局限性, 在可见光和近红外区域择选 5 个特征波长滤波片, 采集得到 5 幅滤波后的图像, 并利用光谱角分类算法完成柑橘识别. 试验结果表明, 在光照角度、光照强度等不同条件下, 柑橘的识别准确度达到 96%. 研究表明, 滤波片光谱图像技术结合光谱角分类算法可以有效地识别自然场景下的成熟柑橘.

**关键词:** 光谱图像; 滤波片; 波谱角分类; 采摘机器人; 识别; 柑橘

**中图分类号:** TP391.41

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1004-4213(2009)12-3171-5

## 0 引言

随着农业生产的规模化、多样化和精确化, 机器人技术在农业上的应用研究已经成为热门课题. 采摘机器人作为农业机器人的重要类型, 在蘑菇、樱桃、茄子等<sup>[1-5]</sup>作物的采摘作业中已经有所突破. 如何能在复杂的自然环境下有效地识别果实是首要解决的问题, 这仍然是研究的重点和难点. Zhang 等<sup>[6]</sup>对苹果树图像进行滤波和边界提取, 通过计算来确定与图形形状相关的苹果轮廓线; Slaughter 等<sup>[7]</sup>采用建立分类模型的方法对柑橘收获中的计算机视觉系统做了研究; 徐惠荣<sup>[8]</sup>等人建立了利用柑橘、树叶、树枝在 R-B 颜色指标上的差异进行树上柑橘识别的颜色模型. 赵金英<sup>[9]</sup>等人对利用 Lab 色彩空间从背景中提取了成熟番茄图像; 蔡健荣等<sup>[10]</sup>通过 Otsu 分割 2R-G-B 色差分量图像, 并利用优化的圆形 Hough 变换提取图像的形心坐标及半径, 恢复遮挡果形.

已有的研究表明, 传统的图像处理方法主要是采用基于局部灰度、颜色特征和形状特征的技术, 而且一般局限于可见光和二维图像信息范畴上进行图像分析, 挖掘不到更多信息. 果实在树上位置和深度的不同, 会导致不同果实之间呈现的亮度和色度也不同; 在不同的环境条件下, 同一果实的亮度也会不同; 在复杂背景下, 受光照的影响, 土壤、草丛等其他物质很可能产生和果实类似的颜色特征或亮度分布, 势必会使传统方法分析图像显得力不从心, 影响

识别准确度. 柑橘、树叶、树枝及杂草等其它背景物质的内部有机成分不同, 它们的光谱特性也不相同, 在不同波段下的对光的吸收值也存在差异<sup>[11]</sup>. 鉴于此, 研究尝试利用基于滤波片的光谱图像技术来识别自然场景下的柑橘, 采集得到同一场景下不同波段的图像. 本文利用光谱角分类算法 (Spectral Angle Mapper, SAM) 挖掘能有效识别柑橘的信息<sup>[12]</sup>, 实现在自然场景下正确识别柑橘, 以提高柑橘识别的准确度.

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

根据试验需要, 采用能够感应近红外信号的富士数码相机, 其基本参量如下: 型号: FinePix F30, 传感器类型: CCD, 传感器尺寸: 1/1.7 英寸, 有效像素: 630 万, 光学变焦: 3 倍, 数码变焦: 6.2 倍. 根据前期研究的成果, 试验选择了 5 片窄带滤波片, 其中中心波长 (Central Wave Length, CWL) 分别为: 435 nm、545 nm、670 nm、779 nm 和 850 nm, 峰值投射率 (Tpk) 分别为 44.9%、63.0%、50.2%、61.0% 和 74.0%, 半波带宽 (Full Width at Half Maxium, FWHM) 分别为: 7.7 nm、8.2 nm、10.2 nm、11.0 nm 和 8.8 nm. 处理与分析图像的计算机为 Pentium(R) Dual-Core, CPU E5200 2.50 GHz, 内存 2 GB, 操作系统 Microsoft Windows XP.

### 1.2 图像采集

试验对象是处于收获期的柑橘. 首先调整相机的曝光时间, 光圈大小等参量, 保证采集到清晰的图像, 然后使用伟峰三脚架 (型号: WT330A) 固定相机, 在避免镜头与滤波片之间漏光的前提下, 在镜头前交替更换滤波片采集到同一场景下经滤波后的波

\* 国家高技术研究与发展计划 (2006AA10Z263) 和国家自然科学基金 (30771243) 资助

<sup>†</sup> Tel: 0511-88972576 Email: wangjianhei@126.com

收稿日期: 2008-10-29

修回日期: 2008-12-22

段图像,结果如图 1. 试验时间为 2008 年 10 月 15 日,当天天气为晴转多云,地点为江苏镇江江心洲柑橘果园. 考虑实际柑橘采摘作业的时间,地点,天气

等情况,试验分别采集了云层遮挡光照、不同光照角度等不同自然条件下的 50 组柑橘图像.

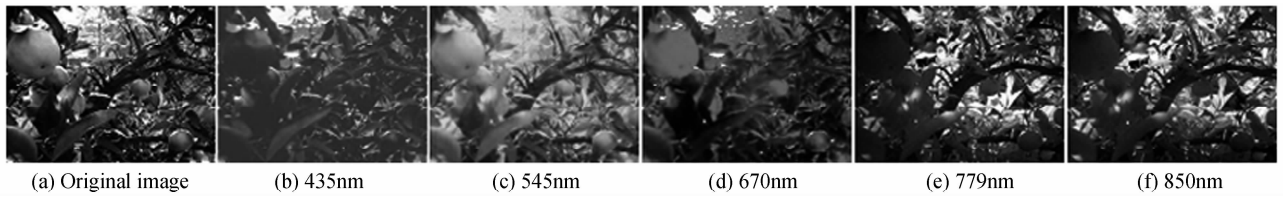


图 1 不同波长下滤波后的图像

Fig. 1 Images after filtering in different waveband channels

### 1.3 光谱角分类法

SAM 是一种光谱的匹配技术,这种技术基于估计像元光谱与样本光谱相似性来区分各像元点的光谱曲线. SAM 分类法是把光谱作为矢量投影到  $N$  维空间上,其  $N$  维数为试验选取的图像波段数,通过计算某一像元光谱与样本参照光谱之间的广义夹角来表征二者的匹配程度,再根据给定的相似度阈值来确定未知像元的类别属性.  $N$  维空间中,将各光谱曲线视为有方向有长度的矢量, SAM 只考虑光谱矢量的方向而非光谱矢量的长度,由于光谱矢量的长度关联到图像亮度,所以 SAM 对亮度值的影响并不敏感,对不同光照强度下的同类物质不易错分. 各光谱之间形成的广义夹角叫做光谱角,光谱角度越小,被估计像元的光谱曲线与参考光谱曲线就越相似,表现在两者之间的特性也越相似,归类的概率和准确度就越高. 在  $N$  维空间上, SAM 也可以以数学公式的形式来获得估计像元光谱矢量与参考光

谱矢量之间的角度,其光谱角的数学表达式为

$$\alpha = \arccos \frac{\sum XY}{\sqrt{\sum(X)^2 \sum(Y)^2}} \quad (1)$$

式中:  $\alpha$  为图像像元光谱与参考光谱之间的广义夹角(光谱角),其变化区间是  $[0, \pi/2]$ ;  $X$  为图像像元光谱曲线矢量;  $Y$  为参考光谱曲线矢量.

## 2 结果与讨论

### 2.1 样本光谱提取

由于经滤波片滤波后,不同波段的光信号通过量不同,采集到的图像的基本色调也各不相同,如图 1. 以图 1(c) 为例,经中心波长为 545 nm 的滤波片滤波后,主要由 545 nm 波段下的光信号通过,其它波段下的光信号几乎很少通过,因此图像主要呈绿色调. 其 R、G 和 B 分量图像(经拉伸)如图 2. 显然只有 G 分量图像清晰, R 和 B 分量图像模糊.

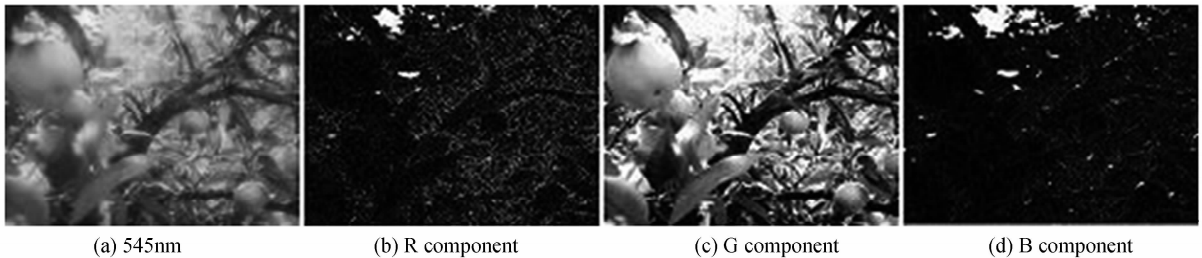


图 2 中心波长为 545 nm 图像的 R、G 和 B 分量

Fig. 2 Images of R, G and B component in 545 nm channel

试验分别提取滤波后 5 幅图像的 R、G 和 B 分量,根据选择清晰的图像为原则,选取 435nm 图像的 B 分量、545nm 图像的 G 分量、670 nm 图像的 R 分量、779 nm 图像的 R 分量和 850 nm 图像的 R、G

分量(如图 3),同一位置像元在 6 幅图像下对应的亮度值就组成了一条光谱曲线,这样,就构成了 6 维空间上的光谱曲线.

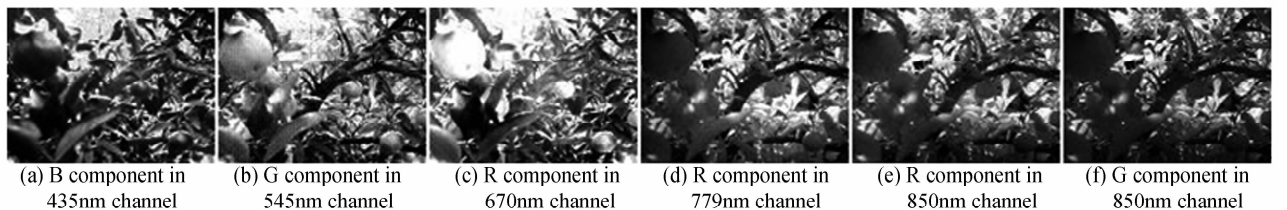


图 3 构建 6 维光谱空间的图像

Fig. 3 Images for 6-dimensional spectral space

能否正确有效地选取作为参照光谱的样本光谱,会直接影响最终的识别准确度,因此必须保证其纯净性(即不含其它类别的物质),所以需要在具代表性的样本上获取样本光谱.试验在表面光洁、色彩饱和的柑橘上选取感兴趣区域(ROI)<sup>[13]</sup>,并计算其在上述 6 幅图像上对应区域的亮度平均值,构建 6 维光谱曲线,作为柑橘的样本光谱.以同样的方法获取树枝和树叶的样本光谱,如图 4.

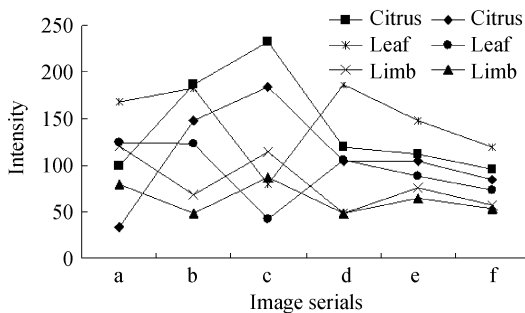


图 4 样本光谱曲线

Fig. 4 Sample spectral curves

图 4 中共有 6 条曲线:2 条柑橘光谱曲线、2 条树叶光谱曲线和 2 条树枝光谱曲线,其中,亮度值相对较高的是样本处于光照条件下的光谱曲线,亮度值相对较低的则是样本处于非光照条件下的光谱曲

线.由图可知,同一对象处于光照下和非光照条件下光谱曲线的矢量方向基本一致,而且不同对象间光谱曲线的矢量方向存在很大的差异,这为 SAM 能有效降低光照影响并为正确识别柑橘提供了可能性.考虑一般性,试验选取处于非光照条件下的柑橘光谱曲线作为柑橘样本曲线.

## 2.2 特征提取

光谱角阈值的选择是影响分类准确度的关键点和难点.通过反复试验表明,当光谱角弧度阈值在  $[0.15-0.24]$  区间内时,识别效果理想,当光谱角弧度阈值取 0.2 时,识别效果最佳,因此确定其为光谱角阈值.在 6 维光谱空间上,根据式(1)计算每一像元对应的光谱曲线与柑橘样本曲线的光谱角,并与光谱角阈值 0.2 作比较,若大于 0.2,表明此像元的光谱曲线与柑橘样本光谱曲线差异明显,则将此像元赋值为 0;若小于等于 0.2,表明此像元的光谱曲线与柑橘样本光谱曲线相似,则将此像元赋值为 1,这样就得到了经 SAM 分类后的二值图像,如图 5(b).最后进行 2 次腐蚀( $3 \times 3$  模板)和两次膨胀( $3 \times 3$  模板)处理,以去除图像上存在的零碎亮斑<sup>[14]</sup>,结果如图 5(c).

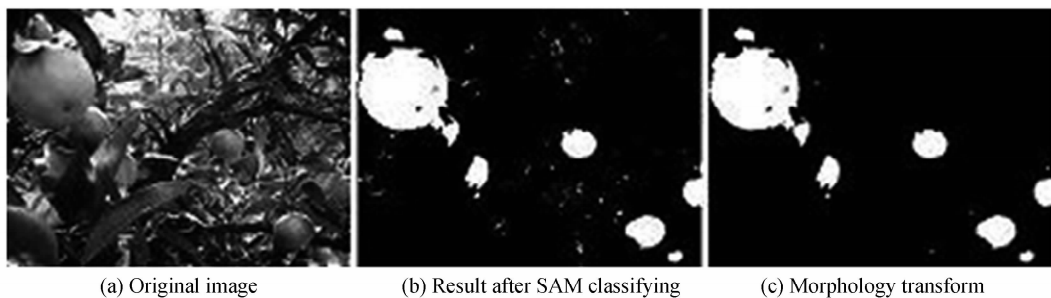


图 5 柑橘识别结果

Fig. 5 Recognition result of citrus

## 2.3 结果与讨论

对不同自然条件下采集的 50 组柑橘果树图像,进行上述 SAM 分类算法处理,图 5 是侧光条件下采集到的图像及其处理结果,图 6 分别是在云层遮挡光照、顺光和逆光条件下采集到的图像及其处理结果.在有光照的条件下,利用 SAM 分类法都能正确识别可见区域的柑橘,表明算法可以有效降低光照影响,但局部区域光照非常强烈,处于该区域下柑橘的光谱曲线产生“突变”,导致识别错误;在云层遮

挡光照的条件下,分类的效果最理想;同样适用于单果(图 5(a)、6(a))和重叠果(图 6(b)、6(c))的识别,并且不存在误判的情况. SAM 分类法对可见区域的柑橘识别准确度超过 96%. 经进一步分析,影响识别准确度的主要原因还有:1)在复杂的背景条件下,存在光谱曲线与柑橘相近的异物,将其误判为柑橘;2)一些柑橘尚未完全成熟,部分表面呈绿色,影响识别准确度;3)少许柑橘的表面存在异物,同样也会影响识别准确度;4)试验选取的滤波片不一定

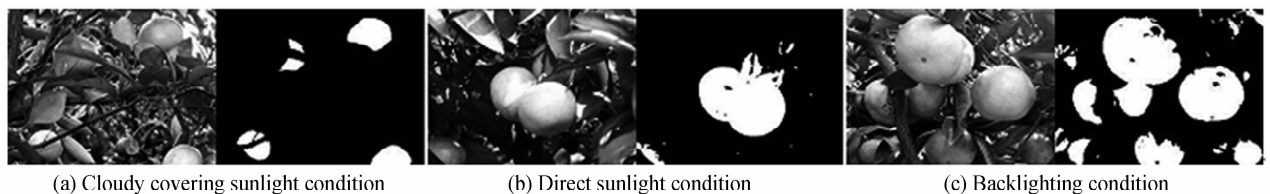


图 6 不同光照条件下柑橘识别结果

Fig. 6 Recognition results of citrus in different sunlight conditions

能最有效地反应柑橘与其他物质的差别,而且选取的数量也有待优化,因此影响识别的准确度.

### 3 结论

为了在复杂的自然场景下有效地识别柑橘,根据柑橘、树叶、树枝及杂草等其它背景物质在不同波段下对光吸收值的不同,研究利用滤波片采集了可见光和近红外的图像.并打破传统方法只在二维层面上分析图像的局限性,利用SAM分类法在6维光谱空间上比较光谱的相似性实现柑橘的分类,识别准确度超过96%,如果能在滤波片的中心波长和数量的选取上做进一步优化,识别准确度还存在提升的空间.试验表明,滤波片光谱图像技术结合SAM算法能有效地识别自然场景下的成熟柑橘,可以尝试采用此方法识别果树的树枝,为柑橘采摘机器人的避障研究与路径规划做准备.

#### 参考文献

- [1] NOBLE R, REED J N, MILES S, *et al.* Influence of mushroom strains and population density on the performance of a robotic harvester[J]. *J Agric Engng Res*, 1997, **68**: 215-222.
- [2] HAYASHI S, GANNO K, ISHII Y, *et al.* Robotic harvesting system for eggplants[J]. *JARQ*, 2002, **36**(3): 163-168.
- [3] VAN H E J, VAN T B A J, HOOGAKKER G J, *et al.* An autonomous robot for de-leafing cucumber plants grown in a high-wire cultivation system [J]. *Biosystems Engineering*, 2006, **94**(3): 317-323.
- [4] KANAE T, TATESHI F, AKIRA A, *et al.* Cherry-harvesting robot[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2008, **63**: 65-72.
- [5] YAN He, ZHANG Xiao-chuan, LI Gang, *et al.* Fault detection for wall-climbing robot using complex wavelet packets transform and fractal theory[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**(S1): 322-325.  
闰河, 张小川, 李刚, 等. 基于复小波包分形理论的爬壁机器人故障检测[J]. *光子学报*, 2007, **36**(S1): 322-325.
- [6] ZHANG S H, TAKAHASHI T. Studies on automation of work in orchards [J]. *Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery*, 1996, **58**(1): 9-16.
- [7] SLAUGHTER D C, HARRELL R C. Discriminating fruit for robotic harvest using color in natural outdoor scenes [J]. *Transactions of the ASAE*, 1989, **32**(2): 757-763.
- [8] XU Hui-rong, YE Zun-zhong, YING Yi-bin. Identification of citrus fruit in a tree canopy using color information [J]. *Transactions of the CSAE*, 2005, **21**(5): 98-110.  
徐惠荣, 叶尊忠, 应义斌. 基于彩色信息的树上柑橘识别研究 [J]. *农业工程学报*, 2005, **21**(5): 98-110.
- [9] ZHAO Jin-ying, ZHANG Tie-zhong, YANG Li. Object extraction for the vision system of fruit picking robot [J]. *Transactions of the CSAM*, 2006, **37**(10): 200-203.  
赵金英, 张铁中, 杨丽. 西红柿采摘机器人视觉系统的目标提取 [J]. *农业机械学报*, 2006, **37**(10): 200-203.
- [10] CAI Jian-rong, ZHOU Xiao-jun, LI Yu-liang, *et al.* Recognition of mature oranges in natural scene based on machine vision [J]. *Transactions of the CSAE*, 2008, **24**(1): 175-178.  
蔡健荣, 周小军, 李玉良, 等. 基于机器视觉自然场景下成熟柑橘识别 [J]. *农业工程学报*, 2008, **24**(1): 175-178.
- [11] SHARMA Y K, SURANA S S L, SINGH R K, *et al.* Spectral studies of erbium doped soda lime silicate glasses in visible and near infrared regions [J]. *Optical Materials*, 2007, **29**(6): 598-604.
- [12] XU D Q, GUO Q N, JIANG L L, *et al.* Exploring for natural gas using reflectance spectra of surface soils [J]. *Advances in Space Research*, 2008, **41**: 1800-1817.
- [13] LIU Yang, LI Xia, WANG Na, *et al.* An improved iris location algorithm based on sampling to special regions of interesting (ROD) [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2008, **37**(6): 1277-1280.  
刘洋, 李霞, 王娜, 等. 基于特定感兴趣区采样的虹膜定位改进算法 [J]. *光子学报*, 2008, **37**(6): 1277-1280.
- [14] HUI Jian-jiang, LIU Zhao-hui, LIU Wen. Application of mathematical morphology on infrared image of multi-dimensional target [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2006, **35**(4): 626-629.  
惠建江, 刘朝晖, 刘文. 数学形态学在红外多弱小目标提取中的应用 [J]. *光子学报*, 2006, **35**(4): 626-629.

## Recognition of Mature Citrus in Natural Scene Using Spectral Imaging and Spectral Angle Mapper

CAI Jian-rong, WANG Jian-hei, CHEN Quan-sheng, WANG Feng, LÜ Qiang  
(School of Food & Biological Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013, China)

**Abstract:** In order to guide the robots to harvest citrus fruit in complex natural scenes, a method based on image processing is developed to identify citrus fruit in the tree canopy. Due to the complexity of natural environment and the deficiency of identification of citrus fruit by the traditional methods, five narrow band filters in the visible and near-infrared region are selected to capture five images. Spectral angle mapper (SAM) algorithm is attempted to process these images. Experiment results show that citrus can be recognized with an accuracy of 96% in different aspect of illumination angle and intensity. This work demonstrates that spectral imaging technique based on filters combining with SAM algorithm can be used effectively to identify citrus fruit in complex natural scenes.

**Key words:** Spectral imaging; Filter; Spectral angle mapper (SAM); Harvesting robot; Recognition; Citrus



**CAI Jian-rong** was born in 1966. He once worked at Hannover University as a visiting scholar in Germany. Currently, he is presiding over a National Natural Science Foundation Project and a National 863 project. As a professor, he works at Jiangsu University, and his research interests focus on nondestructive detecting and applications in agriculture products, harvesting robot technology.