

文章编号:1001-9014(2004)05-0353-04

红外热成像在树上柑桔识别中的应用研究

徐惠荣, 应义斌

(浙江大学 生物系统工程与食品科学学院, 浙江 杭州 310029)

摘要:从果树中识别出水果并确定水果的准确空间位置是实现水果收获机器人对水果采摘的关键. 比较分析了现有主要树上水果识别方法, 针对普通视觉系统存在识别率低的现状, 提出了利用红外热成像进行野外树上柑桔识别的新方法. 建立了红外热成像系统, 并在室外果园对成熟柑桔实时采集了 45 幅红外热图像. 研究了树上柑桔与树枝、树叶的热辐射特性, 发现柑桔与树枝、树叶间存在 1°C 左右的温差. 根据果实、树叶、树枝间存在的温差反映在灰度图像上不同的灰度信息, 发现在阈值 $T=190$ 时可以较好实现二值化处理, 并采用边缘检测算子进行了分割处理, 很好地实现了水果的识别.

关键词:红外热成像; 柑桔识别; 边缘检测; 自然环境

中图分类号:TP391.41 **文献标识码:**A

APPLICATION OF INFRARED THERMAL IMAGING IN IDENTIFICATION OF CITRUS ON TREES

XU Hui-Rong, YING Yi-Bin

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

Abstract: To identify fruits on the tree and determine their locations are the key to harvest fruits by robot. The main methods to locate fruits on trees were compared with. As the low identification rate of common machine vision system, a new method to identify the citrus in a tree canopy by means of infrared thermal imaging was put forward. About 45 infrared thermal images of citrus on trees were captured from the citrus orchard. It was found that the different thermal distribution among citrus, leaves and branches was about 1°C , and these differences clearly appeared in the gray-level image, which could be easily used to segment the citrus from other parts in the image by using binary image at $T=190$. Sobel and mask operators were used to extract the edge of the image. The results indicate that it is possible to identify citrus on trees by using infrared thermal imaging, and it is much easier than the methods used before.

Key words: infrared thermal imaging; citrus identification; edge extraction; natural environment

引言

实现机器人对果实的收获关键是要获得果实准确的空间位置以便为机械手的运动提供参数实现果实的采摘. 目前一般的树上水果识别机器视觉系统主要是基于可见光成像, Slaughter D C 等 (1989)^[1] 在室外自然光条件下拍摄彩色图像, 根据色度和亮度信息对桔子收获机械手进行导向, 建立了一个利用彩色数字化图像中的颜色信息从桔园中识别桔子的分类模型, 来识别桔树上的桔子. 该分类器从自然果园环境中识别桔子的正确率为 75%. Moltó E

等^[2]人为增加频闪光来改善光照条件, 然后根据图像的红、绿颜色信息来区分柑橘和叶子, 对可见水果的识别率为 80%. 孙明等^[3]通过对苹果、叶、枝等的色泽信号浓度频率谱图的分析, 认为在顺光条件下, 色差信号 $G-Y$ 可用于红色果实的识别, 2 原色的色差信号 $R-B$ 可用于黄绿果实的识别. 张瑞合等^[4]根据西红柿与叶子的颜色差异, 用直方图的曲线分割法来分割出绿色叶片背景下的红色蕃茄, 从而实现识别的目的.

但由于多种因素的影响使得基于可见光的机器视觉系统在进行水果识别时最高正确率还不到

收稿日期: 2003-11-08, 修回日期: 2004-06-18

Received date: 2003-11-08, revised date: 2004-06-18

基金项目: 国家自然科学基金 (30270763) 和浙江省教育厅资助项目 (20020731)

作者简介: 徐惠荣 (1973-), 男, 浙江绍兴人, 讲师, 硕士, 主要从事生物图像与机器视觉应用研究

80%, 这远远不能满足水果生产的实际要求。

红外热成像与一般的可见光成像不同, 是通过记录物体表面的红外辐射来实现对物体的检测。一般红外热像仪对温度的敏感性均优于 0.1°C , 能检测物体间较小的温差。本研究将试图采用基于红外热成像的视觉系统来实现树上的水果识别。

1 基本原理

红外热像仪通过光学电子系统将物体辐射的红外光经滤波聚集、调制及光电转换, 变为电信号, 并可转换为数字量, 经数字图像处理技术处理, 以伪彩色热图像或灰度图像形式显示物体的温度场。

所有温度超过绝对零度 (-273.15°C) 的物体, 都存在分子和原子无规则的运动, 均对外发射红外辐射, 温度较低 (如室温) 的物体辐射出的电磁波长在红外波段, 故称红外线。

根据辐射功率随温度的变化规律—斯蒂芬—玻耳兹曼定律, 这种热辐射可以用下式表示:

$$E(t) = \sigma T^4, \quad (1)$$

式(1)中: $E(t)$ ——绝对温度 T 时, 物体单位面积上的辐射流量 (w/m^2), σ ——斯蒂芬-玻耳兹曼常量 $5.6703 \times 10^{-8} (\text{w}/\text{m}^2\text{K}^4)$, T ——绝对温度 (K)。

红外热像仪能将这些从物体表面发出的辐射转化成热即温度, 然后转化成电信号并放大或显示, 从而形成可见的热图像。红外热像仪能提供视场内任意一点温度, 并通过相应的分析软件可以得出温度分布直方图等信息来理解和识别被检测对象。能帮助我们探测肉眼观察不到的事物, 从另一种角度来观察我们所熟悉的事物。

2 材料与方法

2.1 红外热成像系统

在本研究中红外热成像系统主要有红外热像仪、图像采集卡、计算机、便携式播放机等硬件组成 (如图 1 所示)。由于本研究将在室外果园进行试验, 为减少大气中的水蒸汽对红外热的吸收, 采用了波长范围为 $7 \sim 12\mu\text{m}$ 的伪彩色热像仪 Talisman K90C (ISG 公司研制), 非致冷焦平面, 分辨率为 320×240 像素, 热敏感度优于 0.1°C , NTSC 制式输出 (525 线); 测温范围: $0 \sim 500^{\circ}\text{C}$; 环境操作温度: $-20 \sim +50^{\circ}\text{C}$; 在屏幕内可移动十字光标可读取图像内任一点温度值。

图像采集卡采用的是 Matrox Meteor II / Standard 图像采集卡, 是加拿大 Matrox 公司研制生产的

彩色、黑白图像采集卡, 具有 32 位 PCI 总线, 可将采集到的图像实时传递到计算机内存或显示于计算机显示器上, 并内置 4MB 缓存, 以保证图像数据的实时传输, 并支持 NTSC、PAL、RS-170 以及 CCIR 等不同制式标准输入、支持录像机输入、能任意窗口大小采集。

所用的计算机 CPU 为 Pentium $\text{\textcircled{R}}$ 4 / 1.6G, 128M 内存, 40G 硬盘, 工作在 Windows XP 操作系统环境下, 并安装了 Matrox Imaging Products 和 MikroSpec 2.7 红外热图像分析软件。

另外, 本研究中还使用了便携式播放机 (Sony), 在图像采集过程用来存储在果园中实时采集的视频信息。

2.2 图像采集与温度分析

实验场所为室外果园, 试验时柑桔处于收获期, 天气晴、无风。

试验时保持红外热像仪与水果间距离为 1m 左右。首先将红外热像仪采集的视频信息存在于便携式播放机, 然后在实验室中用图像采集卡采集图像并存于主机用于分析, 共采集了 45 幅图像。

利用 MikroSpec 2.7 软件对采集的图像进行了分析, 首先除去了伪彩色, 然后得出红外热图像灰度与温度间的对应关系。从图 2(a) 上可以看出, 柑桔部分与周围环境部分的灰度有明显的差异, 表明了柑桔与树叶、树枝间存在不同的热辐射特性, 即存在温差。为了更好地描述柑桔与树叶、树枝间的温度差异, 在图上画了一条水平线 AB, 直线 AB 穿过柑桔、树叶、树枝区域, 从图 2(b) 上可以看出柑桔与树叶、树枝间存在 1°C 左右的温差, 柑桔的温度在 16.3°C , 树叶的温度在 15.3°C 附近, 树枝的温度在 15.6°C 左右。对 45 幅图像进行统计分析, 发现果实与树叶间的温差较大, 平均为 1.8°C , 而果实与树枝的温差较

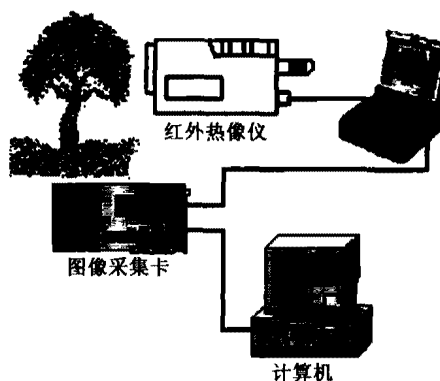


图 1 红外热成像系统示意图
Fig. 1 The thermal infrared imaging system

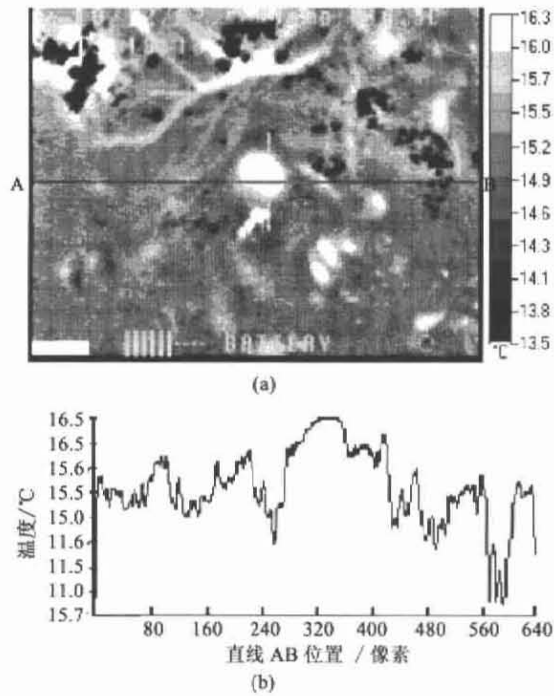


图2 红外热图像温度曲线图 (a) 树上柑桔红外热图像 (b) 直线 AB 温度曲线
Fig. 2 The temperature profile of infrared thermal image (a) citrus infrared thermal image; (b) temperature profile of line AB

小,平均只有 0.6℃.

2.3 目标与背景的分割

红外图像表征对象物的红外辐射分布,它决定于对象物发射率和温度的空间分布,并受到噪声的干扰. 又由于红外辐射的衍射效应比可见光较强烈,从而导致红外图像具有较高的相关性,其对比度往往比可见光图像较弱,红外图像的边缘较为模糊(如图 3a).

图像分割是一种将图像分割成为若干个有意义区域的图像处理技术. 在灰度图像中分离出有意义区域的最基本的方法是设置阈值的分割方法. 本文以图像灰度的三维曲线图为依据,从图 3(b)可以看出在阈值 $T = 190$ 左右时目标与背景间存在明显的灰度差,用简单的阈值处理得如图 5(a)所示的二值化结果.

图像边缘是图像的基本特征,本文分别利用边缘检测 Sobel 算子(图 4a)和水平方向检测模板(图 4b)进行边缘检测比较. 检测前先对图 5(a)进行了腐蚀处理,其卷积模板为 3×3 ,用来消除点状图形.

实验表明,用 Sobel 算子检测提取边缘连续性

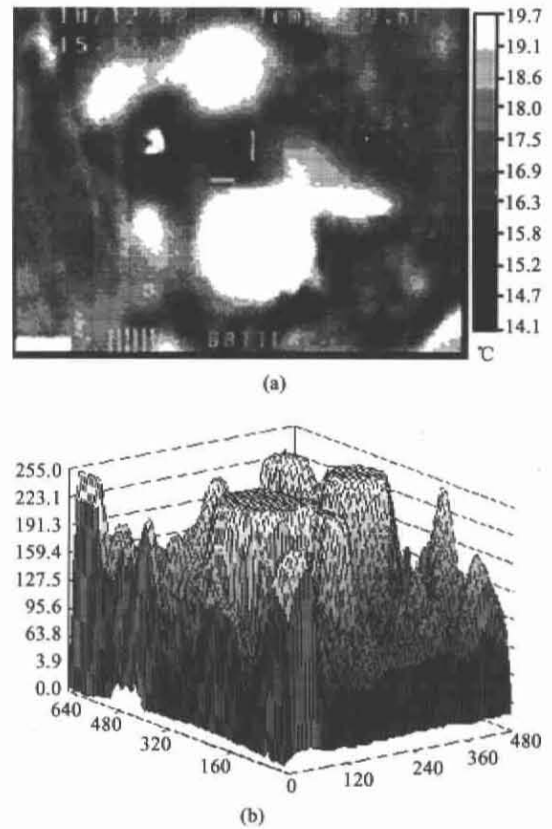


图3 红外热图像特征 (a) 红外热图像 (b) 图像灰度的三维曲线
Fig. 3 The characteristics of infrared thermal image (a) citrus infrared thermal image; (b) 3D profile of grey image

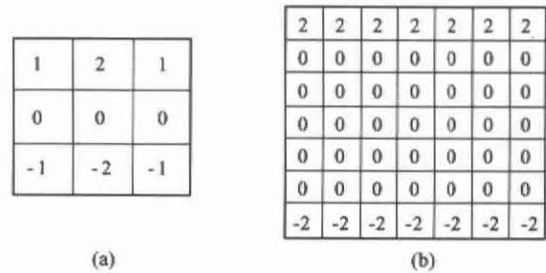


图4 边缘检测算子 (a) Sobel 算子 (b) 水平方向检测模板
Fig. 4 Edge-extraction operator (a) Sobel edge operator; (b) horizontal template edge operator

好、边缘完整,但检测出的边缘线条较细(图 5b);用水平方向检测模板检测出的边缘线条较粗,但存在边缘不完整性(图 5c).

3 结语

红外热成像技术具有对温度高敏感性,能检测小于 0.1°C 的温度变化,能非接触、实时、不破坏、快速在线检测物体表面温度,已越来越广泛应用于现代农业和生物等领域的研究.

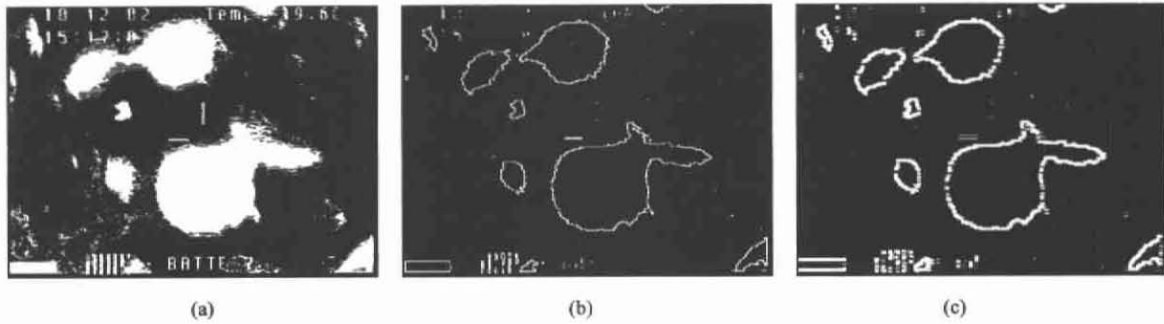


图5 Sobel算子检测结果(a)二值图像(b)Sobel算子检测结果(c)水平方向模板检测结果

Fig. 5 Extraction of citrus edges (a) binary image; (b) edge-extraction with Sobel; (c) edge-extraction with horizontal template

柑桔与树枝、树叶及其周围环境存在 1°C 左右的温差,即存在不同的热辐射特性,体现在红外热图像中不同的灰度信息,柑桔灰度值较高,树叶、树枝灰度值相对较低,利用二值化处理能较方便地实现水果与背景分割,实现水果的检测。

REFERENCES

[1] Slaughter D C, Harrell R C. Discriminating fruit for robotic harvest using color in natural outdoor scenes [J]. *Trans of the ASAE*, 1989, 32(2): 757—763.

- [2] Moctó E, Pla F, Juste F. Vision system for the location of citrus fruit in a tree canopy [J]. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1992, 52: 101—110.
- [3] Sun Ming, Takahashi T, Bekki Eiji. Discrimination based on image processing at apple harvest (Part 1) — Binarization of fruit pictures taken from apple orchards [J]. *Journal of the JSAM*, 1997, 59(4): 53—60.
- [4] ZHANG Ru - He, JI Chang - Ying, SHEN Ming - Xia et al. Application of computer vision to tomato harvesting [J]. *Trans. of the CSAM* (张瑞合, 姬长英, 沈明霞等. 计算机视觉技术在番茄收获中的应用. *农业机械学报*), 2001, 32(5): 50—52.

(上接第352页)文献[2]将2维SPIHT算法扩展到3维并用于超光谱图像压缩。SPIHT方法具有优异的压缩性能,它属于增强的零树类方法。如表1所示,它并不能得到比本算法更好的压缩效果。

表1 “山西”OMIS数据的实验结果

Table 1 The result of experiments on “ShangXi” OMIS hyper-spectral image

比特率 (bps)	峰值信噪比(dB)			
	本文算法	简化算法	COTCA[4]	3D-SPIHT[6]
1	42.6	41.7	43.2	41.2
0.5	40.4	39.3	40.7	39.1
0.25	38.8	38.3	39.5	38.1
0.125	37.9	37.1	38.4	37.2

4 结语

本文提出一种基于分类的超光谱图像压缩有损方法,它在子带分类基础上进行谱间差分预测,采用均匀阈值网格编码量化器进行分类量化,而比特分配步骤则为所有子类设计率失真最优的量化参数,实验表明这些步骤有效地提高了压缩效率,使算法

表现出优良的性能。

REFERENCES

- [1] Aiazzi B, Alpa P. Loss-less compression of multi/hyper-spectral imagery based on a 3-D Fuzzy Prediction [J]. *IEEE Trans. Geo-science and Remote Sensing*, 1999, 37(5): 2287—2294.
- [2] Aboussleman GP, Lam T T. Robust hyper-spectral image coding with channel-optimized trellis coded quantization [J]. *IEEE Trans. Geo - science and Remote Sensing*, 2002, 40(4): 820—830.
- [3] Lim S, Sohn K. Compression for hyper-spectral images using 3-dimensional wavelet transform. *Proceeding of IEEE International Geo-science and Remote Sensing Symposium*, 2001, 1: 109—111.
- [4] Christopoulos C, Skodras A. The JPEG2000 still image coding system: an overview [J]. *IEEE Trans. Consumer Electronics*, 2000, 46(4): 1103—1127.
- [5] Marcellin M W. On entropy-constrained trellis coded quantization [J]. *IEEE Trans. Communication*, 1994, 42(1): 14—16.
- [6] Aiazzi B, Alparone L. Information-theoretic assessment of sampled hyper-spectral images [J]. *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing*, 2001, 39(7): 1447—1458.
- [7] Woods J W, Naveen T. A filter based bit allocation scheme for sub-band compression of HDTV [J]. *IEEE Trans. Image Processing*, 1992, 1(3): 436—440.