

光谱导航技术在果树果实定位中的应用

俞晓磊^{1, 2}, 赵志敏^{3*}

1. 南京航空航天大学自动化学院, 江苏 南京 210016

2. 澳大利亚迪肯大学技术与创新研究院, 维多利亚州 基朗 3217, 澳大利亚

3. 南京航空航天大学理学院, 江苏 南京 210016

摘要 将光谱技术与导航技术有机结合是光谱分析技术的一个新颖且重要的应用方向。果实表面的反射光谱特征是果实物质的一种固有特征, 果实与树叶、树枝的反射光谱在多个波段都有明显差异, 根据果实表面反射光谱的不同, 进行导航定位是一项具有实用意义的研究课题。文章提出了一种光谱导航技术, 将果实、树叶、树枝的反射光谱作为一个重要的导航参数, 利用其差异进行导航。研究结果表明, 果树叶光谱在可见-红外区具有明显的“平坦效应”; 果树枝光谱则是在很宽的波长范围内具有平稳的上升趋势; 而果实的反射率具有波动性变化。在 850 nm 处果实和叶子之间的反射率有较大差别, 在这个波段附近设计阈值, 则很容易识别果实与树叶。所提出的方法不仅可以快速区分果实、树叶和树枝, 还可以有效消除外界环境的干扰。与传统的计算机视觉导航方法相比, 光谱导航技术在果树果实定位方面具有一定的特色。

关键词 光谱导航; 果实定位; 反射光谱; 导航参数

中图分类号: O657.3; TP23 文献标识码: A DOI: 10.3964/j.issn.1000-0593(2010)03-0770-04

引言

在现代化农业生产中, 大量果树果实的采摘可以依靠农业机器人来完成, 而果实自动化采摘的关键技术之一就是果实的精确定位。能够实现果实精确定位的农业机械人的工作对象和工作环境十分复杂, 目前广泛采用的是基于计算机视觉导航技术的机器人, 这种机器人可以确定其执行机构与工作对象(果实)之间的相对距离, 同时也可确定工作对象的品质、形状和尺寸等。此类机器人工作原理主要有两种: 一种是通过果实的图像特征进行导航定位^[1, 2]; 另一种是通过果实的形状特征(即果形)进行导航定位^[3-5]。

但采用计算机视觉导航技术的农业机器人常常会遇到一些特殊的问题, 例如对水果位置的检测, 就涉及一些复杂因素。水果具有不同的外形、大小和颜色, 尤其是果实在果树上出现的位置是随机的, 而对于果树来说, 又有不同的高度、排列和树形结构, 同时采摘动作和风的影响会使水果和树枝产生晃动。另外, 雨、灰尘、湿度和光照等环境因素的影响, 树叶和树枝的遮挡等因素都会给基于果实的图像或形

状特征进行导航定位带来很大困难^[6]。如何减少或避免以上这些复杂环境对果实定位的影响, 寻找一种抗干扰性强、适合果树林现场环境的果实导航定位技术, 是具有实用意义的研究课题。

当前, 光谱技术因其自身特点, 已广泛应用于诸多领域^[7-10]。将光谱技术与导航技术有机结合, 是光谱分析技术的一个新颖且重要的应用方向。果实表面的反射光谱特征是果实物质的一种固有特征, 根据果实表面反射光谱的不同, 可分为两类: 一类在 700~1100 nm 波段比叶子具有更高的反射系数; 而另一类则比叶子的反射系数要低。造成这种差别的原因是由于水果表面水分量的差异, 后者大都是多汁水果。另外, 果实与树叶、树枝的反射光谱在多个波段都有明显差异。依据这样的基本原理, 本文提出了一种光谱导航技术, 将果实、树叶、树枝的反射光谱作为一个重要的导航参数, 利用其差异进行导航。研究结果表明, 本文提出的方法不仅可以快速区分果实、树叶和树枝, 还可以有效消除外界环境的干扰。与传统的计算机视觉导航方法相比, 在果树果实定位方面具有独特的优势。

收稿日期: 2008-12-10, 修订日期: 2009-03-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(10722043), 航空科学基金项目(05G52047), 江苏省国际科技合作计划项目(BZ2008060)和国家留学基金项目(2008104769)资助

作者简介: 俞晓磊, 1981年生, 南京航空航天大学自动化学院博士研究生 e-mail: xiaoleiyu@nuaa.edu.cn

* 通讯联系人 e-mail: zhaozhimin@nuaa.edu.cn

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1 果树的果实、树叶和树枝反射光谱测量与分析

1.1 不同生长时期果实的反射光谱的特征分析

本文采用同一片梨树林中采摘到3个不同生长时期的典型果实,深黄果 *a*、黄果 *b*、青果 *c*。图1为日本岛津UV3600分光光度计测量得到的果实光谱曲线,可以看出,梨果实光谱在可见光区反射率升高(460~670 nm段最明显),近红外区反射率降低(760~1 000 nm段最明显)。进一步研究发现,不同生长时期的果实尽管在光谱反射率上有一些差异,但基本的曲线特征是不变的。特别是550 nm是绿光波长的中心,670 nm是叶绿素吸收带,970 nm是水吸收带,以上这些特征波长上具有的峰值,是应用果实光谱特征进行导航的基础。

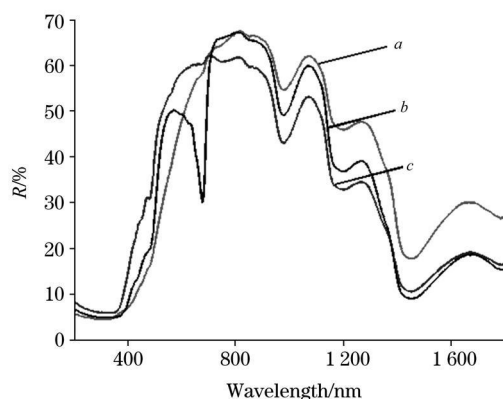


Fig 1 Reflectance spectra of fruits in different growing periods

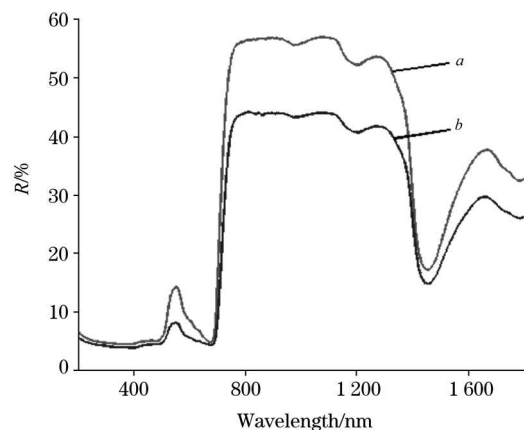


Fig 2 Reflectance spectra of leaves in different growing periods

1.2 不同生长时期果树叶的反射光谱的特征分析

果树叶是果实定位的最大干扰,正是由于果树叶的遮挡,果实和果树叶的图像常常很难区分,这也是机器视觉系统中图像模式识别技术很难解决的问题。而我们研究果树叶的光谱特性,就是拟从本质上找到果实和果树叶的根本差

异,为光谱导航技术应用于果实定位提供依据。本文测量了两个典型时期梨树叶的光谱线,嫩叶 *a*、老叶 *b*,由图2发现,嫩叶在可见-近红外区(760~1 400 nm)的反射率相对较高,一般接近60%,形成红外反射谱线平坦,这主要是叶片内部组织结构多次反射散射的结果;而老叶的反射率一般在40%左右,平坦效应也是明显的,这也是树叶光谱区别于果实的一个重要特征。

1.3 不同生长时期果树枝的反射光谱的特征分析

果树枝有时也会遮挡部分果实,影响图像的识别效果。而果树枝的反射光谱相对简单,图3为两根典型梨树枝的反射光谱,嫩枝 *a*、老枝 *b*。研究结果表明,树枝的反射率较低,且从可见到红外区域呈稳定增长趋势,这种光谱特征很容易与果实相区别。

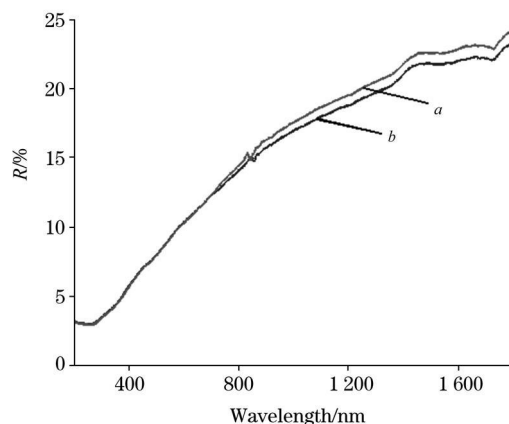


Fig 3 Reflectance spectra of branches in different growing periods

2 光谱导航技术的梨树果实定位与分析

上述研究表明,利用反射光谱特征区分果实、树叶、树枝是容易实现的,且最容易将果实与树叶、树枝区分的波段应该是可见-近红外波段。图4为果实、果树叶、果树枝的反射光谱,果实 *a*、果树叶 *b*、果树枝 *c*。

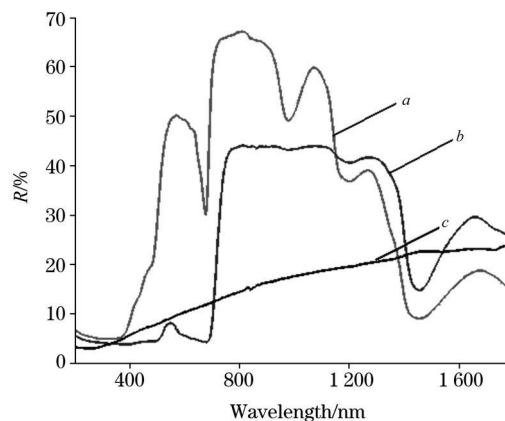


Fig 4 Comparison of reflectance spectra of fruits, leaves and branches

670 nm 是叶绿素吸收带, 970 nm 是水吸收带, 550 nm 是绿光波长的中心, 在 850 nm 果实和叶子之间的反射谱特征有较大差别。这些特征是非常重要的, 即使是绿颜色的果实, 也能有效地与其他物质区分开, 这表明至少可以采用以下 3 种方法将果实、树叶、树枝从光谱特征上区分开来, 以实现果实定位。

(1) 由图 4 中可以看出, 树叶光谱在可见-红外区具有明显的“平坦效应”; 树枝光谱更是在很宽的波长范围内具有平稳的上升趋势; 而果实的反射率具有波动性变化。如果在此区域内连续检测到光谱反射率的大幅上下变化, 则说明检测到的为果实, 否则不是果实。

(2) 850 nm 是果实和叶子之间的反射率有较大差别的波长。如果在这个波段附近设计阈值, 则最容易将果实和树叶区分开。

(3) 通过大量采集不同生长时期的果实, 提取多个特征的反射光谱特征数据进行拟合, 作出特性曲线。提前将曲线数据存入计算机。导航开始后, 进行模板匹配, 当发现符合的曲线结构后, 确定为果实。

第三种方法应该说导航定位精度最高, 但由于需进行模板匹配的特征点较多, 处理时间长, 在实时定位场合很难实现; 前两种方法虽然牺牲了一定的导航精度, 但更适合于梨树果实的实时定位。

由于梨的果实表面光滑, 颜色与苹果、桃等水果相比相对单一、稳定, 非常适合光谱导航。因此, 我们考虑综合采用前两种方法, 并进行相关数据融合, 把梨树作为典型对象进行果实定位的研究。

3 实验结果分析

测量采用日本岛津公司 UV 3600 紫外-可见-红外分光光度计。从光源发出的光经分光后再经扇形旋转镜分成两束, 双光束克服了单光束由于光源不稳引起的误差, 并且可方便地对全波段进行扫描。本文共做了两组实验。

实验 1: 在一片梨树林中针对树叶遮挡、树枝遮挡等多种情况随机进行测试和导航, 实验共进行 25 次, 导航误差曲线如图 5(a) 所示。

实验 2: 对不同生长时期的典型果实(深黄果、黄果、青果)做导航实验, 检测深黄果, 实验共进行 25 次, 导航误差曲线如图 5(b) 所示。

而 Fehr 等跟踪作物时位置误差最大为 5 cm^[11]; Torii 等在测量人工草坪时, 视觉系统获得的位置误差最大为 2.4 cm^[12]; 江苏大学农业工程学院于国英等在应用农业智能车辆视觉导航系统测量温室黄瓜所得到的位置误差最大为 4 cm^[13]。由图 5(a) 可以看出, 采用本

文提出的光谱导航技术后的位置跟踪误差在 6 cm 以内, 同目前国内外采用其他方法的研究水平比较接近。这说明光谱导航可以最大程度地降低阴影、树叶、树枝等的干扰。

本文提出的方法的另一特点在于, 可以检测果实的成熟程度, 非常适合果园采摘果实的实际环境。由图 5(b) 可以看出, 采用光谱导航技术后, 检测深黄果的位置跟踪误差在 4 cm 以内, 表明在果实成熟度判定方面该方法也是可行的。

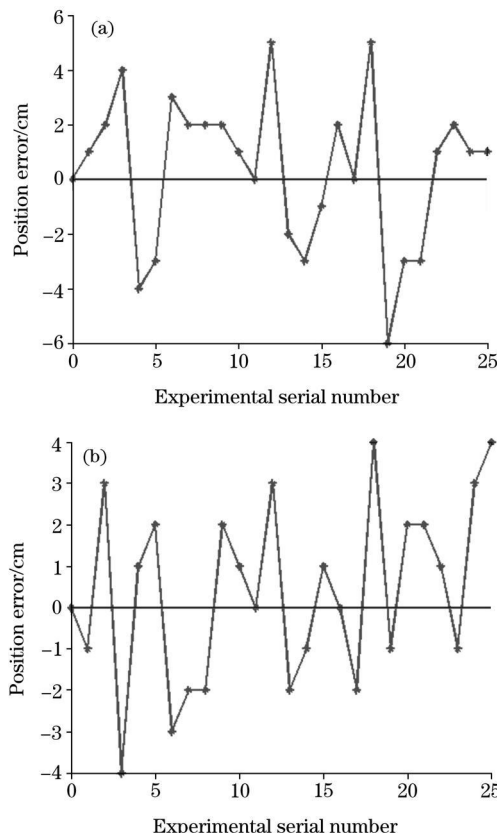


Fig 5 Navigation position error curve

4 结论

本文提出的光谱导航新技术, 由于将光谱和导航技术有机结合, 实现了果实的有效导航采摘, 不仅能够最大程度地降低阴影、树叶、树枝等杂物的干扰, 在果实成熟度判定方面该方法也是可行的。提出的方法不仅可以快速区分果实、树叶和树枝, 还可以有效消除外界环境的干扰。与传统的计算机视觉导航方法相比, 本文提出的光谱导航技术在果树果实定位方面具有一定的特色, 为减少或避免复杂环境对果实定位的影响, 寻找一种抗干扰性强、适合果树林现场环境的果实导航定位技术提供了依据。

参 考 文 献

- [1] Leemans V, Magein H, Destain M F. Biosystems Engineering, 2002, 83(4): 391.
- [2] Panigrahi S, Misra M K, Willson S. Computers and Electronics in Agriculture, 1998, 20(1): 1.
- [3] Reed J N, Miles S J, Butler J, et al. Journal of Agricultural Engineering Research, 2001, 78(1): 15.
- [4] YING Yǐ bin(应义斌). Journal of Biomathematics(生物数学学报), 2001, 16(2): 234.
- [5] HUANG Xing-yi, WEI Hai-li, ZHAO Jie-wen(黄星奕, 魏海丽, 赵杰文). Food and Machinery(食品与机械), 2006, 22(1): 27.
- [6] Sarig Y. Journal of Agricultural Engineering Research, 1993, 54: 265.
- [7] Wang J, Maiorov M, Jeffries J B, et al. Measurement Science & Technology, 2000, 11: 1576.
- [8] Dupuis G, Elias M, Simonot L. Applied Spectroscopy, 2002, 56(10): 1329.
- [9] Petrich W, Staib A, Otto M, et al. Vibrational Spectroscopy, 2002, 28(1): 117.
- [10] Bacci M, Casini A, Cucci C. Journal of Cultural Heritage, 2003, 4(4): 329.
- [11] Fehr B W, Gerrish J C. Applied Engineering Agriculture, 1995, 11(4): 613.
- [12] Torii T, Takamizawa A, Okamoto T, et al. Journal of JSAE, 2000, 62(5): 37.
- [13] YU Guo-ying, MAO Hai-ping(于国英, 毛罕平). Journal of Agricultural Mechanization Research(农机化研究), 2007, 1: 167.

Spectral Navigation Technology and Its Application in Positioning the Fruits of Fruit Trees

YU Xiao-lei^{1, 2}, ZHAO Zhi-min^{3*}

1. College of Automation Engineering, University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China

2. Institute for Technology, Research & Innovation, Deakin University, Geelong VIC 3217, Australia

3. College of Science, University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China

Abstract An innovative technology of spectral navigation is presented in the present paper. This new method adopts reflectance spectra of fruits, leaves and branches as one of the key navigation parameters and positions the fruits of fruit trees relying on the diversity of spectral characteristics. The research results show that the distinct smoothness as effect is available in the spectrum of leaves of fruit trees. On the other hand, gradual increasing as the trend is an important feature in the spectrum of branches of fruit trees while the spectrum of fruit fluctuates. In addition, the peak diversity of reflectance rate between fruits and leaves of fruit trees is reached at 850 nm of wavelength. So the limit value can be designed at this wavelength in order to distinguish fruits and leaves. The method introduced here can not only quickly distinguish fruits, leaves and branches, but also avoid the effects of surroundings. Compared with the traditional navigation systems based on machine vision, there are still some special and unique features in the field of positioning the fruits of fruit trees using spectral navigation technology.

Keywords Spectral navigation; Fruit positioning; Reflectance spectrum; Navigation parameters

(Received Dec. 10, 2008; accepted Mar. 20, 2009)

* Corresponding author