

# 计算机视觉技术在工厂化农业中的应用

滕光辉 李长缨

(中国农业大学水利与土木工程学院)

**摘要** 近年来我国工厂化农业发展迅速,但自动化程度不高,因此将计算机视觉技术引入设施农业对于提高温室的智能化控制水平具有重要意义。从利用计算机视觉对植物生长监测控制和开发农业生产机器人2个方面综述了国内外的研究进展;根据目前国内外研究现状及存在问题对未来发展方向进行了预测,认为今后的研究方向主要在图像处理硬件的开发、神经网络技术的应用和图像处理新方法的研究等3个方面。

**关键词** 计算机视觉; 图像处理; 工厂化农业; 生长监测; 机器人视觉

**中图分类号** TP 242. 62; S 625. 51

## Application of Computer Vision Technique in Industrialized Agriculture

Teng Guanghui, Li Changying

(College of Water Conservancy and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract** The industrialized agriculture in China has been made a rapid progress in recent years. However, the automation level is still relatively low. So the introduction of computer vision technique into the field of industrialized agriculture has great significance in promoting the intelligent control level in greenhouse. A review of recent development of computer vision in this field was taken and its main focus is on two sides: using image processing technique to monitor the plant growth and develop agriculture robot. The research directions of the computer vision technique in the future are predicted in aspects of the development of the image processing hardware, the application of neural network technique and the new method of image processing.

**Key words** computer vision; image processing; industrialized agriculture; growth monitoring; robot

在工厂化农业生产中,为了达到优质高产的目的,必须提高环境调控技术。利用计算机视觉技术可以对温室植物的生长状态实现无损伤监测,而且测量结果准确、迅速,可节省大量的人力物力;另外,依靠计算机视觉技术开发研制适合我国农业生产的机器人,把劳动者从繁重、单调、费时的体力劳动中解放出来是势在必行的。

### 1 计算机视觉技术在农业工程领域中的发展

计算机视觉系统由图像输入、图像处理、图像存储和图像输出组成<sup>[1]</sup>,其核心是图像处理,

收稿日期: 2001-10-25

“十五”国家科技攻关计划项目“工厂化农业关键技术研究示范”(2001BA 503B 01)

滕光辉,北京清华东路17号中国农业大学(东校区)195信箱,100083

即把由二维数值数据给定的图像进行加工处理后输出为另外的图像或识别结果。

图像处理研究始于 20 世纪 60 年代, 随着计算机技术的进步, 到 70 年代, 图像处理开始步入了一个活跃的研究阶段, 但研究结果多数应用于工业生产和生物医学, 只有少量应用于农业工程领域, 并且其具体方法也只是简单因素的视觉模拟<sup>[2]</sup>。进入 80 年代, 研究对象逐步扩大, 图像处理从单纯的视觉模拟发展到取代、解释人的视觉信息, 以及加速视觉信息采集等方面。另外由于传感器技术的发展, 人们对农业物料特性认识的深入, 出现了红外、近红外图像处理应用的研究, 使图像处理从单纯的外观视觉, 向识别物料的性状、组成、成分分布等内部特性方向发展; 同时, 计算机图像处理在农业工程中的研究向实用化方向迈出了一大步, 从初始的对图像特征与物料某一特性的相关关系的研究转化为以图像处理系统为主导部件的检测分级机械、环境控制系统、动植物生长监测系统等应用系统的研究, 并且开始了机器视觉, 及机器人方面的应用探索。至今已形成了分别侧重于视觉模拟、微观图像、宏观分析、热成像、内部图像、机器视觉等多种技术形式, 并各具特色的应用系统。

## 2 计算机视觉技术在植物生长监测中的研究进展

利用计算机视觉技术对植物生长进行监测具有无损、快速、实时等特点, 它不仅可以检测设施内植物的叶面积、茎秆直径、叶柄夹角等外部生长参数, 还可以根据果实表面颜色判别其成熟度, 以及作物缺水缺肥等情况。

### 2.1 植物外部生长参数的测量

1987 年 Mayer 等人<sup>[3]</sup>仅利用数字图像来分析几种作物的叶面积、茎秆直径、叶柄夹角, 率先在此领域开展研究。1991 年学者 Shimizu 和 Oshita<sup>[4]</sup>采用图形处理的方法对植物的伸长率在 3 个维度上进行了无损伤测量, 试验结果较为满意。

叶面积是一重要的植物生长参数, 利用该参数可分析植物的生长状况, 并且建立植物生长模型。以往的叶面积测量方法主要为有损测量, 且费时费力。1992 年, 美国学者 Troien<sup>[5]</sup>探索了利用图像处理方法测量马铃薯叶面积的方法。他从 3 个互相垂直的角度拍摄植物图像, 然后将由 3 幅图像计算出的叶面积合成为植物真正的叶面积。为检测图像处理方法的准确性, 他还将从此方法得到的结果与用叶面积仪(测量精度为 1%)人工测量的结果相比较, 建立回归方程, 并建议在回归方程中考虑“植株体积”(侧视图的高度与顶视图面积的乘积)因素, 回归方程的相关系数达到 0.98。结果表明, 利用图像处理方法测量马铃薯叶面积具有较高的准确性。

1995 年, 京都大学教授 Hiroshi 与美国学者 Shimizu, R. D. Heins 合作<sup>[6]</sup>, 设计了一种利用 CCD 摄像机与红外照明设备组成的计算机视觉系统, 并用此系统对植物生长进行监测分析。通过分析该系统每隔 12min 记录 1 次, 连续记录 3d 所获得的信息后发现, 白天和晚上的平均生长率分别为  $1.70 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$  和  $0.65 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ , 白天的生长速度要远远高于夜晚。这为合理控制植物的光照条件提供了依据。荷兰 Wageningen 大学的 E. J. Vanhenten<sup>[7]</sup>(1995)研究了植物叶冠相对覆盖率与植物干重之间的关系, 建立了 3 种数学模型, 并且利用图像处理技术和有损测量对莴苣作对比实验, 利用线性回归方法, 得到一个最优的模型。实验证实植物的叶面积与植物干重之间的确存在线性关系, 图像处理方法误差只有 5%。这一研究结果为图像处理方法测量叶面积, 预测植物干湿重提供了理论依据。Ling P. P. 等<sup>[8]</sup>(1995)为了定量描述咖啡胚芽体细胞从成熟到萌发的发展过程, 并预测胚芽的发芽情况, 利用机器人视觉采集了同一胚芽体

细胞处于不同阶段时的 2 幅图像,并用伸长系数和生长纵横比(图像对主轴与次主轴的二阶矩之比)作为 2 个特征系数来描述胚芽体细胞的生命活力,对 426 个样本进行的实验结果表明,该机器视觉系统预测发芽率的精度为 61.5%~85.1%,好于专家人工预测的精度 43.1%~69%。

近几年,我国在这方面也开展了一些研究,如陈晓光、于海业<sup>[9]</sup>(1995)利用机器视觉技术分析和判别蔬菜苗生长信息,从而为移栽和间苗提供了必要的信息。但总体来看,我国在此方面的研究还较少,与国外相比研究水平较低。

## 2.2 果实成熟度的检测

检测作物果实的成熟度对于确定作物生长阶段,对果实进行分级具有重要意义。对果实成熟度的检测传统上分物理方法(根据果实表面颜色、果肉硬度、果实干湿重进行检测)和化学方法(根据糖、酸、淀粉含量检测)。对于温室作物番茄来说,常用果实表面颜色来测定其成熟度。

Heron, Zachariah<sup>[10]</sup>早在 1974 年便开始研究番茄成熟度与它们光学特性之间的关系。大多数研究都是利用光谱测量仪或光敏元件组成光照传感器来量化光的反射率、透射率和吸收率,但是这些传感器只能测量果实的部分区域,对整个果实的光学反射也只能是估计。现在,利用图像处理技术,可以处理果实表面成千上万的像素点,并且使光反射分析从果实的局部到全局成为可能。

韩国学者 K. Choi 等人<sup>[11]</sup>(1995)根据美国农业部(USDA)关于番茄成熟度的分级标准,利用彩色图像处理技术把新鲜番茄分为 6 个等级,测试结果表明计算机判别与人工识别的一致率为 77%;如果只分为 3 个等级,则一致率可达 98.3%。他们还建立了番茄成熟度指标 TM I(Tomato maturity index),使量化评价成为可能。美国伊利诺伊大学的 John F. Reid 教授<sup>[12]</sup>于 1996 年对彩色视觉系统特性进行了研究,指出:在多种颜色模型中,HSI(色调、饱和度、光照强度)颜色模型与人眼感觉颜色的原理相似。在 HSI 模型中,光照强度(I)对色调(H)和色彩饱和度(S)几乎没有什么影响。作者还建立了 HSI 模型与 RGB(红、绿、蓝)模型的转换关系。他的研究为彩色图像处理的应用奠定了理论基础。

我国近几年来才开始这方面的研究,最近的具有代表性的研究有,张长利等人<sup>[13]</sup>(2000)的利用遗传算法训练的多层前馈神经网络实现番茄成熟度的自动判别的研究。对 50 个不同成熟度的番茄样本进行检测,结果表明,用遗传算法网络的分级效率和准确率都比 BP 网络高。

## 2.3 植物营养成分的监测

Seginer I 等<sup>[14]</sup>(1992)研究发现完全长成型的番茄叶子的运动与缺水情况及 CO<sub>2</sub> 吸收率几乎成线性相关,叶尖的运动状态是反映植株需水情况非常敏感的指标。为此,他们利用机器视觉技术对植株叶子的生长情况进行监测,其结果可用来作为灌溉系统的控制信息。Ahmad I S 等<sup>[15]</sup>(1996 年)利用彩色图像信息评价缺水和缺氮对玉米生长的影响,及由此而造成的植株的 RGB 色彩特征,建立了 RGB 值与 HSI 值之间的色度坐标变换关系。研究发现与 RGB 值相比,HSI 值能更清晰地表征玉米植株中的颜色变化,并表明色彩是一个用来识别茎和叶的有效分类特征,因此,将 HSI 模型用于颜色评价和图像处理是非常有效的。

计算机视觉技术对植物生长情况的监测研究主要在 20 世纪 90 年代以来的近 10 a 中,我国突破性成果也较鲜见;这些研究从不同侧面为视觉监测技术的发展,以及实现智能化控制提供了理论和实践基础。

### 3 计算机视觉技术在农业生产机器人上的应用

开发农业生产机器人对减少温室作物生产费用, 提高劳动效率, 解放劳动力具有重要意义。而任何一种农业生产机器人的正常工作均有赖于对作业对象的正确识别, 要做到这一点, 都离不开对视觉技术的应用。目前对农业生产机器人的研究主要集中在果实收获机器人和移苗嫁接机器人两方面。

#### 3.1 果实收获机器人

农作物果实收获方法分为 2 种: 非选择性收获和选择性收获。前者是指如玉米、大豆、棉花等成排种植的作物, 收获时将植物与果实一起收获, 然后再进行分离; 此方面的机器人视觉主要区分作物和土壤, 并为机器人导航。选择性收获指的是收获那些成熟的果实而不损伤生长的植物; 其机器人视觉要区分果实和植物茎叶, 难度比前者大。温室内常见作物黄瓜、番茄的收获都属于选择性收获。

对蔬菜水果收获机器人系统的研究开发, 日本和荷兰起步较早。1977 年, 美国学者 Parrish 和 Goksel<sup>[16]</sup> 研究表明, 利用机器人视觉为基于球坐标系的水果收获机器人定位具有技术可行性。Harrell 等人<sup>[17]</sup> (1985) 研制了一种基于球坐标系的机器人, 由 2 个转动轴和 1 个棱状轴组成, 摄像头安装在操纵杆的顶端来控制机器人的运动, 这种特殊的几何构造有利于水果收获。

2000 年, 荷兰农业环境工程研究所开发了移动式黄瓜收获机器人样机<sup>[18]</sup>, 该研究在荷兰 2 hm<sup>2</sup> 的温室里进行。黄瓜按照标准的园艺技术种植, 按高拉线缠绕方式吊挂生长。该机器人机械手只单个收获, 收获成熟黄瓜过程中不伤害其他未成熟的黄瓜。采摘通过末梢执行器来完成, 它由机械爪和切割器构成。末梢执行器和机械手安装在行走车上, 行走车是一个稳定的工作平台, 同时为机械手的操作和采摘系统的初步定位服务。收获后黄瓜的运输由一个装有可卸集装箱的自走运输车完成。机器人和自走运输车不用人工干预就能在温室里工作。实验结果表明, 高峰期需要 4 台机器人。每台机器人每日工作 18 h, 作业速度为 10 s·根<sup>-1</sup>, 相当于 12 个工人每日 6 h 的工作量。蔬菜果实收获自动化可以节约果实收获人工费用, 但要满足商用产品的各种要求, 还需对样机加以改进和完善。

日本 Have S 等<sup>[19]</sup> (1997) 发明了直线图像分光仪, 利用农田作物间纹理差异产生的不同反射光谱, 实现农作物行、列检测。最近, 日本农业研究中心<sup>[19]</sup> 开发了类似猫胡须的接触传感器用于机器人导航系统。这些研究对行走机器人的实际应用提供了有益的借鉴。我国学者周云山等<sup>[20]</sup> (1995) 研究了利用吸盘系统开发蘑菇采摘机器人, 不过离实际推广还有一定距离。

#### 3.2 移栽嫁接机器人

温室内生产的幼苗包括各种花类植物、叶类植物和诸如番茄、黄瓜等的园艺植物。据美国商业部统计资料表明, 美国温室幼苗生产每年年产值平均高达 32 亿美元<sup>[21]</sup>, 已成为农业经济领域重要的组成部分。虽然种苗种植已经实现机械化作业, 但是幼苗移栽由于要求的精细程度较高, 仍然实行手工作业, 劳动繁重, 温室生产成本较高。

美国普渡大学的 Miles 教授等人<sup>[21]</sup> (1987) 利用 CAD 系统设计了一种幼苗移栽抓取器, 安装在具有视觉系统的 Puma 560 型机器人上实现了幼苗的移栽。实验结果表明, 如果控制程序设计合理, 该机器人系统可以实现 96% 的移栽幼苗无损伤, 移栽 36 个穴孔的幼苗盘只需要

3.3 m in。学者 Hwang H. 等人<sup>[22]</sup>设计的辣椒幼苗移栽系统有一定参考价值。

由于嫁接后的瓜果秧苗具有抗病虫害、结果能力强和品质高等特点,嫁接技术被广泛应用于实际生产,因此瓜果秧苗的嫁接机器人视觉技术也成为目前的研究热点。目前日本<sup>[23]</sup>设计和制造的嫁接机器人中,具有代表性的是单片子叶切断型的瓜果嫁接机器人,但是该机器人在嫁接秧苗时需要3名操作人员辅助工作,没有完全实现自动化。2001年上海交通大学机器人研究所刘成良等人<sup>[23]</sup>研制了一套应用于瓜果秧苗的嫁接机器人视觉系统,该系统能判别秧苗品质和秧苗头尾方向,从而使瓜类秧苗嫁接机器人实现全自动嫁接成为可能。他们提出的用机器人视觉系统代替人工选苗,以及按一定方向为机器人提供砧木和接穗用秧苗的设计思想不仅提高了嫁接机器人的自动化程度,还保证了嫁接质量,改善了劳动条件。

从目前视觉技术在农业机器人上的运用研究来看,大多还处于起步阶段或初级阶段,其功能要求与工业生产机器人相类似甚至相同。而农业机器人要真正达到代替人工去识别植物的性状和成熟度等,则对机器人的智能程度,尤其是视觉测定技术水平要求要高得多,也难得多。

#### 4 结束语

计算机视觉技术是植物生长环境监测控制、蔬菜水果采摘、秧苗嫁接等设施农业生产自动化必不可少的技术,应用前景非常广泛。根据目前国内外的研究现状及存在的问题,笔者认为今后的研究方向主要在以下3个方面。

1) 图像处理硬件的开发。如果大量图像信息的处理都由主机完成,主机将不堪重负,处理速度会大大减慢。为了提高视觉系统实时处理速度,图像处理采集卡应运而生。它可完成图像的数字化转化、分析和处理等全部功能,只向主机传送图像处理的结果。由于大量图像信息处理都由采集卡完成,减轻了主机的负担,因此图像处理采集卡将成为提高图像处理系统实时处理速度的有力手段。

2) 神经网络技术的应用。神经网络是一种高度并行的分布式系统,可以对视觉系统探测到的图像进行处理。它不仅处理速度快,而且可以充分利用其非线性处理能力对环境进行识别,同时完成机器人内部坐标和全局坐标的快速转换。因此研究开发智能程度更高的,无监督情况下具有自学能力,并应用模糊规则指导学习,当环境改变之后可重新启动的自适应神经网络具有良好的应用前景。

3) 图像处理新方法的研究。由于农田景物受光照条件和图像噪声的影响具有复杂和不易识别等特性,需要努力寻求图像表达与解释的新方法,在图像处理和识别软件设计方面力求算法的快速性和有效性也是目前的研究热点。例如利用分形理论、小波变换等现代数学的分析方法,可以在图像处理和识别软件设计方面实现算法的快速性和有效性。

#### 参 考 文 献

- 1 苏光大 微机图像处理系统 北京:清华大学出版社,2000 258
- 2 方如明 计算机图像处理与玉米的品质检测 农业工程学报,1992,8(3): 104~ 112
- 3 Meyer G E, Davion D A. An electronic image plant growth measurement system. Transactions of ASAE, 1987, 30(1): 242~ 248
- 4 Shimizu H, Oshital S. Measurement of elongation rate of plants In: Hashimoto Y, Day W.

- Mathematical and Control Applications in Agriculture and Horticulture New York: Pergamon Press, 1991
- 5 Trooien T P, Heemann D F. Measurement and simulation of potato leaf area using image processing III Measurement Transaction of the ASA E, 1992, 35(5): 1719~ 1721
  - 6 Shimizu H, Heins R D. Computer-Vision-Based System For Plant Growth Analysis Transaction of the ASA E, 1995, 38(3): 959~ 964
  - 7 Van Henten E J. Non-Destructive Crop Measurement By Image Processing For Crop Growth Control J of Agriculture Engineering Research, 1995, 61: 97~ 105
  - 8 Ling P P, Giacomelli G A, Russell T. Monitoring of plant development in controlled environment with machine vision Advances in space research 1996, 18(4~ 5): 101~ 112
  - 9 陈晓光, 于海业, 周云山, 等 应用图像处理技术进行蔬菜苗特征量识别 农业工程学报, 1995, 11(4): 23~ 26
  - 10 Heron J R, Zachariah G L. Automatic sorting of processing tomatoes Transactions of the ASA E, 1974, 17(5): 1110~ 114
  - 11 Choi K, Lee G, Han Y J, et al. Tomato maturity evaluation using color image analysis Transaction of the ASA E, 1995, 38(1): 171~ 176
  - 12 Chang Y C, Reid J F. Characterization of a color vision system. Transaction of the ASA E, 1996, 39(1): 263~ 273
  - 13 张长利, 房俊龙, 潘伟 用遗传算法训练的多层前馈神经网络对番茄成熟度进行自动检测的研究 农业工程学报, 2001, 17(3): 153~ 156
  - 14 Seginer I, Elster R T, et al. Plant wilt detection by computer vision tracking of leaf tips Trans of the ASA E, 1992, 35(5): 1911~ 1917
  - 15 Ahmad I S, Reid J F. Evaluation of color representations for maize image J of Agricultural Engineering Research 1996, 63: 185~ 196
  - 16 Parrish E A Jr, Goksel A K. Pictorial pattern recognition applied to fruit harvesting Trans of the ASA E, 1977, 20(5): 822~ 827
  - 17 Harrell, R C, Adsit P D, Slaughter D C. Real-time vision servering of a robotic tree fruit harvester ASA E, 1985, Paper No. 85~ 3550
  - 18 周增产, Bontsema J, Kollenburg-Crisan Van L. 荷兰黄瓜收获机器人的研究开发 农业工程学报, 2001, 17(6): 77~ 80
  - 19 沈明霞, 姬长英 农业机器人视觉导航技术发展展望 农业机械学报, 2001, 32(1): 109~ 111
  - 20 周云山, 李强, 李红英, 等 计算机视觉在蘑菇采摘机器人上的应用 农业工程学报, 1995, 11(4): 27~ 32
  - 21 Kutz L J, Miles G E, Hammer P A, et al. Robotic Transplanting of Bedding Plants Trans of the ASA E, 1987, 30(3): 586~ 590
  - 22 Hwang H, Sistler F E. A robotic pepper transplanter Trans of the ASA E, 1986, 29(1): 2~ 5
  - 23 刘成良, 王红永, 曹其新, 等 秧苗嫁接机器人视觉与识别的研究 农业机械学报, 2001, 32(4): 38~ 41