

计算机视觉技术在作物生长监测中的研究进展

林开颜, 徐立鸿, 吴军辉

(同济大学现代农业科学与工程研究院控制科学与工程系, 上海 200092)

摘要: 该文从作物外部生长参数测量、果实成熟度检测、作物营养状态监测及作物形状描述与识别等几个方面介绍了国内外计算机视觉技术在作物生长监测中的研究进展, 认为具有启发式、智能化特点的彩色图像处理技术将会成为计算机视觉技术应用于设施农业领域的研究热点。

关键词: 计算机视觉; 图像处理; 生长监测

中图分类号: TP242.62; S625.51

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2004)02-0279-05

0 引言

在设施农业生产中, 为了使作物在最经济的生长空间内, 获得最高产量、品质 and 经济效益, 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作物的生长状态实现无损伤监测, 而且测量结果准确、迅速, 可以节省大量的人力物力并为设施环境的调控提供可靠依据。

1 计算机视觉技术在农业工程领域的应用

在农业科研与生产的许多方面, 大量的工作多是通过农作物及产品外观的判断进行的, 诸如果品和种子等外观品质检测、果实成熟度判别、作物病虫害监测、生长状态识别以及杂草辨别等等。这些过去主要依靠人类视觉的辨别与判断的工作, 可以利用计算机视觉技术部分地替代, 从而提高生产效率, 实现农业生产与管理的自动化和智能化。

计算机视觉技术在农业中的应用程度远远落后于工业, 这里主要存在两个方面的制约因素: 1) 经济效益: 利用光谱成像分析小麦生产潜力远没有以之寻找金矿更具吸引力; 2) 生物多样性: 没有两个完全相同的苹果, 也没有两个在形状、尺寸和颜色上完全相同的叶片或花朵。尽管如此, 许多学者还是在农业领域中做了大量的技术应用研究工作。早期的计算机视觉应用主要是鉴别种子。进入 20 世纪 80 年代, 研究对象及应用领域逐步扩大, 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。另外随着传感器技术的发展以及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, 向识别物料的形状、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前进了一大步, 从初始的作物图像特征提取与分析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^[1]。我国对计算机视觉在农业工程中的应用研究起步较晚, 主要集中在作物病害诊断^[2,3]、农产品品质检测^[4,5]、作物生长状态监测^[6-16]等方面, 与国外相比尚有较大差距, 还需进一步在深度、广度及实践方面做出努力。

2 计算机视觉技术在作物生长状态监测中的研究状况

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, 它不仅可以对检测设施内植物的叶片面积、叶片周长、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及果实大小判别其成熟度, 以及作物缺水缺肥等情况。

2.1 作物外部生长参数测量

1987 年, Meyer 等人^[17]利用相互垂直的两个相机获取作物图像的二维信息, 利用由两个二维图像构造三维图像的坐标变换方程, 对图像处理获取的特征点变换到三维坐标空间中。这样, 在三维空间中就可以求取作物节点间距、叶柄长度、茎秆直径、叶片倾斜角等; 对于叶片面积的测量采用三角形逼近的方法, 即把叶片与叶柄相连的一端为顶点, 向叶片轮廓作射线将叶片进行细分, 相邻两条射线与叶片边缘有两个交点, 利用此三点可在三维空间中求取其对应三角形的面积, 将所求得的所有三角形的面积相加即为所求叶片的近似面积。此外文献中还利用土壤与植物图像对比度的差异作为土壤干湿的判断依据。但对光源不均、叶片重叠并未给出很好的分割方法; 对于植物图像与土壤的分离, 黑白图像并不能完全区分作物和土壤, 若采用光谱图像则成本较高。

叶面积是一项重要的作物生长参数, 利用该参数可计算作物的用水量、蒸腾作用及产量等, 也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 T P 等人^[18]探索了利用图像处理方法测量马铃薯叶面积的方法。先假设叶片是一个平面, 再从 3

收稿日期: 2003-02-20 修订日期: 2004-01-07

作者简介: 林开颜(1975-), 男, 博士研究生, 研究方向为智能控制理论与技术、数字图像处理等。上海市四平路 1239 号 同济大学现代农业科学与工程研究院, 200092。Email: Ky.lin@163.com

个互相垂直的角度采集植物图像, 经过中值滤波、阈值分割后计算各个图像中的叶片面积, 然后将由 3 幅图像计算出的叶面积在三维空间中合成为植物真正的叶面积。他还将侧视图的高度与顶视图面积的乘积作为“植株体积”。为检测图像处理方法的准确性, 还将用此方法得到的结果与用叶片面积测量仪(测量精度为 1%)人工测量的结果相比较, 并用图像处理计算出的叶片面积及植株体积建立叶片真实面积的二阶回归方程。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。但文献未能给出从背景(作物或土壤)中分割出目标(作物)的有效方法, 他们在作物后面放置一个黑色背景使得在图像中作物与背景有较大的灰度差异以便于阈值分割。荷兰 Wageningen 大学的 Van Henten E J 等人^[19](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。

叶片面积还可以用于风蚀预测系统的建模。风蚀(Wind Erosion)是农业领域的一个严峻问题, 每年都造成大量的肥沃土壤流失。Chen X 等人^[20](2001)利用边缘检测、图像混合(把边缘图像和原始图像按一定比例进行混合以增强边缘)、图像分类和二值化等算法对不同生长阶段的大豆在不同风速条件下的图像进行分割后, 计算其横截面面积(Cross-Sectional Area)。由于叶片在风速条件下会向内弯曲, 对大豆在 3 个生长阶段 4 种风速条件下的横截面面积进行回归分析表明, 风速条件下的横截面积相对于静止条件下的横截面积的变化率与风速大小呈线性递减关系, 这为风蚀预测系统的建模提供了可靠依据。

茎秆长度可用于测量作物的生长率。美国学者 Shimizu H 等人^[21](1995)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, 并在被测作物后方放置一个与 CCD 相机镜面成 45° 的平面镜作反射, 使 CCD 相机能同时拍摄作物的正面和侧面图像。对获取的图像, 阈值分割后利用边缘算子求出作物轮廓, 再利用分段求中心垂线段的方法分别将正视图和侧视图的作物茎秆细化, 然后在三维空间中求出作物茎秆的长度。将秆长度变化用于作物生长率计算, 用此系统对植物 *Verbena bonariensis* L. 的生长进行监测。系统每隔 12 min 记录 1 次, 连续记录 3 天后对所获得的信息分析发现, 白天和晚上的平均生长率分别为 $1.74 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 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。Ling P P 等人^[22](1995)为了定量描述咖啡胚芽体细胞从成熟到萌发的过程, 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, 如陈晓光等人^[7](1995)利用机器视觉技术分析和判别蔬菜苗生长信息, 从而为移栽提供了必要的信息。白景峰等^[8](2000)利用计算机视觉实现苗高、根长、冠投影面积等 12 个针叶苗木的提取。吕朝辉等^[9](2001)在二维图像空间将秧苗茎部角度信息简化为一条直线, 然后利用在同一种苗的两幅不同图像上简化的两条直线和两摄像机的参数矩阵进行空间直线的三维重建, 完成秧苗直立度的测定。实验结果表明该方法与人工测量方法无显著差异。徐贵力等^[10](2002)也探索了无损测量叶面积的方法, 利用参考物法替代测量系统的标定, 但是只能将番茄等长叶茎作物的叶片伸入光照箱测量, 缺乏灵活性和可操作性。李长缨等^[11](2003)利用计算机视觉系统对黄瓜幼苗生长进行无损监测, 并计算叶冠投影面积和株高, 用图像处理方法测量植株的平均株高与人工测量结果的相关系数可以达到 0.927。

2.2 果实成熟度检测

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。利用传感器只能测量果实的部分区域, 而利用图像处理技术可以处理其表面的成千上万个像素点, 根据果实表面颜色、形状及大小判别其成熟度。

Qiu W 等人^[23](1992)对线扫描的图像进行离散傅立叶变换, 根据特定频段的频率响应平均值对椰菜果分为未成熟、成熟、过分成熟, 准确率为 80%; 如果只分为未成熟和成熟, 正确率可达 88%。韩国学者 Choi K 等人^[24](1995)根据美国农业部(USDA)关于番茄成熟度的分级标准, 把彩色图像由 RGB (Red, Green, Blue) 模型转换为 HSI (Hue, Saturation, Intensity) 模型, 利用累积色调分布图(某一色调的像素个数占小于等于该色调像素总数的百分比)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 TMI (Tomato Maturity Index), 使量化评价成为可能, 并且给出了果实结实度与成熟度指标之间的数学关系。

我国近几年来才开始这方面的研究, 张长利等人^[12](2001)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, 用遗传算法训练的网络的分级效率和准确率都比 BP 网络高。

2.3 作物营养状态监测

作物的营养状态及生长状况可以通过叶片状态及表面颜色反映出来, 计算机视觉技术比人眼视觉能更早地发现作物由于营养不足所表现的细微变化, 为及时进行作物营养补给提供可靠依据。

Seginer I 等人^[25](1992)研究发现, 植物缺水会导致根部供水与叶片水量蒸发的不平衡, 叶片会枯萎下

垂, 因而叶尖的运动状态可以作为反映植株需水情况的指标。他们研究还发现, 正在成长的叶片由于生长规律的原因其叶尖状态会上下波动, 不适合作为监测对象。为此, 选择了叶片完全长成型的番茄叶子, 利用机器视觉技术对其生长情况进行监测。结果表明, 叶尖运动与缺水情况、叶片水压与 CO_2 吸收率几乎成线性相关, 这可以作为灌溉系统的控制信息。另外, 利用计算视觉可以连续地对叶尖状态进行监视, 能灵敏地检测到叶尖状态的细微变化。因而, 它可以比人眼视觉更早地发现作物缺水情况, 及时输出灌溉控制信号, 使作物在缺水而未受到伤害时能及时补充水分。Irfan S A hmad 等人^[26] (1996) 利用 3 种图像的彩色模型 RGB, HIS, rgb (规一化 RGB) 评价玉米由于缺水和缺氮对叶片造成的色彩特征变化。研究发现, 3 种模型中 HSI 模型能更清晰地表征玉米叶片的颜色变化, 其中 I 值能够有效地同时识别叶片在 3 种不同水分(低、中、高)和 3 种不同的氮水平(低、中、高)情况下的颜色变化, 而 b 值可以识别叶片在 3 种不同的氮水平(低、中、高)状态下的颜色变化。因此, 将 HSI 模型用于颜色评价和图像处理是比较有效的。Kacira M 等人^[27] (2001) 研制了一个能对作物进行连续监测的非接触式测控系统, 它能不间断地测量温度、湿度、光照、风速等环境因子, 以及土壤湿度、营养液浓度和叶片温度等, 同时根据作物的水分状况控制灌溉系统。因为缺水时, 叶片会下垂, 作物的顶视投影面积 TPCA (Top Projected plant Canopy Area, TPCA) 会减少。因此, 利用图像处理技术连续测量作物的 TPCA 可以监测作物的水分状况并以此为依据向灌溉系统输出控制信号。

植物叶片温度由于受光合作用效率、 CO_2 浓度、蒸腾作用等影响, 它是反映作物生长状态的一项重要生理指标。叶温的测量精度取决于传感器视场范围 (Field Of View, FOV) 对目标区域的覆盖程度; 换言之, 若叶片面积超出视场范围则只能测量叶片的部分数据, 反之, 则会引入背景噪声。在 Kacira M 等人 (2001) 的测量系统中红外热电偶视场范围的测量方法如下, 将传感器垂直固定, 在其下方放置一个平面白板, 把传感器垂线与平面的交点设为平板中点。然后把 LED 点光源沿某个方向向平板中心移动, 同时观察传感器的输出, 当传感器的输出有突变时记录 LED 的位置。这样, 利用同样的方法在各个方向所记录的 LED 的位置所构成的圆即为传感器的 FOV。由于对视场范围的手工调整显得费时费力, Kim Y 等人^[28] (2001) 利用计算机视觉系统对测定叶温的红外热电偶进行准确定位。对获取的叶片图像经计算机图像分析后, 视觉系统自动调整像机焦距以充分利用其动态范围。之后, 对叶片图像进行处理后计算其最大的内切圆并以此作为依据对传感器位置进行调整以获得测量叶温的最佳视场范围。

国内李长缨等^[11] (2003) 通过对两组无土栽培的黄瓜幼苗叶冠投影面积的连续监测, 发现叶冠投影面积的变化趋势可以较好的反映植物的缺肥情况监测; 由于叶冠投影面积的计算易受外界条件干扰 (如风速), 限制了

该方法的应用。毛罕平等^[13] (2003) 提取叶片颜色和纹理的 12 个特征, 利用遗传算法对提取的众多缺素特征进行优化组合, 将二叉树分类法和模糊 K-近邻法相结合对番茄缺素进行了识别测试, 结果表明对不易肉眼判别的番茄缺氮和缺钾初期叶片的识别准确率在 85% 以上。

2.4 作物形状描述与识别

形状描述是计算机视觉在农业应用领域的复杂问题, 数学形态学、纹理分析、傅立叶分析、人工智能等已在农业作物形状分析与识别中广泛应用。McDonald T 等人^[29] (1990) 将数学形态学应用于谷粒大小分布检测、叶片形状识别和牛肉纹理分析, 实验表明形态学变换可以把图像变换为易于理解的图像, 利用几个简单的形态学算子就可以实现复杂的图像处理过程。而且, 形态操作具有并行处理、易于实现、实时性好等特点, 因此数学形态学在农业工程领域必将会有广泛的应用。Franz E 等人^[30] (1991) 将曲率用于完全可见和部份可见的叶片的边界描述。对于完全可见的叶片, 将实测的曲率函数和模型相匹配即可对叶片进行辨识; 对于部份可见的叶片, 利用傅立叶-梅林 (Fourier-Mellin) 相关性变换^[31]对曲率函数进行重建后再与模型进行匹配。当叶片与茎杆的旋转角度超过 30 时, 模型要进行相应角度的旋转。Humphries S 等人^[32] (1993) 将作物的彩色信息和几何特征相结合用于对叶片、茎秆、主茎、嫩芽等各个部分的识别。先利用图像跟踪算法把植株分成具有相似几何特征的各个部分, 然后再结合色彩信息利用贝叶斯分类器对其进行分类。与单纯的色彩贝叶斯分类方法相比较, 利用该方法对 126 株天竺葵的叶片、茎秆、主茎进行辨识, 识别精度分别由 85%、21% 和 74% 提高到 97%、95% 和 93%。Guyer D E 等人^[33] (1993) 建立了用于叶片形状分析和作物识别的机器智能视觉系统。该系统提取了 17 个定量描述叶片形状的低层视觉特征, 并根据规则用它们构建了 13 个高级特征对作物进行分类。利用该系统对 8 种不同作物的 40 幅图像进行识别的准确率为 69%, 显示了其在人眼视觉与机器视觉之间构建作物形状解释桥梁的潜在优势。

国内宁素俭等^[14, 15] (1995) 研究了利用链码描述作物、果实等轮廓的周长、宽度、长度、面积、惯性矩等形状特征参数的方法, 并结合实例给出编程方法。纪寿文等^[16] (2001) 利用图像处理测得的投影面积、叶长、叶宽等形状描述参数, 对苗期的玉米和杂草进行识别, 确定杂草的分布密度, 为精确喷洒除草剂提高依据。但是, 简单地把水平扫描的最大叶片长度定义为最大叶长, 把垂直扫描的最大叶片宽度定义为最大叶宽, 没有考虑图像中叶片的位置取向, 误差较大。

3 结 语

综上所述, 计算机视觉技术是植物生长环境监测控制的高效方法, 应用前景非常广阔。而高效的图像处理算法是计算机视觉成功应用的关键, 与工业图像处理相比, 农业图像处理显得更为复杂, 表现在: 1) 作物生长环

境内光照变化大,成像条件不理想,特别是在光照强度大时,感光元件会饱和,难以获得质量好易于处理的图像;2)农业作物不像工业零件那样具有规律性可描述性,没有两个相同的苹果,也没有两个在形状、尺寸和颜色上相同的叶片或花朵,使得农业图像目标的识别比较困难;3)目标的背景也比较复杂,如叶片的背景有可能是其它叶片或或者杂草,生物的多样性使得同一图像中不同颜色的作物其灰度差异不大,给目标的分割带来了很大难度。传统的基于灰度图像的算法已难以胜任复杂图像处理的需要,模糊逻辑、人工神经元网络以及遗传进化计算等智能算法已在计算机视觉领域获得广泛应用。由于人眼只能识别几十个灰度级,但却可以辨别成千上万种颜色,而且彩色图像可以提供更为丰富的信息,故以智能理论与技术为手段,能够适合农业复杂环境的、处理复杂图像的、具有启发式的、高效的彩色图像处理技术将会成为计算机视觉技术应用于农业领域的研究热点。

[参 考 文 献]

- [1] 滕光辉,李长纓. 计算机视觉技术在工厂化农业中的应用[J]. 中国农业大学学报,2002,7(2): 62- 67.
- [2] 陈佳娟,纪寿文,李娟,等. 采用计算机视觉进行棉花虫害程度的自动测定[J]. 农业工程学报,2001,17(2): 157- 160.
- [3] 黄宏华,蔡健荣. 利用计算机视觉检测家蚕微粒子病的改进研究[J]. 江苏大学学报(自然科学版),2003,24(2): 43- 46.
- [4] 李庆中,汪懋华. 基于计算机视觉技术的水果实时分级技术发展展望[J]. 农业机械学报,1999,30(6): 1- 7.
- [5] 应义斌,饶秀勤,赵匀. 机器视觉技术在农产品品质自动识别中的应用[J]. 农业工程学报,2000,16(1): 103- 108.
- [6] 何东健,张海亮,宁纪锋,等. 农业自动化领域中计算机视觉技术的应用[J]. 农业工程学报,2002,18(2): 171- 175.
- [7] 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[J]. 农业工程学报,1995,11(4): 23- 26.
- [8] 白景峰,赵学增,强锡富,等. 针叶苗木计算机视觉特征提取方法[J]. 东北林业大学学报,2000,28(5): 94- 96.
- [9] 吕朝辉,陈晓光,郑元杰,等. 立体视觉技术在秧苗直立度测定中的应用[J]. 农业工程学报,2001,17(4): 127- 130.
- [10] 徐贵力,毛罕平,胡永光. 基于计算机视觉技术参考物法测量叶片面积[J]. 农业工程学报,2002,18(1): 154- 157.
- [11] 李长纓,滕光辉,赵春江,等. 利用计算机视觉技术实现对温室植物生长的无损监测[J]. 农业工程学报,2003,19(3): 140- 143.
- [12] 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[J]. 农业工程学报,2001,17(3): 153- 156.
- [13] 毛罕平,徐贵力,李萍萍. 基于计算机视觉的番茄营养元素亏缺的识别[J]. 农业机械学报,2003,34(2): 73- 75.
- [14] 宁素俭,李强,李建桥,等. 计算机视觉系统在图形面积测量及形状分析上的应用[J]. 农业工程学报,1995,11(1): 76- 81.
- [15] 宁素俭,李强,杨文志. 计算机视觉图形轮廓的获取及其尺寸测量[J]. 农业机械学报,1995,27(2): 44- 49.
- [16] 纪寿文,王荣本,陈佳娟. 应用计算机图像处理技术识别玉米苗期田间杂草的研究[J]. 农业工程学报,2001,17(2): 154- 156.
- [17] George E Meyer, Date A Davison. An electronic image plant growth measurement system [J]. Transactions of the ASA E, 1987, 30(1): 242- 248.
- [18] Trooien T P, Heemann T F. Measurement and simulation of potato leaf area using image processing: III Measurement [J]. Transactions of the ASA E, 1992, 35(5): 1719- 1721.
- [19] Van Henten E J, Bontsema J. Non-destructive crop measurements by image processing for growth control [J]. Journal of Agricultural Engineering Researching, 1995, 61: 97- 105.
- [20] Chen X, Welch S M, et al. Measurement of change in soybean plant cross-sectional area under wind conditions via image processing [J]. Transactions of the ASA E, 2001, 44(6): 1923- 1929.
- [21] Shimizu H, Heins R D. Computer-vision-based system for plant growth analysis [J]. Transactions of the ASA E, 1995, 38(3): 959- 964.
- [22] Ling P P, Giacomelli G A, Russell T. Monitoring of plant development in controlled environmental with machine vision [J]. Advances in Space Research, 1996, 18(4- 5): 101- 112.
- [23] Qiu W, Shearer S A. Maturity assessment of broccoli using the Discrete Fourier Transform [J]. Transactions of the ASA E, 1992, 35(6): 2057- 2062.
- [24] Choi K, Lee G, Han Y J, et al. Tomato maturity evaluation using color image analysis [J]. Transactions of the ASA E, 1995, 38(1): 171- 176.
- [25] Seginer I, Elster R T, et al. Plant wilt detection by computer-vision tracking of leaf tips [J]. Transactions of the ASA E, 1992, 35(5): 1563- 1567.
- [26] Irfan S A H m a d, John F Reid. Evaluations of color representation for maize images [J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1996, 63: 185- 196.
- [27] Kacira M, Ling P P. Design and development of an automated and non-contact sensing system for continuous monitoring of plant health and growth [J]. Transaction of the ASA E, 2001, 44(4): 989- 996.
- [28] Kim Y, Ling P P. Machine vision guided sensor positioning system for leaf temperature assessment [J]. Transactions of the ASA E, 2001, 44(6): 1941- 1947.
- [29] McDonald T, Chen Y R. Application of morphological image processing in agriculture [J]. Transactions of the ASA E, 1990, 33(4): 1345- 1352.
- [30] Franz E, Gebhardt M R, Unklesbay K B. Shape description of completely and partially occluded leaves for identifying plants in digital images [J]. Transactions of the ASA E, 1991, 34(2): 673- 681.
- [31] Mitchell O R, Grogan T A. Global and partial shape discrimination for computer vision [J]. Optical Engineering, 1984, 23(5): 484- 491.
- [32] Humphries S, Simonton W. Identification of plant parts

using color and geometric image data [J]. Transactions of the ASAE, 1993, 36(5): 1493- 1500
[33] Guyer D E, Miles G E, Gaultney L D, et al Application

of machine vision to shape analysis in leaf and plant identification [J]. Transactions of the ASAE, 1993, 36(1): 163- 171.

Advances in the application of computer-vision to plant growth monitoring

L in Kai yan, Xu L ihong, W u J unhui

*(Control Science and Engineering Department, Modern Agricultural Science
and Engineering Institute, Tongji University, Shanghai 200092, China)*

Abstract The paper presented the advances in the application of computer-vision to the monitoring plant growth areas such as the measuring of plants' exterior growing parameters, the detection of fruit maturity, the monitoring of plant nutrition and the shape description and identification for plants. The heuristic and intelligent color image processing techniques were considered to have promising applications in protected agriculture.

Key words: computer-vision; image-processing; monitoring of growing condition