

中华博士 园地

这是本刊特为海内外正在就读和学成立业的博士、博士后青年学者们开辟的一片科普园地。深学浅著是一门德识、慧学、素质修养的学问。你们的新知识、新调研、新观察、新目光、新展望,能够用尽可能深入浅出、通俗流畅的语言,汇报给祖国、人民、家乡父老子弟乡亲们吗?中华博士园地,乃耕耘忠孝之地、科教兴国、民族昌盛之地。要用慈母听得懂的语言,写出你们的心声!

农业生物模式识别中的计算机视觉技术

李庆中 汪懋华

(中国农业大学电子电力工程学院,北京 100083)

0 引言

随着科学技术的飞速发展,计算机视觉技术的应用已渗透到农业生物生产的各个领域。虽然在农业生产的某些阶段已经实现了机械化操作,如耕、种、植保、收获、农产品加工等阶段。但在农业生物生产的过程中,还存在着大量繁重的、重复的、单调的操作过程,这些过程仅靠普通的农业机械难以胜任,而是需要具有视觉化和智能化的机器人或机械去完成。其次,随着人类物质、精神生活的高度发展,特别是在发达的西方国家,农业生产力将呈急剧下降趋势,因为与其他行业相比,农业不会成为未来年轻人感兴趣的行业。农业劳动力的日趋贫乏,必

然要求智能化、视觉化的机械的逐渐增加。此外,市场对农产品质量的要求越来越高,这也是导致视觉化、智能化农业生物生产机器人和机械发展的一个动力。因为在产品品质的评定方面,虽然人的感觉能力、推理能力还不能被机器所代替,但人的稳定性和客观性却不如机器,且人类长时间进行这种单调的、重复性工作,很快会造成身心疲惫、情绪波动,从而使产品的质量难以保证。因此,开发和研制视觉型、智能型的农业生物生产机器人或机械,是未来现代化农业发展的一个必然趋势。

1 计算机视觉与农业生物模式的特点

1.1 计算机视觉的组成与特点

计算机视觉可以简单地理解为用摄像机代替人的眼睛,用计算机代替人的大脑,从而完成对周围环境和目标的识别和解释。计算机视觉系统的组成如图1所示。其中,视觉传感器一般用 CCD 摄像机,其类型有单色摄像机和彩色摄像机两种。它是由固态电荷耦合器件(Charge Coupled Device)组成,光电敏感器件一般呈二维阵列形式,具有低能耗、低滞



李庆中 中国农业大学(东区)电子电力工程学院副教授,博士研究生。主要从事计算机图象处理,农业生物模式识别方面的研究。

后、低抖动、低几何畸变和分辨率高等优点。单色摄像机对光的敏感范围一般是从可见光到近红外区(400—1200nm),而彩色摄像机只能接收R、G、B三路基色信号,对光的敏感范围只能在可见光范围(400—760 nm)。有些专用的摄像机其敏感范围可以在中红外或远红外区。TV摄像机的输出信号为视频信号,呈模拟信号的形式,要输入到计算机中,必须经过A/D转换器将其转换为数字信号。图象信息的数据量大是视觉处理的一大难点,因此,需要高速图象信息处理的场合,应加入专用的图象处理器,而一般的图象处理,可直接送入计算机进行处理。计算机完成的主要工作是图象的低层处理、图象特征提取、模式识别和理解等。计算机视觉系统完成的主要功能为:

- (1) 根据颜色或光谱反射信息,对目标进行区分。
- (2) 根据二值图象的形状特征或根据灰度图象的纹理特征,进行目标的特征识别。
- (3) 根据三角测距原理等理论对目标进行深度距离测量。

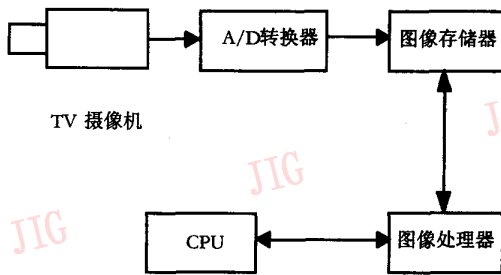


图1 计算机视觉系统组成框图

与人的视觉相比,计算机视觉的主要优点是对光谱的敏感范围广、测量精度高以及视觉信号易于计算机处理等。但人的视觉可以具有很大的视野,且易于区分颜色和纹理,易于形状识别。因此,计算机视觉技术的开发和研究,应注重其特长的发挥,然后融入人类智能化的模式识别方法,新型、有效的人工智能模式识别算法的研究是计算机视觉技术研究的关键。

1.2 农业生物模式的特点

农业生物包括植物、动物和微生物。农业生物模式识别实际上就是对农业生物对象进行识别。农业生物对象不象一般的工业生产对象一样,具有稳定的物理机械特性和规则的形状。农业生物对象的

主要特点可概括如下:

- (1) 农业生物对象都是活的有机体。
- (2) 农业生物对象具有多样性或不一致性。如农业中有各种各样的作物、杂草,即使在相同环境下同一品种的作物,其形态也不会完全一致。
- (3) 农业生物模式的变化性。农业生物总是随着生长、发育、季节、区域的变化而变化。
- (4) 农业生物的随机性。如植物的形态在一些随机因素(如风、动物)的影响下,会发生变化,动物的行为也呈现一定的随机性。

所有这些特点,给农业生物模式的识别造成了较大的困难,同时对科研工作者也是一种挑战。为完成农业生物模式的有效、快速识别,必须研究生物的物理特性,其主要物理特性有:

- ① 基本物理特性:包括形状、尺寸、质量、密度、表面纹理等。
- ② 动力学特性:包括切割阻力、摩擦阻力、弹性、粘性等。
- ③ 光学特性:包括反射性、穿透性等。
- ④ 声学特性:包括振动性、波的传播性等。
- ⑤ 电特性:包括电阻、电容、静电特性等。

与计算机视觉技术密切相关的主要是生物对象的形状、纹理特性和光学特性。如植物的形态初看起来似乎千变万化,但若从分形的角度观察,就会发现植物本身的自相似性,即在各个尺度下观察,其局部和整体具有相似关系。因此,复杂的植物形态,实际上可由简单的基元通过分形中迭代函数系统(IFS)的方法进行绘制,只需要简单的仿射变换即可完成,图2是带梗叶子的IFS绘制结果^[1]。这说明自然界复杂表象的背后,存在着简单的规律性。只要知道了植物基元的局部形态特征就可掌握植物的整体形态特征。这种思想对于图象信息的高度压缩,具有非常重要的意义。在形状特征和纹理特征方面也有类似的规律性,如每种植物的叶子,几何形状不一样,叶子的表面纹理也不同,叶子和茎杆的夹角也有一定的规律性。

充分利用生物对象的光学特性,对生物模式进行计算机视觉识别,是目前研究的一个热点。这是基于计算机视觉对光谱接收范围广的优点。图3是典型绿色植物的光谱反射特性曲线^[2]。由图中可以看出,不同的生物对象,其光谱反射特性曲线不同。叶子进行光合作用的有效波段主要在400—700nm的波段范围,对应的主要是绿光和兰光。从图3中叶子的光谱反射曲线可知,光合作用的吸收波段在

679nm 附近。叶子一般由上表皮、叶绿素颗粒组成的栅栏组织和多孔薄壁组织组成,太阳光透过上表皮,兰、红光被叶绿素吸收而进行光合作用,绿光虽然被吸收一部分,但仍有一部分被反射回来,故叶子呈绿色。而近红外光线(760—2500 nm)可以穿透叶绿素,被多孔薄壁组织所反射,故在近红外波段上,形成强反射。这就是为什么植物在近红外波段反射率比可见光波段高的原因。从花的光谱反射曲线可见,在紫外线区域的 300 nm 附近,有一个反射高峰,某些昆虫或许具有接收此波段光谱的能力,由此可在绿色植物中,识别出花朵,进行采蜜和起到传播花粉的作用。此外,在近红外区域,有许多波谷,这正是水的一些吸收波段,如 970 nm、1170 nm、1450 nm、1950 nm 的附近范围。总之,不同的物体在同一波长范围的反射率差别是很大的。正是由于各种物体

的反射光谱不一致,才形成了地球上物体颜色的千变万化。多光谱成像技术是目前农业生物模式识别的热点,在遥感成像技术方面,已经得到了广泛的应用。

实现生物对象的正确识别,除了充分利用与计算机视觉有关的形状、纹理特征和光学特征外,还必须研究生物对象的其他特性,如基于声学特性的超声波技术,基于分子内部组成的核磁共振成像技术等。此外,应注意农业生物对象都是活的有机体,如收获后的水果,还要不断地吸入 O₂,呼出 CO₂ 和乙烯等气体,为测定其内部的品质,可利用一些生物传感技术,测量其呼吸的节奏规律性来完成,这类类似于测量动物的脉搏。总之,农业生物模式的复杂性,决定了只有高度集成各种信息传感技术,才能完成农业生物模式有效的、准确的识别和理解。



图2 带梗叶子的 IFS 绘制

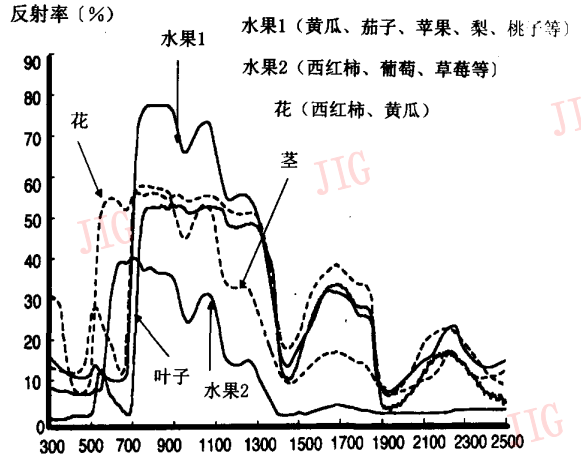


图3 植物的典型光谱反射特性曲线

2 计算机视觉技术在农业生物模式识别中的应用

目前,计算机视觉技术在农业中的应用主要有以下4方面:

(1) 农产品的品质检测:水果、蔬菜的检测与分级;禽蛋、肉食类的检测与分级;经济作物的检测与分级,如烟叶、茶叶等;谷物籽粒的检测与分级,如大豆、花生、玉米、大米等。

(2) 收获机器人:国外研究比较多的有各种水果收获机器人,温室或大棚等农业设施中的番茄、蘑菇、黄瓜收获机器人,挤奶机器人等。

(3) 精细农业 (Precision Agriculture):精细农业^[3]是把地理信息系统(GIS)、地面定位系统(GPS)及遥感技术(RS)构成的3S空间信息技术和作物生产管理决策支持系统(DSS)等高新技术有机地组装在一起并应用到现代农业中,形成以最少投入获得最大产出的现代化高效农业,这是未来农业发展的方向。在精细农业中,机器视觉技术也起着重要的作用,如利用多光谱遥感成像技术进行农作物产量的估测、病、虫害识别与预报等;此外,为中耕服务的杂草自动识别技术,农业机械的自动化导向视觉技术,秧苗自动移栽机的视觉技术等。

(4) 生物生长状态的监控技术:利用计算机视觉在设施农业或工厂化农业中进行植物生长状态的

检测与控制,动物行为的监控;农业基础研究中生物细胞的检测及组织培养的检测等。

下面以几个有代表性的实例介绍一下在农业生物模式识别中,计算机视觉技术的应用情况。

2.1 计算机视觉技术在水果自动分选和分级中的应用

我国的水果生产在整个农产品生产中占有很大比例,据 1997 年中国农业年鉴^[4]的统计数字表明:1997 年我国水果总产量为 46,528,217 吨,其中苹果总产量为 17,052,246 吨,是重要的外贸出口产品。但由于产后处理不够,使得外销水果的品质难以得到保证和提高,在国际市场上缺乏竞争力。目前在国内,水果分级基本上仍由人工完成。人工分级的主要缺点有:劳动量大、生产率低、人工难以精确控制分级指标,且长时间用眼,会造成身心疲劳及情绪的不稳定,从而造成分级精度的波动和误差。水果按照外部和内部品质指标进行分级,其中外部品质指标主要是水果的大小、形状、颜色、和表面缺陷;而其内部品质指标主要有硬度、含糖量、酸度、口味及内部缺陷等。国外在这两方面都在进行研究,有些检测项目已经商品化,且能达到实时速度。在国内,水果的品质检测从 90 年代才开始,仅停留在外部的品质检测研究中,且远没达到实时检测分级的水平。

利用计算机视觉进行水果外部品质的自动检测和分级,主要包括硬件系统和软件系统两方面的研究工作。基本工作过程为:传送机构首先把水果全面地、有序地、连续地呈现给计算机的视觉系统,计算机视觉系统把水果的形状、颜色、表面缺陷等视觉信息,高速地输送给计算机或专用的图象处理器。然后由软件系统进行图象信息的实时处理、识别和解释,最后计算机根据识别的结果,作出决策并输出控制信号给自动分选机构,完成水果的自动分选和分级。图 4 是 TAO^[5]1996 年研制的苹果缺陷自动分选系统的示意图。由图中可见,水果由滚子式输送带把水果呈现给视觉系统,水果一方面沿输送方向移动,一方面绕自身水平轴线转动,这样可以使输送带上的 CCD 摄像机连续摄取水果多个表面的图象,以保证水果整个表面的视觉检查。视觉系统是由多个 CCD 摄像机组成,摄像机前加滤波片,以摄取水果在近红外波段的图象,因为由图 3 可知,水果在近红外波段的反射率比在可见光范围的高。对于水果表面颜色的检测,需要由彩色摄像机在可见光

范围内检测。计算机系统对采集的图象信息经过处理、识别后,控制分选机构把坏的水果剔除。该系统已经投入生产,分选速度为 3165 个/分钟。

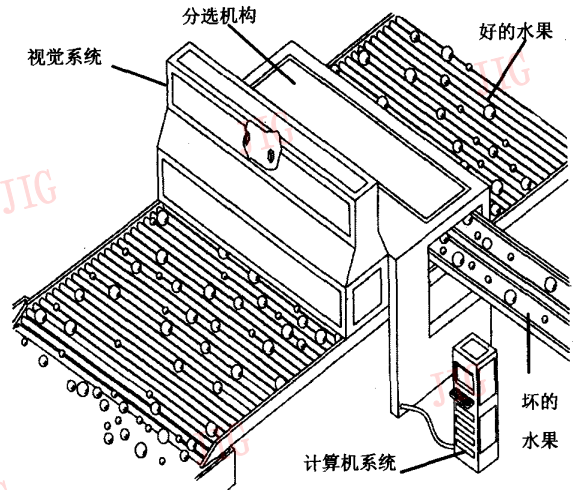


图 4 水果实时检测系统

目前水果自动检测与分级的主要障碍有:

- (1) 快速呈现水果整个表面给 CCD 摄像机的输送机构设计比较困难。
- (2) 水果缺陷的快速检测以及与水果梗萼凹陷区的区别比较困难。
- (3) 水果内部品质(含糖量、酸度、内部缺陷等)的无损在线测定比较困难。

2.2 农业机器人中的计算机视觉技术

与农产品品质检测中的计算机视觉技术相比,农业机器人中的视觉技术不仅需要对生物对象进行平面二维视觉信息的获取,还要进行三维或距离深度的测量。计算机视觉的三维测量比较困难,已吸引了国内外大量的研究工作者。根据光源的类型,深度获取的方法可分为主动测距法和被动测距法两类。主动测距法需利用特别的光源,具有测量精度高、抗干扰、实时性强的特点。被动法利用的是自然光源,适合于测量环境受限制的场合,一般实时性较差。

2.2.1 深度测量方法简介

主动测距法又分为行程时间法和三角测量法,被动测距法类似于人的双目视觉。

(1) 行程时间法

该方法通过测量光线从发射器到目标物,然后被反射至接收器整个行程内所需要的时间来计算目

标的深度距离。其测量原理如图 5^[2] 所示,工作过程为:激光束首先通过正弦波进行幅值调制,然后发射至由镜子组成的扫描单元进行方向偏转后射向目标,经物体反射后,返回至接收器。由接收器检测光线相对于参考相位的相位变化量,从而得到光线行程的时间,再由此计算深度距离。该方法已经用于自动行驶车辆对障碍物的探测,因为成本较高,目前还处在研究阶段。

(2) 双目测距法(立体视觉)

根据三角测量原理,利用物体在两个视点的图象可计算出物体的深度距离,如图 6 所示。图中 L 代表两视点(CCD)的水平距离, D 为在镜头轴线方向目标物至镜头的深度距离, d 为镜头中心面至成

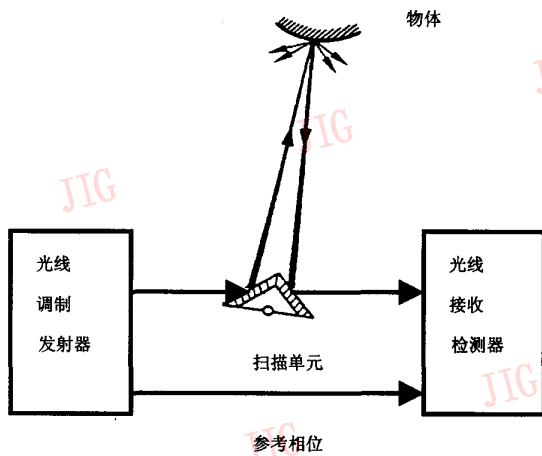


图 5 行程时间测距法原理图

像面的距离, x_1 为在视点 1 位置时,目标物成像点离成像面边缘的水平距离, x_2 为在视点 2 位置时,目标物成像点离成像面边缘的水平距离,根据三角测量原理,深度距离 D 可按式计算:

$$D = dL / (x_1 - x_2)$$

该方法属于被动测距法,在自然光线下就可进行三维测量,但其最大缺点是图象处理的时间太长,主要原因是左右两幅图象中匹配点的寻找比较困难。目前匹配点寻找的算法有两种,一是根据左右图象中像素邻域点的相似性;二是根据左右图象某些特征的相似性。该方法的关键是解决左右图象匹配点的实时寻找问题。

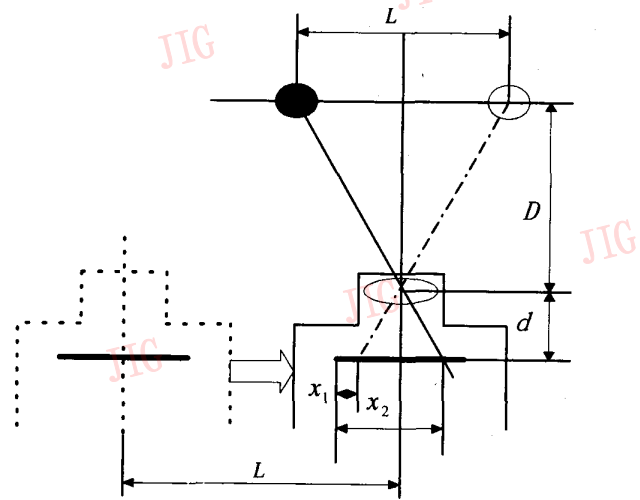


图 6 双目三角测距法原理图

(3) 主动三角测距法

主动三角测距法是把被动双目测距法中的一个视觉用光线投影仪代替,投影仪把结构光从一个方向投射到目标物上,摄像机在另一个方向摄取目标物的图象,投影仪每扫描一个方向,摄像机都摄取一个图象,深度距离由三角测量原理易得。为克服测量时间受摄像机扫描频率的限制,目前一般用位置敏感器件 PSD(Position Sensitive Device)代替摄像机,其结构原理如图 7^[2] 所示。其工作原理是投射器把光线投射到物体表面,然后反射至 PSD,经 PSD 的透镜聚焦后在 PSD 的成像面上形成小的图象块,PSD 有两个电极,分别为 A 和 B。A、B 两电极电流的比值随小图象块位置的变化而变化,因此,由两电极电流的比值,再根据三角测量原理可方便地求出目标

物的深度距离。当投射器分别沿水平和垂直方向扫描时,就可得到物体的三维图象。该方法已应用到农业机械人的视觉系统中,其测量的深度距离一般小于 70cm,否则 PSD 的接收信号微弱;此外,物体表面的法线方向变化不能太大,应确保在 PSD 的接收范围之炮。

2.2.2 西红柿收获机器人视觉系统简介

Subrata *et al.* (1995 年)^[6] 研制的西红柿采摘机器人,其视觉系统的组成如图 8 所示。该视觉系统既可以实现目标物三维图象信息的获取,又可以从茎、叶中识别出熟的西红柿。系统中有两个激光二极管,一个发射红光,波长为 685nm;另一个发射近红外光,波长为 830nm。这样选择的根据是,在波长为 685nm 时,熟的西红柿的光谱反射率远高于

叶子、茎和绿西红柿的反射率；而在波长为 830nm 处，茎、叶和西红柿的光谱反射率都处在最高值。从目标物反射回来的光由 PSD 测量，测量的红光信号和近红外光信号的比值用于识别成熟的红西红柿；而深度距离的测量是测量近红外反射光时，根据 PSD 两个输出电极信号的比值，由三角测距原理得到。

具体工作过程是：首先，红色和近红外激光束集中在一起，经过一冷光滤波器，只让可见光和近红外光透过，通过的光经过可摇摆全反射镜反射而投向

目标物，从目标物反射回来的光束再由另一个可摇摆的全反射镜把其集中到 PSD 测量器。在整个光束行进过程中，红光和近红外光都集中在一起，到了 PSD 后，因为红光和近红外光的调制频率不同，分别为 6.5KHz 和 13KHz，所以通过解调电路即可分开。PSD 两电极输出的信号经滤波处理后，通过 A/D 转换，即可输入到计算机进行处理和识别。通过水平和垂直步进电机带动摇摆镜旋转，可分别完成目标物的水平和垂直扫描，得到目标物的三维图象信息以及熟西红柿的颜色信息。

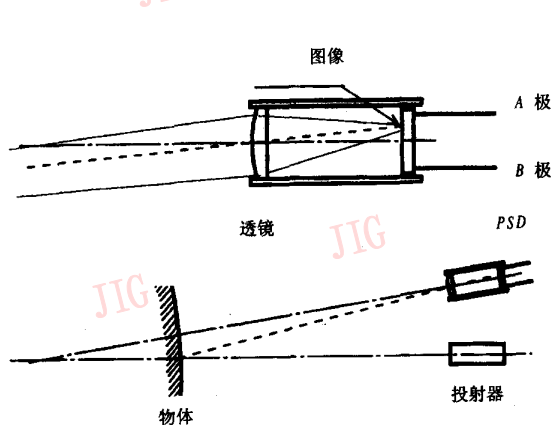


图 7 PSD 结构原理

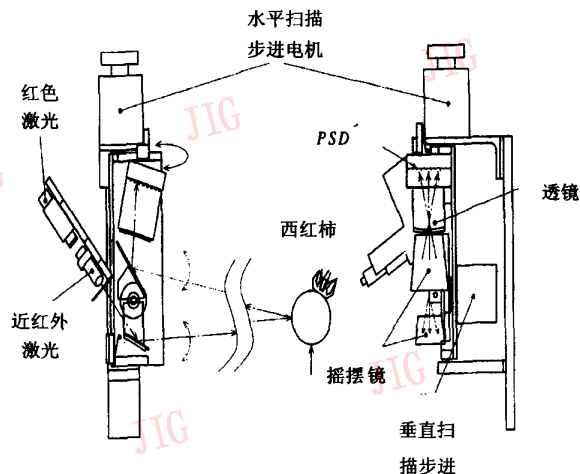


图 8 西红柿收获机器人视觉系统

图 9 是机器人视觉系统对西红柿的测量、处理结果，图中 A_{IR} 、 B_{IR} 分别为 PSD 测量近红外光时，电极 A 和 B 的输出值； A_R 、 B_R 分别为 PSD 测量红光

时，电极 A 和 B 的输出值，输出结果中既有目标物的三维图象，又有分割出的熟的西红柿的二值图像。

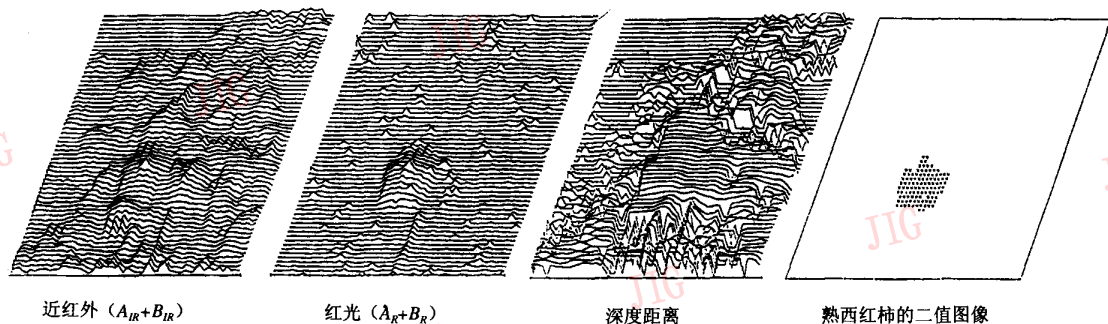


图 9 机器人视觉系统对西红柿的测量、处理结果

3 未来的发展趋势展望

随着信息技术的高速发展,计算机视觉技术在农业中的应用必将越来越广泛。在农业生物模式识别中,计算机视觉技术的研究将主要集中在以下几个方面:

(1) 把计算机视觉信息和各种信息传感技术有机结合,用于农业生物的模式识别。

(2) 研究新的传感技术,有效采集农业生物的各种信息,实现少投入、多产出、高效现代化农业的目标。

(3) 研究农业生物新的有效特征的快速提取方法,提高模式识别的实时性。

(4) 研究图象信息的有效表达方法,提高图象信

息的压缩比,利于图象信息的快速传输和实时处理。

(5) 研究新的智能化、并行模式识别方法,提高识别的速度和准确性。

参考文献

- 1 齐东旭. 分形及其计算机生成. 北京:科学出版社,1994.
- 2 Naoshi Kondo, Ting K C. Robotics for bio - production systems. ASAE, 1998.
- 3 汪懋华. 精细农业的实践与农业科技创新. 中国软件学,1999,4: 21 ~ 25.
- 4 中国农业年鉴. 北京:中国农业出版社,1997.
- 5 Tao. Spherical transform of fruit images for on - line defect extraction of mass objects. Optical Engineering, 1996,35(2):344 ~ 350.
- 6 Subrata *et al.* 3 - Division sensor for cherry tomato harvesting robot. In: Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics on Bio-Production and Processing, 1:13 ~ 20.

Pro/E 客户的新选择——ELSA Synergy II

一向以高阶绘图卡开发技术闻名于全世界的艾尔莎公司,针对专业的工业设计、自动化辅助设计领域以及 Pro/Engineer 应用,再度开发出 ELSA Synergy II 图形加速卡,并且以其独特的 OpenGL 驱动程序还有特殊的应用指令与相关的应用软件作结合来提升在专业领域的效能表现,因而在个人计算机杂志以及其他的专业媒体上获得相当高的评价。

在六月份的个人计算机杂志中,也有以下的评语:“艾尔莎公司的 Synergy II 是一款侧重于专业应用的 TNT2 图形卡,其外观及设计都非常严谨和精细。尽管它是本次测试的所有 TNT2 显卡中唯一非 32MB 显存配置的产品(16MB),但它在测试中的表现之佳却让人感到意外,在 Indy3D 和 Viewperf 的各个单项测试中都超出了其他 TNT2 产品……甚至在许多单项测试中超过了帝盟的 Viper770 Ultra,这块卡可为专业的 3D 应用提供相对廉价的解决方案。”而事实上,艾尔莎也有出产 32MB 显存的 Synergy II 图形卡,在效能表现上更是超出 16MB 版本的卡多出许多。

同样的,高阶绘图使用最主要的还在于 Pro/E 专业图形运算,而艾尔莎的软件研发部门也同样的以其技术上的优势开发独特的 OpenGL 程序,以及其他对等应用软件,因此在使用 PRO/E 上,速度快了许多,对照其价格,Synergy II 事实上的价格与性能比显然是优于其他的图形卡,不仅仅是速度上高于其他图形卡,对于贴图处理,艾尔莎同样重视其表现,艾尔莎所开发 OpenGL 程序,还可以从 NT4.0 的系统中额外要求其释放出更多的记忆空间,来作为贴图处理上的需求。从测试数据来看,Synergy II 在 CDRS-04 Benchmark 上可达 107.85,而在 ProCDRS-01 上则可达到 9.66 的结果,对于 Pro/E 的使用者来说,ELSA Synergy II 确实能达到令人意想不到的效果,反观其价格,对于客户来说,Synergy II 绝对是 Pro/E 客户的最佳选择。

艾尔莎网址:www.elsa.com,国内唯一代理:北京致荣:(010)62547013,62547073