

# 果蔬果实收获机器人的研究现状及关键问题和对策

徐丽明, 张铁中

(中国农业大学工学院, 北京 100083)

**摘要:** 该文在分析果蔬果实收获机器人工作对象特点的基础上, 从果实的辨认与定位、成熟度检测、机械手设计、末端执行器设计等方面对国内外果实收获机器人的研究现状进行了分析。为促进果实收获机器人在生产实际中的应用, 提出收获机器人目前应解决的3个关键问题: 作业效率、结构体积和利用率, 并对此提出相应的对策。

**关键词:** 果蔬果实; 收获机器人; 作业效率; 利用率

**中图分类号:** S24

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2004)05-0038-05

## 0 引言

水果和蔬菜是人类生活中必不可少的食物, 种植面积和产量逐年提高。2002年中国果品种种植面积 893 万  $\text{hm}^2$ , 产量 6225 万 t, 占世界果品产量的 13%。蔬菜种植面积 1523 万  $\text{hm}^2$ , 产量 4.24 亿 t, 占世界蔬菜总产量的 40%。在蔬菜分类中, 果实类蔬菜分为瓠瓜类(南瓜、黄瓜、西瓜、甜瓜、冬瓜、瓠瓜、丝瓜、苦瓜等)、浆果类(茄子、番茄、辣椒)和荚果类(豌豆、刚豆、刀豆、豌豆、蚕豆)等。目前进行收获机器人研究的主要有瓠瓜类(黄瓜、西瓜、甜瓜等)和浆果类(西红柿、辣椒、茄子等)。2002年中国果实类蔬菜(黄瓜、茄子和西红柿)的种植面积为 2344 千  $\text{hm}^2$ , 产量 8746 万 t, 约占总产量的 21%。

在果实类的水果和蔬菜生产中, 需要人工不定时的对果实进行成熟度判断和收获, 并不时地移动梯子登高或弯腰, 因此收获作业是一项劳动强度大、消耗时间长、具有一定危险性的作业。研究开发适合目前生产实际的果蔬果实收获机器人不仅可以在很大程度上减轻劳动强度、提高生产效率, 而且具有广阔的市场应用前景。本文旨在分析目前果蔬果实收获机器人的研究现状的基础上, 提出目前收获机器人用于生产实际中急于解决的关键问题, 并提出相应的对策。

## 1 果蔬果实收获机器人的研究现状

果蔬果实收获机器人的工作对象的特点为: 表皮组织的柔软性。工作对象的表皮由许多细胞组成, 比较柔软, 易损伤。生长位置的随机性。果实的开花和结果的位置没有一定的规律, 生长处于随机变化状态。成熟期的不一致性。同棵植株的果实由于生长开花的个体差异, 发育成熟有先有后。个体形状的差异性。水果和蔬菜生产中的品种繁杂, 即使是同一品种, 同一棵植株, 果实的形状也不同。成熟特征的差异大。对于果蔬生产系统, 成熟时显现的特征是不同的, 有的是依靠果实外表颜色, 如苹果、西红柿等, 有的却要依据果实的内部品质, 如西瓜、甜瓜等。果蔬生产是非结构性的开放系统, 其工作对象的特性受外界环境的影响大。因

此在设计果实收获机器人时, 应能够适应这种变化。

在农业领域, 相对其他作业而言, 果实收获作业比较容易实现自动化和机器人化, 1968年美国首先开始研究苹果的自动收获<sup>[1]</sup>。从此, 世界各国开始进行农业收获机器人研究, 并相继开发出了苹果、柑橘、西红柿、茄子、辣椒、黄瓜等收获机器人。

研究和开发果蔬果实收获机器人, 关键技术在于果实的辨识与定位、成熟度的检测、机械手的设计和末端执行器的设计。

### 1.1 果实的辨识与定位

对于果蔬果实收获机器人来讲, 首要任务是将果实从背景中辨识出来, 确定其3维空间位置, 然后进行收获。果实辨识定位的方法与果实和背景的颜色差异有很大关系。

#### 1.1.1 果实颜色与背景颜色差异大

苹果、柑橘、西红柿、草莓等果实成熟时表皮呈现红色, 很容易就可以从绿色的背景中辨认出来。这类果实多采用彩色照相机系统和图像处理系统进行辨识<sup>[2-6]</sup>。

在图像处理系统中算法是多种多样的, 不同的算法取得的效果也不同。依据果实和茎叶的颜色进行区别是常用的方法。建立RGB模型、rg色度模型和LRCD(Luminance and Red Color, 亮度和红色)3个模型, 对富士苹果进行辨识, 通过比较确定LRCD模型是最佳模型<sup>[7,8]</sup>。其次, 通过对比成熟果实的灰度值, 将实际果实的灰度值与计算机内的值进行比较, 然后按照果实的灰度值从大到小进行收获, 这样既完成了收获, 又使果实按照成熟度的不同进行分级<sup>[8]</sup>。也可以在自然条件下通过对比桔子果实和其他对象的色度和亮度, 来辨识果实<sup>[9]</sup>。

除此之外, 利用果实的外形特征<sup>[10,11]</sup>, 以及果实的物理特性, 如苹果果实、叶子和树枝的温度不同, 检测果实的图像, 也可以达到辨识果实的目的<sup>[11]</sup>, 这种方法不受品种和自然条件的影响。

为了更快速的获取果实, 研制了3维视觉传感器, 获取果实的3维形状, 该传感器用两个激光二极管分别发射红色光和红外光在绿色枝叶中检测红色果实<sup>[8,12]</sup>。采用带有中密度光学过滤器的彩色电视照相机, 将自然光过滤掉后检测到柑橘果实<sup>[8]</sup>。

收稿日期: 2003-07-16 修订日期: 2004-06-30

作者简介: 徐丽明, 女, 博士生, 副教授, 北京海淀区清华东路17号中国农业大学工学院, 100083。Email: xlmoffice@cau.edu.cn

### 1.1.2 果实颜色与背景颜色相近

黄瓜、葡萄、西瓜、辣椒、甜瓜、茄子等果实的颜色与背景相近, 单通过颜色很难辨认, 大多通过果实和植株的物理特性进行辨识。利用果实和叶子反射的光谱不同的特点来辨认真实是常用的方法<sup>[8, 13]</sup>。荷兰学者通过果实与叶子含水率的不同, 采用两台摄像机, 利用红外线(NIR)的一些可选频率来探测黄瓜果实图形, 开发出了黄瓜图形加工软件。该系统能够检测到果实、评价果实的成熟度以及确定果实的位置<sup>[14]</sup>。

采用图像处理软件, 选择合适的算法, 也可以实现果实的辨识。茄子收获机器人采用2步机械视觉算法来辨认茄子, 准确率可达到80%~97.5%。并在茄子果实着色特征的基础上, 采用C语言开发了茄子图像处理软件<sup>[15, 16]</sup>。西瓜收获机器人采用带有800 nm过滤器的黑白照相机有效地辨认出西瓜果实, 果实经过高斯—拉普拉斯过滤器从灰度图像中提取, 再去杂音, 就可以得到清晰的果实图像<sup>[8]</sup>。果实生长在自然环境中, 受自然条件的影响, 其定位一直是果实收获机器人的一个难点之一。有的采用带有550 nm和850 nm的过滤器的黑白照相机分别获取两个图像, 通过计算, 来判断果实的距离<sup>[8]</sup>。有的利用黑白照相机和光电传感器组成的系统对黄瓜进行距离检测<sup>[17]</sup>。采用带有金属氧化物半导体图像传感器的彩色电视照相机, 来检测柑橘果实位置<sup>[8]</sup>。

果实的辨识和定位是果实收获机器人的难点, 也是提高收获机器人作业效率的关键。目前这项研究仍在单个果实无叶子或树枝遮盖的理想情况下进行, 而生产实际中, 大部分果实都被叶子或树枝遮盖, 或多个果实重叠, 或逆光背阴, 这需要研究出合适、有效、快速的算法, 将果实分辨出来。在这项技术不太成熟的情况下, 可以采用人工辅助选择目标和定位。

### 1.2 果实的成熟度检测

果实收获应在最佳成熟度时进行, 才能保证果实的品质和高的市场价值。检测果实成熟度的方法有敲打音法、近红外线分光法、气体传感器法等<sup>[18]</sup>。目前所研制的果实收获机器人, 还没有效果十分理想的成熟度传感器, 多数通过人工判断是否成熟。

果实的成熟有的依靠颜色进行判断, 根据西瓜的色度和饱和度, 来辨别西瓜的成熟度<sup>[19]</sup>。根据草莓的红色来收获草莓<sup>[20]</sup>。另外, 有的果实需要通过测量果实的直径和长度, 决定是否收获<sup>[14, 16]</sup>。

### 1.3 机械手设计

与工业机器人机械手不同, 果蔬果实收获机器人的机械手, 所处的外部环境是复杂的、多变的、非结构的, 并且与果实的栽培方式有很大关系。因此, 设计机械手应在考虑栽培方式的基础上, 使果实处于其作业空间内, 并且能够避免障碍物(叶子、茎秆等), 准确地抓取到果实。

对于苹果、柑橘等树冠高大的果树, 机械手需要较大的作业空间。最初的研究采用了带有3个轴的机械手

收获苹果<sup>[8]</sup>。在此基础上设计的极坐标机械手<sup>[9]</sup>使苹果收获系统又向前迈进了一步。韩国开发的苹果收获机器人采用极坐标机械手, 旋转关节可以左右转动, 直动关节可以前后移动, 丝杠关节可以上下移动, 使作业空间可以达到3 m<sup>[8]</sup>。为了便于机器人的运输和在狭窄的果园内作业, 设计了3个自由度可以折叠的关节型机械手<sup>[8]</sup>。为了收获隐藏在果树内部的果实, 收获机器人又增加了偏置补偿机构, 使手爪接近树枝中间的果实<sup>[8]</sup>。

由于通常的葡萄栽培, 障碍物比较多, 不利于机器人收获。日本开发了H型葡萄高架栽培方式<sup>[8]</sup>, 果串和枝叶分离, 采用5个自由度的极坐标机械手收获整串葡萄<sup>[8]</sup>。

草莓多采用垄作方式, 果实朝向垄沟, 但由于离地面距离只有10~20 cm, 不便于机器人收获。为此将草莓种植在高架上, 果实自然下垂, 采用5自由度的极坐标机械手和直角坐标机械手就可以收获草莓<sup>[8, 20]</sup>。

地面生长的果实, 如甜瓜和西瓜, 只需确定其2维位置, 为此设计了3个自由度的直角坐标机械手来收获甜瓜<sup>[21]</sup>, 为使西瓜的采摘和输送一次完成, 研制了5个自由度机械手, 全部采用旋转关节, 由于西瓜个体的重量较大, 机械手采用液压驱动<sup>[8]</sup>。

传统栽培的西红柿, 茎叶繁茂, 研制的5个自由度机械手的西红柿收获机器人<sup>[8]</sup>, 效果并不理想。为此将5自由度的机械手安装在可以上下、前后移动的直动关节座上, 形成7自由度的机械手, 可以上下、前后接近果实<sup>[8]</sup>, 但自由度高, 难于控制。为了简化机器人的结构, 日本开发了单串西红柿生产系统(STTPS's, single truss tomato-production system)<sup>[8]</sup>, 果串从高架上下垂, 遮挡物少, 直接采用直角坐标机械手就可以完成收获。

樱桃西红柿是近几年的新品种, 果实由多个小果组成一串, 果实并不同时成熟, 一般上部的果实先于下部的果实成熟, 在收获时, 需要进行选择。设计4自由度的极坐标机械手, 包括上下转、左右转、上下移动和前后移动, 可以使手爪到达要求的位置<sup>[12]</sup>。在此基础上, 又在左右方向增加了一个弯曲动作, 使机械手更好地避免障碍物, 形成了5自由度机械手<sup>[8]</sup>。

传统的黄瓜栽培是直立生长, 这样叶子很容易遮住果实。日本开发出了V型栽培方式<sup>[8]</sup>, 搭成V型格子架, 架子与地面的夹角为65°; 叶子在架子上方, 而果实垂落在架子下方, 减少了障碍物。在此栽培方式下, 并关农机等联合开发了黄瓜收获机器人, 6个自由度机械手由一个倾斜的直动关节和5个旋转关节组成, 倾斜关节的倾斜角度与黄瓜架的倾斜角度相同(65°), 使手爪沿黄瓜架移动<sup>[22]</sup>。荷兰农业环境工程研究所(MAG)<sup>[14]</sup>在三菱RV-E2的6个自由度机械手的基础上, 增加一个线性滑动自由度, 研究出了7个自由度的黄瓜收获机器人的机械手, 采用机械手的3维CAD模型很好地解决了机械手与茎秆的碰撞问题。

茄子的传统栽培是直立的, 为了适应机器人作业,

林茂彦改为 V 型栽培方式,使果实暴露在垄沟侧,设计了柔软性好、作业空间大的 5 个自由度的垂直多关节机械手<sup>[16]</sup>,水平方向移动距离 315 mm,果实接近距离为 300 mm。

果蔬果实收获机器人机械手的设计与果实的栽培方式和结果规律密切相关,为简化机械手的结构和控制系统,提高作业效率,当务之急是研究适于机器人作业的栽培方式。

#### 1.4 末端执行器

果蔬果实收获机器人的末端执行器直接接触工作对象。为了避免碰伤果实,多数收获机器人的手指内侧接触果实的部位采用橡胶和尼龙材料。由于果实的外形有圆形、近似方形、近似长方形等,所以末端执行器的设计应着重考虑手指数量、手指关节数量、摘取方式等问题。

##### 1.4.1 手指数量

果实的外形有规则的(苹果、柑橘、黄瓜等)和不规则的(草莓、柠檬、葡萄、樱桃西红柿等)。对于规则的小型果实,多数收获机器人采用带有吸盘的 2 个直手指的末端执行器直接抓取果实<sup>[8, 23, 16]</sup>。这类手指,先用吸盘将果实吸住,再用手手指将果实抓住,抓取果实比较牢靠。但吸盘和手指必须对准果实的质心。相对 2 个手指,3 个手指的收获机器人也有一些研究<sup>[8]</sup>,抓取果实的稳固更好。而采用具有 4 个手指和一个吸盘的西红柿收获机器人,效果更好<sup>[8]</sup>,但难于控制。对于大型的果实,如西瓜、甜瓜等,虽然外形规则,但用 2 个手指显然不行。西瓜收获机器人中采用 4 个带有橡胶的手指,指尖的滑轮沿西瓜表面向下滑动,利用橡胶与西瓜的摩擦力抓住果实<sup>[8]</sup>。

此外,还有一些特殊的手指,梳子式龙套手指可以将果实与相临的果实分开<sup>[8]</sup>。

手指的数量和形状与果实的外形密切相关,一般数量越多,抓取效果越好,但控制也越难,应在手指数量、控制难度和抓取成功率之间找到平衡点。

##### 1.4.2 手指关节数量

对于多数形状规则的果实,多数收获机器人采用 1 个关节的手指。对于类人的柔性手指,由于材料和控制比较困难,研究成果不多。夏柑收获机器人的柔性手指,手指的指尖通过细软钢丝与人工肌肉相连,当人工肌肉产生收缩力时,钢丝产生拉力使指尖能够柔和地弯曲<sup>[8]</sup>。西红柿收获机器人有 4 个具有 4 个关节的手指,通过控制缆绳的伸缩,使手指弯曲成不同的形状<sup>[8]</sup>。对于不同的果实,控制钢丝绳的拉力、拉动的距离、人工肌肉的收缩力等的控制都比较难。鉴于关节的控制比较难,因此目前可以暂时考虑采用一个关节的手指。

除了采用手指抓取果实外,也有单独采用吸盘式末端执行器<sup>[8]</sup>,直接用吸盘吸住果实,通过拧断果柄来收获。

##### 1.4.3 摘取方式

多数收获机器人采用切刀切断果柄或手爪旋转拧

断果柄,但刀片的反复使用和暴露在空气中,容易感染细菌和病毒。荷兰农业环境工程研究所(MAG)发明了一种代替切刀的电极切割法,采用特殊电极产生高温(1000 °C),可防止植物感染<sup>[14]</sup>。

综上所述,国外在果实收获机器人领域研究内容和成果较多。我国在此领域起步较晚,研究成果也较少。上海交通大学与日本宫崎大学共同研制设计了高地隙的跨垄作业 4 自由度的草莓收获机器人,采用两个 CCD 照相机获取草莓的图像,计算出草莓的中心的方向,用激光传感器测量手爪到草莓的距离,通过采用两个直的手指来抓取草莓果柄,避免了对果实的伤害。采用切刀切断果柄<sup>[24]</sup>。但对于草莓的成熟度、多个草莓遮挡以及生产实际应用等情况尚未进行研究。南京农业大学运用双目立体视觉技术,对图像的二维直方图进行腐蚀、膨胀、去除小团块,用拟合曲线实现彩色图像的分割,既而分离果实,并将二维图像恢复成三维坐标,实现了番茄的定位<sup>[25]</sup>。中国农业大学的研究生应用草莓图像  $L * a * b$  彩色模型中的  $a *$  通道信息,对成熟草莓进行了识别,并初步建立了桥架式直角坐标机器人<sup>[26]</sup>。还在水果采摘机器人三维视觉系统的过程中,提出了一种基于果实表面颜色色彩空间参照表的果实目标识别新方法,使计算机系统适应多种果实<sup>[27]</sup>。

总之,目前果蔬果实收获机器人的研究仍处于试验阶段,离实际应用还有一定的距离。实际生产中的收获作业要求机器人不仅减轻劳动强度,而且更要提高作业效率。而目前的果实收获机器人由于图像处理、定位精度、控制系统等原因,大多数收获机器人不把作业效率作为主要的性能指标。例如收获机器人收获一个柑橘约为 3~7 s<sup>[8]</sup>,收获一个甜瓜约 15 s<sup>[8]</sup>,摘取一个黄瓜需要 10 s<sup>[14]</sup>,收获一个茄子需 1 min<sup>[16]</sup>。这些比人工作业效率都低。为使果实收获机器人实用化,提高作业效率是关键问题之一。

## 2 发展果蔬果实收获机器人的关键问题和对策

果蔬果实的生产是一个非结构的开放系统,不确定的因素给收获机器人的研制、开发和应用带来了一定的困难。但随着农业劳动力的减少和人口的老龄化,机器人在农业领域将越来越担任重要的角色。为进一步加快收获机器人在果蔬生产中的应用,目前应着手解决以下几个关键问题:

1) 果蔬果实收获机器人的作业效率:目前所研制的果实类收获机器人的作业效率,大多数比人工作业低。其原因是:收获机器人的图像处理系统运行速度慢,使机器人等待处理结果的时间长。机械手自由度高,虽然增加了机械手的灵活性,但也增加了控制难度。因此,要提高收获机器人的作业效率,首先,在保证果实生长的情况下,改变其栽培方式,如日本为适应机器人作业,建立了作物生长诱导系统<sup>[8]</sup>,黄瓜的格子架栽培、茄子的 V 形栽培<sup>[16]</sup>、草莓和葡萄的高架栽培、苹果成篱

筐型栽培, 等等, 使果实与茎叶分离, 减少机器人作业时的障碍物, 简化机器人结构, 降低控制难度, 提高作业效率。其次, 在图像处理技术仍有待于进一步完善的情况下, 为加快机器人的实际应用, 目前可采取人机协同作业的方式, 由人工选果和判断果实位置, 然后由机器人进行收获。

2) 果蔬果实收获机器人的结构体积: 果实的生长大多比较密集, 而目前研制的收获机器人体积庞大, 不利于机器人的灵活作业。机器人是由机械手、移动机构、末端执行器以及控制系统等组成。机械手的结构与果蔬的生长状态有关, 可采用关节型的折叠机构。而目前收获机器人的控制系统大都带有计算机, 若改为体积小的嵌入式控制系统, 减少了收获机器人的体积和重量, 增加其灵活性。

3) 果蔬果实收获机器人的利用率: 目前的收获机器人只能对一种果实进行收获, 使用率低。在果蔬果实中, 圆形果实约占 70%。对这类果实可采用一种收获机器人, 只对末端执行器的张开度进行适当的修改。对其他形状的果实, 只需要更换末端执行器。这样收获机器人的利用率将大大提高。

### 3 结 语

进入 21 世纪, 农业机器人正在成为机器人的新兴领域, 这一领域的复杂性和多变性为机器人研究者提供了广阔的舞台。在农业系统中, 收获是一项耗时长、强度大、要求高的劳动密集型作业, 随着我国农业现代化的推进, 农业人口的转移, 在单调、繁重、危险的果实收获作业方面急需高效率、通用化、低成本的收获机器人技术。相信在不远的将来, 农业机器人也将和工业机器人一样, 成为农业生产中的主力军。

#### [参 考 文 献]

- [1] Scherta C E, Brown G K. Basic considerations in mechanizing citrus harvest[J]. Trans of the A S A E, 1968, 11: 343- 348
- [2] Slaughter D C, Harrell R C. Color vision in robotic fruit harvesting[J]. Trans of the A S A E, 1987, 30: 1144 - 1148
- [3] Harrell R C, Adsit P D, Pool T A, et al. The florida robotic grove-lab[J]. Trans of the A S A E, 1990, 3(2): 391 - 399
- [4] Tillett N D. Robotic manipulators in horticulture: a review[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1993, 55: 89- 105
- [5] 川村登, 并河清, 藤浦建史, 等. 农业用ロボットの研究(第1报)[J]. 农业机械学会志, 1984, 46(3): 353- 358
- [6] Kondo N, Nishitsuji Y, Ling P, et al. Visual feedback guided robotic cherry tomato harvesting[J]. Trans of the A S A E, 1996, 39: 2331- 2338
- [7] Duke M. Bulanon, Takkashi Kataoka, Yoshinobu Ota, et al. A color model for recognition of apples by a robotic harvesting system[J]. Journal of JSAM, 2002, 64(5): 123 - 133
- [8] Naoshi Kondon, Ting K C. Robotics for bioproduction system[R]. A S A E Paper, 1998
- [9] Slaughter D C, Harrell R C. Discriminating fruit for robotic harvest using color in natural outdoor scenes[J]. Trans of the A S A E, 1989, 32(2): 757- 763
- [10] Whittaker A D, Miles G E, Mitchell O R, et al. Fruit location in partially occluded image[J]. Trans of the A S A E, 1987, 30(3): 591- 596
- [11] 张树槐, 高桥照夫, 等. 果树园作业的自动化に関する研究(第1报)[J]. 农业机械学会志, 1996, 58(1): 9- 16
- [12] L. D. M. スブラク, 藤浦建史, 山田久也, 等. 三次元视觉・ソサを用いたミニトマト收获ロボット(第2报)[J]. 农业机械学会志, 1998, 60(1): 59- 68
- [13] 庄野浩资, 天羽弘一, 高仓直. 图像处理によるキュウリ果实の位置検出[J]. 农业气象, 1989, 45: 87- 92
- [14] 周增产, J. Bontsen a, L. Van Kollenburg-Crisan. 荷兰黄瓜收获机器人的研究开发[J]. 农业工程学报, 2001, 17(6): 77- 80
- [15] Shigenhiko HA YA SH I, Katsunobu GANNO, Yukitsugu ISH II. Machine vision algorithm of eggplant recognition for robotic harvesting[J]. Journal of Society of High Technology in Agriculture, 2000, 12(1): 38- 46
- [16] 林茂彦. ナスのロボットハンド收获システムの开灯に関する研究[R]. 野菜 茶业试验场研究报告, 2001, 16: 187- 234
- [17] 有马诚一, 近藤直, 芝野保德, 等. キュウリ收获ロボットの研究(第3报)[J]. 农业机械学会志, 1995, 57(1): 51 - 58
- [18] 冈本嗣男. 生物农业智能机器人[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1994
- [19] 德田胜, 川村恒夫, 山本博昭, 等. スイカ收获ロボットにおける视觉システムの开发(第2报)[J]. 农业机械学会志, 1997, 59(4): 53- 60
- [20] 近藤, 久枝, 吉田, 等. 高设栽培イチゴ用收获ロボットの试作[J]. 农业机械学会关西支部报, 1999, 86: 73- 74
- [21] Edan Y, Miles G E. Design of an agricultural robot for harvesting melons[J]. Trans of the A S A E, 1993, 36(2): 593- 603
- [22] 有马诚一, 近藤直, 芝野保德, 等. キュウリ收获ロボットの研究(第1报)[J]. 农业机械学会志, 1994, 56(1): 55- 64
- [23] 有马诚一, 近藤直, 芝野保德, 等. キュウリ收获ロボットの研究(第2报)[J]. 农业机械学会志, 1994, 56(6): 69- 76
- [24] イチゴ栽培の自動化に関する研究[R]. 日本宫崎大学研究成果, 2002- 2003
- [25] 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[J]. 农业机械学报, 2001, 32(5): 50- 58
- [26] 高 锐. 草莓收获机器人的初步研究[D]. 北京: 中国农业大学学位论文, 2004 3
- [27] 林保龙. 基于三维视觉的水果采摘机器人技术研究[D]. 北京: 中国农业大学学位论文, 2004 3
- [28] 张立彬, 计时鸣, 胥 方, 等. 农业机器人的主要应用领域和关键技术[J]. 浙江工业大学学报, 2002, 30(1): 36- 41
- [29] 赵 匀, 武传宇, 胡旭东, 等. 农业机器人的研究进展及存

在的问题[J]. 农业工程学报, 2003, 19(1): 20- 24

## Present situation of fruit and vegetable harvesting robot and its key problems and measures in application

Xu Liming, Zhang Tiezhong

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract** Based on the characteristic of working objects during harvesting in fruit and vegetable production, the development of harvesting robots at home and abroad was analyzed from the views of fruit recognizing and orientating, mature checking, manipulator designing and end-effector designing. In order to accelerate the application of harvesting robot to production, the three major problems, such as operating efficiency, size and utilization ratio, and their measures were put forward.

**Key words:** fruit; harvesting robot; operating efficiency; utilization ratio