

# 基于机器视觉的关节机器人的研究

张凯良，张铁中，杨丽  
中国农业大学工学院（100083）

**摘要：**果蔬采摘机器人的研发在一些作业领域已十分迫切，而机器视觉技术和关节型机器人机构在果蔬采摘领域又有着很大的应用价值。本课题从实际需要出发，对基于机器视觉的关节机器人进行了研究。以实现关节机器人的末端机构对目标物体的捕获为目的，把寻求并验证适宜的解决方案作为重点，将研究内容具体划分为三个部分：1. 机械结构的研究：设计加工了四自由度关节型机器人本体。具有刚性好、运动平稳、定位准确的特点。2. 机器视觉的研究：设计了“手一眼”结构的单目视觉系统。取得了良好的试验效果并具有成本低、通用性好的特点。3. 运动控制的研究：设计了基于PC机的运动控制系统和基于“手一眼”视觉系统导航的运动轨迹规划方法。

**关键词：**采摘，关节机器人，机器视觉，PC机控制

## 1. 引言

鉴于当今世界机器人技术的发展和我国农业的现状，果蔬采摘机器人的研发在一些作业领域已十分迫切，而机器视觉技术和关节型机器人机构在果蔬采摘领域又有着很大的应有价值，因此本课题从实际需要出发，对基于机器视觉的关节机器人进行了研究。以实现关节机器人的末端机构对目标物体的捕获为目的，把寻求并验证适宜的解决方案作为重点，将研究内容具体划分为三个部分：机械结构的研究、机器视觉的研究、运动控制的研究。<sup>[1]</sup>

## 2. 机器人机械本体结构的研究

### 2.1 机器人本体结构方案对比与选择

机器人操作机本体按照坐标形式大致可分为四类，即：直角坐标型、圆柱坐标型、球坐标型和多关节型。其中，多关节型机器人以其结构紧凑、工作范围大、占用空间小、动作灵活以及具有很高的可达性等特点，在各生产领域已得到广泛应用，本课题亦采用这种结构形式的机器人操作机。

多关节型机器人常用的传动方式有：链传动、多级齿轮传动、蜗轮蜗杆传动。蜗轮蜗杆传动方式具有结构紧凑、工作平稳、无噪声、冲击震动小、能得到很大的单级传动比以及反行程自锁的特性，因而被本课题所采纳。

在经过了多方面的对比之后，本课题选定了以步进电机驱动、蜗轮蜗杆传动的多关节型机器人的机器人本体结构方案。<sup>[2]</sup>

### 2.2 关节型机器人具体机械结构和相关参数的设计

在课题中，考虑到果蔬采摘，尤其是草莓采摘的实际需要，将关节机器人除末端执行器外的自由度设计为4，它们分别是四个串连且分别独立的机器人转动关节（参见图1），即：

- ①腰部水平面内转动关节；
- ②大臂肩关节垂直平面内转动关节；
- ③小臂肘关节垂直平面内转动关节；
- ④手腕腕关节垂直平面内转动关节。

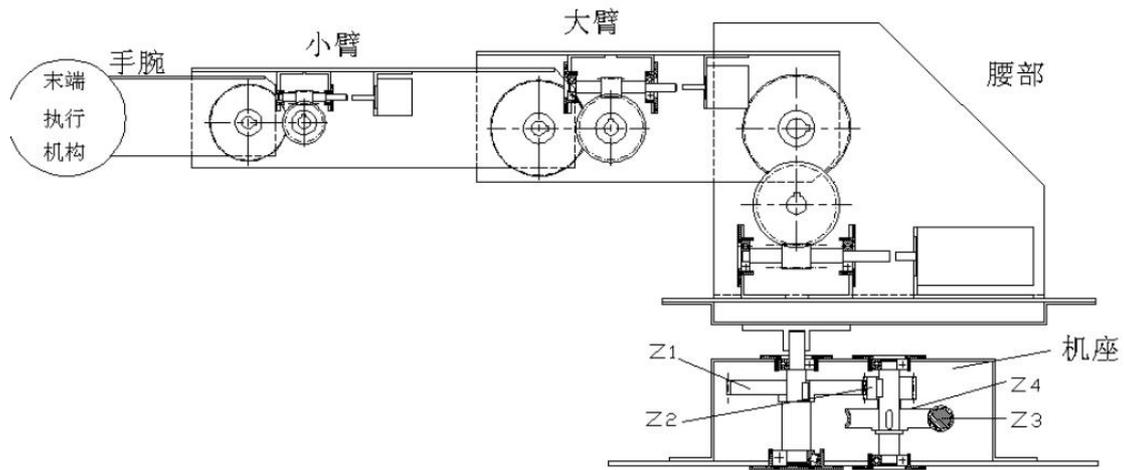


图 1 蜗轮蜗杆式传动关节机器人方案示意图

综合考虑机器人的工作空间、运动速度、运动精度、负载能力等因素，将该关节机器人的相关机械参数设计如下（见表 1）：

表 1 关节机器人机械设计参数表

关节名称	腰关节 $\theta_1$	肩关节 $\theta_2$	肘关节 $\theta_3$	腕关节 $\theta_4$
转角最小值	-180°	-30°	0°	0°
转角最大值	180°	90°	135°	135°
杆臂名称	腰L <sub>1</sub>	大臂L <sub>2</sub>	小臂L <sub>3</sub>	手腕L <sub>4</sub>
长度	330mm	250mm	232mm	215mm
蜗杆传动模数	1.25	1.25	1	0.6
蜗杆传动中心距	50mm	50 mm	40 mm	24.5 mm
蜗杆头数	1	1	1	1
蜗轮齿数	62	62	62	62
齿形角	20°	20°	20°	20°
螺旋方向	右旋	右旋	右旋	右旋
蜗杆材料	45 号钢	45 号钢	45 号钢	45 号钢
蜗轮材料	铸造锡青铜	铸造锡青铜	铸造锡青铜	铸造锡青铜
齿轮传动模数	1.5	1.5	1	0.8
齿轮传动中心距	90	75	70	54
传动比	2.75	2.688	1.917	2.140
小齿轮齿数	32	32	48	43
大齿轮齿数	88	86	92	92
电机型号	四通电机 57BYG250E	四通电机 57BYG250E	四通电机 42BYG250C	四通电机 42BYG250B

电机步距角	1.8°	1.8°	1.8°	1.8°
驱动器型号	SH-20403	SH-20403	SH-20403	SH-20403
驱动器细分数	16	32	32	64
脉冲频率	1000Hz	1000Hz	1000Hz	1000Hz
总传动比	170.5	131.75	118.8	132.7
电机转矩	1.5Nm	1.5Nm	0.54 Nm	0.43 Nm

最后，为了改善关节型机器人操作机的总体工作性能和动态特性，采用扭转弹簧对机器人进行了杆臂平衡。

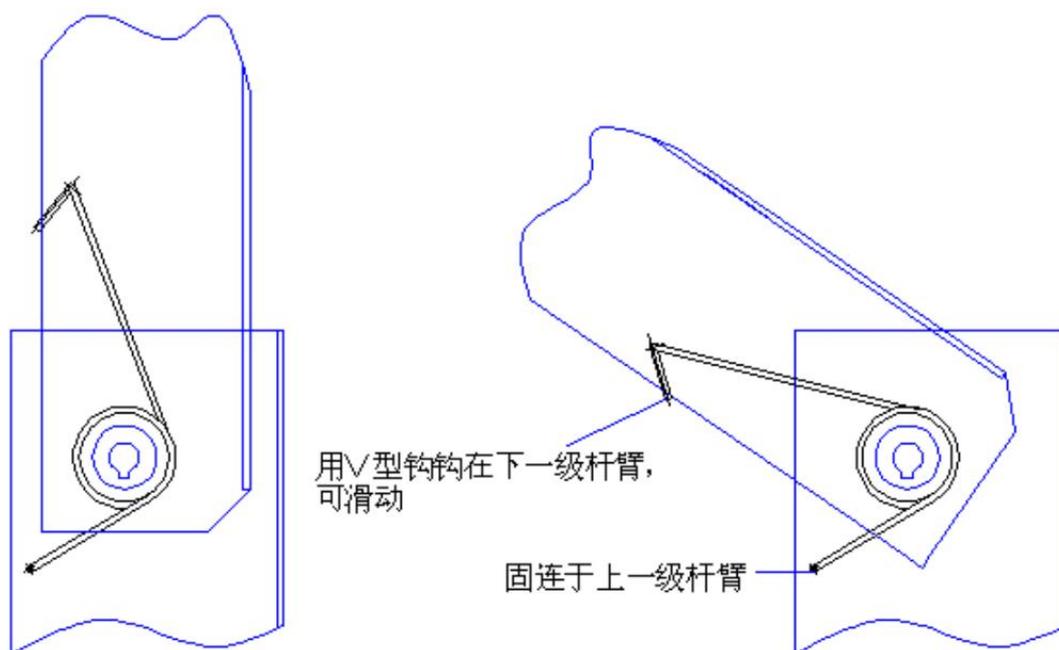


图 2 扭转弹簧杆臂平衡法示意图

该平衡机构的原理如图 2 所示，当机器人关节发生弯曲时扭转弹簧被压缩，由于绝大多数情况下关节机器人负载最大发生在各关节水平伸展时，对于相对负载最大的肩关节尤为如此，所以扭转弹簧的设计位置使得当各杆臂转为水平方向时，弹簧所产生的形变最大，此时其输出的平衡力矩也最大，从而最大限度的减轻了关节电机的负载。

### 2.3 样机的分析评价

装配成形的样机如图 3 所示，实验证明该机构具有刚性好、运动平稳、定位准确的特点。

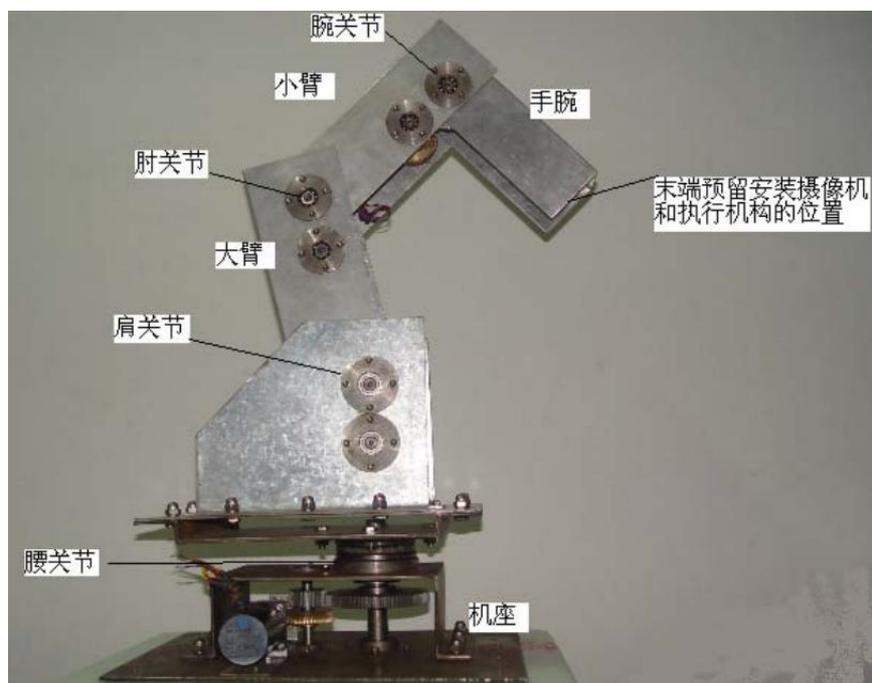


图 3 关节机器人机械本体外观图

### 3. 机器人机器视觉系统的研究

#### 3.1 机器视觉系统及其构成

本课题以 PC 机作为图像处理、分析以及硬件间通信的平台。

现阶段基于 PC 机的常用的机器视觉系统组成是：工业摄像机（一般使用 CCD 作为感光元件）+ 视频采集卡 + 二次软件开发包 SDK（由视频采集卡所附带）。这种方案的主要优点是：工业级的 CCD 摄像机得到的图像清晰度高、采集速度快，视频采集卡所附带的 SDK 解决了摄像机与 PC 机用户程序的接口问题，使得用户程序编写容易。其不足是成本较高，以及 CCD 摄像机的体积和质量一般较大。

本课题中使用了一种以民用 CMOS 摄像头作为图像采集设备，基于 VFW 程序设计的 PC 机器视觉系统方案。这里所说的民用摄像头即现在市面上常见的 USB 接口的 PC 摄像头。VFW 是 Microsoft 公司为开发 Windows 平台下的视频应用程序所提供的软件工具包，Windows 操作系统自身就携带了 VFW（目前，PC 机上多媒体应用程序的视频部分，大都是利用 VFWAPI 开发的）。这种方案的特点是：成本低、体积小、通用性好。[3]

结合机器视觉系统的基本构成，两种视觉系统方案对比如下（参见图 4）：

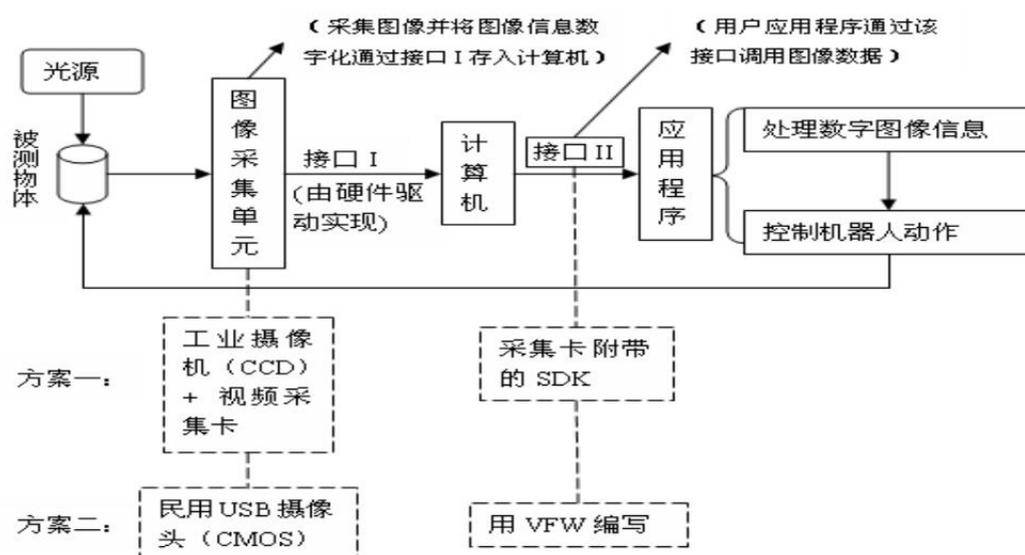


图 4 两种机器视觉方案的系统组成

本课题实验中，将摄像头安装在关节型机器人的末端，与机器人组成了“手一眼”视觉系统。

#### 3.2 目标的标定及其图像处理技术

本课题中，以橙红色圆柱体（高 3cm，截面直径 2.5cm）塑料模型为目标，以实验室内自然环境为背景，相应的图像处理的对象特征如下：

- ① 图片相对较小，分辨率 320×240，色深是 24 位；
- ② 目标与背景在色彩上差异较大；
- ③ 背景环境有多处干扰（与目标物体同颜色的塑料管子）；
- ④ 在整个控制过程中，目标物体与图像获取装置相对距离不断变化。

图像处理的任务是确定目标物体在摄像头视野中的位置，具体的图像处理步骤如图 5 所示：

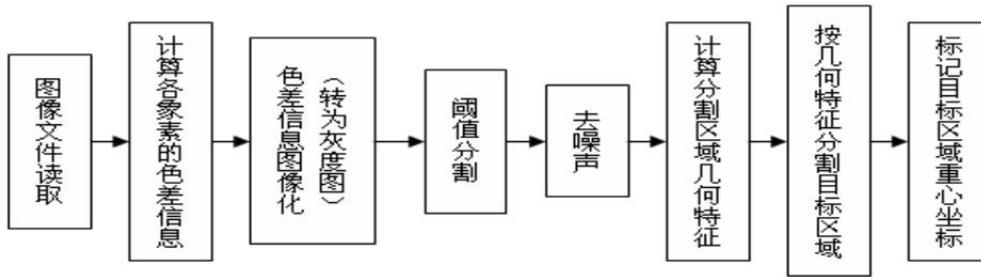


图5 图像处理流程图

课题实验中，在“阈值分割”这一步采用了“变阈值分割法”，其阈值确定步骤如下（参见表2和图6）：

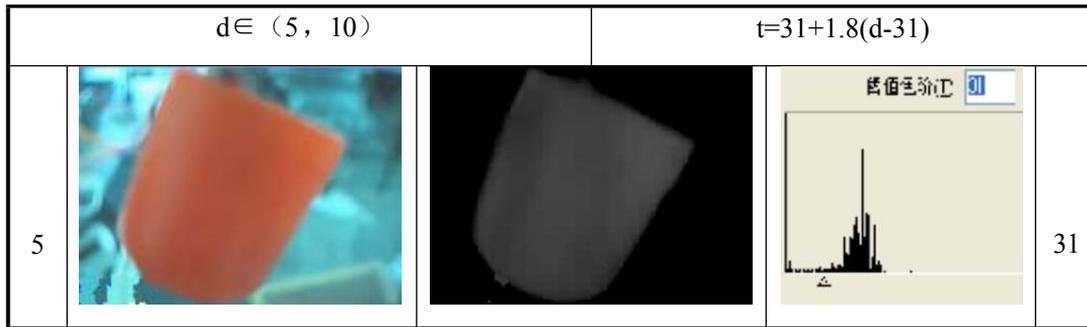
- ①用摄像头拍摄机器人整个运动过程中，距离目标物体不同位置的一系列照片；
- ②计算各图片各像素的 R-Y 色差值，并将计算结果转为灰度图像；
- ③绘制各灰度图像的灰度分布直方图；
- ④用专业图像处理软件分析直方图，确定各采样图片中最优的目标分割阈值；

⑤根据图像采样位置和此位置图像所确定的阈值，当机器人摄像头位置位于两次图像采样位置之间时，用函数回归的方式确定该次图像处理所用的分割阈值。

表2 变阈值分割法采样分析表

d	采样图像	R-Y 色差灰度图	灰度直方图	t
80				89
$d \in (60, 80)$		$t = 88 + 0.05(80 - d)$		
60				88
$d \in (30, 60)$		$t = 69 + 0.67(d - 30)$		
30				69
$d \in (10, 30)$		$t = 40 + 1.45(d - 10)$		

10				40
----	---	--	---	----



(注: d 为摄像头与目标的距离单位 cm, t 为分割阈值)

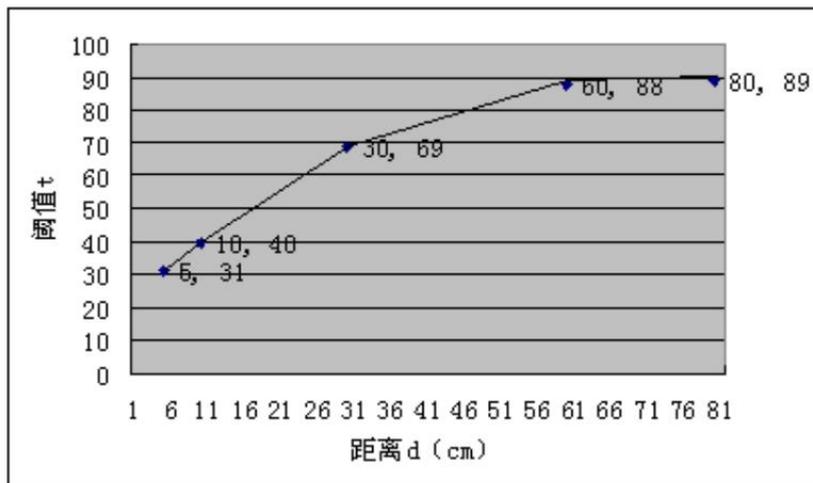


图 6 镜头距离与分割阈值关系曲线图

### 3.3 视觉系统性能分析与评价

试验证明, 关节机器人结合该视觉系统, 可以从多角度准确追踪到目标物体, 图像处理效果参见图 7:



图 7 图像处理最终效果图

## 4. 机器人运动控制系统的研究

#### 4.1 机器人控制整体方案及流程

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/148137077002007001>