

中国地质大学（武汉）“十二五”规划教材



JIQIREN WANQUAN DIY
——CONGLING QIBU

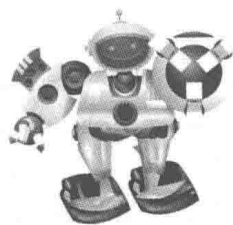
机器人完全DIY ——从零起步

许鸿文 殷蔚明 罗林波 著



中国地质大学出版社
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

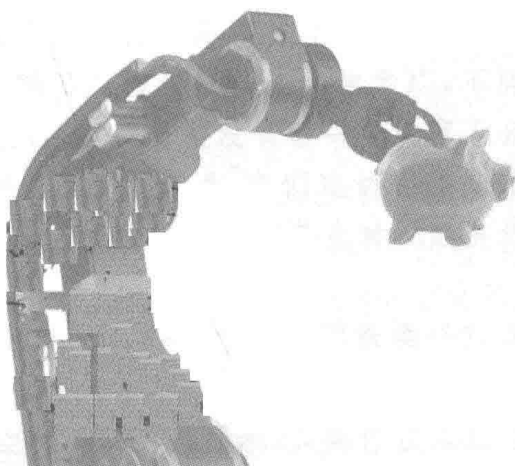
中国地质大学（武汉）“十二五”规划教材



JIQIREN WANQUAN DIY
——CONGLING QIBU

机器人完全DIY ——从零起步

许鸿文 殷蔚明 罗林波 著



中国地质大学出版社
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

图书在版编目(CIP)数据

机器人完全 DIY——从零起步/许鸿文,殷蔚明,罗林波著. —武汉:中国地质大学出版社,2015.8

中国地质大学(武汉)“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5625-3705-2

I. ①机…

II. ①许…②殷…③罗…

III. ①机器人-高等学校-教材

IV. ①TP242

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 177780 号

机器人完全 DIY——从零起步

许鸿文 殷蔚明 罗林波 著

责任编辑:彭琳

责任校对:周旭

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路 388 号) 邮政编码:430074

电话:(027)67883511 传真:67883580 E-mail:cbb@cug.edu.cn

经销:全国新华书店

<http://www.cugp.cug.edu.cn>

开本:787 毫米×960 毫米 1/16

字数:186 千字 印张:9.5

版次:2015 年 8 月第 1 版

印次:2015 年 8 月第 1 次印刷

印刷:武汉市籍缘印刷厂

印数:1—500 册

ISBN 978-7-5625-3705-2

定价:32.00 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

前 言

当今世界,不仅机器人的基础研究是一个热点,而且机器人的工程应用更是一个非常急迫的问题。仅以社会经济领域为例:随着国民经济的发展,人民生活和健康水平的提高,已经出现了人口结构老龄化问题,这意味着社会经济和生产所需要的人力资源日渐短缺;同时,在许多有害、危险作业的环境下,并不适合人员介入;有些需要均匀、稳定作业的工种(如表面喷涂),需要24小时不间断监控的疲劳作业,人工并不能胜任。因此,工农业、商业、服务业,甚至个人居家生活,都非常需要经济适用的机器人。而我国目前的情况是:机器人还主要应用于工业领域,以几十万元人民币一台的高端机器人为主,普通民众虽有需求,但消费实力不足。机器人的应用领域如此之广,不同行业的应用细分需求也是千差万别,可以说目前没有哪一个机器人公司可以满足所有的需求,也无力“吃”下整个市场,它们迫切需要培养大批的机器人工程设计和应用人才,以不断满足各行各业对于经济适用的机器人的需求。

那么,学习、设计和制作机器人真的如想象中那么难吗?众所周知,机器人是一个综合性的研究主题,机器人的基本技术内涵涉及机械、电子、计算机等主要工程学科及其交叉领域,其延伸技术则涉及更多学科,从这个意义上说,要从事机器人的基础研究的确是很难的,要完全消化、掌握和融合应用好这么多学科的知识和技术,没有长期的积累、没有几十年的功力似乎是到达不到“华山论剑”的程度的。

然而我们并不打算告诉大家学习机器人有多么难,从而打击大家的学习积极性。相反的,本书的目的是要告诉大家,学习机器人、自己动手设计制作机器人,从而达到入门级的水准,是一件并不复杂而且充满乐趣的事情,就像小孩子玩智力拼装积木一样轻松愉快,简直就是闲庭信步!为什么呢?因为我们是站在巨人的肩膀上进行学习的。

目前教学适用的各种机器人机械零部件、电子零部件以及软件都已经大量地成熟并模块化了,而且大多具有可二次开发的特性,我们所要做的就是把这些模块组装、集成起来,建立一个具备基本功能的机器人框架,它已经可以完成一些一般性的机器人功能了;然后根据我们的具体应用需要的变化,对局部功能或者结构加以改进,从而形成自己独具特色的个性化机器人,这就是应用创新、集成创新!换句话说,我们只需要在一个时期集中精力于自己所改进的那个局部功能,学习和应用与这个局部功能有关的有限技术,就可以设计、制作出自己的创新型机器人。有了第一个成果,同时学会了一项技术,就会产生巨大的成就感和浓厚的学习兴趣,同时积累了学习和开发经验,这也将会是你学习第二项技术和研究出第二个成果的前提和动力。长期“玩”下去,终有一天你会具备“华山论剑”的实力。即使到不了那个程度,又有什么关系呢?你玩了、快乐了、体验了,成就过、充实过、幸福过,还有什么可遗憾的呢?

出于此项目的,本书并不打算以传统教科书的模式按部就班地介绍各项机器人基础知识,那样必定是一块难啃的大部头(说实话那也超出了著者的写作能力),而且读者看完还是没有头绪,无法很快做出自己的第一个机器人。相反的,我们从一开始就鼓励大家动手组装和调试第一个机器人,干起来再说、干出来再说,即抛开那些基本的理论、高深的原理,直到让机器人动起来,进而产生兴趣再说!首先,在做出第一个机器人之后,再以一种通俗易懂的方式去了解一下它工作的基本原理,以及如何在业余条件下对局部结构和功能加以改进和制作,使机器人具有更多的智能行为能力,即更好玩或者更实用。然后,我们再回过头来比较全面地学习重用这些机器人模块可以搭建的几种代表性机器人类型,包括自动搬运物品的机械臂、会走路和会跳舞的两足步行机器人、轮式或履带机器人、多足机器人,我们还会为机器人增加视频遥控功能,一个既具备一定自动化能力,又可以被人视频遥控的机器人,是颇具实用性的。最后,我们会很自然地想到,既然能视频遥控,那么是否可以语音遥控、多媒体遥控,是否可以使机器人具有自主导航的能力,是否可以让机器人跌倒了再自己爬起来,是否可以用音乐控制舞蹈,是否可以让机器人格斗,是否可以利用视频图像

处理控制机械臂自动识别和定位工件并进行搬运等。是的,想象力任由你发挥,一切皆有可能,一切皆可以探讨。而关键的关键在于:千里之行,始于足下,从我做起,从现在做起,否则皆为空想。

本书既不是一部传统意义上的理论教科书,也不是一部包罗万象的百科全书,而是一部篇幅简短、提纲挈领、可操作性较强的以实践为导向的机器人入门书,除了浅显地介绍机器人工作的基本原理以外,也会深入介绍机器人技术领域涉及的一些基本技术和概念,供大家在有需要做深入研究时,通过检索获取更多专业资源。本书既适合作为大专院校机械、电子、计算机等相关学科的机器人导论性质的教材,也适合作为高等职业技术学校、高级中学、业余机器人制作爱好者进行创新训练和学习机器人的启蒙读本。

本书结合教学机器人的应用实例,说明了学习、设计和制作机器人的一些基本概念、原理和方法。出于书籍篇幅的考虑,也限于著者水平,总体上对于机器人技术领域的涉足还是比较粗浅的,对于存在的错漏之处希望得到读者朋友的批评指正,以期在后续版本中不断改善。

成书过程得到了中国地质大学(武汉)机械与电子信息学院、教务处等单位领导和同事的大力支持和帮助,中国地质大学出版社的编辑为本书的成稿提出了宝贵的修改建议。研究生柴笑宇、陈振华分别撰写了本书第5章有关 OpenWrt、安卓开发技术的内容,李金晶为本书使用的机器人控制软件的界面美化做了很多工作,隋笑蕾设计了视频软件,在此一并予以感谢!

我们衷心地希望读者在阅读和实践本书后,能将机器人从它传说中的神坛上拉下来。一件事情,只要你不惧怕了、能入手了、有自信了,再加上始终不渝地坚持,就一定能越做越好! 学习=模仿+思考+知识+实践+创新+乐趣+坚持!

Believe me, you can do it yourself, just try!

著 者

2014 年 12 月

目 录

§ 1 组装和调试第一个机器人——机械臂	(1)
1.1 为什么要从机械臂开始学习机器人	(1)
1.2 解析机械臂主要部件的作用	(2)
1.3 组装机械臂本体	(7)
1.4 集成安装控制器和电源	(10)
1.5 遥控器最简单:直接操控机械臂各关节运动	(13)
1.6 电脑端和手机端软件安装	(15)
1.7 使用电脑有线和无线操控机械臂各关节运动	(16)
1.8 使用电脑设计、调试和下载机器人动作程式	(18)
1.9 使用遥控器调用机器人动作程式	(20)
1.10 使用安卓手机控制机械臂	(20)
1.11 浅析机器人的控制方式	(21)
1.12 浅析机器人的通信方式	(26)
§ 2 机器人动力	(29)
2.1 液压和气动原理	(29)
2.2 伺服电机原理	(31)
2.3 步进电机原理	(34)
2.4 如何选择机器人动力源	(38)
§ 3 机器人本体机械结构的制作方法	(41)
3.1 机械零件的三种获得方式之比较	(41)
3.2 机械设计软件的使用范例	(42)
3.3 机构简图和常用机构	(53)
3.4 从抽象的机构简图到具体的机械结构	(56)
§ 4 机器人控制系统的设计和制作方法	(59)
4.1 业余条件下的电路板制作方法	(59)
4.2 电路原理图和 PCB 板图的绘制	(66)

4.3	单片机程序的烧写和调试方法	(70)
4.4	从一个 AVR 开源项目看实时控制系统设计	(78)
§ 5	丰富多样的机器人形态	(98)
5.1	不同形态和用途的机器人	(98)
5.2	视频遥控机器人	(107)
5.3	浅析 wifi 视频遥控模块的技术内核	(116)
5.4	安卓手机开发技术简介	(120)
§ 6	机器感知	(125)
6.1	机器感知概论	(125)
6.2	常用机器人传感器	(126)
6.3	机器人对环境的识别	(137)
	主要参考文献	(141)

§ 1 组装和调试第一个机器人——机械臂

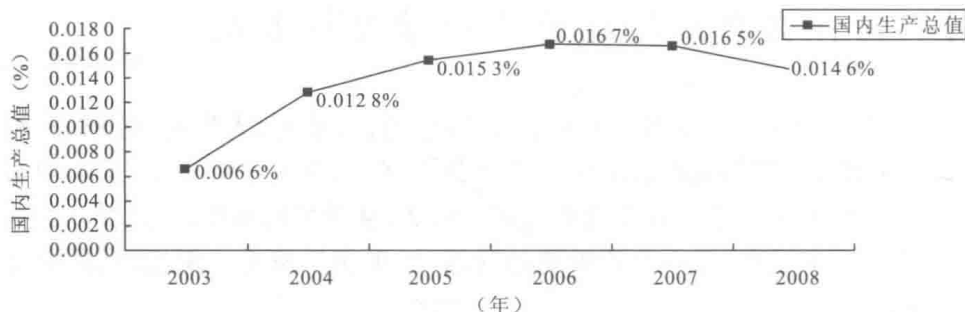
1.1 为什么要从机械臂开始学习机器人

机器人的形态多种多样,有两足的、四足的、六足的、人形的、蛇形的、轮式的、履带式的等。机器人的自动化程度也各有高低,有人工操控的、虚拟现实操控的、半自动的、全自主的智能机器人等。因此,从学习的角度讲,选择什么样的机器人作为研究起点,是一个很重要的问题,如果胡子眉毛一把抓,其结果是可想而知的。

正如学习任何一门编程语言,一般都是从建立一个 Hello World 框架程序开始的,那么我们学习机器人,比较好的一个方法是从教学用的机械臂开始。这样做的理由有三:其一,工业机器人是我国目前和今后一段时间内机器人应用需求最迫切的领域,而工业机器人大多采用机械臂,因此我们学习组装和调试机器人可以服务于社会发展的需要;其二,尽管教学的机械臂在结构刚度、负载能力、精度和耐用性等方面都与工业的机械臂有着本质的差别,但很多原理性的东西是共通的,而且机械臂的控制在各种机器人类型中属于比较基础和关键的部分,这就为我们学习机器人提供了一个很好的研究模型;其三,便宜,而且机械臂的构型很灵活,可以从最简单的二自由度手臂控制开始,用很低的硬成本投入,就可以对机械、电子、计算机软件的设计都进行研究,比较适合教学循序渐进的需要。总之,机械臂是各种机器人类型中比较基础、实用和有代表性的机种,而且适合循序渐进地学习。

工业机器人(主要是机械臂)在我国的发展正处于方兴未艾之时。由图 1-1 可以看出,2003—2006 年工业机器人制造业在国民经济的比重持续上升,2007 年、2008 年有小幅度的回落,但自 2010 年以来,我国的劳动力成本不断上升,年均涨幅接近 20%,人口红利正在不断消失。随着中国老龄化和城镇化的进程加快,近十几年劳动力资源将持续急剧减少,而劳动成本不断增加,以及疲劳及危险有害作业、制造业转型需要等一系列因素迫使着企业改变生产模式,使用机器代替人工生产,往后几年,中国对机器人的需求将会到一个“井喷”的态势。我国 2012 年工业机器人销量达 26 902 台,同比增长 19.2%,产值达到 90 亿元,加上

配套产品,产值为 190 亿元。《中国工业机器人产业发展研究年度报告》(2013—2014 年)预计工业机器人的热潮在中国能持续至少 20 年。2011 年,富士康科技集团(简称富士康)总裁郭台铭宣布,要在未来 3 年内用 100 万台机器人来替代生产线上的人力。除此之外,富士康还将专门成立机器人公司进行高端机器人研发和外购机器人的系统组装,其 100 万台机器人将主要用在喷涂、焊接、装配等工序上。



(资料来源: 全球分析网www.qqfx.com.cn, 机械课题组整理)

图 1-1 2003—2008 年我国工业机器人制造业在国民经济中的地位

我国机器人事业正处于一个需求急剧增长的高速成长期,同时我们也看到,当前我国的机器人技术还不成熟,性能比不上国外的产品,因国产化程度低、生产成本低,其在国民经济中的战略地位和市场占有率上还有很大提升空间。

1.2 解析机械臂主要部件的作用

图 1-2 的机械臂系统,是由机械本体(机械结构和电机)、控制系统和动力电源三大部件构成的,分别如图 1-3 至图 1-5 所示。事实上任何机器人系统,都必然包含这三大件。

细心的读者一定注意到,除了动力电源外,图 1-4 的机器人控制系统里面也带有一个电源适配器,那为什么需要两个电源呢? 这个问题可以与人做一个类比,电源无非就是能量的来源,其实人类也是有两种不同类型的能量来源:一方面,我们走路或做其他运动要靠肌肉的收缩牵引骨骼运动,这就需要将消耗人体内部的化学能转化为动能,而机器人运动的能量来源于动力电源,在机电系统中,动力电也被称为强电;另一方面,肌肉收缩的控制信号是靠神经电流传导过来的,那么控制电源的作用就是给机器人神经电流(控制信号)提供能源,这个能源不需要像动力电源那么强大,它的作用仅仅是为信息的传递提供能量,也因此

被称为弱电。机器人的运动过程,就是一个以弱电信号控制强电动力的通断或强度的过程。

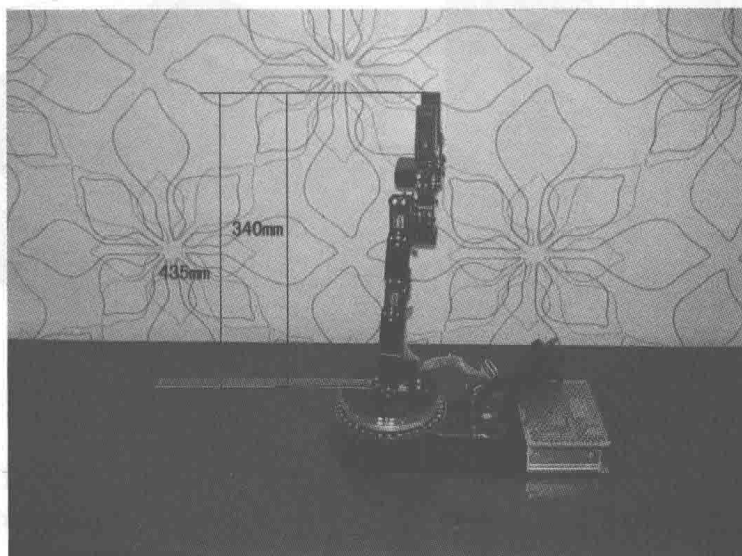


图 1-2 教学用机械臂系统的实例

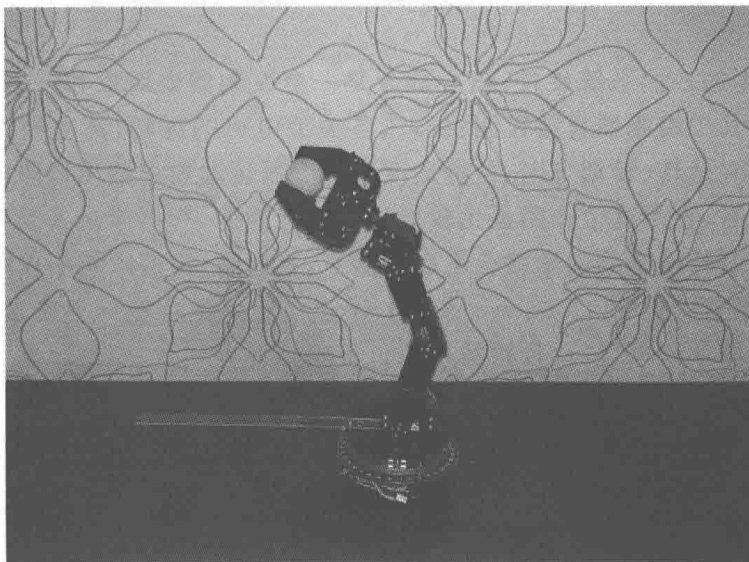


图 1-3 机械臂本体



图 1-4 机器人控制系统的硬件

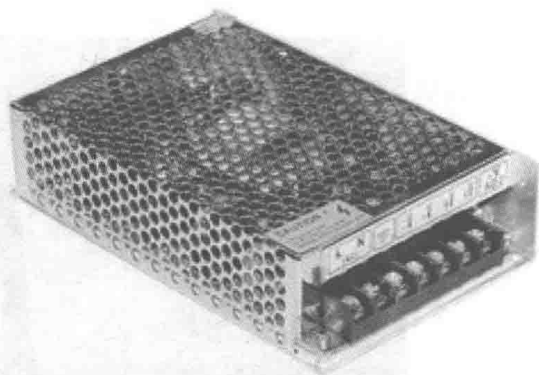


图 1-5 作为动力电源的开关电源

理解了两种不同电源的作用,也就不难理解机械本体和控制系统的作用了。所谓机械本体就是机器人的身体,其中机械结构相当于人的骨骼(其中轴承相当于人的关节),电机相当于人的肌肉(机器人电机一般是一种伺服电机,如同肌肉接受神经末梢的电化学刺激触发运动,伺服电机是一种接收弱电控制信号并由强电提供动能进行运动的电机,它不像普通电机那样直接由强电的通断控制),骨骼在肌肉牵引下运动;而控制系统就相当于大脑和神经系统的作用了,它对机器人的行为模式起到决定性的作用。

图 1-4 的控制系统硬件,核心部分是一个控制器电路板和一条 USB 转串口通信线。其中控制器直接控制机器人各关节电机的运转,其主要作用是对各个电机在何时运转、转动方向、目标角度和速度等运动要求给出伺服电机可以理解的控制信号,显然这个作用是比较低层而非智能的,有点像是人类神经末梢所起的作用。这样说有的同学就会不以为然了,不对啊,神经末梢不仅可以控制运动,还具有感觉功能啊。You are right! 不过由于感觉功能种类繁多,往往需要有一个传感器系统来进行,传感器系统负责感知外界刺激,而控制器一般只负责运动控制。图 1-4 中的控制器还确实附加有通用传感器接口(图 1-6 中“9~16#舵机接口”除了可以当成通用的伺服电机控制接口外,还具有 AD 采集的第二功能,可以由软件设置为 AD 采集口),电子工程中称为 AD 采集口,可以接入各种形式的传感器输出的电压信号,至于这些电压信号具体是什么含义,控制器是不管的,它只是可以把这些信号转给机器人的大脑,让机器人的大脑根据各个 AD 采集口上所接传感器的类型来判断其具体含义。现在我们引出了机器人大脑的概念,姑且撇开机器人的大脑是什么不谈,那么势必有一个在控制器与大脑

之间传递信号的通路,这就是图 1-4 中 USB 转串口通信线的作用,它相当于机器人的神经通道,起着上传下达的作用,上传 AD 采集口接入的传感器信号给大脑,由大脑判断其含义,然后做出下一步行动的决定下达给控制器,再由控制器将这个抽象的决定转化为伺服电机可以理解的电信号发给电机去执行具体的转动。

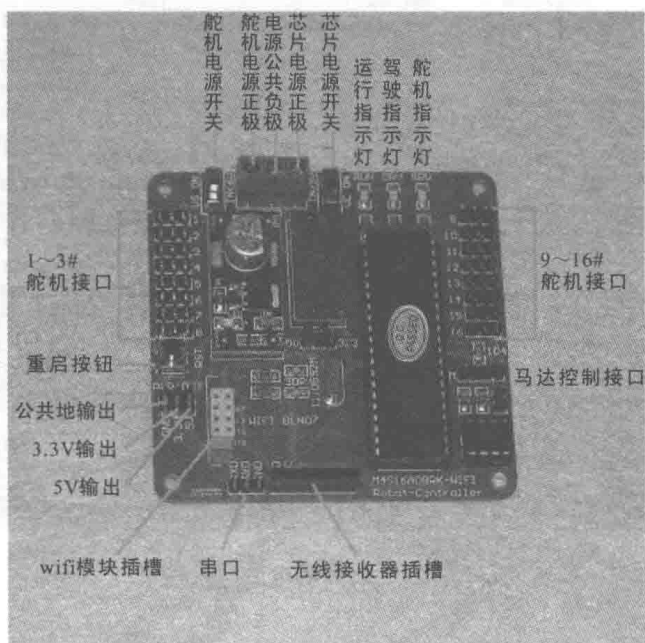


图 1-6 控制器接口分布图

现在不得不谈到机器人大脑了,事实上控制系统除了包含图 1-4 的电子硬件外,还包含有电脑软件,如图 1-7 所示。

为避免误解,这里有必要强调一下,这个电脑端软件并不等于机器人本身,而是要分两种情况来看。如果电脑软件是全自主地控制机器人,即它根据采集到的环境信息自动地发出控制指令而完全无需人工干预,那么电脑就相当于机器人脑,而电脑软件则相当于大脑的思维逻辑或者灵魂;如果机器人的控制不是全自主的,那么电脑软件则更多的是一种人机交互的界面,机器人脑则由人脑、电脑和电脑软件共同构成。电脑和电脑软件其实也可以用单片机和单片机软件、数字信号处理(DSP)和 DSP 软件等来代替,它们统称为机器人上位机。

目前教学用的机器人大多属于非全自主或者叫作半自主的类型,即软件本

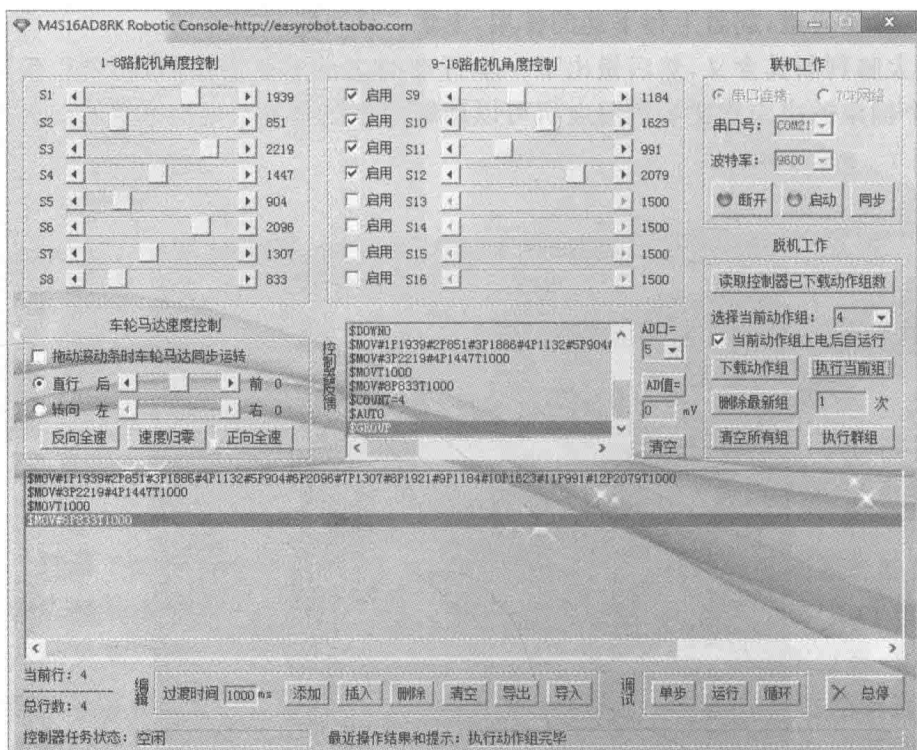


图 1-7 控制器的电脑端软件

身可以提供一个人机交互界面和部分的智能处理能力,而主要的判断和决策还是由人决定,人通过与软件的交互去实时采集机器人信息和执行运动控制的事情。笔者有幸接触过不少高校老师和学生,一个普遍的疑问是:为什么教学机器人不做成全自主的呢?我想理由应该有二:其一,全自主的教学机器人不是没有,但价格十分昂贵,动辄十几万甚至几十万元,价格已经与工业机器人接近而性能却差很多,在教学领域并不适合大量推广;其二,教学的本质是启发创新思维,而不是做大做全、“包打天下”,“围三缺一”、有基础功能而又留有一定的改进空间,才能使学习者既能遨游于机器人技术的广阔天地,又能在自己感兴趣的方面集中精力进行专研和创新。

Question1:完整的机器人系统应包括哪些环节?请用框图加以说明,一个框图说不清楚的可以用多层次框图说明,框图可以包含方框、线条、箭头和文字。

1.3 组装机机械臂本体

朋友们别心急,这就开始实干了! 先要准备好机器人的装拆工具,如表 1-1、图 1-8 所示。

表 1-1 机器人常用安装工具一览表

工具名称	规格说明	数量	用途	备注
5 寸(1 寸=3.33cm) 尖嘴钳	全长 125mm	1	夹持或拧紧螺母	必备
6mm 十字螺丝刀	钢柄直径 6mm	1	用于 M3、M4 十字螺丝	必备
2mm 十字钟表起子	钢柄直径 2mm	1	用于 M2、M2.5 十字螺丝	装拆夹持器需要
M2 长柄六角套筒	六角平行对边距离 4mm	1	快速装拆 M2 螺母	装拆夹持器需要
一字型长舵臂		1	调整舵机轴机械回中	舵机配件包自带



图 1-8 机器人常用安装工具样式图

教学机器人本体可以由一些目前已经被市场标准化的通用零部件和特定机器人专用零部件组装而成。

机器人最常用的通用零部件包括图 1-9 中的几种,类型不多,很适合作为机械积木,其中舵机就是一种机器人常用的伺服电机。此外,还有一些日常生活中常见的标准化连接件,如单头六角铜支柱、六角铜双通、螺丝螺母、垫片、弹簧垫片等和舵机延长线、缠绕管、捆扎带等辅助性材料。

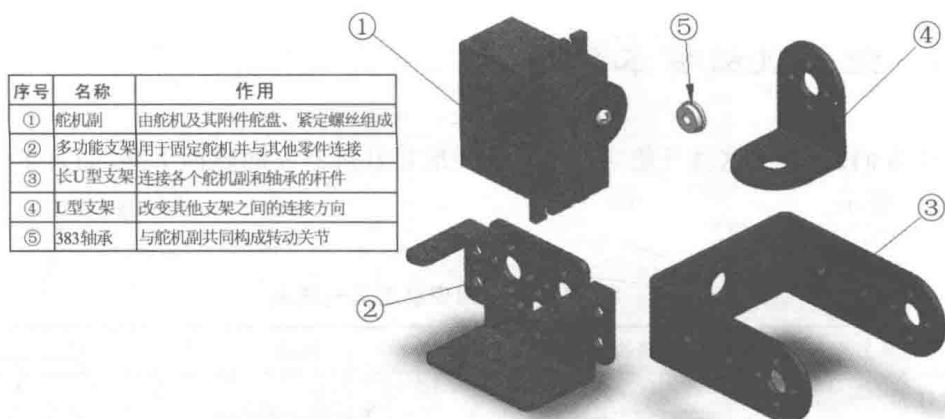


图 1-9 机器人最常用的通用零部件

机械臂专用部件包括夹持器和底盘云台,分别如图 1-10、图 1-11 所示。图中云台带有角度盘、游标指针和直尺所构成的极坐标测量系,实物是有刻度的,在三维模型上没有显示出来。不一定要具备极坐标测量系,但做自动控制算法实验是需要的。

机械臂本体的组装过程,是将整条手臂分成腰部(即云台)、臂部和手部(主要由夹持器和舵机构成)分别组装,然后将三部分连接到一起。而每一部分都是先连机械结构,再上舵机,这是很自然的顺序。机械结构是骨骼、舵机是肌肉,骨之不存、肉将焉附呢?

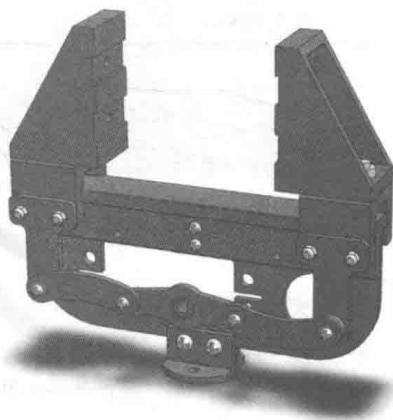


图 1-10 夹持器

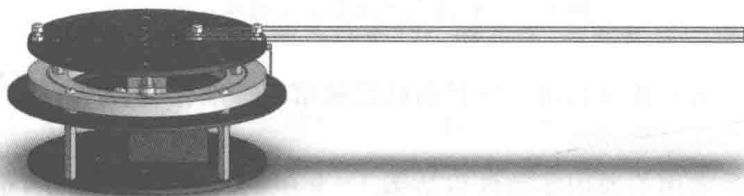


图 1-11 带有极坐标测量系的底盘云台

以臂部组装为例,先将通用支架和轴承连成臂部结构(图 1-12),然后固定电机成图 1-13 所示的样子。

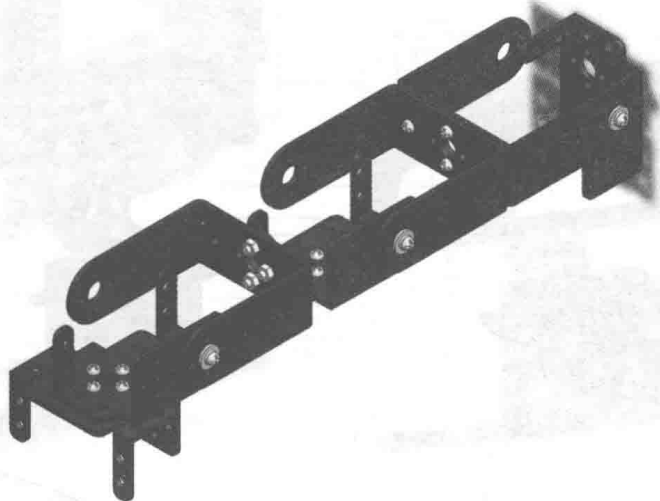


图 1-12 连接臂部机械结构

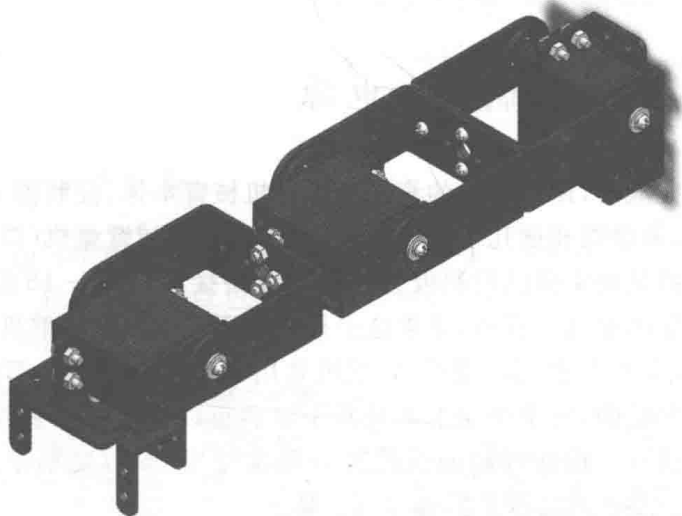


图 1-13 装好舵机后的臂部

手部则先将手腕舵机固定于夹持器基体(图 1-14),再装夹持舵机,最后将夹爪活动体从两侧推入基体滑轨、套上舵机并紧定,形成如图 1-15 所示的样子。