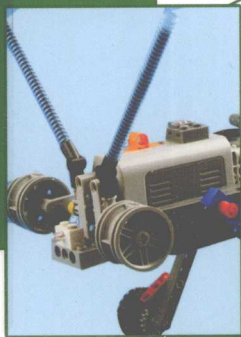
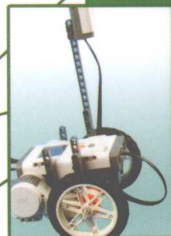
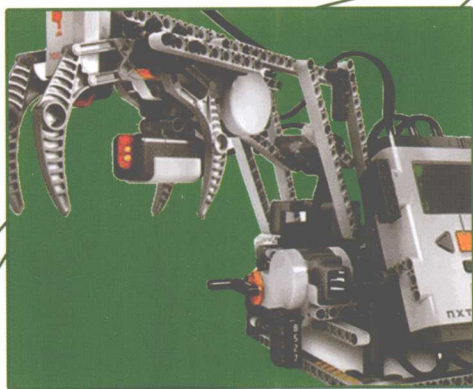


教育部“技术教育创新人才培养计划”项目组推荐教材

机器人结构与程序设计

郑剑春 主编



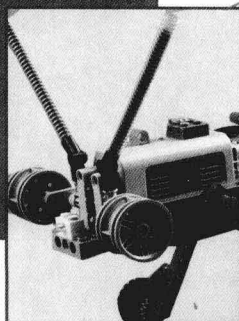
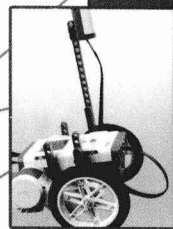
清华大学出版社



教育部“技术教育创新人才培养计划”项目组推荐教材

机器人结构与程序设计

郑剑春 主编



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书以乐高公司产品及其软件作为教学基础内容,介绍了中学生所用机器人的结构与程序控制的知识。由于乐高产品具有广泛的适用性和开放性,可以为中学生的深入学习打下良好的基础。

考虑到学生们在学习要求上的差异,本书引入了一些扩展阅读的知识以及机器人在实验上应用的案例,以使有兴趣的学生能从中得到一些启发和收获。

本书适用于高中通用技术课程(机器人模块)教学,也可作为各学校、校外活动机构中开展机器人教学的参考书籍。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

机器人结构与程序设计/郑剑春主编. —北京:清华大学出版社,2010.11

ISBN 978-7-302-24019-8

I. ①机… II. ①郑… III. ①机器人技术—高中—教学参考资料 IV. ①G634.933

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 211767 号

责任编辑:帅志清

责任校对:袁 芳

责任印制:王秀菊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京市世界知识印刷厂

装 订 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260

印 张:14.5

字 数:327 千字

版 次:2010 年 11 月第 1 版

印 次:2010 年 11 月第 1 次印刷

印 数:1~5000

定 价:45.00 元

产品编号:039309-01

本书编委会

顾 问 李有毅 吴文虎 庄燕文

策 划 田 敏

主 编 郑剑春

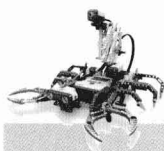
副主编 张会芝 张祖平 张国庆

编 委(按姓氏拼音排序)

程 罡 李慧敏 李梦军 李彦文 李志新

连舒心 刘来强 吕润泉 潘来奇 王 俊

杨 莹 于 飞



序 (一)

北京市第十二中学从 20 世纪 80 年代开始开设理化综合实验校本课程以来,校本课程建设已走过二十余年历程。这期间,学校在开设丰富的选修课程的基础上,相继开发了包括中学形体、中学心理、中学信息技术在内的多门相对成熟的校本课程,出版了相应的校本教材。这些教材的出版,推进了校本课程的建设,为对学生实施素质教育提供了有效的载体。

2007 年,北京市各高中校全面启动、实施新课程。立足学校实际,我校将规范校本课程开发和建设确定为实施新课程的重要内容和突破口之一。在开发校本课程的实践过程中,我们认为,首先,校本课程不在于数量多,关键是要符合学生的认知规律,贴近学生个性化需求。我们这次编印的校本教材,注重从不同深度和广度上满足不同兴趣爱好和不同发展层次学生的个性化发展需求。其次,在校本课程的主题选择上,不一味追求新、奇、高、深,而更注重与国家课程各学科紧密衔接,在内容上作适度延伸和拓展。第三,在校本课程教学目标的设定上,不在于让学生掌握多少具体的知识点,而着重为学生拓宽学科视野,扩大知识面,创造条件,培养有兴趣和特长的学生进一步研究问题和深入挖掘学科知识的能力。最后,在使用校本教材的过程中,着力优化教与学的方式和评价方式,尊重和激发教师创造性的个性劳动,强调教师与学生在思维和实践中进行更深入和更广泛的沟通与互动,从而实现教师的教学艺术和学生的学习动力、学习效果良性互动,共同发展。

校本教材的编写是学校实施校本教研,形成学科教学特色的结晶。我校在经过深入调查研究的基础上,筛选出比较成熟的校本课程,组织教师在业余时间编写校本教材。每一本校本教材的编写,都是在长时间开设选修课的基础上对课程内容进行重组、补充和完善,结集而成;绝大多数课程形成了较为科学的教学目标、教学内容和评价方法;部分教材是在高水平的课题引领下,总结实际教育教学的经验,形成了较为规范的教材。很多校本教材都是从学生的生活和学习兴趣出发,解决生活和学习中的实际问题,着力培养学生的实践能力和综合素质。一本严谨、科学而规范的校本教材,一定能更好地促进这一校本课程的建设,惠及更多的学生。

当看到这一本本凝聚教师心血和汗水的书稿,我的心中充满敬佩和感激,敬佩他们的激情、勇气、毅力和智慧,感激他们为学生发展、学校发展无私的奉献和努力,更因为看到教师不断成长、学科特色不断形成、课程文化不断丰富而欣喜和自豪。

当然,我们对于校本课程开发的认识还有待深化,探索和实践活动需要更加深入和



系统，校本课程的开设和教材的编写也很仓促。衷心希望关心校本课程开发和校本教材编写工作的专家和同仁以及参与校本课程教学、校本教材使用的广大教师、同学，对我们工作中的疏漏和不足之处提出宝贵的意见和建议。让我们共同努力，积极实施新课程，深入推进校本课程建设，着力打造富有十二中特色的学校课程文化。

北京市第十二中学校长
数 学 特 级 教 师 李有毅
北 京 市 人 大 常 委





序 (二)

青少年是未来世界的主人，接触、了解和关心科技领域的最新成就及其发展，可以开阔眼界，激发兴趣，提升学科学、爱科学、用科学的责任感。

跨入 21 世纪，信息科技的发展日新月异，在推动社会生产力快速发展的同时，计算机走进了千家万户，成为人们学习与生活不可或缺的工具。人们开始认识到，工具会影响自己的思维，会还是不会使用计算机这个“人类通用智力工具”，会影响到人的见识的增长、聪明的程度、谋事与决策的能力。普及计算机知识与技能要从娃娃做起，意义深远，不可小视。

怎样在中小学普及计算机是许多老师和专家认真研究的一个课题。课上光说不练，孩子们不爱听；讲得太深和太难，又会吓倒或难倒学生。搭建一个怎样的平台来进行教学是很有学问的。

北京市第十二中学做了大胆的尝试，他们将《机器人结构与程序设计》列为学生的一门必修课，试图通过机器人这种具有综合能力的全新教学平台，在学习信息技术课程知识的同时，借鉴物理等课程的教学成果，强化动手实践，培养学生理论联系实际的优良学风。

目前，在高科技研究领域，智能机器人是引领风骚的项目，最能吸引人的眼球，其成果也在不断见诸报端，很受人们青睐。让机器人去实现人类千百年来梦想，诸如太空穿梭、海底探险等，会给孩子们带来多么大的吸引力！

“兴趣是最好的老师。”在组装机器人的动手动脑实践中，学生会接触到搭建机器人的结构与功能模块；看到和亲自体验齿轮或链传动；认识和使用光传感器、位置姿态传感器；为了控制机器人的运动，还要学习和编写相应的计算机程序。在做过这些之后，让机器人进一步提高性能的愿望会引发学生的思考：什么是人工智能？怎样做才能使机器具有更强的智能？这时，我们要不失时机地告诉孩子们，现在的学习仅是奠基阶段，探究科学的路还很长，要循序渐进、一步一个台阶地学习知识和技能，攀登高峰既是可望的又是可及的。盎然兴趣派生出了巨大而持久的学习动力，这不就是我们所期待的吗！

信息科技成果作为学生学习和实践的新内容，纳入各级学校的课程中来是必然趋势。可能有人认为，这门课程从实验条件到理论深度都还显得稚嫩，但我却觉得，稚嫩的东西会有顽强的生命力，因为它是新生事物。我相信在校长、老师和同学们的齐心协力下，教学改革之花一定会结出大批优秀人才脱颖而出之果。

原国际信息学奥林匹克中国队总教练
清华大学计算机系教授，博士生导师

吴文虎



编者的话

北京市第十二中学是一个具有科技教育传统的学校，学校中有一种注重素质培养的文化环境。机器人项目在这里得到了同学们积极响应、广泛参与，从初中一年级到高中二年级都有同学踊跃参加。创建之初，我们无设备、无场地，在丰台区少年宫上课训练。同学们在学习中克服重重困难，乐此不疲，表现出对科技活动的极大热情。同学们认为，这一活动的开展不仅不会影响课堂学习，而且对学习具有促进作用。目前我校已经建成机器人实验室，购置了先进的机器设备，对全校同学开设了选修课，同时积极组织学生参加各种比赛活动。我们坚持以科研促教学，以创新求发展的思想，在活动中注重发挥学生的创新精神、团队协作精神，让这一活动成为学生实现梦想的课堂。几年来，我们在各项比赛中都取得了较好的成绩，我校学生发明的自动印章机在全市科技创新活动中获奖；机器人足球项目荣获北京市冠军，全国比赛第三名；VEX 机器人比赛荣获第九届中国青少年机器人竞赛高中组冠军；我校机器人代表队在美国世界机器人锦标赛和在澳大利亚机器人比赛中均荣获佳绩。

机器人项目的创建得到了学校领导的大力支持，校长以及学校教科室都对这一项目的发展给予了高度重视。在机器人实验室建设、学生选拔、选修课开设以及校本课程教材编写等方面都给予了大力的推动。无论是我们取得成绩，还是面临困境和挫折，学校都给我们鼓励和支持，正是学校这种信任和支持让我们有信心在今后的工作和学习中取得更大的成绩。

在我校机器人教学的基础上，我们感到有必要编写一套针对学生机器人活动的教程。这一想法一经提出，就得到了有关专家和教师的赞同，庄燕文老师、张会芝老师都积极参与，一些机器人公司也表示愿意合作开发中学机器人教材。我们希望这种努力能为学生提供更好的素质教育。

我校教学用机器人选用 LEGO NXT 机型，主要是考虑到这种机型易于掌握且有广泛的应用。本书主要讲述有关 NXT 机器人的搭建和程序设计，针对中学初中、高中机器人教学使用，以教学为主要内容，同时让学生了解有关机器人比赛规则和比赛用程序的设计。机器人项目作为一门选修课面向初中、高中全体同学，打破年级界限，以学习小组作为完成项目任务的团队，在团队中针对所要完成任务的不同，老师在指导学生学习本书时会有相应的取舍，以达到分级教学的目的。在一些基础的内容上，我们并未将不同的机器人编程方法严格地加以区分，有关编程软件的教学并不强调一定要用图形化方法或者是用某种语言来进行。我们希望给学生留出更多发展的空间，根据学生的



天赋因材施教，让他们学会判断、选择、寻找一种适合自己的学习方法和途径。

在本书的编写过程中，有关机器人公司的专家曾给予了热情的指导，Semia 公司的张大鹏先生亲自来我校进行了有关因特网远程控制的演示，庞洁老师对本书进行了认真的审阅并提出了宝贵的意见，同学们的创新实践也为本书提供了丰富的素材，在此向他们表示真诚的感谢。

编 者

2010 年 7 月





第一章 机器人简介	1
第一节 什么是机器人	1
第二节 机器人的发展	2
第三节 机器人的结构	5
一、控制器	5
二、传感器	6
三、电源	6
四、反馈系统	7
五、实践与思考	8
第二章 乐高机器人组件和常用编程工具	9
第一节 乐高组件的基本尺寸	10
第二节 组件和种类	11
第三节 乐高机器人使用的编程软件	15
一、Briex Command Center	15
二、ROBOLAB 2.9	16
三、ROBOT C	18
四、LEGO MINDSTORMS Education NXT Programming	18
五、实践与思考	29
第三章 搭建技巧与常见的机械传动方式	30
第一节 乐高机器人搭建	30
一、结构与功能模块设计	30
二、结构与载重	32
第二节 机械传动方式	33
一、齿轮传动	33
二、链传动	35
三、滑轮和皮带传动	35
四、蜗轮蜗杆传动	37



五、平面连杆传动	37
六、差动机构	38
七、实践与思考	39
第三节 机器人的行走方式	40
一、四轮驱动装置	41
二、万向轮	41
三、机器人转向方式	41
四、用腿行走	43
五、实践与思考	44
第四节 触角和传感器的安装	45
一、简单的触角	45
二、杠杆型触角	45
三、夹子和爪	46
四、实践与思考	46
第四章 乐高机器人常用传感器和输出设备	49
第一节 乐高机器人常用传感器	49
一、光传感器	49
二、触动传感器	49
三、声音传感器	50
四、超声波传感器	50
五、内置角度传感器	50
六、温度传感器	51
第二节 乐高机器人输出设备	51
一、驱动器	51
二、LCD 显示屏	52
三、蜂鸣器	52
四、灯光	52
五、实践与思考	54
第五章 为机器人编写程序	55
第一节 软件编程环境	55
一、软件菜单	55
二、软件面板介绍	57
三、数据中心和数据线	62
四、蓝牙通信的设置	63
五、下载与运行程序	71
第二节 输出模块	71





一、马达模块	72
二、行走模块	74
三、声音模块	78
四、显示模块	80
五、发送信息模块	82
六、灯光显示模块	83
七、实践与思考	84
第三节 结构模块	86
一、等待模块	86
二、循环模块	93
三、分支模块	101
四、终止模块	105
五、实践与思考	105
第四节 传感器模块	123
一、触动传感器模块	123
二、声音传感器模块	124
三、光传感器模块	125
四、超声波传感器模块	126
五、按钮模块	127
六、内置角度传感器模块	128
七、计时器模块	129
八、蓝牙接收模块	131
九、温度传感器模块	132
十、第三方传感器	133
十一、实践与思考	135
第五节 数据模块	138
一、比较模块	139
二、逻辑模块	139
三、运算模块	140
四、随机模块	140
五、范围模块	141
六、变量模块	142
七、子程序模块	143
八、实践与思考	146
第六节 高级模块	162
一、数字文本转换模块	162
二、文本模块	165
三、文件存取模块	166





四、校准模块	172
五、实践与思考	173
第六章 机器人在实验中的应用	184
第一节 数据采集的方法	184
第二节 数据采集在实验中的应用	189
一、利用蓝牙和超声波传感器测量距离	189
二、测量物体运动的速度	192
三、利用 NXT 验证牛顿第二定律测量	194
四、利用 NXT 进行声音速度测量	195
五、利用 NXT 测量重力加速度	199
六、利用 NXT 制作测量仪测量	200
附录 机器人构建图示	204
参考文献及参考网站	215



第一章

机器人简介

第一节 什么是机器人

在我们身边存在着各种各样、功能各异的机器人,如图 1-1 所示。机器人的外表并不限于人的形状,如工业流水线上的装配机械手、室内自动温控系统、自动电话答录机、烟雾探测报警器等都可以称为机器人。机器人能够代替人类完成重复乏味或者危险的工作,提高人们的生活品质和工作效率。机器人技术综合机械工程、电子工程、传感器应用、信息技术、数学、物理等多学科知识,代表着一个国家的高科技发展水平。

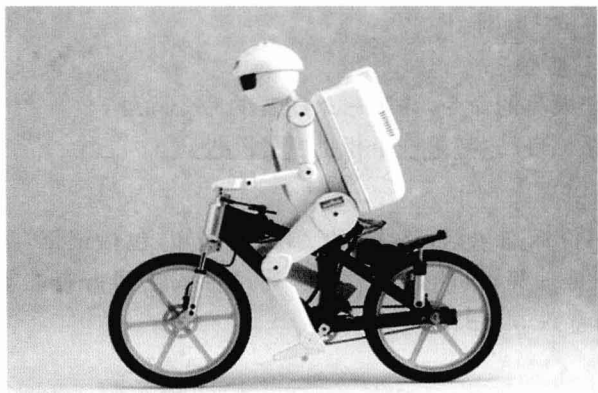


图 1-1 日本村田制作所推出的自行车机器人

机器人(Robot)是自动执行工作的机器装置。机器人可接受人类指挥,也可以执行预先编排的程序。机器人执行的是取代或是协助人类的有关工作,例如制造业、建筑业,尤其在一些危险的领域机器人有着更为广泛的应用。

联合国标准化组织采纳了美国机器人协会给机器人下的定义:“一种可编程和多功能的,用来搬运材料、零件、工具的操作机;或是为了执行不同的任务而具有可改变和可编程动作的专门系统。”

1. 现代机器人的特点

现代机器人的特点如下。

- ① 是一种集机械、电子、计算机、自动化等诸多技术为一体的机械电子装置。
- ② 具有人类的某些感知、记忆和思维判断能力,如视觉、听觉、触觉等。



③ 能接受人类的工作安排,进行独立、自主、自动的工作,也可实时受控进行工作。

2. 机器人的分类

(1) 按用途分

机器人可分为工业机器人、空间机器人、水下机器人、军用机器人、排险救灾机器人、教学机器人和娱乐机器人等。

(2) 按主要功能分

机器人可分为以下几种。

操作机器人:主要是模仿人的手和手臂的工作。

移动机器人:工业生产中带有行走机构的机器人,完成运输,上下料等工作。

信息机器人:以计算机系统为基础的智能行为模拟装置。

人机机器人:机器人和真人之间构成一个闭环系统,如假肢机器人。

为了避免机器人可能对人类发展带来的危害,早在1940年科幻作家阿西莫夫就提出了“机器人三原则”,阿西莫夫也因此获得“机器人学之父”的桂冠。

3. 机器人三原则

阿西莫夫提出以下三原则。

- ① 机器人不得危害人类;
- ② 机器人应遵守人类的命令,与第一条违背的命令除外;
- ③ 机器人应能保护自己,与第一条相抵触者除外。

4. 机器人能力的评价标准

机器人能力的评价标准包括:智能,指感觉和感知,包括记忆、运算、比较、鉴别、判断、决策、学习和逻辑推理等;机能,指变通性、通用性或空间占有性等;物理能,指力、速度、连续运行能力、可靠性、联用性、寿命等。

第二节 机器人的发展

1. “机器人”一词的由来

“robot”一词源自捷克语“robota”,意为“强迫劳动”。1920年,捷克斯洛伐克作家萨佩克写了一个名为《洛桑万能机器人公司》的剧本,他把在洛桑万能机器人公司生产劳动的那些家伙取名为“Robot”,汉语音译为“罗伯特”,捷克语意为“奴隶”——萨佩克把机器人的地位确定为只管埋头干活、任由人类压榨的奴隶,它们存在的价值只是服务于人类。机器人没有思维能力,不能思考,只是类似人的机器,很能干,以便使人摆脱劳作。它们能生存20年,刚生产出来时由人教它们知识。它们不能思考,没有感情,一个机器人能干三个人的活,公司为此生意兴隆。后来一个极其偶然的原因,机器人开始有了知觉,它们不堪忍受人类的统治,不愿做人类的奴隶,于是,机器人向人类发动攻击,最后彻底毁灭了人类。“机器人”的名字也正式由此而生。





2. 机器人的诞生

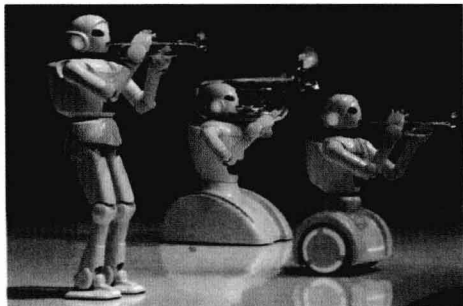
“机器人”一词的出现和世界上第一台工业机器人的问世都是近几十年的事。然而人类对机器人的幻想与追求却已有三千多年的历史。人类希望制造一种像人一样的机器,以便代替人类完成各种工作。

西周时期,我国的能工巧匠偃师就研制出了能歌善舞的伶人,这是我国最早记载的机器人。春秋后期,我国著名的木匠鲁班也是一位机械方面的发明家。据《墨经》记载,他曾制造过一只木鸟,能在空中飞行“三日不下”,体现了我国劳动人民的聪明智慧。

1959年,美国英格伯格和德沃尔制造出世界上第一台工业机器人,标志着现代意义上机器人历史的真正开始。

英格伯格在大学攻读伺服理论,这是一种研究运动机构如何才能更好地跟踪控制信号的理论。德沃尔曾于1946年发明了一种系统,可以“重演”所记录的机器的运动。1954年,德沃尔又获得可编程机械手专利,这种机械手臂按程序进行工作,可以根据不同的工作需要编制不同的程序,因此具有通用性和灵活性。英格伯格和德沃尔都在研究机器人,认为汽车工业最适于用机器人干活,因为是用重型机器进行工作,生产过程较为固定。1959年,英格伯格和德沃尔联手制造出第一台工业机器人。

随着信息技术的发展,机器人的概念和应用领域正在不断扩大,现阶段除了制造环境下的工业机器人之外,非制造环境下的特种机器人也获得了长足发展,如人型机器人、军用机器人、水下机器人、空间机器人、服务机器人、微型机器人、足球机器人以及各种各样的娱乐机器人等,如图1-2所示。



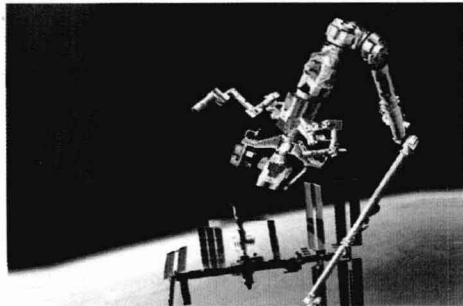
娱乐机器人



测量机器人(仅重8.6g)



军用机器人



太空机器人

图 1-2 各种机器人





1998年,丹麦乐高公司推出机器人套件(Mind-storms),让机器人制造变得跟搭积木一样,相对简单又能任意拼装,使机器人开始进入个人世界。

2006年6月,微软公司推出 Microsoft Robotics Studio,机器人模块化、平台统一化的趋势越来越明显,比尔·盖茨预言,家用机器人很快将席卷全球。

3. 机器人的发展趋势

机器人是20世纪人类最伟大的发明之一。机器人已在工业领域得到了广泛的应用,而且正以惊人的速度向军事、医疗、服务、娱乐等非工业领域扩展。在计算机技术和人工智能科学发展的基础上,产生了“智能机器人”的概念。智能机器人是具有感知、思维和行动功能的机器,是机构学、自动控制、计算机、人工智能、微电子学、光学、通信技术、传感技术、仿生学等多种学科和技术的综合成果。智能机器人可获取、处理和识别多种信息,自主地完成较为复杂的操作任务,比一般的工业机器人具有更大的灵活性、机动性和更广泛的应用领域。在核工业、水下、空间、农业、工程机械(地上和地下)、建筑、医用、救灾、排险、军事、服务、娱乐等方面,可代替人完成各种工作。同时,智能机器人作为自动化、信息化的装置与设备,完全可以进入网络世界,发挥更多、更大的作用。近几年机器人的发展有以下趋势。

① 工业机器人的性能不断提高(高速度、高精度、高可靠性、便于操作和维修),而单机价格不断下降,平均单机价格从1991年的10.3万美元降至1997年的6.5万美元。

② 机械结构向模块化、可重构化发展。例如关节模块中的伺服电机、减速机、检测系统三位一体化;由关节模块、连杆模块用重组方式构造机器人整机;国外已有模块化装配机器人产品问世。

③ 工业机器人控制系统向基于PC的开放型控制器方向发展,便于标准化、网络化;器件采用模块化结构,集成度高,提高了系统的可靠性、易操作性和可维修性。

④ 机器人中的传感器作用日益重要,除采用传统的位置、速度、加速度等传感器外,装配、焊接机器人还应用了视觉、力觉等传感器,而遥控机器人则采用视觉、声觉、力觉、触觉等多传感器的融合技术来进行环境建模及决策控制;多传感器融合配置技术在产品化系统中已有成熟应用。

⑤ 虚拟现实技术在机器人中的作用已从仿真、预演发展到用于过程控制,如使遥控机器人操作者产生置身于远端作业环境中的感觉来操纵机器人。

⑥ 当代遥控机器人系统的发展特点不是追求全自治系统,而是致力于操作者与机器人的人机交互控制,即遥控加局部自主系统构成完整的监控遥控操作系统,使智能机器人走出实验室,进入实用化阶段。美国发射到火星上的“索杰纳”机器人就是这种系统成功应用的最著名实例。

⑦ 机器人化机械开始兴起。从1994年美国开发出“虚拟轴机床”以来,这种新型装置已成为国际研究的热点之一,各国纷纷探索、开拓其实际应用的领域。

