

北京大学机器人学基础系列教材（四）

Robot Programming Fundamentals 机器人编程基础

谢广明 · 范瑞峰 · 何宸光 编著



HEUP 哈尔滨工程大学出版社

北京大学机器人学基础系列教材（四）

机器人编程基础

谢广明 范瑞峰 何宸光 编著

 哈尔滨工程大学出版社

内 容 简 介

本系列教程是参加中国素质体育机器人运动的基础必修教程。本教程重点介绍机器人的基础编程技术, 主要内容包括机器人简介、单片机在机器人中的应用、AVR 开发环境、C 语言编程规范、ATMEGA128 的入门、ATMEGA128 定时/计数器使用、EEPROM 存储器简介、ATMEGA128USART 使用、IO 控制以及 Boot Loader 功能等。

本书适用于参加中国素质体育机器人运动的所有教练员、裁判员和运动员, 也适合机器人爱好者参考学习。

图书在版编目 (CIP) 数据

机器人编程基础/谢广明、范瑞峰、何宸光编著. —哈尔滨:
哈尔滨工程大学出版社, 2013.9
北京大学机器人学基础系列教材
ISBN 978-7-5661-0688-9

I. ①机… II. ①谢… ②范… ③何… III. ①机器人—程序设计—教材 IV. ①TP243.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 219191 号

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451-82519328
传 真 0451-82519699
经 销 新华书店
印 刷 哈尔滨市石桥印务有限公司
开 本 787mm×960mm 1/16
印 张 13.5
字 数 225 千字
版 次 2013 年 9 月第 1 版
印 次 2013 年 9 月第 1 次印刷
定 价 192.00 元 (全六册)

<http://www.hrbeupress.com>

E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

北京大学机器人学基础系列教材

编审委员会

编委会主任：何宸光

编 委：韩立群 白 洁

乔 雷 滕兆勇

前言

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操作机，或是为了执行不同的任务而具有可用电脑改变和可编程动作的专门系统。”由北京大学、天津师范大学、河北工业大学、山西师范大学、临汾市第一实验中学的谢广明教授、范瑞峰、孔祥战、马俊峰、范保玉、王华、牛坚、何宸光等专家学者编著，哈尔滨工程大学出版社出版，北京神通文化俱乐部发行的《机器人概论》《机器人电子电路基础》《机器人编程基础》《机器人感知与应用》《机器人控制与应用》《机器人综合实践》等系列基础教材在全国范围内的发行，标志着中国机器人教育教学、人才培养、技术研发、生产制造、产业升级步入创新科技、振兴经济的新时代。

科学技术是人类在与自然界共生共存的生活中所创造的特殊文化，是人类精神探索宇宙奥秘、发现并把握宇宙规律的精神产物和文化成果。科学技术可以继承也可以传播。

振兴经济首先要振兴科技，实现机器人技术作为战略高技术，教育必须先行，教育先行的基础条件必须具备规范的教程和教材。此次出版发行的《机器人概论》《机器人电子电路基础》《机器人编程基础》《机器人感知与应用》《机器人控制与应用》《机器人综合实践》等系列基础教材，对培养大批高素质专业人才和杰出科技人才具有基础性的推动作用、建设作用和指导作用，对发展机器人产业，培育新的战略性新兴产业具有很强的技术辐射性与带动性。

机器人技术与科学技术和科学教育有其特有的产生、活动、发展和传授规律。机器人教育教学要在中国生根、开花、结果，就必须不断对科学研究的目的进行深思，对科学的经验进行积累，对科学的规律进行把握，对科学的影响进行回顾，对科学的力量进行体会，对科学的文化进行积淀，对科学的体制进行改良，对科学的主体进行凸显，对科学的环境进行优化，对科学的精神进行弘扬。

世界上任何一个国家的传统文化，都不能百分之百地包含科学文化，因为科学不是从一个特定的国家产生和发展出来的，机器人技术与科学技术一样，是人类共同创造的特殊文化。哪个国家能够最大限度地吸纳科学文化，哪个国家就最有可能在科学技术领域中走到世界前列。

中国机器人发展必须吸纳世界先进的科学技术，理性反思，独立探索研究建立、建设科学技术的发展规律，把握杰出人才与科学产出的发展规律。机器人技术与科学技术发展离不开支撑其发展的经济基础，机器人技术作为当今世界总技术的综合结晶，世界各国纷纷抢占这一技术的制高点，旨在推动本国的国防实力和国家竞争力。《机器人概论》《机器人电子电路基础》《机器人编程基础》《机器人感知与应用》《机器人控制与应用》《机器人综合实践》等系列基础教材的出版发行，有效促进各类人才的教育培养，把握、掌握关键技术、核心技术，积极促进中国机器人产业的健康发展、全面发展，对我国综合实力的提升具有十分重要的现实意义和深远的历史意义。

何宸光

2013 年 9 月于北京

目 录

第 1 章 机器人简介	1
1.1 机器人的灵魂——程序	1
1.2 机器人的控制种类	2
第 2 章 单片机在机器人中的应用	7
2.1 单片机简介	7
2.2 单片机的种类	8
2.3 单片机的应用	9
2.4 AVR 单片机简介	12
第 3 章 AVR 开发环境	15
3.1 集成开发环境 ICC AVR	15
3.2 集成开发环境 AVR Studio 6.0	24
3.3 RoSys 智能教育平台	27
第 4 章 C 语言编程规范	35
4.1 C 语言编程的基本规范	35
4.2 程序的模块化设计	44
第 5 章 Atmega128 的入门	52
5.1 Atmega128 单片机的存储器组织	52
5.2 Atmega128 单片机的系统时钟	54
5.3 Atmega128 单片机的系统复位	63
5.4 Atmega128 的电源管理及睡眠模式	68
5.5 Atmega128 熔丝位设置	72
第 6 章 ATmega128 定时/计数器使用	76
6.1 ATmega128 定时/计数器简介	76
6.2 例程:外部脉冲计数	96
6.3 例程:定时/计数器 1 三路快速 PWM 输出	97
6.4 例程:定时/计数器 1 的溢出中断	98

6.5	定时器在机器鱼中的应用	99
第7章	EEPROM 存储器简介	107
7.1	ATmega128 存储器简介	107
7.2	例程:ATmega128 读取内部存储器	109
7.3	例程:ATmega128 写入内部存储器	110
7.4	24C02 存储器简介	111
7.5	ATmega128 的两线串行接口 TWI	115
7.6	例程:ATmega128 读取外部存储器	122
7.7	例程:ATmega128 写入外部存储器	125
7.8	I2C 在机器鱼中的应用	125
第8章	ATmega128USART 使用	133
8.1	异步串行通信的基础知识	133
8.2	ATmega128USART 使用方法	134
8.3	例程:与电脑串行通信	144
8.4	RF 通信模块简介	146
8.5	案例:机器鱼远程无线控制	149
第9章	IO 控制	167
9.1	ATmega128IO 口简介	167
9.2	例程:LED 流水灯	171
9.3	例程:按键读取	171
9.4	ATmega128AD 简介	172
9.5	例程:温度传感器	182
9.6	模拟量红外传感器简介	184
9.7	开关型红外传感器简介	186
9.8	例程:机器鱼避障实现	187
第10章	Boot Loader 功能	191
10.1	Boot Loader 简介	191
10.2	Boot Loader 实现	192
参考文献		203
后记		204

第 1 章 机器人简介

近年来随着人工智能技术、计算机技术等相关技术的发展，对智能机器人的研究越来越多。在教育领域，许多院校已在学生中开设了机器人学方面的有关课程，有关机器人的比赛也越来越多，其影响也越来越大。在短短十几年的时间里，机器人大赛的发展是一个从无到有、从单一到综合、从简单到复杂的过程。从现在世界科技发展的潮流来看，发展机器人是一条必由之路。未来机器人也必将在各行各业发挥出巨大的作用。

1.1 机器人的灵魂——程序

机器人的程序的用途就是让机器人听话，按人们所预定的设计完成一系列动作，完成特定的功能。机器人的控制器相当于人的大脑，程序相当于大脑储存的各种能力，如果一个机器人没有了程序，就相当于人的大脑坏掉了，成了植物人。

1.1.1 机器人定义

在科技界，科学家会给每一个科技术语一个明确的定义，但机器人问世已有几十年，机器人的定义仍然仁者见仁，智者见智，没有一个统一的意见。原因之一是机器人还在发展，新的机型、新的功能不断涌现。根本原因是因为机器人涉及了人的概念，成为一个难以回答的哲学问题。也许正是由于机器人定义的模糊，才给了人们充分的想象和创造空间。

一种比较流行的机器人的定义：机器人是靠自身动力和控制能力来实现各种功能的一种机器。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操作机；或是为了执行不同的任务而具有可用电脑改变和可编程动作的专门系统。”它能为人类带来许多方便之处。



1.1.2 机器人的程序

程序的定义：程序是由序列组成的，告诉计算机如何完成一个具体的任务。程序是软件开发人员根据用户需求开发的、用程序设计语言描述的适合计算机执行的指令（语句）序列。

机器人的程序就是由开发人员根据机器人要完成的功能，用程序设计语言描述的控制器执行的指令序列。如果机器人内部没有程序，那么机器人将没有任何作用。无论外观做得如何华丽、逼真，没有程序的机器人就像雕塑、蜡像一样，有其形，无其神。所以说，机器人的程序才是机器人的灵魂。

1.2 机器人的控制种类

1.2.1 机器人的起源与发展

机器人是 20 世纪才出现的新名词。1920 年，捷克剧作家 Capek 在他的《罗萨姆万能机器人公司（R. U. R.）》剧本中，第一次提出了机器人（robot）这个词。robot 是从古代斯拉夫语 robota 一词演变而来的。robota 本是强制劳动的意思，Capek 在 20 世纪工业革命后技术和生产快速发展的背景下，根据它造出具有“奴隶机器”含义的新词 robot。它反映着人类希望制造出像人一样会思考、会劳动的机器代替自己工作的愿望。但在当时，机器人一词也仅仅具有科幻意义，并不具备现实意义。真正使机器人成为现实是 20 世纪工业机器人出现以后。

随着人们对机器的研究，机器人也在进步，按其发展过程机器人可分为三代：

第一代是示教再现型机器人。“尤尼梅特”和“沃尔萨特兰”这两种最早的工业机器人是示教再现型机器人的典型代表。它们由人操纵机械手做一遍应当完成的动作或通过控制器发出指令让机械手臂动作，在动作过程中机器人会自动将这一过程存入记忆装置。当机器人工作时，能再现人教给它的动作，并能自动重复执行。这类机器人不具有外界信息的反馈能力，很难适应变化的环境。

第二代是有感觉的机器人。它们对外界环境有一定感知能力，并具有听

觉、视觉、触觉等功能。机器人工作时，根据感觉器官（传感器）获得的信息，灵活调整自己的工作状态，保证在适应环境的情况下完成工作。如：有触觉的机械手可轻松自如地抓取鸡蛋，具有嗅觉的机器人能分辨出不同饮料和酒类。

第三代是具有智能的机器人。智能机器人是靠人工智能技术决策行动的机器人，它们根据感觉到的信息，进行独立思维、识别、推理，并作出判断和决策，不用人的参与就可以完成一些复杂的工作。目前，智能机器人已在许多方面具有人类的特点。随着机器人技术不断发展与完善，机器人的智能水平将越来越接近人类。

1.2.2 机器人的控制种类

研制机器人的最初目的是为了帮助人们摆脱繁重劳动或简单的重复劳动，以及替代人到有辐射等危险环境中进行作业，因此机器人最早在汽车制造业和核工业领域得以应用。

从机器人的应用上来看，主要分为两大类：军用机器人和民用机器人。

1. 军用机器人

军用机器人主要用于军事上代替或辅助军队进行作战、侦察、探险等工作。根据不同的作战空间可分为地面军用机器人、空中军用机器人（即无人飞行器）、水下军用机器人和空间军用机器人等。军用机器人的控制方式一般有自主操控式、半自主操控式、遥控式等多种方式。

军用机器人根据应用可分为用于直接战斗任务的机器人，用于侦察和观察的机器人，用于指挥控制的机器人，用于后勤保障的机器人，用于军事科研和教学的机器人等。

用于直接战斗任务的机器人：固定防御机器人、奥戴提克斯 I 型步行机器人、阿尔威反坦克机器人、飞行助手机器人、海军战略家机器人等。

用于侦察和观察的机器人：战术侦察机器人、三防侦察机器人、地面观察员/目标指示员机器人等。

用于工程保障的机器人：多用途机械手、布雷机器人、排雷机器人、海卡尔思飞雷机器人、烟幕机器人、便携式欺骗系统机器人等。

用于后勤保障的机器人：车辆抢救机器人、战斗搬运机器人、自动加油机器人、医疗助手机器人等。



用于军事科研和教学的机器人：宇宙探测机器人、宇宙飞船机械臂、放射性环境工作机器人、模拟教学机器人、射击训练机器人等。

2. 民用机器人

在民用机器人中，各种生产制造领域中的工业机器人在数量上占绝对多数，成为机器人家族中的主力军；其他各种种类的机器人也开始在不同的领域得到研究开发和应用。

民用机器人应用大概分为两类：工业机器人、服务机器人。

现在工业机器人主要用于汽车工业、机电工业（包括电信工业）、通用机械工业、建筑业、金属加工、铸造以及其他重型工业和轻工业部门。

服务机器人尚处于开发及普及的早期阶段，目前国际上对它还没有普遍承认的严格定义，它的定义是由操作型工业机器人引申而来的。根据国际机器人联合会（IFR）采用的初步定义，所谓服务机器人是一种半自主或全自主工作的机器人，它完成的是有益于人类健康的服务工作，但不包括那些从事生产的设备。

服务机器人包括：

（1）诊断机器人，即配备有医疗诊断专家系统的机器人。

（2）护理机器人，指一些具有丰富护理经验的机器人护士。

（3）伤残瘫痪康复机器人，包括假肢、矫形以及遥控等技术。

（4）家用机器人。机器人已开始进入家庭和办公室，用于代替人从事清扫、洗刷、守卫、煮饭、照料小孩、接待、接电话、打印文件等。酒店售货和餐厅服务机器人、炊事机器人和机器人保姆已不再是一种幻想。

（5）娱乐机器人，包括文娱歌舞和体育机器人。

（6）医疗手术机器人，在手术时，协作医生做手术。

服务机器人还有送信机器人、导游机器人、加油机器人、建筑机器人、农业及林业机器人等。

纵观目前经济发展现状，我国机器人市场增长非常迅猛，从销售量上更是充分说明了这个不争的事实。在中国市场上占有 35% 的市场份额的 ABB 公司 2004 年在中国卖出了 600 台机器人，而该公司在过去 9 年中一共才在中国大陆市场销售了 2 000 台机器人。专家预测，到 2010 年中国机器人拥有量将达到 17 300 台，到 2015 年，市场容量将达到十几万台（套）。汽车制造、工程机械及电机、电子等行业的企业是中国今后对机器人需求最大的产业，其中所需机

器人的品种以点焊、弧焊、喷漆、装配、搬运、冲压等为主。

我国的智能机器人和特种机器人在“863”计划的支持下,也取得了不少成果。其中最为突出的是水下机器人,6 000 米水下无缆机器人的成果居世界领先水平,还开发出直接遥控机器人、双臂协调控制机器人、爬壁机器人、管道机器人等机种;在机器人视觉、力觉、触觉、声觉等基础技术的开发应用上开展了不少工作,有了一定的发展基础,但是在多传感器信息融合控制技术、遥控加局部自主系统遥控机器人、智能装配机器人、机器人化机械等的开发应用方面则刚刚起步,与国外先进水平差距较大,需要在原有成绩的基础上,有重点地系统攻关,才能形成系统配套可供实用的技术和产品。

1.2.3 机器人的前景与科幻

机器人的开发研究取得了举世瞩目的成果,从近几年世界机器人推出的产品来看,机器人技术正在向智能化、模块化和系统化的方向发展。其发展趋势主要为:结构的模块化和可重构化;控制技术的开放化、PC 化和网络化;伺服驱动技术的数字化和分散化;多传感器融合技术的实用化;工作环境设计的优化、作业的柔性化以及系统的网络化和智能化等方面。

机器人是先进制造技术和自动化装备的典型代表,是人造机器的“终极”形式。它涉及机械、电子、自动控制、计算机、人工智能、传感器、通信与网络等多个学科和领域,是多种高新技术发展成果的综合集成,因此它的发展与众多学科发展密切相关。

当今工业机器人的发展趋势主要有:

(1) 工业机器人性能不断提高(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。

(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。

(3) 工业机器人控制系统向基于 PC 机的开放型控制器方向发展,便于标准化、网络化;器件集成度提高,控制柜日渐小巧,采用模块化结构,大大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,视觉、力觉、声觉、触觉等多传感器的融合技术在产品化系统



中已有成熟应用。

(5) 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,众多国家纷纷探索其实际应用的领域。

总体趋势是,从狭义的机器人概念向广义的机器人技术概念转移,从工业机器人产业向解决方案业务的机器人技术产业发展。机器人技术的内涵已变为灵活应用机器人技术的,且具有实际动作功能的智能化系统。机器人结构越来越灵巧,控制系统越来越小,其智能也越来越高,并正朝着一体化方向发展。

随着我国经济的快速发展,我国工业机器人的市场将不断扩大,这一点毋庸置疑。这也从另一个侧面说明了为什么世界各大机器人公司纷纷登陆中国市场。

在我国,工业机器人市场份额大部分被国外工业机器人企业占据着。在国际强手面前,国内的工业机器人企业面临着相当大的竞争压力。

第2章 单片机在机器人中的应用

目前单片机已经渗透到我们生活的各个领域，生活中所用的每件电子和机械产品中几乎都集成了单片机。手机、电话、计算器、家用电器、电子玩具、掌上电脑以及鼠标等电脑配件中都配有1~2部单片机，汽车上一般配备40多部单片机，复杂的工业控制系统上甚至可能有数百台单片机在同时工作。智能机器人作为尖端科技的成果，必定用到了单片机。

2.1 单片机简介

2.1.1 什么是单片机

单片微型计算机简称单片机，是典型的嵌入式微控制器（Microcontroller Unit），又称单片微控制器，常用英文字母MCU表示。单片机是把一个完整的计算机系统集成在一块芯片上，通常包括CPU、内存、I/O口、中断系统、时钟电路、定时/计数器和总线系统等。单片机相当于一个微型的计算机，和计算机相比，单片机只缺少了I/O设备。

1. 单片机的发展历史

单片机诞生于1971年，经历了SCM，MCU，SoC三大阶段。其下面介绍单片机的发展阶段。

第一阶段：SCM即单片微型计算机（Single Chip Microcomputer）阶段，主要是寻求最佳的单片形态、嵌入式系统的最佳体系结构。“创新模式”获得成功，奠定了SCM与通用计算机完全不同的发展道路。在开创嵌入式系统独立发展道路上，Intel公司功不可没。

第二阶段：MCU即微控制器（Micro Controller Unit）阶段，主要的技术发展方向是不断扩展满足嵌入式应用中对象系统要求的各种外围电路与接口电路，突显其对象的智能化控制能力。主要技术所涉及的领域都与对象系统相关，因此，发展MCU的重任不可避免地落在电气、电子技术厂家身上。从这



一角度来看, Intel 逐渐淡出 MCU 的发展也有其客观因素。在发展 MCU 方面, 最著名的厂家当数 Philips 公司。Philips 公司以其在嵌入式应用方面的巨大优势, 将 MCS-51 从单片微型计算机迅速发展到微控制器。因此, 当我们回顾嵌入式系统发展道路时, 不要忘记 Intel 和 Philips 的历史功绩。

第三阶段: SoC 嵌入式系统 (System on Chip) 阶段。MCU 阶段发展的重要因素, 就是寻求应用系统在芯片上的最大化解决。因此, 专用单片机的发展自然形成了 SoC 化趋势。随着微电子技术、IC 设计、EDA 工具的发展, 基于 SoC 的单片机应用系统设计会有较大的发展。因此, 对单片机的理解可以从单片微型计算机、单片微控制器延伸到单片应用系统。

2. 单片机的特点

单片机的特点如下:

- ◆具有较强的抗干扰能力和较低的成本;
- ◆体积小、低功耗、集成度高;
- ◆具有独特且可修改的程序;
- ◆高智能、高效率、高可靠性;
- ◆品种和型号多样性。

2.2 单片机的种类

单片机作为计算机发展的一个重要分支领域, 根据目前发展情况, 从不同角度大致可以分为通用型/专用型、总线型/非总线型及工控型/家电型。

按单片机的适用范围分为通用型/专用型。例如, 80C51 是通用型单片机, 它不是为某种专用用途设计的; 专用型单片机是针对一类产品甚至某一个产品设计生产的, 例如为了满足电子体温计的要求, 在片内集成 ADC 接口等功能的温度测量控制电路。

按单片机是否提供并行总线分为总线型/非总线型。总线型单片机普遍设置有并行地址总线、数据总线、控制总线, 这些引脚用以扩展并行外围器件, 可通过串行口与单片机连接。另外, 许多单片机已把所需要的外围器件及外设接口集成一片内, 因此在许多情况下可以不要并行扩展总线, 大大减少封装成本和芯片体积, 这类单片机称为非总线型单片机。

总线型按数据总线的位数可分为五类: 4 位单片机、8 位单片机、16 位单

片机、32 位单片机和 64 位单片机。

按单片机应用的领域，分为控制型/家电型。一般而言，工控型寻址范围大，运算能力强；用于家电的单片机多为专用型，通常是小封装、低价格，外围器件和外设接口集成度高。显然，上述分类并不是唯一的和严格的。例如，80C51 类单片机既是通用型又是总线型，还可以作工控用。

2.3 单片机的应用

2.3.1 单片机的应用领域

1. 在智能仪器仪表上的应用

单片机具有体积小、功耗低、控制功能强、扩展灵活、微型化和使用方便等优点，广泛应用于仪器仪表中，结合不同类型的传感器，可实现诸如电压、功率、频率、湿度、温度、流量、速度、厚度、角度、长度、硬度、元素和压力等物理量的测量。采用单片机控制使得仪器仪表数字化、智能化和微型化，且功能比采用电子或数字电路更加灵活和强大。例如精密的测量设备（功率计、示波器和各种分析仪等）。

2. 在工业控制中的应用

用单片机可以构成形式多样的控制系统和数据采集系统，例如工厂流水线的智能化管理芯片、电梯智能化控制、各种报警系统及与计算机联网构成二级控制系统等。

3. 在家用电器中的应用

可以这样说，现在的家用电器基本上都采用了单片机控制，从电饭煲、洗衣机、电冰箱、空调、彩电、音响视频器材，再到电子称量设备，五花八门，无所不在。

4. 在计算机网络和通信领域中的应用

现代的计算机普遍具备通信接口，可以很方便地与计算机进行数据通信，为在计算机网络和通信设备间的应用提供了极好的物质条件。现在的通信设备基本上都实现了单片机智能控制，从手机、电话机、小型程控交换机、楼宇自动通信呼叫系统、列车无线通信，再到日常生活中随处可见的移动电话、集群移动通信、无线电对讲机等。