

北京大学机器人学基础系列教材（六）

Robot Comprehensive Practice 机器人综合实践

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（六）

机器人综合实践

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课程。本书围绕一个移动服务机器人展开综合实践, 主要内容包括服务机器人简介、IO 输入输出、AD 输入、电机驱动、串口通信、I2C 通信、传感器综合实验、机器人交互综合、机器人运动综合以及机器人高级控制等。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学习参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

机器人综合实践/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 978-7-311-35661-0/6688-79

I. ①机… II. ①谢…②范…③何… III. ①机器人
控制—教材 IV. ①TP24

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 219296 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 7.25
字 数 153 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是进行深思，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 服务机器人概述	1
1.1 服务机器人简介	1
1.2 服务机器人组成	2
第 2 章 IO 输入输出	4
2.1 指示灯	4
2.2 红外触碰传感器	7
2.3 寻线传感器	11
第 3 章 AD 输入	12
3.1 红外测距	12
第 4 章 电机驱动	16
4.1 直流电机驱动	16
4.2 编码器反馈	19
4.3 伺服电机驱动	22
4.4 电机驱动板	23
第 5 章 串口通信	29
5.1 串口通信简介	29
5.2 RF 无线通信模块	30
5.3 语音模块	33
5.4 自由度传感器	36
第 6 章 I2C 通信	38
6.1 I2C 通信简介	38
6.2 超声波测距模块	42
6.3 传感器控制板	44
第 7 章 传感器综合实验	49
7.1 传感器综合介绍	49
7.2 测距应用	50

7.3	运动状态	50
第8章	机器人交互综合	61
8.1	指示显示	61
8.2	语音播放	62
8.3	远程遥控	64
8.4	网络摄像头	70
第9章	机器人运动综合	73
9.1	底盘搭建	73
9.2	机器人行走	78
9.3	机器人寻线	81
9.4	机器人避障	84
9.5	高级机器人运动	89
第10章	机器人高级控制	97
10.1	嵌入式系统	97
10.2	网络控制	103

第 1 章 服务机器人概述

智能服务机器人是博雅创世（北京）智能科技有限公司针对智能检测与控制相关课程、机器人相关创新竞赛自主研发、开发的一款服务性机器人，该智能服务机器人以控制器、传感器的检测与控制为主，适用于本科及职业院校智能检测与控制相关实训课程使用，同时也适合中国机器人大赛等相关创新竞赛使用。

1.1 服务机器人简介

根据教学要求的不同，智能服务机器人分为入门版、基本版和高级版三种。高级版智能服务机器人如图 1-1 所示，配有定制外壳，安全美观、结实耐用、方便运输、适合参加各种机器人相关比赛。入门版智能服务机器人如图 1-2 所示，基础版智能服务机器人如图 1-3 所示，这两种智能服务机器人没有定制外壳，可直观地看到内部结构，方便学习和改造。其中入门版相较于基本版又少了一些传感器，更适合操作要求不高、教学要求简单的学校使用。

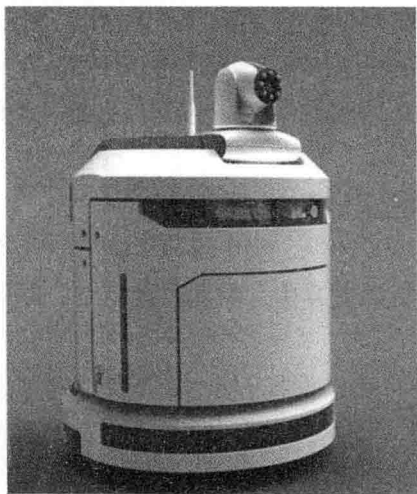


图 1-1 服务机器人高级版

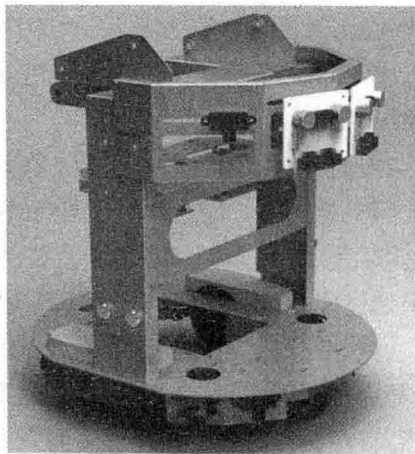


图 1-2 服务机器人入门版

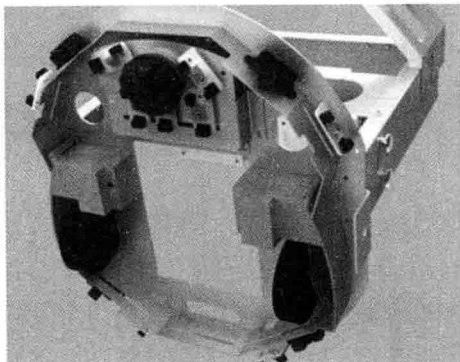


图 1-3 服务机器人基础版

1.2 服务机器人组成

1.2.1 服务机器人的组成

本书在介绍过程中，以服务机器人高级版为标准。服务机器人是采用分层结构设计的。硬件结构框架包括外壳、结构骨架、左右带编码器的电机和前轮。

系统结构可分为 Web 网络控制层、Zigbee 网络控制层、RF 通信层、终端控制层、传感层、控制层和运动控制层。下面对各个层进行详细的介绍。

Web 网络控制层 包括：自主研发的 PC 终端软件、路由器、无线网卡和网络摄像头。

Zigbee 网络控制层 包括：Zigbee 通信节点和 Zigbee 路由器。

RF 通信层 包括：RF 通信模块，用于 RF 通信，额定电压 DC5 V，工作电流范围 < 100 mA；RF 模块设置器，与电脑直接连接；配套设置软件，可对 RF 通信模块进行频段、波特率等设置。

终端控制层 包括：嵌入式系统，与控制核心板相连接，主要负责通信设备和显示屏的控制，监控机器人的实时状态；7 寸显示屏，显示机器人的实时状态；控制核心板，分别连接嵌入式系统、传感器采集板和轮子驱动板，实现对机器人的整体控制。

传感层 包括：传感器采集板，与控制核心板相连接，主要负责传感器数据的采集；超声模块，负责检测障碍物及距离；九自由度测量仪，实时采集导航角度、翻滚角度、旋转角度，并发送数据给传感器控制板；红外测距模块，负责检测较低障碍物；寻线传感器，使机器人可按规定路线行进；语音模块。

控制层 包括：控制板，控制板向下和驱动板连接控制机器人的运动，中间连接传感器采集板采集传感器的数据，向上连接嵌入式板子，发送机器人实时状态的数据；机械手臂，控制板控制机械手臂实现机械抓取、物品转移等任务。

运动控制层 包括：轮子驱动板，主要负责驱动轮子，完成前进、后退、转弯等功能；红外接近传感器，由底层驱动板控制，负责检测较低障碍物，防止智能服务机器人碰撞，可独立于其他层单独使用；防跌落传感器，防止机器人从平台上跌落。

服务机器人还可选配一些模块，包括 GPS 模块、Zigbee 无线传输模块、智能医疗系统、比赛场地等。

1.2.2 服务机器人特点

控制结构模块化设计 控制模块、传感模块均为模块化设计，每种功能单独成为一个模块。机器人功能可根据实际需要进行裁剪和扩充。

机械结构模块化设计 底盘与上部控制通过 4 个螺丝连接，可方便拆卸、更换底盘。

控制模块与基础设备兼容 本机器人所使用的控制模块、传感模块、驱动模块均与基础设备中的相应模块一致。使学生的学习系列化、一致化，可从基础设备的学习顺利过渡。

教学 + 竞赛设计 本智能服务机器人可作为物联网教学的实训设备，同时可以参加中国机器人大赛助老组竞赛。

分层式控制结构设计 自上而下分为应用层、通信层、感控层。

第 2 章 IO 输入输出

2.1 指 示 灯

在机器人运行状态下，指示灯的作用就是实时监控机器人的状态，它可以及时地反应机器人的工作是否正常，是否按照控制指令工作。

2.1.1 指示灯的工作原理

机器人使用发光二极管作为指示灯，指示灯通过电流也非常小，通常为 20 mA 左右。指示灯接在主控板上，而主控板的主控芯片是 ATmega128 单片机。现在就以这款单片机为例，讲解指示灯的工作原理。

在 Atmega128 单片机中，有 53 个可编程的 I/O 端口，分别为 PA - PG 口。作为通用数字 I/O 使用时，所有 I/O 端口都具有真正的读 - 修改 - 写功能。这意味着用 SBI 或 CBI 指令改变某些管脚的方向（或者是端口电平、禁止/使能上拉电阻）时不会无意地改变其他管脚的方向（或者是端口电平、禁止/使能上拉电阻）。输出缓冲器具有对称的驱动能力，可以输出或吸收大电流，直接驱动 LED。

机器人上共有四个指示灯，分别接在单片机的 PA4、PA5、PA6 和 PA7 端口上，串联电阻后接地。

ATmega128 单片机的端口配置如表 2 - 1 所示。

表 2 - 1 端口引脚配置表

DDxn	PORTxn	PUD (in SFIOR)	I/O	上拉电阻	说明
0	0	X	输入	无	高阻态
0	1	0	输入	有	被外部电路拉低时将输出电流
0	1	1	输入	无	高阻态
1	0	X	输出	无	输出低电平
1	1	X	输出	无	输出高电平

具体有关 ATmega128 的端口寄存器配置，可以参考产品的数据手册。

2.1.2 指示灯示例

下面的程序介绍了机器人中指示灯的使用方法，此程序并不是机器人的源程序，而是为方便读者学习，将与指示灯相关的代码放进一个文档里。这个程序编译通过，可以直接使用。在以后章节中，还会使用类似的方法对机器人进行模块化分析。

这个程序实现的功能是让接在引脚 PA5 上的指示灯闪烁，其他指示灯的使用方法类似。

```
#define F_CPU 14745600UL
#include < avr/io. h >
#include < util/delay. h >

#define ON 1
#define OFF 0

#define PILOTLED1(a) if(a) \
                    PORTA |= (1 < <4); \
                    else \
                    PORTA &= ~(1 < <4)
#define PILOTLED2(a) if(a) \
                    PORTA |= (1 < <5); \
                    else \
                    PORTA &= ~(1 < <5)
#define PILOTLED3(a) if(a) \
                    PORTA |= (1 < <6); \
                    else \
                    PORTA &= ~(1 < <6)
#define PILOTLED4(a) if(a) \
                    PORTA |= (1 < <7); \
                    else \
```



PORTA & = ~(1 < <7)

/*

* 函数名: PORTAInit

* 描述: 初始化指示灯的端口

* 输入: 无

* 输出: 无

*/

void PORTAInit(void)

{

DDRA = 0XF0;

}

/*

* 函数名: main

* 描述: 主函数

* 输入: 无

* 输出: 无

*/

int main(void)

{

PORTAInit();

while(1)

{

PILOTLED2(ON);

_delay_ms(100);

PILOTLED2(OFF);

_delay_ms(100);

}

}

2.2 红外触碰传感器

2.2.1 红外触碰传感器原理

利用被检测物体对红外光束的遮光或反射，由同步回路选通而检测物体的有无，其物体不限于金属，对所有能反射光线的物体均可检测。根据检测方式的不同，红外线光电开关可分为以下 5 种。

1. 漫反射式光电开关

漫反射式光电开关是一种集发射器和接收器于一体的传感器，当有被检测物体经过时，将光电开关发射器发射的足够量的光线反射到接收器，于是光电开关就产生了开关信号。当被检测物体的表面光亮或其反光率极高时，漫反射式光电开关是首选的检测模式。

2. 镜反射式光电开关

镜反射式光电开关亦是集发射器和接收器于一体，光电开关发射器发出的光线经过反射镜，反射回接收器，当被检测物体经过且完全阻断光线时，光电开关就产生了检测开关信号。

3. 对射式光电开关

对射式光电开关包含在结构上相互分离且光轴相对放置的发射器和接收器，发射器发出的光线直接进入接收器。当被检测物体经过发射器和接收器之间且阻断光线时，光电开关就产生了开关信号。当检测物体不透明时，对射式光电开关是最可靠的检测模式。

4. 槽式光电开关

槽式光电开关通常是标准的 U 字形结构，其发射器和接收器分别位于 U 形槽的两边，并形成一光轴，当被检测物体经过 U 形槽且阻断光轴时，光电开关就产生了检测到的开关量信号。槽式光电开关比较安全可靠，适合检测高速变化，分辨透明与半透明物体。

5. 光纤式光电开关

光纤式光电开关采用塑料或玻璃光纤传感器来引导光线，以实现被检测物体不在相近区域的检测。

机器人在驱动层上连接了 4 个红外触碰传感器，这 4 个红外触碰传感器属



于对射式光电开关，它们直接和驱动板连接。这4个红外触碰传感器其中一个或一个以上被触发时，驱动器控制电机停止运动，并发给主控板一个信号。

2.2.2 红外触碰传感器示例

下面的程序介绍了机器人中红外触碰开关的使用方法，此程序并不是机器人的源程序，而是为方便读者学习，将与指示灯和红外触碰传感器相关的代码放进一个文档里。这个程序编译已经通过，可以直接使用。在以后章节中，还会使用类似的方法对机器人进行模块化分析。

这个程序实现的功能是当有红外触碰传感器被触发时，对应的指示灯变亮，4个红外触碰传感器对应4个指示灯，分别接在管脚 PA4, PA5, PA6, PA7。

```
#define F_CPU 14745600UL
#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>

#define ON 1
#define OFF 0

#define PILOTLED1(a)if(a)\
                    PORTA |= (1 << 4); \
                    else \
                    PORTA &= ~(1 << 4)
#define PILOTLED2(a)if(a)\
                    PORTA |= (1 << 5); \
                    else \
                    PORTA &= ~(1 << 5)
#define PILOTLED3(a)if(a)\
                    PORTA |= (1 << 6); \
                    else \
                    PORTA &= ~(1 << 6)
#define PILOTLED4(a)if(a)\
                    PORTA |= (1 << 7); \
```



```
else\  
    PORTA &= ~(1 << 7)  
#define SENSORIR1 ( PINA&0X01 )  
#define SENSORIR2 ( PINA&0X02 )  
#define SENSORIR3 ( PINA&0X04 )  
#define SENSORIR4 ( PINA&0X08 )  
/*  
 * 函数名:PORTAInit  
 * 描述:初始化指示灯和红外触碰传感器的端口  
 * 输入:无  
 * 输出:无  
 */  
void PORTAInit( void )  
{  
    DDRA = 0XF0;  
}  
/*  
 * 函数名:main  
 * 描述:主函数  
 * 输入:无  
 * 输出:无  
 */  
int main( void )  
{  
    PORTAInit( );  
    while( 1 )  
    {  
        if( SENSORIR1 )  
        {  
            PILOTLED1( ON );  
        }  
    }  
}
```