



工作导向创新实践教材

智能传感器应用项目教程

——基于教育机器人的设计与实现

校企合作的经典体现

秦志强 李昌帅 许国璋 编著

▶▶ 能力在此突变，要突变你就来学传感器



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

工作导向创新实践教材

智能传感器应用项目教程

——基于教育机器人的设计与实现

秦志强 李昌帅 许国璋 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书基于智能传感器在教育机器人中的应用而循序渐进地展开,重点介绍了智能传感器应用于教育机器人所需的硬件集成和软件编程技术。全书共9章,从应用最简单的QTI传感器开发线跟踪机器人,到利用加速度传感器、RF射频通信模块组合开发较复杂的远程遥控机器人,详细介绍了QTI传感器、超声波传感器、数字编码器、双轴加速度传感器、三轴加速度传感器、温湿度传感器、颜色传感器和视觉传感器等8种典型智能传感器和RF射频通信模块在教育机器人上的应用和软件开发技术,并穿插了相应传感器原理的介绍。本书每一章都按照项目方式展开,从项目目标、项目背景,到最后的项目实现,逐步强化读者对单片机、传感器和C语言的综合应用创新能力。

本书可作为单片机和C语言程序设计的后续教材和参考书,也可作为工程训练、电子制作的实践教材和参考书,适合本科院校和高职院校学生及广大希望从事嵌入式系统设计的读者学习使用。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

智能传感器应用项目教程:基于教育机器人的设计与实现/秦志强编著. —北京:电子工业出版社,2010.9
工作导向创新实践教材

ISBN 978-7-121-11799-2

I. ①智… II. ①秦… III. ①智能传感器—高等学校—教材 IV. ①TP212.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第176313号

策划编辑:田领红

责任编辑:田领红

印 刷:北京市顺义兴华印刷厂

装 订:三河市双峰印刷装订有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本:787×980 1/16 印张:9.5 字数:207千字

印 次:2010年9月第1次印刷

印 数:4000册 定价:23.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前 言

本书可作为本科和高职院校工程类专业二年级及以上学生学习单片机技术、传感器技术、嵌入式技术和人工智能技术的主导教材或辅助教材,还可供其他希望自学嵌入式智能控制技术的中级爱好者使用。本书作为工作导向创新教材体系中的提高级教材,使用者在使用本书前必须已经学习过《C51 单片机应用与 C 语言程序设计——基于机器人工程对象的项目实践》(第 2 版),或者已经掌握了相关的基础知识和基础技能。

本书作为工作导向创新教材体系的分枝保持了教育创新秉承的学以致用、活学活用的理念,以任务、项目为驱动,以机器人对象为载体,将传感器引入到各种智能机器人制作任务中,将传统的传感器教学中先理论、后实践的模式改革为工程主导模式。所谓工程主导模式就是:先有工程项目背景,然后引入理论的解释和实践的验证,最后在完成工程项目的同时完成相关专业理论的学习。为此,本书将以丰富机器人自主能力为主线设计一系列的工程任务,结合 QTI 传感器、超声波传感器、数字编码器、双轴加速度传感器、三轴加速度传感器、温湿度传感器、颜色传感器和视觉传感器等 8 种传感器和 RF 通信模块,将机器人独立行走、智能避障、环境识别、自身定位姿态识别和远程遥控等功能设计成为一个个传感器应用项目,将机器人功能实现、传感器原理和应用、人工智能程序的开发等一系列综合的工程技能整合到相关的应用项目中,真正体现了理论联系实践、科学主导工程的学习模式。

读者在使用本书时,必须结合龙人宝贝机器人和相应的传感器进行创新制作和学习,才能达到最好的效果。书中提供的代码和例程不一定是最优的,读者完全可以在理解和掌握后写出更好的程序。另外,按照实践、归纳、推理、再实践的认识论模式,读者可以将书中的 8 种传感器和 RF 通信模块等,参照第 9 章的模式,进行两两组合,甚至三三组合,这样又可以获得大量的创新项目。而且这些创新项目的实现将进一步提升读者的分析和综合能力,提高就业竞争力和自主创新能力。

由于时间紧迫和水平所限,书中定有不妥之处,请读者不吝赐教,多提宝贵意见。所有关于本书的反馈意见可以直接登录 www.szopen.cn 网站上留言,也可以直接发送邮件到 open@szopen.cn 邮箱。

编者

目 录

第1章 线跟踪机器人——QTI 传感器应用项目	(1)
任务1 认识 QTI 传感器	(1)
任务2 认识 QTI 传感器引脚接口	(2)
任务3 安装 QTI 传感器	(2)
任务4 编写 QTI 传感器的测试程序	(4)
任务5 编写应用程序——实现机器人线跟踪前进	(5)
第2章 巡航测距机器人——超声波传感器应用项目	(10)
任务1 认识超声波传感器	(10)
任务2 认识超声波传感器通信接口	(12)
任务3 编写应用程序——读取和显示距离	(13)
任务4 编写应用程序——实现机器人巡航	(16)
第3章 机器人的运动监控——数字编码器应用项目	(21)
任务1 认识数字编码器	(22)
任务2 安装并测试数字编码器套件	(23)
任务3 编写程序，让两轮机器人按照设定的轨道行走	(27)
任务4 编写程序，测量机器人的速度并用 LCD 显示	(34)
第4章 跷跷板机器人——双轴加速度传感器应用项目	(39)
任务1 认识双轴加速度传感器	(39)
任务2 认识双轴加速度传感器的接口	(40)
任务3 编写双轴加速度传感器驱动程序	(42)
任务4 编写应用程序——在串口调试助手窗口显示加速度和角度	(45)
任务5 编写应用程序——机器人走跷跷板	(47)
第5章 地面倾角检测机器人——三轴加速度传感器应用项目	(52)
任务1 认识三轴加速度传感器	(53)
任务2 认识加速度传感器通信接口和协议	(54)
任务3 编写三轴加速度传感器驱动程序	(56)
任务4 编写应用程序——读取倾角并显示到串口调试窗口	(64)
任务5 用 LCD 来实时显示角度	(66)

第 6 章 温湿度检测机器人——Sensirion 温湿度传感器应用项目	(70)
任务 1 认识 Sensirion 温湿度传感器	(71)
任务 2 认识 Sensirion 温湿度传感器通信接口	(73)
任务 3 编写应用程序——读取和发送数据	(74)
第 7 章 色彩导航机器人——颜色传感器应用项目	(84)
任务 1 认识颜色传感器	(84)
任务 2 认识颜色传感器结构和通信接口	(86)
任务 3 编写颜色传感器的测试程序	(88)
任务 4 编写应用程序——色彩导航	(92)
第 8 章 视觉导航机器人——摄像头传感器应用项目	(101)
任务 1 认识 CMUcam 视觉传感器	(102)
任务 2 使用 CMUcam 摄像头调试工具调试摄像头	(103)
任务 3 编写程序, 控制摄像头状态指示灯	(109)
任务 4 利用视觉传感器导航	(110)
第 9 章 远程遥感机器人——无线通信与加速度传感器综合应用项目	(116)
任务 1 认识 RF 无线收发模块	(116)
任务 2 连接 RF 到控制板的 C51 芯片, 并测试	(118)
任务 3 基于通信协议的无线通信	(121)
任务 4 结合双轴加速度传感器制作遥控机器人	(129)
附录 本书所使用的智能传感器套件清单	(143)



第1章 线跟踪机器人——QTI 传感器应用项目



项目目标

利用 QTI 传感器和两轮教育机器人，设计一个可以跟踪地面上黑线前进的机器人。黑线可以是直线或者任意曲线。



项目背景

在现代化的工厂里，经常可以看到一种自动化程度很高的小车——无人搬运车（Automated Guided Vehicle，简称 AGV），它们能在生产车间内往复穿梭搬运原料，不需要驾驶员的操作便可以按规定的路径行驶。

工业应用中的 AGV 一般利用电磁或光学的设备依循地上的电磁轨道等给出的信息来移动，我们现在可以利用手中的两轮机器人加上 QTI 传感器来制作一个简单的 AGV——线跟踪机器人。本项目主要包含以下几个子任务。

- （1）认识 QTI 传感器。
- （2）认识 QTI 传感器通信接口。
- （3）安装 QTI 传感器到两轮机器人上。
- （4）编写 QTI 传感器测试程序。
- （5）编写程序，实现机器人线跟踪前进。

任务1 认识 QTI 传感器

本项目使用的 QTI (Quick Track Infrared) 传感器如图 1-1 所示。QTI 传感器是一种使用光电接收管来探测它所面对的表面反射光强度的传感器。当 QTI 传感器面对一个很暗的表面时，反射光强度很低，面对一个很亮的表面上时，反射光强度很高，不同强度的反射光导致传感器输出不同，即探测到不同颜色的物体输出不同的电平信号。这里所用的 QTI 传感器探测到黑色物体时输出高电平（+5V），探测到白色物体输出低电平（0V）。



图 1-1 QTI 传感器实物图



QTI 传感器的特性使其很适合用在巡线、迷宫导航、探测场地边缘等应用项目中。

本项目所用 QTI 边线检测传感器的性能参数罗列如下。

- ① 工作温度：-40℃~85℃；
- ② 工作电压：5V；
- ③ 连续电流：50mA；
- ④ 功耗：100mW；
- ⑤ 最佳探测距离：10cm；
- ⑥ 最佳距离下最大散射角度：65°；
- ⑦ 响应时间：上升沿时间 10 μs，下降沿时间 50 μs。

任务 2 认识 QTI 传感器引脚接口

QTI 传感器的引脚如图 1-2 所示，将传感器上的光电管面对你摆放的时候，从上到下三个引脚依次为：GND、SIG、VCC，具体定义如下。

- ① GND：电源地线；
- ② SIG：信号输出；
- ③ VCC：5V 直流电源。

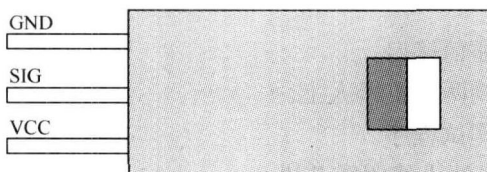


图 1-2 QTI 传感器接口

任务 3 安装 QTI 传感器

本项目使用的 QTI 巡线套件中包含 4 组 QTI 传感器，要使两轮机器人完成线跟踪功能，最少需要使用两组，当然也可以使用三组或者四组，甚至更多。使用不同数目的 QTI 传感器可以获得不同性能的线跟踪功能。这里以使用 3 个 QTI 传感器为例，将其安装到龙人宝贝两轮教育机器人上，安装方式如图 1-3 所示。当然也可使用 4 个 QTI 传感器，安装方法类似。

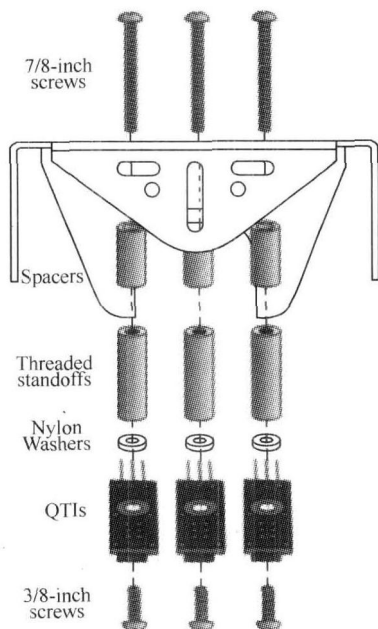
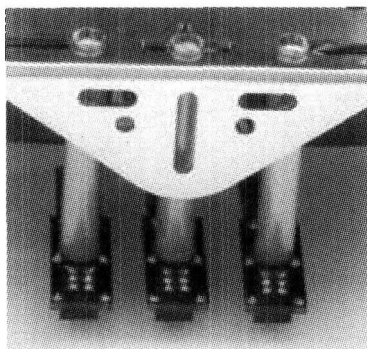


图 1-3 QTI 传感器安装到两轮机器人的示意图

这里以 3 个 QTI 传感器为例，用螺丝固定好 QTI 传感器后，如图 1-4 所示。然后我们再用套件中附带的 3PIN 杜邦线将 QTI 的引脚连接到机器人的面包板上，将所有 QTI 传感器的 GND 连接至控制板上的 GND，VCC 连接到控制板上的 +5V，然后将 SIG 连接到 C51 单片机的 3 个 IO 口上，如图 1-4 所示，这里按照面对机器人从左到右的顺序，分别连接到 P2_1、P2_2、P2_3。连接好的两轮机器人如图 1-5 所示。



P2_1 P2_2 P2_3

图 1-4 安装好的 QTI 传感器



(增加一个照片)

图 1-5 QTI 传感器输出接口与 C51/AVR 单片机教学板的连接

任务 4 编写 QTI 传感器的测试程序

连接好电路以后,接下来我们要写一个测试程序,以检查各个 QTI 传感器是否连接正确,确保其正常工作。该程序可完成如下功能。

- ① 读取每个 QTI 传感器信号脚的电平高低。
- ② 将读取的结果通过串口送到 PC 显示。

测试程序: TestQTI.c

```
#include <Boeobot.h>           //宝贝车的标准头文件
#include <uart.h>               //串口的头文件

int P2_1_state(void)           //获取 P2_1 状态
{
    return (P2&0x02)?1:0;
}

int P2_2_state(void)           //获取 P2_2 状态
{
    return (P2&0x04)?1:0;
}

int P2_3_state(void)           //获取 P2_3 状态
{
    return (P2&0x08)?1:0;
}

int main(void)
{
    uart_Init();               //串口初始化
    printf("Program Running!\n"); //在调试窗口显示一条信息

    while(1)
    {
        printf("QTIL= %d ",P2_3_state());
        printf("QTIM= %d ",P2_2_state());
```



```
printf("QTIR= %d\n",P2_1_state());
delay_nms(500);
}
}
```

TestQTI.c 是如何工作的呢?

程序首先进行串口初始化,然后将 P2_3、P2_2、P2_1 三个 IO 口的状态送入串口,这里的左中右是按照机器人本身的方向确定的。此时我们若已经将机器人和 PC 的串口连接,打开串口调试工具,便可以在软件界面看到如图 1-6 的画面。



图 1-6 PC 串口调试界面图

用来做轨迹引导小车的线,必须足够的黑,以便能吸收传感器发出的红外光,推荐使用黑色电工胶布。首先用黑色电工胶布在浅色的桌面上贴出一条黑线,然后将小车放在桌面上,依次让各个 QTI 传感器处于黑色电工胶布的上方,观察串口调试工具中显示的状态有没有 0、1 的变化。当某个 QTI 传感器其处于桌面上时为 0,处于黑线上时为 1,则该 QTI 正常。若显示始终不变化的,检查该 QTI 的接线是否正确或者该 QTI 传感器是否有问题。

当确定所有 QTI 正常工作以后,便可以继续进行后续的任务了。

任务 5 编写应用程序——实现机器人线跟踪前进

实现线跟踪前进的程序例程如下。

例程: ThreeQTI.c



```
#include <AT89X52.h>
#include <stdio.h>
#include <BoeBot.h>

#define uint unsigned int
#define uchar unsigned char

uchar QTISate ;

void Time1_init(void)
{
    EA = 1;                //硬件串口使用定时器 1，供 AT89S52 与 PC 机通信使用
    TMOD |= 0x20;          //定时器 1 方式 2.8 位自动重装模式
    SCON = 0x50;           //模式 1，8 位数据
    TH1 = 0xFD;            //波特率为 9600
    TL1 = 0xFD;
    TR1 = 1;               //启动定时器
    TI = 1;
}

void Forward(void)         //向前行走子程序
{
    P1_1=1;
    delay_nus(1700);
    P1_1=0;
    P1_0=1;
    delay_nus(1300);
    P1_0=0;
    delay_nms(20);
}

void Pivot_Left(void)      //以左轮为支点左转
{
    P1_1=1;
    delay_nus(1500);
    P1_1=0;
    P1_0=1;
    delay_nus(1350);
    P1_0=0;
    delay_nms(20);
}
```



```
void Pivot_Right(void)           //以右轮为支点右转
```

```
{
    P1_1=1;
    delay_nus(1650);
    P1_1=0;
    P1_0=1;
    delay_nus(1500);
    P1_0=0;
    delay_nms(20);
}
```

```
void Rotate_Left(void)          //向左旋转
```

```
{
    P1_1=1;
    delay_nus(1350);
    P1_1=0;
    P1_0=1;
    delay_nus(1350);
    P1_0=0;
    delay_nms(20);
}
```

```
void Rotate_Right(void)         //向右旋转
```

```
{
    P1_1=1;
    delay_nus(1650);
    P1_1=0;
    P1_0=1;
    delay_nus(1650);
    P1_0=0;
    delay_nms(20);
}
```

```
void Get_QTI_State(void)
```

```
{
    QTISate = P2&0x0e;
}
```

```
void Follow_Line(void)
```



```
{
    Get_QTI_State();
    switch(QTIState)
    {
        case 0x04 : Forward();
                    break;
        case 0x0c : Pivot_Left();
                    break;
        case 0x08 : Rotate_Left();
                    break;
        case 0x06 : Pivot_Right();
                    break;
        case 0x02 : Rotate_Right();
                    break;
        default : Forward();
                 break;
    }
}

void main(void)
{
    Time1_init();
    printf("program run ok!");

    while(1)
    {
        Follow_Line();
    }
}
```

ThreeQTI.c 是如何工作的呢？

子函数 `Get_QTI_State ()` 实现了获取 3 个 QTI 状态的功能：将 P2 口状态与 0x0e 做与运算，选择 P2_3、P2_2、P2_1 三位，将其他位置零，得到一个 8 位 2 进制数。此数反映了机器人与黑线的相对位置状态。

子函数 `Follow_Line ()` 依据上述所得的 8 位 2 进制数判断机器人的动作策略，决定前进还是转弯。

若使用 3 个 QTI 传感器，则可以使用如表 1-1 的策略；若使用 4 个 QTI 传感器，则使用如表 1-2 的策略。



表 1-1 使用 3 个 QTI 传感器的策略表

P2_3	P2_2	P2_1	策 略
1	0	0	向左旋转
1	1	0	小幅度左转
0	1	0	前进
0	1	1	小幅度右转
0	0	1	向右旋转
其他			前进

表 1-2 使用 4 个 QTI 传感器的策略表

P2_4	P2_3	P2_2	P2_1	策 略
1	0	0	0	向左旋转
1	1	0	0	小幅度左转
0	1	0	0	前进
0	1	1	0	
0	0	1	0	
0	0	1	1	小幅度右转
0	0	0	1	向右旋转
其他				前进

如果将 QTI 的输出数据在 LCD 上显示出来,就可以脱离上位机直接观察测量结果,这样在调试时就更方便。该任务使用 LCD 显示 QTI 传感器的状态,并实现机器人线跟踪前进。

LCD 只能显示字符,要显示数据需要将数据的每一位转换成字符。C 语言的输入输出流头文件 `stdio.h` 里面申明了一个函数: `sprintf(char *, const char *, ...)`, 它可以完成这一功能。结合《C51 单片机应用与 C 语言程序设计》(第 2 版)的相关章节和两轮机器人所配套的 LCD 模块完成带 LCD 显示功能的线跟踪机器人,是本章的拓展任务之一。



任务拓展

- (1) 设计一个线跟踪机器人可以沿着一根黑线来回往复行走,而不用掉头。
- (2) 示例应用程序中的代码比较啰嗦,请对其优化和精简,并使行走的效果更连贯。



第2章 巡航测距机器人——超声波 传感器应用项目



项目目标

利用超声波传感器和两轮教育机器人，设计一种能检测距离的机器人，它能够实时检测机器人与障碍物之间的距离，并以此决定后续的动作，使机器人在一定的空间内漫游而不会碰到障碍物。



项目背景

超声波传感器可向前方空间发射和接收超声波信号，其测距原理便是通过发射与接收到信号的时间差来计算传感器与被测物体的距离。这是一种非接触式测量传感器，因此常被用于一些不能与被测物体接触的场合，例如汽车倒车、建筑施工工地以及一些工业现场的物料位置监控场合，还有如液位、井深、管道长度的测量等场合。

由于其非接触和精度高等优点，超声波传感器在工业中被大量使用。这个项目将在 C51 教育机器人上使用超声波传感器来测量障碍物离机器人的距离，并依次决定机器人该采取的动作。本项目主要包括以下几个子任务。

- (1) 认识超声波传感器。
- (2) 认识超声波传感器通信接口。
- (3) 编写超声波测距程序。
- (4) 编写机器人巡航程序。

任务1 认识超声波传感器

本项目使用的超声波传感器如图 2-1 所示，它有一个发射头和一个接收头。其测距的工作原理是：超声波发射头向前方空间内发射超声波信号，遇到障碍物后返回，当接收头检测到返回的超声波信号时，使信号脚输出为低电平，如图 2-2 所示。超声波传感器的具体工作时序如图 2-3 所示。

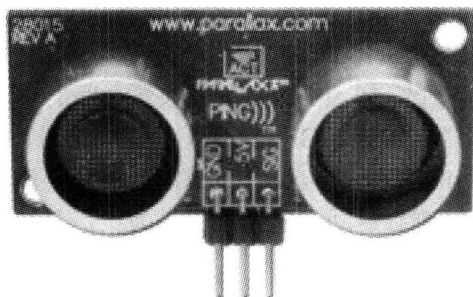


图 2-1 本项目使用的超声波传感器

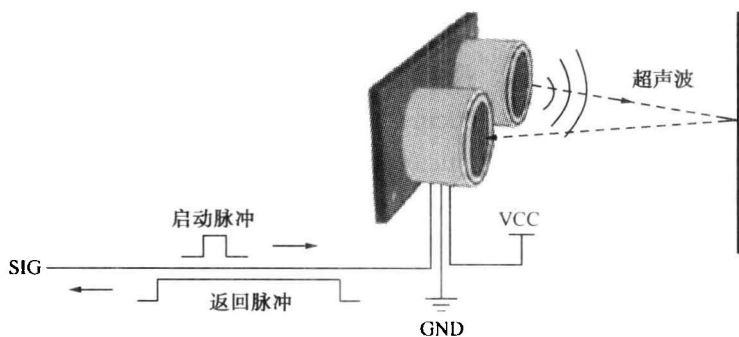


图 2-2 超声波测距原理图

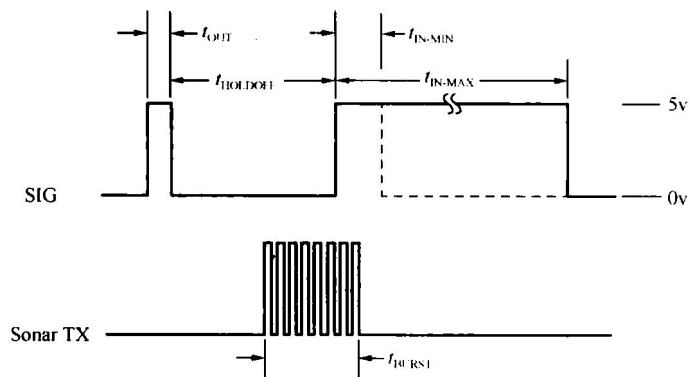


图 2-3 超声波工作时序图

其中：

t_{OUT} ——启动信号脉冲长度，最小值为 $2\mu s$ ，典型值为 $5\mu s$ ；

$t_{HOLDOFF}$ —— $750\mu s$ ；