

基于多传感器的智能小车避障系统设计

顾志华, 戈惠梅, 徐晓慧, 廉美琳, 张金龙

(南京师范大学电气与自动化工程学院, 江苏 南京 210042)

[摘要] 针对智能小车存在的避障缺陷,设计了一种超声波单点避障与红外双路交叉避障相结合的全方位避障系统,系统以 Arduino 为主控单元,以 Linux 为开发平台,通过多传感器数据的采集融合、经由计算机算法控制,可实现全方位自动避障.系统硬件采用多模块协调配合,可使系统具有较高的自适应能力.实验结果表明,设计的全方位避障系统较大地提高了避障的效率和成功率,可有效地实现全方位避障.

[关键词] Arduino,传感器,智能小车,避障系统

[中图分类号] TP242.6 [文献标志码] A [文章编号] 1672-1292(2014)01-0012-06

Design of an Avoidance System on the Intelligent Vehicle Based on Multi-Sensors

Gu Zhihua, Ge Huimei, Xu Xiaohui, Lian Meilin, Zhang Jinlong

(School of Electrical and Automation Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing 210042, China)

Abstract: In view of the existing difficulties in avoiding obstacle, an all-dimensional obstacle avoidance system is proposed. This system combines the ultrasonic obstacle avoidance at a single point with the infrared detection based on the double cross obstacle avoidance, with the Arduino as the main control unit in the system and Linux as the development platform. The data are collected by multiple sensors, and the intelligent vehicle is controlled by the computer to realize the all-dimensional obstacle avoidance. Multi-module coordination is used in the hardware system with higher adaptive capacity. The experimental result shows the designed system can greatly enhance the efficiency of obstacle avoidance and its success rate, and effectively realize the all-dimensional obstacle avoidance.

Key words: Arduino, sensor, intelligent vehicle, avoidance system

机器人从最初的示范模仿机器人到现在的具有感知功能的智能机器人,在技术上取得了很大的进步^[1].智能车作为一种四轮驱动的感知机器人,它行动灵活、操作方便,车体上可集成各种精密传感器数据处理模块,其避障功能保证了智能小车在行进过程中行进方向的自动调节,避免发生碰撞,是智能小车的重要组成部分^[2-6].目前,智能小车大多采用单面避障方法,但单面避障存在着障碍物探测困难、避障成功率低等缺陷^[7-9].据此,本文设计了一种智能小车全方位避障系统,采用超声波单点避障与红外双路交叉避障相结合的模式,系统以 Arduino 为主控单元,以 Linux 为开发平台,通过超声波传感器和红外传感器采集的数据、经由 Arduino 程序控制,可实现多面探测与全方位自动避障,有效提高了避障的效率和成功率.

1 工作原理

1.1 智能小车运动模型

小车采用四轮驱动方式,由左右两个电机控制,其中左侧电机控制左侧两轮,右侧电机控制右侧两轮,每个电机都经过变速齿轮与轴相连,从而控制相应一侧前后轮的转动,小车运动学模型如图 1 所示.

设轮子处于理想滚动状态,在某一时刻,设小车的中心坐标点为点 O ,经过 Δt 时间后,小车的中心点

收稿日期:2013-09-24.
基金项目:江苏省自然科学基金(2009406).
通讯联系人:张金龙,博士,教授,研究方向:自动化检测与控制技术. E-mail:ZJL0310@163.com

运动到点 O' , 偏转角度为 θ , 左轮的线速度为 V_1 , 右轮的线速度为 V_2 , R 为中心瞬时曲率半径, L 为小车左右两轮间距离, 则左轮瞬时曲率半径为 $R+L/2$, 右轮瞬时曲率半径为 $R-L/2$; 车轮转动角速度为 ω , 所以小车左右两轮车速可表示为:

$$V_1 = \omega(R+L/2), \quad (1)$$

$$V_2 = \omega(R-L/2), \quad (2)$$

式中, ω 为车轮转动角速度.

由式(1)、(2), 可得车轮转动角速度 ω 为:

$$\omega = (V_1 - V_2)/L. \quad (3)$$

由式(3)可得车体中心点速度 V_c 为:

$$V_c = \omega R = (V_1 - V_2)R/L, \quad (4)$$

同时, 车体中心点速度 V_c 为:

$$V_c = (V_1 + V_2)/2. \quad (5)$$

由式(4)、(5)中心瞬时曲率半径 R 为:

$$R = (V_1 + V_2)L/2(V_1 - V_2). \quad (6)$$

由式(6)可见: 当左右轮速度相等时, 方向相同, 旋转半径趋于无穷大, 可以看作直线运动; 当左右轮速度相等, 方向相反时, 半径为 0, 小车原地旋转; 当左轮速度与右轮速度不等时, 小车绕两轮中心线上某点旋转.

小车运动时, 假设其运动时间非常短, 即可认为小车线速度和旋转角速度就是一个常数, 可以得出:

$$\dot{x} = V_c \cos \theta, \quad (7)$$

$$\dot{y} = V_c \sin \theta, \quad (8)$$

$$\dot{\theta} = \omega. \quad (9)$$

系统的约束方程为:

$$\dot{x} \sin \theta - \dot{y} \cos \theta = 0. \quad (10)$$

由式(7)至(10)可见: 小车运动瞬时速度的方向始终与其车体朝向相同. 因为两个轮子的差速可以改变小车行驶方向, 所以可认为智能小车的运动轨迹是由绕瞬时圆心旋转的一系列小圆弧所组成的, 合理规划机器人左右两轮速度就可以驱动机器人行走不同曲率的曲线.

1.2 避障的实现

基于上述原理, 设计如图 2 所示的避障系统, 该系统采用超声波单点避障与红外双路交叉避障相结合的模式, 以实现障碍物的全方位有效避障. 为此, 在智能小车的前端设置左右两个红外避障传感器, 它们交叉探测小车前面障碍物, 有效扩大了探测范围, 从而实现双面避障. 为防止小车撞击正前方, 两个红外传感器中间设置一个超声波传感器.

小车行进时, 当超声波传感器检测到障碍物时, 小车默认向左侧转向, 当只有一侧红外传感器检测到障碍物时, 小车向没有障碍物另一侧转向; 转向后当所有传感器均不再检测到障碍物时, 小车恢复直行.

当两个传感器检测到障碍物时, 小车向未检测到障碍物方向转向. 当 3 个传感器均检测到障碍物时, 即小车遇到墙角或前方大片障碍物, 此时小车切换到急转弯模式, 小车默认原地左转, 若在急转弯中, 传感器均不再检测到障碍物, 则说明障碍物已转到小车右侧, 小车切换到前进模式, 恢复直行.

2 避障系统硬件设计

避障系统利用多模块协调配合, 使其具有较高自适应能力, 系统整体模块框图如图 3 所示, 其总体模块包括: 电源模块、超声波传感模块、红外传感模块、电机驱动模块、核心控制模块等. 在智能小车前进过程

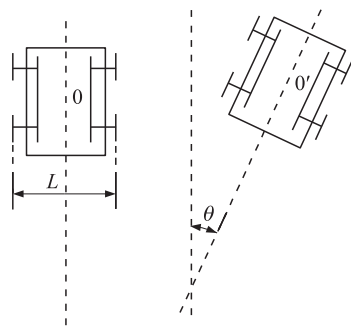


图 1 小车运动模型

Fig. 1 Motion model of the intelligent vehicle

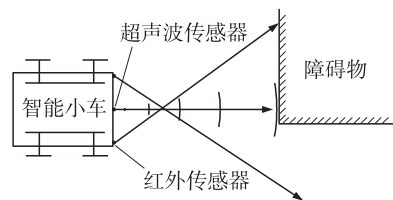


图 2 避障的实现

Fig. 2 Implementation of obstacle avoidance

中,传感器模块不断探测周边障碍物距离. 当障碍物影响小车行进时,传感器将测得数据返回给核心控制模块,控制模块通过内置的程序设定进行转向以避免障碍物,从而实现小车避障. 系统整体模块框图如图 3 所示.

2.1 核心控制模块

核心控制模块采用 Arduino yun 控制芯片,芯片的核心是 ATmega32u4 单片机,且自带嵌入式 Linux 机,此外,还包括以下几个部分:一个 9 V DC 输入,一个 USB 接口,14 个数字 I/O 口,6 个模拟 I/O 口,1 个 5 V DC 输出和一个 3.3 V DC 输出.

采用 Arduino yun 作为智能小车的微控制器,Arduino yun 中自带 linux 系统,节省了外围器件的设计,并且可实现与上位机间的 wifi 通信,在特殊情况下使上位机可直接控制智能小车动作.

2.2 电机模块

小车采用双直流电机驱动方式,通过控制左右直流电机来控制小车的前进、后退或左右转向,电机模块如图 4 所示,直流电机采用直流电机驱动芯片 L298N. 双路全桥电机驱动芯片 L298 的最大输出电流为 4 A,具有过温保护功能和较高的噪声抑制比. 2 路输出正好可以满足小车的左右直流电机的驱动要求. 通过对 L298N 3 个输入口的电平输入可控制电机的运转状态,电机工作状态如表 1 所示.

表 1 直流电机工作状态
Table 1 DC motor operating status

ENA	IN1	IN2	运转状态
0	X	X	停止
1	1	0	正转
1	0	1	反转
1	1	1	刹停
1	0	0	停止

由于芯片 L298N 并不提供对电机转速的控制方式,因此,通过 Arduino 控制板调节驱动电机的 PWM 信号,改变电机输出功率,从而控制左右电机的转速.

电机运行时,当从运转状态突然转换到停止状态,或从顺时针状态突然转换到逆时针状态时,会形成很大的反向电流,为此在电路中加入二极管保护电路,如图 4 所示,当产生反向电流时,通过二极管进行泄流,以保护芯片的安全.

2.3 超声波模块

超声波模块由发射电路和接收电路组成,如图 5 所示. 发射电路由 Em78p153 单片机、MAX232 及超声波发射头 T40 等组成,探测时,发送器将陶瓷振子的电振动能量转换成超声波能量,并向空中辐射. 接收器接收超声波产生机械振动,并将其转换成电能,作为传感器接收器的输出,从而对发送的超声波进行检测. 接收电路由 TL074 运算放大器及超声波接收器 R40 等组成.

超声波检测时,模块自动发送 8 个 40 kHz 的方波电平,并自动检测是否有信号返回. 一旦检测到有信号返回,则再次输出超声波信号,并通过 I/O 口输出一高电平,高电平持续时间就是第 2 个超声波从发射到返回的时间 t . 由此可以求出声波发射器与障碍物之间的距离 L ,其关系为^[10]:

$$L=C \cdot t/2,$$
(11)

式中, C 为超声波在空气中的传播速度.

2.4 红外传感模块

红外测距模块采用夏普 GP2Y0A02YK0F 模块,红外测距其优点是无盲区、测量精度高、反应速度快、方向性强,但其缺点受环境影响较大、探测距离较近. 因此本文设计了基于多传感器信息融合的智能小车

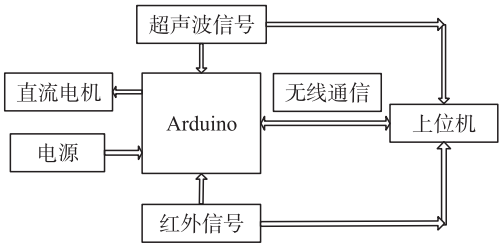


图 3 系统框图
Fig.3 System block diagram

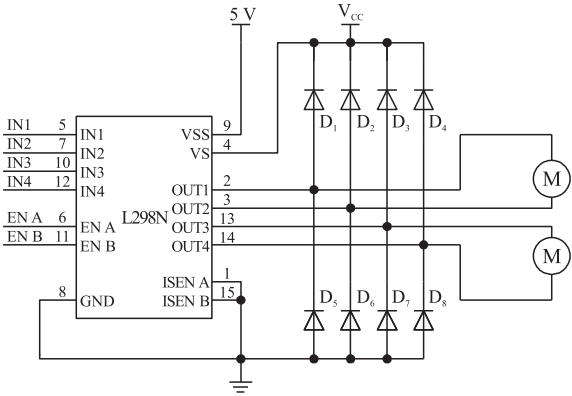


图 4 电机模块
Fig.4 Motor module

避障系统,采用红外传感器与超声波传感器互补,使机器人具有精确的感测范围.

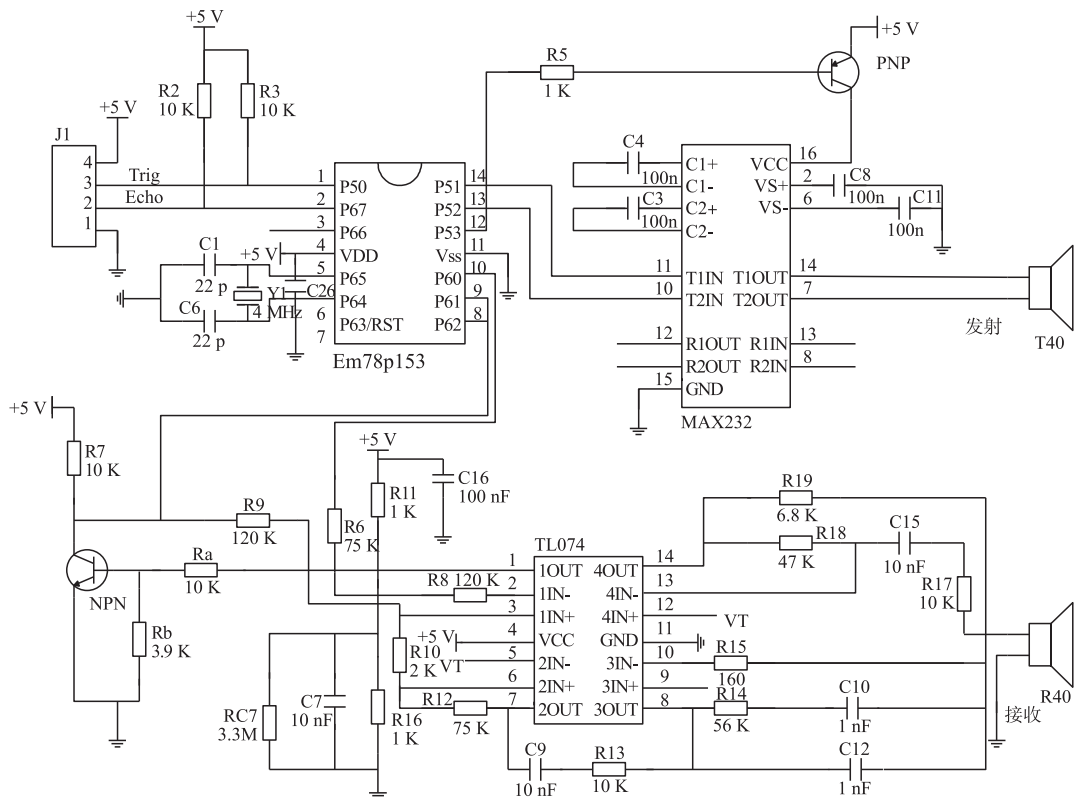


图 5 超声波传感器
Fig. 5 Ultrasonic sensor

3 避障算法分析

3.1 全方位避障系统性能分析

针对单传感器避障系统探测范围窄、反应速度慢等缺点,本文提出了多传感器协调合作方案,超声波传感器和红外传感器的配合扩大了探测范围以及灵敏性,从而避免了误撞和紧贴障碍物的危险,提高了避障几率,实现了全方位避障.

智能小车上多个传感器协调合作使小车探测范围更为广泛,反应也更加迅速. 单传感器避障系统中,传感器所测范围比较小,通常只是一个扇形的区域或仅仅是一个孤立的点,小车在遇到大范围障碍物时无法快速识别,从而无法及时迅速地避开障碍物. 而全方位避障系统探测范围比单传感器避障系统探测范围广,传感器也更灵敏,遇到大范围障碍物时可以快速识别并转向离开.

单传感器避障系统中,小车在避开障碍物后,由于传感器探测范围比较小,有时会紧贴着障碍物前进,这样容易在小车避障过程中形成一种贴墙现象,此时小车存在与障碍物碰擦的风险. 在全方位避障系统中,由于有红外模块对小车两侧进行避障,所以不会出现小车避障后贴墙行走的现象,从而优化了避障系统,提高了避障的效率与成功率.

3.2 避障算法流程设计

全方位避障小车在进行过程中,传感器不断探测小车周围的障碍物. 当探测到障碍物时,首先判断探测到障碍物的传感器数量,然后根据相应传感器数量,分别进行转向控制:单个传感器探测到障碍物时,小车远离检测到障碍物方向;两个传感器检测到障碍物时,小车向未检测到障碍物方向转向;所有传感器都检测到障碍物时,小车急速左转避开障碍物. 当小车避开障碍物后,小车继续行进. 流程图如图 6 所示.

3.3 避障小车代码

3.3.1 小车及传感器控制策略

根据以上避障原理,编写相应的程序,以实现小车的全面避障,程序主要分小车车轮电机、超声波和红外

测距 3 部分. 车轮部分由 analogWrite(speedpin) 控制车速, 由 digitalWrite(pin1) 控制小车前进、后退或转向; 超声波测距部分由 TrigPin 和 EchoPin 控制超声波的输入输出, 控制模块通过对接受到的脉冲波时间进行处理, 转化为距离参数, 从而获得具体距离 Middle_distance; 红外测距部分由控制模块通过红外传感器获得一个模拟量 analogRead(IRpin), 通过输出的模拟量可以推算出电压值 volts, 而输出电压和探测距离关系为 $distance = 65 * pow(volts, -1.10)$, 从而可获得小车与障碍物的距离.

3.3.2 主程序代码

多传感器测得数据经算法融合, 控制车轮转动, 从而实现全方位避障. 其主程序代码如下:

```
void control_direction( )
{
    int x,y,z;
    x=Left_distance(1);           //右侧红外传感器检测的左侧距离
    y=Middle_distance(1);          //左侧红外传感器检测的右侧距离
    z=Right_distance(1);           //中间超声波传感器检测的距离
    if(x<30 || y<20 || z<30)      //当三传感器中任一检测到障碍物时
    {
        if(x<30&& y>20&& z>30)   //单传感器检测到障碍物时
            {
                stop();           //右侧红外传感器检测到小车距障碍物过近小车右转
                turn_right();
            }
        ...                       //超声波传感器或左侧传感器检测到小车距障碍物过近时小车左转
    }
    else if(x<30&& y>20&& z<30)   //两个传感器检测到障碍物时
    {
        stop();
        go-straight();           //两侧传感器检测到障碍物,中间未检测到,直行
    }
    ...
    else if(x<30&& y<30&& z<20)   //三个传感器均检测到障碍物
    {
        stop();
        turn_quickleft();        //小车急速左转
    }
    else go_straight();           //无障碍物,直行
}
```

以上程序中 Left_distance(1)、Right_distance(1) 和 Middle_distance(1) 分别为左右两侧红外传感器和超声波传感器检测到距离的数值; turn_right()、turn_left()、turn_quickleft()、go_straight() 和 stop() 分别表示右转、左转、快速左转、直行和停止, 根据传感器检测到的不同情况小车做出相应动作.

4 实验研究

在对智能车进行了器件选型和确定控制算法后, 为了验证整个系统工作性能, 进行了实验验证. 实验场所选用一段有着较多不规则障碍物的平地, 障碍物为人为放置不规则障碍物, 其中包含一定数量柱状障碍物. 实验时, 智能避障小车在行进过程中不断探测前方周围是否有障碍物, 当存在障碍物时候, 判断出相应障碍物位置, 并进行相应动作. 图 7 为小车避障实验曲线, 由图可见, 当传感器发现障碍物后, 小车相应转向, 此时由于障碍物距离比较远, 所以最初的曲线震荡比较大. 小车在转向的同时, 向前移动, 与障碍物的距离逐渐减小, 当达到一定距离时, 小车避开障碍物, 此时传感器检测不到该障碍物. 当传感器

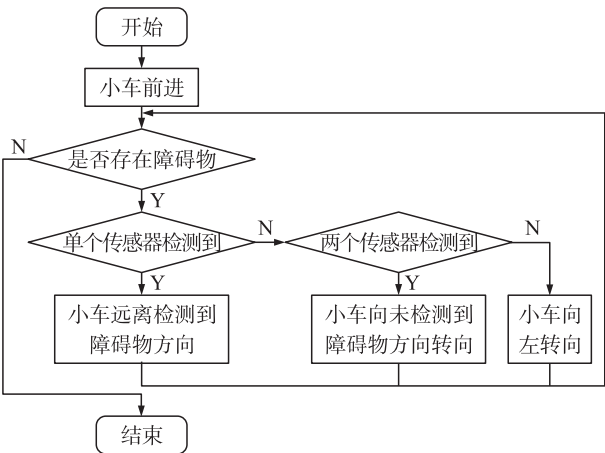


图 6 程序流程图
Fig.6 Procedure flowchart

检测到下一个障碍物时,判断出相应障碍物位置,再重复上述动作,以此循环。

为了有效验证智能小车避障成功率,通过改变障碍物形状来对小车进行性能测试,其中测试小车 50 次,并统计出单面避障和全方位避障成功通过不同障碍环境的次数,障碍环境由总数为 50 的柱状障碍物和面形障碍物组成。由图 8 可见,普通的单面避障方法有着较低的成功通过率,而本文所提出的全方位避障方法则受此影响不大,有着较高的通过率。

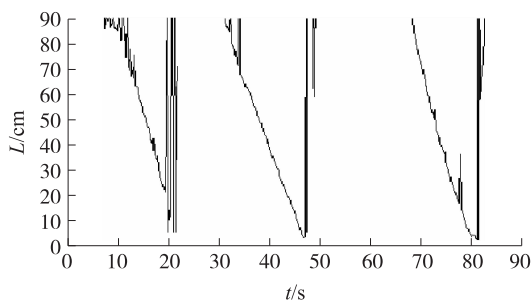


图 7 超声波避障曲线

Fig. 7 Obstacle avoidance curve

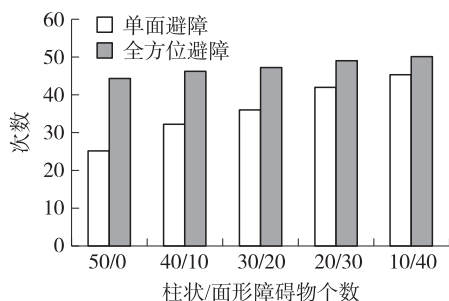


图 8 单面避障与全方位避障成功率对比

Fig. 8 The success rates comparison between obstacle avoidance in single side and all-dimensional

5 结论

设计的超声波单点避障与红外双路交叉避障相结合的全方位避障系统,以 Arduino 为主控单元,以 Linux 为开发平台,通过多传感器数据的采集、经由信息融合控制,可实现全方位自动避障,解决了单面避障存在着障碍物探测困难、避障成功率低等缺陷。实验结果表明,设计的全方位避障系统较大地提高了避障的效率和成功率,可有效地实现全方位避障。

[参考文献](References)

- [1] 杨莹. 国内外机器人研究领域的知识计量[D]. 大连:大连理工大学管理科学与工程学院,2009:24-41.
Yang Ying. Knowledge measurement in domestic and foreign robotics[D]. Dalian: Dalian University of Technology, School of Management Science and Engineering, 2009: 24-41. (in Chinese)
- [2] 崔才豪,张玉华,杨树财. 利用 Arduino 控制板的光引导运动小车设计[J]. 自动化仪表,2011,32(9):5-7.
Cui Caihao, Zhang Yuhua, Yang Shucui. Design of the light-guided car by using arduino control board[J]. Automatic Instruments, 2011, 32(9): 5-7. (in Chinese)
- [3] Wang F Y, Zeng D, Yang L. Smart cars on smart roads: an IEEE intelligent transportation systems society update[J]. Pervasive Computing, IEEE, 2006, 5(4): 68-69.
- [4] Hwang C L, Chang L J. Trajectory tracking and obstacle avoidance of car-like mobile robots in an intelligent space using mixed H_2/H_∞ decentralized control[J]. Mechatronics, IEEE/ASME Transactions on, 2007, 12(3): 345-352.
- [5] Liu Nanjun, Mao Peihong. Design and realization of simple intelligent robotic lawn mower based on Arduino Mega2560[J]. Agricultural Science and Technology, 2013, 14(1): 162-165.
- [6] Buechley L, Eisenberg M. The lilypad arduino: Toward wearable engineering for everyone[J]. Pervasive Computing, IEEE, 2008, 7(2): 12-15.
- [7] Taleb T, Benslimane A, Ben Letaief K. Toward an effective risk-conscious and collaborative vehicular collision avoidance system[J]. Vehicular Technology, IEEE Transactions on, 2010, 59(3): 1 474-1 486.
- [8] Oser J, Blemings H. Practical Arduino: Cool Projects for Open Source Hardware[M]. Berkeley: Apress, 2009.
- [9] 纪欣然. 基于 Arduino 开发环境的智能寻光小车设计[J]. 现代电子技术, 2012, 35(15): 161-163.
Ji Xinran. Design of intelligent light-seeking car based on Arduino IDE[J]. Modern Electronics Technique, 2012, 35(15): 161-163. (in Chinese)
- [10] 孙圣和. 现代传感器发展方向[J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23(1): 1-10.
Sun Shenghe. Development trend of modern sensor[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2009, 23(1): 1-10. (in Chinese)

[责任编辑:刘 健]