

新型高精度一体反射型超声波传感器测距系统研制

华亮^{1,2}, 堵俊¹, 吴晓¹

(1. 南通大学电气工程学院, 江苏南通 226019; 2. 浙江工业大学智能信息研究所, 浙江杭州 310014)

摘要:以单片机、红外遥控接收器、模拟电子开关为核心,设计了一体反射型超声波传感器测距电路,完成了感测系统软硬件设计,并进行了详细的理论和实验研究。实验结果表明:提出的设计方法结构简单、精度高、重复性好、可靠性高、成本低,具有普遍的应用意义和广泛的应用价值。该方法在移动机器人避障中得到了良好的应用。

关键词:超声波传感器;红外遥控接收器;模拟电子开关;测距

中图分类号: TP273 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-1841(2008)04-0080-04

Novel High Precision Controller Design for Integrative Ultrasonic Sensor

HUA Liang^{1,2}, DU Jun¹, WU Xiao¹

(1. School of Electrical Engineering, Nantong University, Nantong 226007, China;

2. Intelligence Information Systems Research Institute, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310032, China)

Abstract: This paper put forward a novel controller design method for integrative ultrasonic sensor using single chip processor, infrared remote receiver and analog switch. The theoretical and experimental studies of distance measurement were completed. The novel methods have the features of efficiency, explicit structure, high precision, better maintainability, repeatability, high reliability and it has broad prospect in application. Moreover this paper designed and made an obstacle avoidance system for mobile robot using integrative ultrasonic sensor controller, which provided the high precision control to the system successfully.

Key words: ultrasonic sensor; infrared remote receiver; analog switch; distance measurement

0 引言

超声波传感器是测距常用传感器之一,有以下优点:

- (1) 超声波的传播速度仅为光波的百万分之一,因此可以直接测量较近的距离,纵向分辨率较高;
- (2) 超声波对色彩、光照度不敏感,适用于识别透明、半透明及漫反射差的物体(如玻璃、抛光体等);
- (3) 超声波对外界光线和电磁场不敏感,可用于黑暗、灰尘、强电磁干扰等恶劣环境中;
- (4) 超声波传感器结构简单、体积小、费用低、信息处理简单可靠、易于小型化和集成化。

一体反射式超声波传感器采用单个超声波探头,采用脉冲驱动换能器发射超声波,当发射停止时换能器转为接收器,接收反射回来的音波。由于采用单探头工作,更易于实现测控系统的小型化和集成化。且一体反射型超声波传感器收发同体,因此不存在双探头间距带来的测量误差。在现有文献中^[1-4],一体式超声波传感器驱动都采用脉冲变压器,不但起到升压作用,同时起到传感器输入和输出间的隔离作用。文中设计了基于单片机+红外遥控接收器 CX20106+模拟电子开关 CD4066 的新颖的一体式超声波传感器测距电路,该电路结构简单、稳定可靠、测量精度高,在移动机器人避障中得到了良好的应用。

1 超声波传感器测距原理

超声波传感器最常用的测距方法是回波探测法。基本原理是:利用控制器通过发射探头发出一定频率的超声波,接收

探头等待经障碍物反射回来的超声波,只需计算发射信号到接收信号的时间,就可以计算出障碍物的距离 L 。

$$L = c \cdot (t/2) \quad (1)$$

式中: c 为声速; t 为发射到接收的时间间隔。

2 一体反射式超声波传感器测控系统设计

2.1 探头系统误差修正

由于压电材料易碎,并因绝缘、密封、阻抗匹配等要求,超声换能器往往封装在探头外壳内,使压电材料与探头表面有一定距离,这样在测量过程中会带来测量误差。超声波探头表面有层防护网,因此无法直接对此距离进行测量。在实验中采用如下方法测量:设压电材料与探头表面距离为 L_0 ,将探头放在离探头距离固定的障碍物前测量,距离分别为 L_1 、 L_2 ($L_1 < L_2$), T_1 、 T_2 分别为超声波发射到接收的时间, c 为声速,则

$$L_1 = \frac{1}{2} c T_1 - L_0, L_2 = \frac{1}{2} c T_2 - L_0$$

由此可得:

$$L_0 = \frac{1}{4} c (T_1 + T_2) - \frac{1}{2} (L_1 + L_2) \quad (2)$$

经过多次测量,得到传感器 L_0 的平均值为 7 mm。

2.2 超声波传感器感测电路总体设计

一体反射式超声波传感器感测电路如图 1 所示。单片机通过 74HC04 控制超声波传感器发射, CX20106 和外围器件组成回波检测处理电路。由于一体反射式超声波传感器发射电路与接收电路都用相同的传感器引脚输入输出,如不将输入输出隔离开,发射时接收电路就产生动作,而接收时接收电路又会受到发射电路的影响(如将 74HC04 引脚直接在 CX20106

上,74HC04的引脚电平会干扰接收信号),因此必须使发射电路与接收电路隔离开,引脚在输出和输入时分时复用。采用

CMOS双向模拟开关 CD4066BE实现发射与接收的隔离。

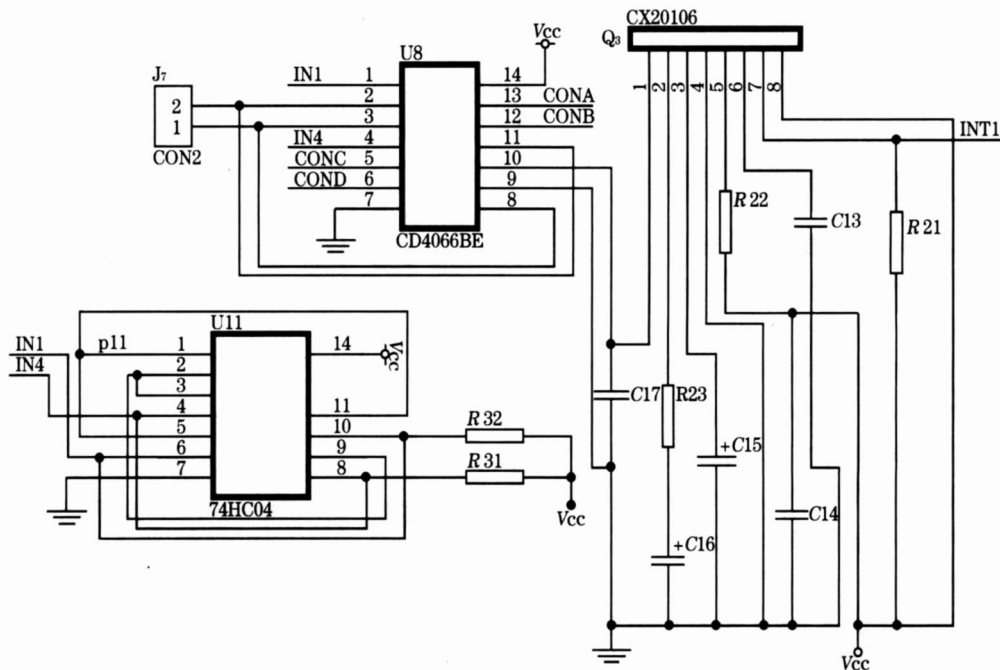


图 1 一体反射式超声波传感器感测电路原理图

2.3 发射接收隔离电路设计

CD4066^[5]内部结构图如图 2所示,每片封装有 4个独立的模拟开关,每个开关有输入、输出、控制三端。当控制端加高电平时,开关导通;当控制端加低电平时开关截止。模拟开关导通时,当电源电压为 5 V时,导通电阻小于 80 Ω ;模拟开关截止时,呈现很高的阻抗。模拟开关可传输的模拟信号的上限频率为 40 MHz 4个开关控制端 CONA、CONB、CONC、COND分别为开关 SWA、SWD、SWB、SWC的控制端(如图 1所示),由单片机 P1.2 - P1.5 脚控制。开关 SWA、SWB 控制超声波发射,74HC04的输出接到 CD4066的 1、4端,CD4066的 2、3端接超声波传感器,由单片机 P1.2、P1.4控制开关导通和截止。开关 SWC、SWD控制超声波接收,超声波传感器两引脚通过开关分别和 CX20106的 1脚、地相连,单片机的 P1.3、P1.5脚控制 SWC和 SWD的开合。

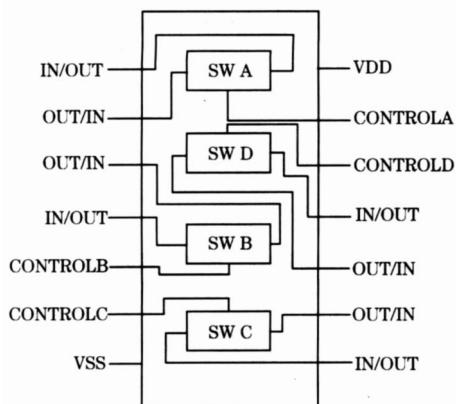


图 2 CD4066内部结构

2.4 发射电路设计

当外加信号频率等于两压电晶片的固有振动频率时,将会发生共振^[6]。采用的超声波传感器中心频率为 40 kHz,因此,在发射电路中,通过软件编程方式,对单片机 I/O口 P1.1置高和置低,产生 40 kHz脉冲信号,输出到发射电路中。由于 AT89S51单片机 P1口作为 I/O口使用时能提供 20 mA灌电流能力,而吸电流能力较小,所以用 74HC04来提高其输出电流的能力,保证 40 kHz的脉冲信号有一定的功率。超声波发射模块原理图见图 1。

P1.1口产生周期为 25 μ s的调制脉冲波,经过 74HC04后在超声波传感器发射探头两端输入反向同频脉冲,可以增大超声波传感器的发射功率。采用探头发射若干个脉冲波,然后停止发射,接收探头等待反射信号的方式。采用软件延时方式每隔一段时间发射 1次,定时器 T1既控制发射间隔时间,又通过 T1计算发射到接收信号所用的时间,从而计算障碍物距离。由于采用 12 MHz晶振时,16位定时器最长可定时 65 536 μ s,可使用软件控制 T1计数次数来增大发射间隔时间。发射间隔时间必须大于发射到接收回波的时间。发射间隔时间越长,检测越可靠(时间越长声波衰减越多,多次反射信号越少),但如用于机器人避障,则机器人对障碍物反应越慢、实时性越差。示波器采集的发射波形如图 3所示,每次发射 4个脉冲。实验表明,每次只要发射 2个脉冲,就可以使传感器工作。如发射脉冲波数太大,则发射能量增大,超声波衰减速度变慢,多次折射返回信号可能会使接收探头误触发。而且发射脉冲数越多,测量盲区也越大。因此,在实验中选择采用 4个发射脉冲。

发射脉冲周期为 25 μ s,而单片机指令周期是 μ s级的,不可能产生 12.5 μ s脉冲,因此不能对 25 μ s平均分配。实验表

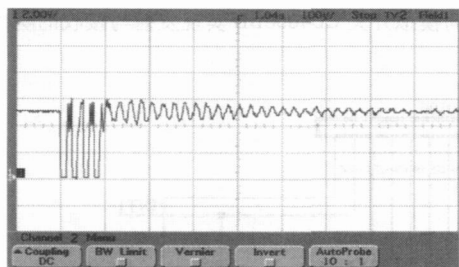


图3 超声波传感器发射脉冲及余振信号

明,脉冲高电平 $13\ \mu\text{s}$,低电平 $12\ \mu\text{s}$,或高电平 $12\ \mu\text{s}$,低电平 $13\ \mu\text{s}$,对测量几乎没有影响。

采用单片机定时器作为距离测量计数器,设超声波波速为 $34\ \text{m/s}$,由式(1)可得:如果定时时间为 $65\ 536\ \mu\text{s}$ 则可测距离为 $L = 344 \times (0.065\ 536/2) = 11.272\ 192\ \text{m}$ 。当然,经实验表明所用的测量电路,由于发射功率较弱,最远可测距离在 $5\ \text{m}$ 左右,如需测量更远距离,可将单片机输出的调制波通过脉冲变压器升压后驱动超声波探头。由于研制的移动机器人主要用于室内,速度较慢,对障碍物的检测在 $5\ \text{m}$ 左右已足足有余,因此将单片机口的调制波直接加到超声波传感器。

2.5 超声波接收电路设计

超声波接收处理电路采用集成电路 CX20106。CX20106^[7]为红外接收专用集成电路,在此利用 CX20106作为超声波传感器接收信号的放大检波装置,亦取得良好的效果。CX20106采用 8脚单列直插式塑料封装,内含前置放大、限幅放大、自动偏置、通带滤波、峰值检波、积分比较及施密特整形输出等电路。CX20106的总放大增益约为 $80\ \text{dB}$,以确保其 7脚输出的控制脉冲序列信号幅值在 $3.5 \sim 5\ \text{V}$ 范围内。

接收电路原理图如图 1所示。 R_{19} 为带通滤波器中心频率 R_{22} 的外部电阻,改变 R_{22} 阻值可改变载波信号的接收频率,调节范围可从 $30 \sim 60\ \text{kHz}$ 取 $R_{22} = 200\ \text{k}$,将 f_0 设置为 $40\ \text{kHz}$ 只要 CX20106接收到与其中心频率相符的超声波信号时,7脚就输出低电平。7脚输出的脉冲下降沿接单片机 NT1口。

3 一体反射式超声波传感器盲区的确

一体反射式超声波传感器存在盲区,主要由 2 个因素造成:

(1)一体式超声波传感器检测需要控制器通过切换电路控制发射与接收,所以切换时间间隔(CD4066关断发射、打开接收所用时间)会形成盲区。

(2)实验发现,发射信号过后传感器的压电陶瓷存在余振(如图 3所示),如果立刻打开接收电路,余振信号会引起误判断,如图 4所示,如在发射脉冲刚结束时就打开单片机中断,则会接收到误触发信号。因此也存在盲区问题,这是引起盲区的主要因素。余振的强弱与传感器、发射信号强弱都有关,从示波器上看出选用的传感器余振约在 $700\ \mu\text{s}$ 后消失,因此盲区距离最小为 $L = 344 \times (0.000\ 7/2) = 0.12\ \text{m}$ 。实际使用时应将盲区设置大些以提高测量可靠性。

4 传感器的多次反射问题

当周围障碍物较杂乱的时候,超声波存在多次反射现象。

实验中,将传感器指向实验室一个堆满桌椅、仪器的角落,示波器采集的多次反射信号如图 5所示。比较图 4及图 5后可发现,当周围环境很杂乱时,超声波经过多次折射后,引起接收系统不断动作。此时对单次测距影响不大,只需增加盲区时间,在盲区时间过后检测到第 1个脉冲下降沿后(第 1个下降沿是离传感器最近物体的反射信号)就关闭单片机中断。但对连续测距来说,2次测距间必须保持一定时间间隔,等前一次发射的超声波基本衰减消失后,再启动下一次测距。

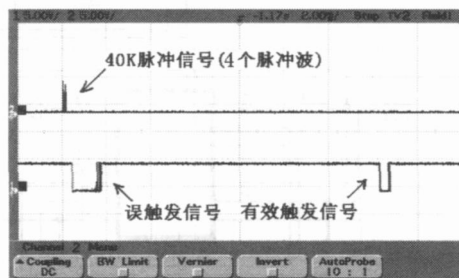


图4 CX20106 输出的误触发信号及有效信号

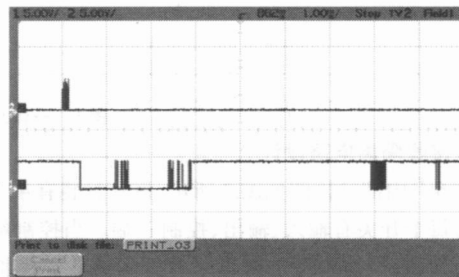


图5 CX20106 输出的传感器多次反射信号

5 CD4066对接收电路的影响及解决办法

采用 CD4066作为输出于输入的隔离装置,避免了使用脉冲变压器的麻烦,但实验发现,CD4066中模拟开关动作会造成接收电路的误触发。如图 6所示,当接收用开关 SWC、SWD 闭合后,会在短暂时间内引起信号线上产生电压,从而引起 CX20106误触发。因此如果在发射时打开 SWC、SWD,在接收时关闭 SWC、SWD,则会产生误触发信号。可以采用增加盲区宽度的方法来避免 CD4066模拟电子开关闭合引起的误触发,但盲区距离过大,影响了超声波传感器近距离检测。

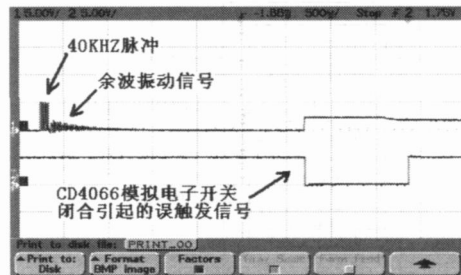


图6 示波器采集的 4066引起的接收电路误动作信号

实验表明,采用设计的系统时,接收时,接收电路与发射电路必须分离(SWA、SWB必须打开,否则 74HC04引脚电平会干扰接收信号)。但发射时,发射电路可以和接收电路相连(也就是发射时 SWC、SWD可以闭合)。从图 1可见,当 SWC、SWD

闭合时发射信号的一端接地,但由于 4066 有近 80 的导通电阻,所以超声波传感器发射 40 kHz 脉冲时不会与地短路。因此程序设计中可以将 SWC、SWD 始终闭合,这样 CD4066 就不会对接收电路产生干扰。

6 系统软件设计

数码管显示电路如图 7 所示。T1 用于一体反射式超声波传感器发射时间间隔控制及距离的计数。程序中可使用软件标志位控制 T1 计数次数来增大发射时间间隔。

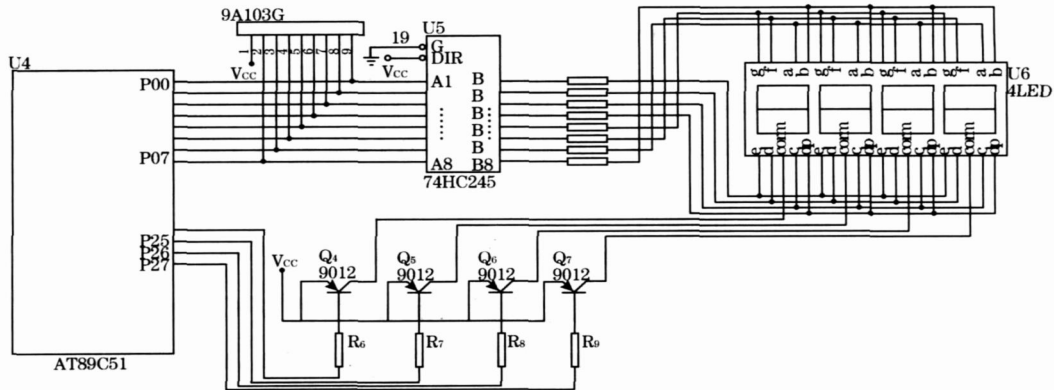


图 7 显示电路原理图

程序定义数码管段码查询单元及全局变量如下:

```
unsigned char code dispcode[10] = {0x18, 0x7b, 0x2c, 0x29, 0x4b, 0x89, 0x88, 0x3b, 0x08, 0x09}; // 数码管字符 (0 - 9)
sbit mA = P1^1; // 发射端口
sbit MB = P1^2; // CD4066 开关 SWA 控制
sbit MC = P1^3; // SWD 控制
sbit MD = P1^4; // SWB 控制
sbit ME = P1^5; // SWC 控制
sbit QA = P2^4; // 千位数显示数码管位码控制
sbit QB = P2^5; // 百位数显示数码管位码控制
sbit QC = P2^6; // 十位数显示数码管位码控制
```

sbit QD = P2^7; // 个位数显示数码管位码控制

unsigned int dist; // 距离数据

unsigned char aa; // 用于显示的数据

unsigned char res; // 距离计算后的余数

主程序中的各寄存器初始化如下: 盲区设置为 700 μ s; TMOD = 0x11; IE = 0x8e; IT0 = 1; EX1 = 0; TH1 = 0x00; TL1 = 0x00; mA = 0; MB = 0; // 发射用的开关关闭; MC = 1; // 接收用的开关始终打开; MD = 0; // 发射用的开关关闭; ME = 1; // 接收用的开关始终打开; QA = 1; QB = 1; QC = 1; QD = 1; TR1 = 1。

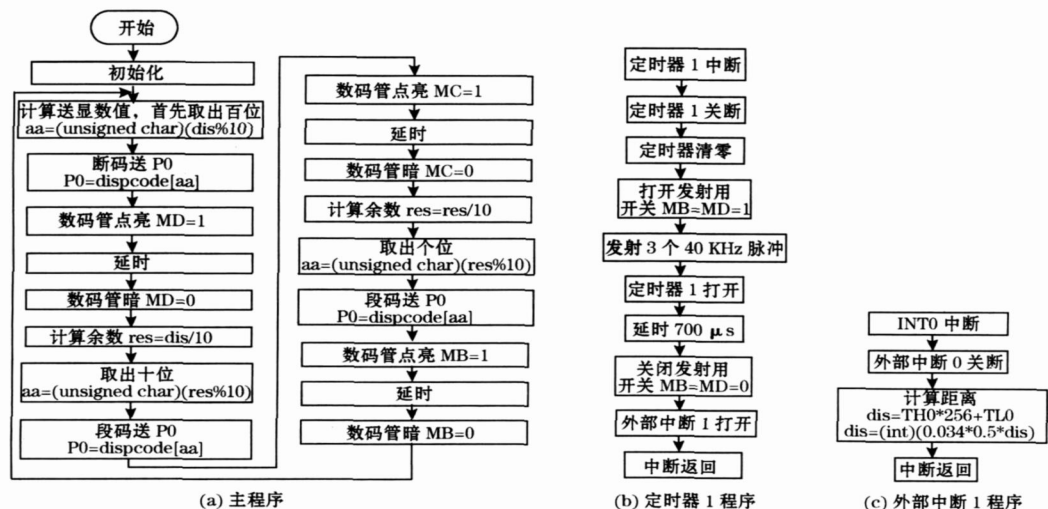


图 8 一体反射式超声波传感器测距显示程序流程图

7 探测范围和精度测量

由于 CD4066 存在导通电阻,相当于降低了传感器发射功率,因此检测距离会略受影响。在空旷地带将一块 3 cm \times 3 cm 的方形塑料板在超声波可达范围内移动,超声波传感器可以稳

定检测到障碍物最远距离为 5 m,测量范围左右边线的夹角为 60 左右,则超声波传感器扩散角约为 60 $^\circ$;在空间形成 60 $^\circ$ 的圆锥体状声场。将塑料板置于传感器两探头中心连线正前方 1 m、2 m、3 m、4 m、5 m 处进行测量,测量结 (下转第 96 页)

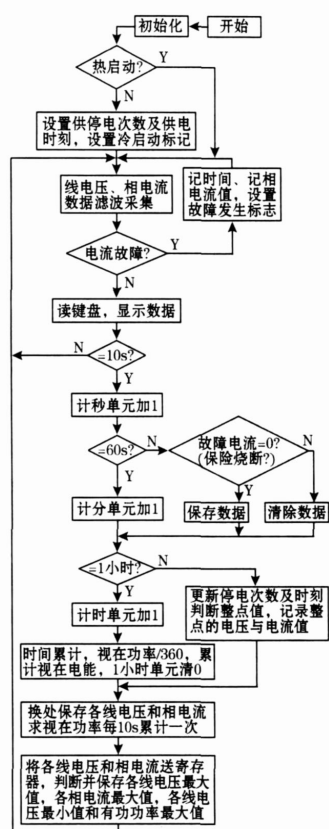


图3 主程序流程图

已经在供电系统获得成功应用,显著提高了供电效率。如果利用钳形表互感器,则可以在带电情况下接入,适用于各种电力系统的临时能力查定。最大限度地减少了不必要的停电。为电力管理工作提供可靠的科学手段。因此该技术很有发展前景。

参考文献:

- [1] 唐蕾,陈维荣. 变压器远程视频监控系统设计方案探讨. 电气自动化, 2002(5): 34 - 36.
- [2] 梁明,毕亚雄,顾宏进,等. 一种新型的电力监测和能量管理系统. 电工技术杂志, 2004(5): 58 - 61.
- [3] 周鹏. 电网泄露电流在线监测. 仪表技术与传感器, 2004(4): 49 - 50; 54.
- [4] 段骞,李维嘉. USSD在工业监控系统通信工程中的应用. 电子技术应用, 2004, 30(12): 57 - 60.
- [5] 孙建设. 脉冲电表数传仪. 传感技术学报, 2005, 18(3): 646 - 649.
- [6] 李芙蓉,臧金奎,纪昆. 基于 DSP的光电式高低压电能表. 电力系统自动化, 2002, 26(2): 75 - 77.
- [7] 孙建设,史磊,陈鲁华. 基于集成运放的精密电压电流幅值变换器. 变压器, 2004, 41(12): 23 - 25.
- [8] 朱定华. 微机原理,汇编与接口技术. 北京:清华大学出版社, 2005.
- [9] 洪帆. 一种可验证的动态秘密分享方案. 计算机工程与应用, 2004, 40(9): 40 - 41; 114.
- [10] 瞿翌,刘文彦,邓新中. 测试系统中干扰及其形成机理. 电子技术应用, 2002(10): 44 - 46.

作者简介:吕春峰(1971—)讲师,主要研究方向为电力系统测量控制。

E-mail: sun268chen@163.com

(上接第 83 页)果如表 1 所示。

表 1 一体式超声波测量数据分析

实际距离	测量平均距离	最大测量误差	测量值相对误差
/cm	/cm	/cm	%
100	100.2	0.2	0.2
200	200.3	0.3	0.15
300	300.3	0.4	0.13
400	400.5	0.5	0.125
500	500.6	0.6	0.1

8 结束语

从实验结果看,设计的一体式超声波传感器测量误差小,重复性好,满足移动机器人对障碍物测量要求。将设计的新型一体反射式超声波传感器感测系统成功运用于移动机器人避障中。采用步进电机带动单个一体式超声波传感器旋转的方法,对四周物体进行检测,实验表明提出的方法结构简单、检测精度高、可靠性高、成本低,具有普遍的应用意义和广泛的应用价值。

参考文献:

- [1] 罗本成,原魁,刘晋东,等. 机器人多路超声波环境探测器的研制. 中国科学院研究生报, 2002, 6(19): 172 - 176.
- [2] 李郁峰. 履带式移动机器人及其无线控制的实现: [学位论文]. 太原:太原理工大学, 2005.
- [3] 周凯,赵望达,赵迪,等. 高精度超声波测距系统. 装备制造技术, 2006(5): 23 - 26.
- [4] 赵宏刚,黄席樾,熊智华,等. 基于 AT89C2051 的超声波泊车防撞系统设计. 自动化与仪器仪表, 2005(4): 7 - 9.
- [5] 桂良启,郭伟,张祖萌. 电子开关 CD4066 在数据采集装置中的应用. 电子技术, 2003(8): 38 - 40.
- [6] 臧怀刚,赵保军,陶然. 大量程小盲区智能超声波液位仪. 仪器仪表学报, 2006, 27(6): 638 - 642.
- [7] 吴银凤,刘光聪. 红外接收电路 CX20106 的应用. 电气时代, 2003(9): 110 - 111.

作者简介:华亮(1979—),工学硕士,讲师,研究领域为传感器及测控系统研究、电机控制、移动机器人、模式识别。E-mail: hualiang@ntu.edu.cn