



基于超声波测距的物体坐标智能检测系统^{*}

崇哲文,梅飘,李涛

(湖北理工学院 机电工程学院,黄石 435003)

摘要: 基于单片机和超声波测距原理设计了一款物体坐标智能检测系统。本系统由 Arduino 单片机、超声波模块、舵机以及显示屏组成,舵机带动超声波模块进行旋转检测,通过超声波接发过程中产生的时差和舵机旋转的角度利用极坐标计算出物体的坐标值,从而完成对周围物体的坐标检测。本系统可以实现物体坐标的实时检测和快速读取。

关键词: 单片机;超声波;极坐标;坐标检测;Arduino

中图分类号: TP216

文献标识码: A

Object Coordinate Intelligent Detection System Based on Ultrasonic Ranging

Chong Zhewen, Mei Piao, Li Tao

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Hubei Polytechnic University, Huangshi 435003, China)

Abstract: An object coordinate intelligent detection system is designed based on the principle of single-chip microcomputer and ultrasonic ranging. The system is composed of an Arduino single-chip microcomputer, an ultrasonic module, a steering engine, and a display screen. The steering engine drives the ultrasonic module for rotation detection. Through the time difference generated during receiving and sending by the ultrasonic module and the rotation angle of the steering engine, the coordinate value of the object is calculated by polar coordinates. Thus, the coordinate detection of surrounding objects is completed. The system can realize the real-time detection and fast reading of object coordinates.

Keywords: MCU; ultrasonic; polar coordinates; coordinate detection; Arduino

0 引言

随着科技的进步与制造业的快速发展,对物体坐标检测提出了新的要求,采用传统直尺、卷尺等工具测量费时、费力,已经不能满足人们对物体坐标检测的需求,因而亟需发展实时检测、快速读取、精确度高的物体坐标检测装置。为了解决这一问题,本文基于单片机和超声波测距原理设计了一款物体坐标智能检测系统。

近年来,国内外研究学者对超声波测量与定位技术进行了研究,但对物体坐标检测系统的研究相对较少。Martín J M 等^[1]分析了超声波 3D 位置测量系统的主要误差来源,提出了一种新算法,该算法利用测量值的冗余性和改进的修剪中值(MTM)滤波器提高测量精度和鲁棒性。Mahajan A 等^[2]对 3D 定位系统进行了研究,提出了一种基于惯性参考系中不同接收机飞行时间(TOFs)差值的超声波源坐标估计公式。童峰等^[3]利用超声波测距原

理设计了一种用于 AGV 自动导向车的导航系统。华宏等^[4]利用超声波检测原理实现了运动物体的坐标定位,并分析了其测量误差。陈永光等^[5]对无源时差定位原理与定位精度进行了研究。熊春山等^[6]采用波头技术与零交叉点检测的方法提高超声波测距精度。周荣莲^[7]基于微型计算机设计了一款超声波定位系统,并对超声波测距误差产生的原因进行了分析。张剑等^[8]对常规超声波定位方法进行优化,提出了一种新型双超声波模块定位方法。胡林林等^[9]基于 STC89C52 单片机设计了一款超声波测距系统。

综合国内外研究现状可知,当前有较多的研究者对超声波测量与定位技术进行了研究,但是对物体坐标检测系统的研究相对较少。为此,本文基于单片机与超声波测距原理设计了一款物体坐标智能检测系统。

1 系统总体设计

物体坐标智能检测系统主要由 Arduino 单片机、超声波模块、舵机以及显示屏组成,如图 1 所示。Arduino 单片机作为控制系统的核心,主要用于控制舵机转动、超声

^{*} 基金项目:湖北理工学院青年项目(21xjz03Q);“智能输送技术与装备”湖北省重点实验室开放课题(2020XZ109)。

波模块收发超声波以及显示屏的坐标值显示;HC-SR04 超声波模块主要用于收发超声波,并将检测信息传递给单片机;舵机主要用于控制超声波模块的转动,以达到检测四周物体坐标的目的;显示屏模块用于显示物体坐标信息。

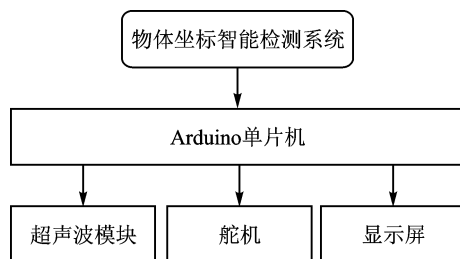


图1 智能物体坐标检测系统组成示意图

系统工作流程为单片机控制超声波模块发射 40 kHz 超声波以及舵机从零度开始转动,舵机每次转动的角度为 2° ,舵机每转动一次超声波模块就发射一次超声波,同时模块内计时器开始计时,并等待超声波接收器接收回波信号,当收到回波信号时得到一个计时时间,根据此时间计算出目标物距超声波探头的距离,并依据舵机停转时的角度值,采用极坐标计算出被检测物体的坐标值并将其显示在显示屏上。

2 硬件设计

本系统的硬件主要由 Arduino 单片机、超声波模块、舵机以及显示屏组成,其具体的硬件连接如图 2 所示。超声波模块的 Trig 引脚接单片机的 D2 引脚,Echo 引脚接单片机的 D3 引脚,VCC 引脚接单片机的 3.3 V 引脚,GND 引脚接单片机的 GND 引脚。舵机的信号引脚(Pulse)接单片机的 D4 引脚,VCC 引脚接单片机 5 V 引脚,GND 引脚接单片机 GND 引脚。显示屏的 SCK 引脚接单片机 D13/SCX 引脚,CS 引脚接单片机 D8 引脚,RESET 引脚接单片机 D9 引脚,LED 引脚接单片机 3.3 V 引脚,GND 引脚接单片机 GND 引脚。

2.1 Arduino 单片机

本系统所采用的单片机为 Arduino Uno R3。该单片机具有 32 KB Flash 内存、1 KB EEPROM 内存、14 路数字输入/输出(其中 6 路可作为 PWM 输出)、6 路模拟输入、1 个 16 MHz 晶体振荡器、1 个 USB 口、1 个电源插座、1 个 ICSP 标头和 1 个重置按钮。Arduino Uno 预置了 Bootloader 程序,能够通过 USB 直接下载程序,而不需经过其他外部烧写器^[10]。此外,Arduino 单片机应用了大量通用和标准的电子元器件,包括硬件和软件在内的整个设计,且代码均采用开源方式发布,因此采购成本较低^[11]。

2.2 坐标检测模块

坐标检测模块由 HC-SR04 超声波模块和 MG90S

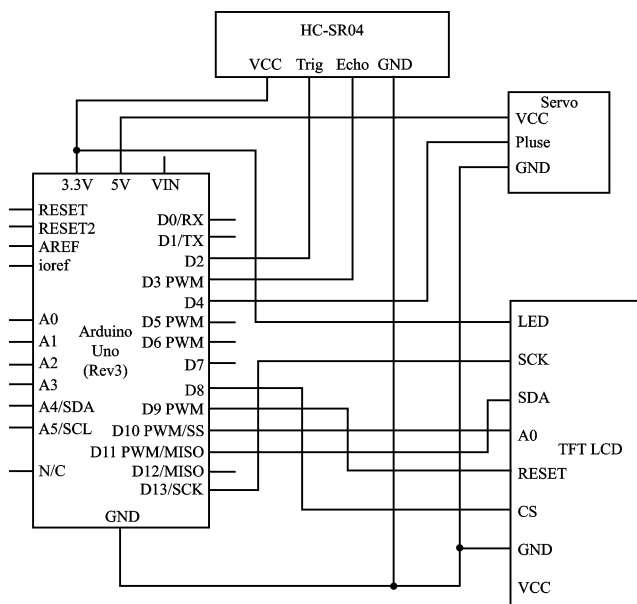


图2 硬件连接示意图

舵机共同组成。HC-SR04 超声波模块是通过电信号转换进而产生频率为 40 kHz 的超声波脉冲,其工作范围为 2~400 cm,其工作原理是先给触发引脚施加一个 $10\ \mu\text{s}$ 以上的脉冲,发射器连续发射 8 个频率为 40 kHz 的脉冲信号,当这 8 个超声波脉冲发射出去后,回声引脚状态为高电平,如果这 8 个超声波脉冲在 38 ms 的时间内被反射回来,则回声引脚的电平状态由高变低,并产生一个脉冲宽度为 $150\ \mu\text{s}\sim 25\ \text{ms}$ 的脉冲,其长度是由接收器接收到返回的超声波脉冲信号所花费的时间决定的。如果这 8 个超声波脉冲在 38 ms 内未被反射回来,则说明在检测范围内没有物体存在。

MG90S 舵机通常使用的控制信号周期为 20 ms,宽度为 $0.5\sim 2.5\ \text{ms}$,舵盘转动的角度为 $0\sim 180^{\circ}$,其组成包括减速齿轮组、电动机、电位器和控制电路^[12]。该舵机是一种使用脉宽调制信号(PWM)进行控制的驱动器,其内部的比较器将外加信号与基准电路产生的基准信号进行比较,判断出转动的方向和大小,从而驱动电动机转动,并由电位器回送信号来判断是否已经转动到位。

3 软件设计

3.1 系统软件总体设计

物体坐标检测系统软件设计是在 Arduino 集成开发环境下完成的,系统的软件流程图如图 3 所示。单片机在上电初始化以后,超声波模块和 TFT LCD 液晶屏进行初始化,并清空显示屏,舵机初始化到 0° 的位置。单片机控制舵机带动超声波模型进行转动,每次转动角度为 2° ,与此同时超声波模块不断发射超声波检测周围是否有物体

存在。当超声波模块未检测到周围有物体存在时,舵机转动 2° ,超声波模块发射超声波继续进行检测;当超声波模块检测到周围有物体存在时,舵机停止转动,并读取此时超声波发射和接收的时差以及舵机转动的角度,并根据计时时间与舵机转动角度利用极坐标计算物体 X 与 Y 的坐标值,最后通过 TFT LCD 液晶屏显示物体的坐标值。

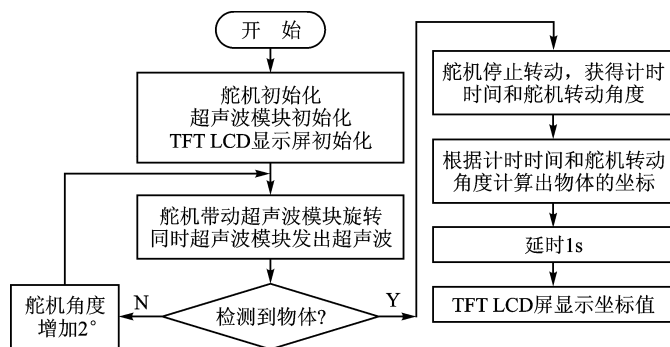


图3 系统程序流程图

3.2 超声波测距程序

超声波测距程序执行如下:首先令超声波模块发射端引脚处于低电平,延时 $2\mu\text{s}$,再令超声波发射端引脚处于高电平发出超声波,延时 $10\mu\text{s}$ 之后令超声波模块发射端引脚处于低电平,当回波引脚变为高电平时将获得的延时时间赋给 duration,利用公式 $\text{distance} = \text{duration} \times 0.017$ 计算出物体距离并返回距离值。具体程序如下:

```
int Distance(){
    digitalWrite(trigPin, LOW);
    delayMicroseconds(2);
    digitalWrite(trigPin, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(trigPin, LOW);
    duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
    distance = duration * 0.017;
    return distance;
}
```

3.3 坐标值计算程序

通过已获取的超声波发射与接收的时差计算出物体的距离,并根据舵机转动的角度利用极坐标计算物体的坐标值,如图4所示。考虑到超声波检测的距离值并不是舵机旋转轴中心与物体之间的距离,而是超声波发射端与物体之间的距离,因此对计算公式进行校正,引入超声波模块与舵机旋转轴中心之间的距离(即 2.7 cm):

$$y = (\text{distance} + 2.7) * \sin(\text{radians}(i - 2));$$

$$x = (\text{distance} + 2.7) * \cos(\text{radians}(i - 2));$$

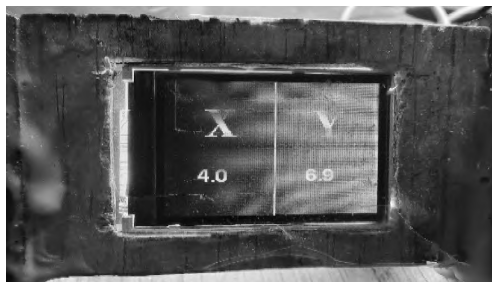


图4 测试物体的坐标值

实际测量物体与超声波模块的水平距离如图5所示,实际测量舵机旋转轴中心与超声波模块的水平距离如图6所示。

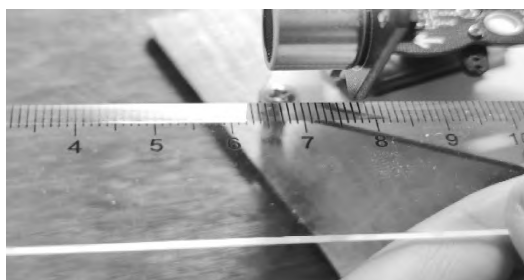


图5 实际测量物体与超声波模块的水平距离

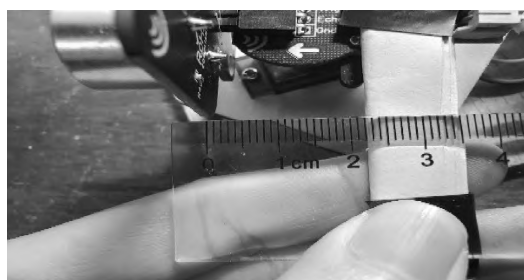


图6 实际测量舵机旋转轴中心与超声波模块的水平距离

4 成品测试

4.1 系统测试方法

整个系统测试分为近距离测试和远距离测试。近距离测试选取 0° 、 36° 和 90° 三个角度进行测试,分别在3个角度方向上放置3个物体,3个物体距离舵机旋转轴的水平距离分别为 6 cm 、 8 cm 和 10 cm 。远距离测试同样选取 0° 、 36° 和 90° 三个角度进行测试,分别在3个角度方向上放置3个物体,3个物体距离舵机旋转轴的水平距离分别为 110 cm 、 120 cm 和 130 cm 。

4.2 系统测试结果和误差分析

对于近距离测试,选择测试角度为 0° ,以物体距舵机旋转轴中心 6 cm 为例进行分析,近距离测试结果如图7所示。物体的实际坐标为 $(6, 0)$,测试结果显示坐标为

(6,1,0),物体横坐标的测量误差为 0.1 cm,纵坐标的测量误差为 0。

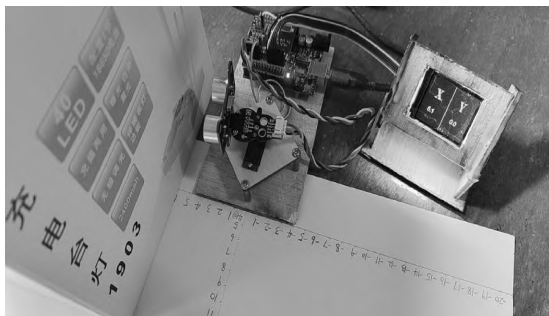


图7 近距离测试图

对于远距离测试,选择测试角度为 36° ,以物体距舵机旋转轴中心 120 cm 为例进行分析,远距离测试结果如图 8 和图 9 所示。物体的实际坐标为 (97,70.5),测试结果显示坐标为 (95,69),物体横坐标的测量误差为 2 cm,纵坐标的测量误差为 1.5 cm。



图8 远距离测试整体图



图9 远距离测试局部图

将系统所有的测试结果进行整理,得到的坐标检测系统表如表 1 所列。由表 1 可知,近距离的测试结果和远距离的测试结果都会产生误差,最小的误差为 0.1 cm,最大的误差为 3.5 cm,其误差产生的原因主要有以下几个方面:一是超声波模块测量精度不够引起的测量误差;二是测量物体表面的平整度和粗糙度引起的测量误差;三是硬件之间的连接存在误差,如舵机与超声波模块之间的连接存在一定的误差。但对于整体测试而言,误差较小且在工程允许范围内,在后续的产品研发过程中将针对上述问题进一步完善和校正,以提高坐标检测系统的精度、减小测量误差。

表 1 坐标检测系统测试表

距离 /cm	角度 /($^\circ$)	横坐标 (检测)	横坐标 (实际)	误差 /cm	纵坐标 (检测)	纵坐标 /实际	误差 /cm
6	0	6.1	6	0.1	0	0	0
8	36	6.4	6.5	0.1	4.6	4.7	0.1
10	90	0	0	0	9.8	10	0.2
110	0	107.1	110	2.9	0	0	0
120	36	95	97	2	69	70.5	1.5
130	90	0	0	0	126.5	130	3.5

5 结 语

本文基于单片机与超声波测距原理设计了一款物体坐标智能检测系统。通过超声波接收过程中产生的时差和舵机旋转的角度利用极坐标计算出物体的坐标值,完成对周围物体的坐标检测。与传统的测量方式相比,本系统可以实现物体坐标的实时检测和快速读取,大大方便人们检测物体坐标。

参考文献

- [1] Martín J M, Jiménez A R, Seco F, et al. Estimating the 3D - position from time delay data of US - waves: experimental analysis and a new processing algorithm[J]. Sensors & Actuators A Physical, 2002, 101(3): 311 - 321.
- [2] Mahajan A, Walworth M. 3D position sensing using the differences in the time - of - flights from a wave source to various receivers [J]. Robotics & Automation IEEE Transactions on, 1997, 17(1): 91 - 94.
- [3] 童峰, 许天增, 许鹭芬. 一种用于自动导引车 (AGV) 的超声波导航系统[J]. 高技术通讯, 2002(8): 47 - 50.
- [4] 华宏, 王涌天, 郭向前, 等. 超声波三维位置坐标跟踪器设计原理及其误差模型的研究[J]. 仪器仪表学报, 2000(3): 326 - 330.
- [5] 陈永光, 李昌锦, 李修, 等. 三站时差定位的精度分析与推算模型[J]. 电子学报, 2004(9): 1452 - 1455.
- [6] 熊春山, 彭刚, 黄心汉, 等. 基于超声测距的三维精确定位系统与设计[J]. 自动化仪表, 2001(3): 7 - 10.
- [7] 周荣莲. 基于微机的超声波跟踪定位系统的设计与实现[J]. 微计算机信息, 2004(10): 47 - 48, 79.
- [8] 张剑, 王维, 何俊峰, 等. 基于双超声波模块的新型定位方法 [J]. 传感器与微系统, 2012, 31(9): 22 - 24, 31.
- [9] 胡林林, 付龙. 基于 STC89C52 单片机的超声波测距设计 [J]. 仪表技术, 2018(2): 33 - 35.
- [10] 王家兵, 杨志刚, 吴洪明. Arduino 高精度静压液位测量与控制系统[J]. 仪表技术与传感器, 2013(8): 44 - 46, 53.
- [11] 蔡睿妍. Arduino 的原理及应用[J]. 电子设计工程, 2012, 20(16): 155 - 157.
- [12] 余腾伟, 童旭. 基于单片机的智能家居门控制系统设计[J]. 山东工业技术, 2016(19): 105.

崇哲文(助教), 主要从事智能制造与安全评价技术研究; 李涛(副教授), 主要从事机械电子工程研究。通信作者: 崇哲文, 1340274972@qq.com。

(责任编辑: 薛士然 收稿日期: 2022-05-25)