

基于超声波测距的室内定位设计

乔鑫, 李晓梅, 肖岱云

(大连大学 辽宁 大连 116622)

摘要: 针对目前行业内对高精度室内定位设计的迫切需求, 文中设计了一种可以用于室内定位或者室外短距离移动物体定位的定位系统。超声波定位设计主要采用对射式测距的方法, 这就需要若干个接收器和一个发射器相配合, 几个接收器在空间上相对静止。通过测量超声波收发两端的距离, 再利用三边定位的方法计算出被测目标的位置, 进而得到发射器和接收器之间相对位置的坐标。同时改进发射系统和接收系统, 得到了一种盲区小, 精确度高的室内定位设计。

关键词: 室内定位; 超声波; 对射式测距; 三边定位

中图分类号: TN92

文献标识码: A

文章编号: 1674-6236(2019)22-0102-04

Indoor positioning design based on ultrasonic ranging

QIAO Xin, LI Xiao-mei, XIAO Dai-yun

(Dalian University, Dalian 116622, China)

Abstract: A positioning system that can be used for indoor positioning or outdoor short-distance moving object positioning is designed in view of the urgent need for high-precision indoor positioning design in the industry. The ultrasonic positioning design mainly adopts the method of on-beam ranging, which requires several receivers and one transmitter to cooperate, and several receivers are relatively static in space. By measuring the distance between the two ends of the ultrasonic transmission and reception, the position of the measured object is calculated by the method of three-side positioning, and the coordinates of the relative position between the transmitter and the receiver are obtained. At the same time, the transmitting system and the receiving system are improved, and an indoor positioning design with small blind area and high precision is obtained.

Key words: indoor positioning; ultrasonic; relative ranging; trilateral positioning

DOI:10.14022/j.cnki.dzsjgc.2019.22.022

相比室外环境, 室内环境更为复杂, 同时在室内环境下也无法使用卫星定位^[1]。因此, 室内定位需要精度更高的定位系统来确定被测者的位置。通常使用的室内定位方式有 UWB 室内定位, WI-FI 技术, 蓝牙技术, 红外线技术, RFID 技术以及超声波技术^[2]。目前室内定位技术主要应用与大型商场实现精准营销策略, 进行室内互动等情景, 未来也可能会应用于安防, 工业流水线和医疗等领域。室内定位具有极大的潜在价值, 越来越受到人们的重视。

文中所研究的是基于超声波测距的室内定位设计, 超声波是一种频率高于 20 kHz 的声波, 它的优点

是成本低、指向性好、穿透力强, 超声波的高穿透力使得它能在一定程度上克服信号被建筑阻隔导致的严重衰减的问题, 超声波的能量在传播过程中损耗小, 所以传播距离远, 因此常常应用于距离测量^[3-4]。超声波定位法采用发射器和接收器对射的方式, 同时利用无线传输模块进行时间同步并得到时间差, 进而得到两者之间的距离, 通过多边定位等方法确定被测者的坐标。

1 硬件系统设计

1.1 系统工作原理

文中的定位系统包括发射端, 接收端, 无线传输

收稿日期: 2019-04-02 稿件编号: 201904010

基金项目: 2018 年国家和辽宁省大学生创新创业训练计划项目 (201811258025005); 2018 大连大学大学生创新创业训练计划项目 (2018005)

作者简介: 乔鑫 (1996—), 男, 山西平定人。研究方向: 通信工程。

模块3个部分。如图1所示, $W1, W2$ 是由单片机, 无线传输模块等组成的系统。在同一个平面上分布有发射端 P 以及接收端 A, B, C 。发射端 P 受到 $W2$ 的控制, 发射 40 kHz 的超声波信号, 同时 $W2$ 的无线传输模块发出时间同步信号给 $W1$ ^[5]。接收端 A, B, C 先后接收到超声波信号, 经过滤波, 整形和放大之后的信号交由 $W1$ 处理, 分别计算三路超声波传播的距离, 由此确定发射端的位置。

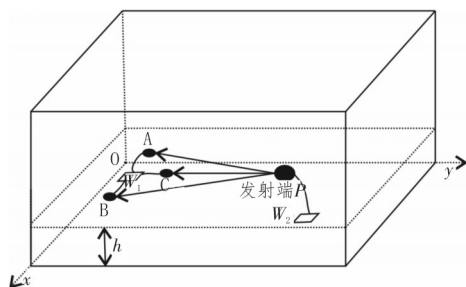


图1 系统工作原理图

1.2 发射端电路设计

发射端需要将 40 kHz 的方波信号通过超声波探头发射出去。其中超声波发射器使用分体式超声波探头 T40-16, 其原理为压电陶瓷换能^[6], 单片机提供脉宽调制(PWM)电压信号输出功能可以为系统提供一个原始的 40 kHz 的方波信号^[7], 但是由单片机输出的 PWM 波信号直接驱动探头会使得测量距离很短, 无法满足实际测量的需求, 这就要求对单片机输出信号进行放大。本设计采用一种由反相器 74ALS04 组成的驱动电路。如图2所示, 单片机产生的信号分作两路, 一路信号通过反相器之后又通过两个并联的反相器, 而另外一路直接通过两个并联的反相器, 使得输出到探头的电压加倍, 以达到放大的效果^[8]。放大之后的信号可以传输的距离更远, 增大可以测量的范围。

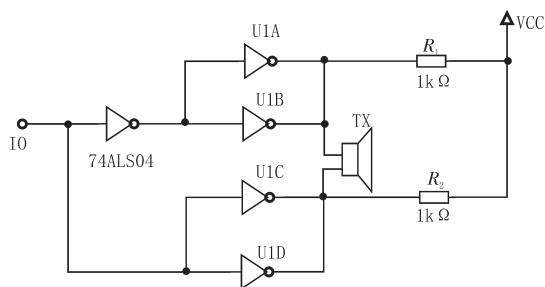


图2 发射端驱动电路

1.3 接收端电路设计

超声波接收电路使用的 CX20106A 芯片如图3所

示, 该芯片内部集成了滤波放大电路、检波电路、积分电路、施密特整形电路等, 其中, CX20106A 的2脚与地之间连接的 RC 串联网络为负反馈串联网络, 改变其数值能改变前置放大器的增益和频率特性, CX20106A 的5脚设置电阻 R_1 主要用来调节带通滤波器的中心频率, 电阻越大, 中心频率越低, 设计中选择 R_1 为 $220\text{ k}\Omega$ 的电阻, 使得中心频率在 40 kHz 左右^[10]。

CX20106A 的引脚7通过一个上拉电阻连接到高电平上, 当 CX20106A 接收到 40 kHz 的信号时, 会在模块的引脚7产生一个下降沿信号^[9], 当单片机捕捉到这个下降沿信号时可以计算由超声波发出到此时接收到信号之间的时间, 根据超声波在空气中传播的速度计算两者之间的距离。

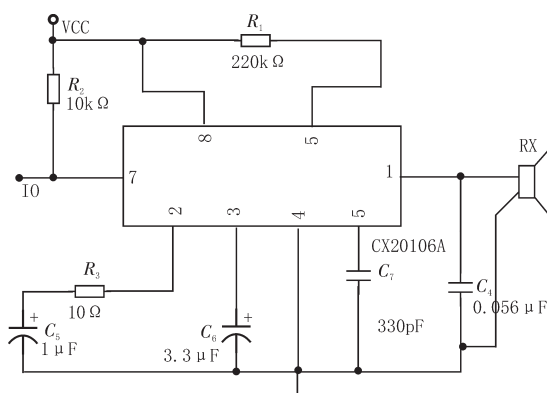


图3 接收端电路

1.4 无线发送模块

由于采用的是超声波发射器和接收器对射的方法测量距离, 所以需要无线传输模块对超声波收发两端的时间进行同步。nRF24L01+是一种工作在 $2.4\sim 2.5\text{ GHz}$ 的 ISM 频段的单片无线收发器芯片, 采用 FSK 调制^[12]。当发射端要发出信号时由单片机控制 nRF24L01+ 发送一个信号到接收端, 接收端收到信号并开始计时, 直到接收到超声波信号时停止计时, 计算超声波传播的时间。通过 nRF24L01+ 可以同步收发两端的时间, 使得距离的计算结果更加准确。其引脚图如图4所示。

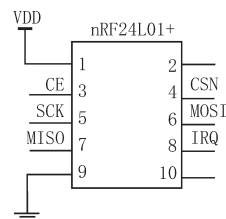


图4 nRF24L01+引脚图

各引脚作用如下:

CE:模式控制线。在CSN为低的情况下,CE协同CONFIG寄存器共同决定NRF24L01的状态

CSN:SPI片选线

SCK:SPI时钟线

MOSI:SPI数据线

MISO:SPI数据线

IRQ:中断信号线,中断时变为低电平,在以下3种情况变低:Tx FIFO发完并且收到ACK(使能ACK情况下)、Rx FIFO收到数据、达到最大重发次数^[12]。

1.5 温度检测模块

要对超声波传播过程中受到的影响进行校正,首先要测量环境温度,超声波定位系统使用的模块为DS18B20温度传感器。是美国DALLAS公司生产的新型单总线数字式温度传感器,集温度测量与AD转换为一体,直接输出数字量,单总线,硬件简单,可以实现多点测量,具有体积小,硬件成本低,抗干扰能力强,精度高等特点^[13],其一般温度读取过程可总结为:

- 1)复位;
- 2)发SKIP ROM命令(0XCC);
- 3)发开始转换命令(0X44);
- 4)延时;
- 5)复位;
- 6)发送SKIP ROM命令(0XCC);
- 7)发读存储器命令(0XBE);
- 8)连续读出两个字节数据(即温度);
- 9)结束^[14]。

2 定位算法设计

2.1 测距算法设计

超声波发射端与接收端之间的距离就是超声波所传播的距离,即为:

$$S = v * t \quad (1)$$

其中: t 为超声波从发射端发射到接收端接收到信号的时间,该时间由单片机计算得出,而无线传输模块产生的误差应该在软件中进行补偿,单位:s。

v 为超声波在空气中传播的速度,单位m/s。一般认为常温下超声波在空气中传播的速度为340 m/s

2.2 超声波的温度补偿

超声波的传播过程极易受到温度的影响,通过研究发现,当环境温度升高1℃时,声速下降0.607 m/s^[4]。

想要确定不同环境温度下的传播速度,可以使用以下的式子进行计算:

$$v = 331.5 + 0.607 * T \quad (2)$$

其中:331.5 m/s被认为超声波在0℃时的传播速度, T 为当前环境下温度(℃),

传播距离的计算公式则变为:

$$S = (331.5 + 0.607 * T) * t \quad (3)$$

经过温度补偿之后,可以修正温度变化导致测量距离的误差,使得计算的传播距离更为准确。

2.3 三边定位算法设计

如图5所示的是三边定位算法的原理图,已知三点坐标 $P_1(x_1, y_1)$, $P_2(x_2, y_2)$, $P_3(x_3, y_3)$ 以及 P 点到 P_1, P_2, P_3 三点的距离 d_1, d_2, d_3 ,通过三边定位算法可以得到点 P 的坐标 (x, y) 。具体的算法原理如下:

$$(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = d_1^2 \quad (4)$$

$$(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 = d_2^2 \quad (5)$$

$$(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 = d_3^2 \quad (6)$$

通过3个式子可以解得 P 点的坐标 (x, y) ^[15]。

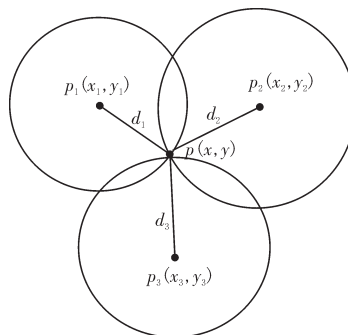


图5 三边定位原理

为了便于建立模型以及计算,定位系统将3个接收端的位置设置为坐标系中3个相对静止的特殊点,如图6所示。

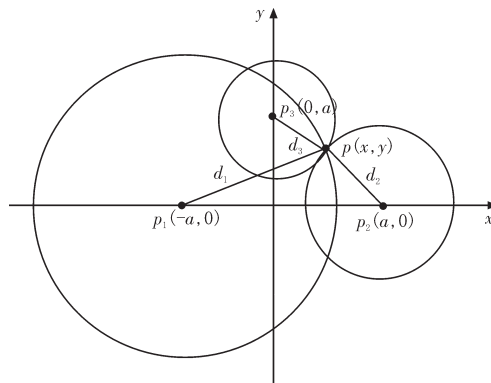


图6 三边定位简化算法

模型简化之后的3个接收端分别位于坐标轴上距离原点为 a 的3个点上,这意味着每一个点都有一个坐标值为0,可以使用简单的计算得到位置点 P 的坐标, P 点的计算方法也变成了以下的式子:

$$(x+a)^2+y^2=d_1^2 \quad (7)$$

$$(x-a)^2+y^2=d_2^2 \quad (8)$$

$$(x)^2+(y-a)^2=d_3^2 \quad (9)$$

解得 P 点坐标 (x,y) 结果为:

$$x = \frac{d_1^2 - d_2^2}{4a} \quad (10)$$

$$y = a \pm \sqrt{d_3^2 - \frac{(d_1^2 - d_2^2)^2}{16a^2}} \quad (11)$$

由式(11)可得,计算得到的 y 的结果会有两个解,需要再次带入式(7)或者式(8)进行验证,舍去不满足关系的值,最终确定点 P 的坐标。

2.4 室内定位系统设计

利用超声波测距获得的坐标数据可以达到厘米级的测量精度,但是超声波模块在接收和发送超声波信号时是有一定的角度范围的,如果接收器不在发射器所覆盖的范围中,就无法接收到超声波信号。为了保证在整个室内都可以得到三路以上距离数据,需要对发射系统和接收系统进行改进。一方面可以选择发射和接收角度更大的超声波模块来增大检测范围,另一方面也可以通过增大超声波模块的密度来达到同样的目的,具体的改进方法如下:

首先考虑超声波发射系统,为了使超声波可以向多个方向发射超声波信号,需要将多个超声波发射器组合在一起,如图7所示,将6个超声波模块按照相差角度为60度的方式放置,可以保证向各个方向都有信号发出。

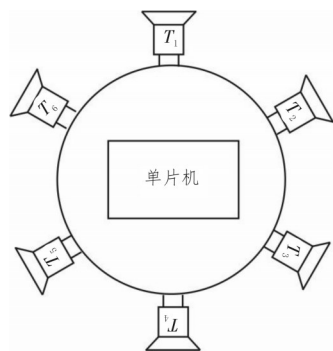


图7 发射器改进设计

接收系统可能接收到来自不同方向的信号,可以利用由超声波组成的阵列来检测信号,如图8

所示。

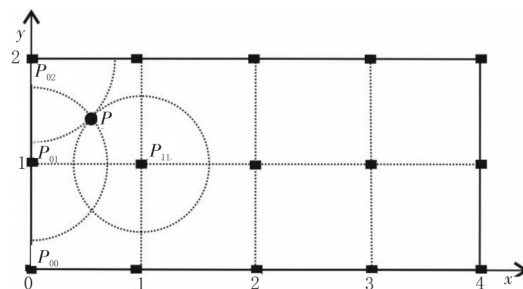


图8 接收系统改进设计

图8中展示是整个室内环境所安置的所有超声波模块的相对位置^[17]。接收系统由15个超声波模块组成,当有发射器进入到接收系统的范围是,总有至少3个的超声波模块可以接收到超声波信号。当有大于3个的超声波模块接收到信号时,可以通过比较选择其中3个较小的值进行定位。接收系统中超声波模块的数量以及模块之间的距离可以根据实际情况进行选择。

3 结论

本文设计了一种基于超声波测距和三边定位算法的定位系统,超声波测距具有精度高,成本低的特点,但是在实际的使用中会面临一些问题,比如超声波容易受到障碍物的影响^[16-17],比较适合于室内环境或者空旷的室外环境。

系统设计中几个接收端的位置并非是完全固定的,只是要保证几个接收端的相对位置不变,并按照这种相对位置来建立坐标系,也可以测量到发射端相对整个接收端组成的系统的位置,所以超声波定位设计同样可以应用于测量两个移动物体相对位置的情况。

参考文献:

- [1] 阮陵,张翎,许越,等.室内定位:分类、方法与应用综述[J].地理信息世界,2015,22(2):8-14,30.
- [2] 陈昊.智能家居中ZigBee定位系统研究[J].电子世界,2019(4):110-111.
- [3] 石敏,周后盘,吴辉,等.室内定位技术发展与研究综述[J].计算机时代,2018(8):1-4.
- [4] 高伟.便携式可充电高精度超声波测距仪的设计[J].西安文理学院学报:自然科学版,2019,22(2):36-39.

(下转第110页)

4 结束语

针对目前电力用户用电信息采集设备故障实时诊断系统存在的一些问题,本文设计了一种新的诊断系统。本文利用链路吞吐量检测实验、工作延时检测实验和丢包率检测实验验证了设计系统的工作效果,实验结果表明,给出的诊断系统能够及时准确地诊断出电力用户用电信息采集设备存在的故障,具有很强的诊断功能,并且能够在第一时间将诊断结果显示到页面中。

参考文献:

- [1] 傅文军. 智能电网用电信息采集系统传输网络的设计[J]. 中国仪器仪表, 2017, 11(3):1-7.
- [2] 曹永峰, 翟峰, 肖建红, 等. 用电信息采集系统故障运维知识库的设计与应用[J]. 电力信息与通信技术, 2018, 23(3):67-72.
- [3] 黄涛. 线损管理基于用电信息采集系统的分析[J]. 科学技术创新, 2017, 15(7):25.
- [4] 刘兴奇. 故障预测与健康管理技术在用电信息采集系统中的应用与展望[J]. 电器与能效管理技术, 2018, 25(2):73-77.
- [5] 李昊. 基于用电采集系统线损管理的分析与研究[J]. 电子世界, 2017, 61(24):89-90.
- [6] 曲樱倩, 李汐. 用电信息采集系统在电能计量中的应用分析[J]. 经济技术协作信息, 2017, 17(33):75.
- [7] 武文广, 杜峰, 李俊臣, 等. 依托用电信息采集系统的配电网电能质量判定技术研究[J]. 电网与清洁能源, 2017, 33(5):69-73.
- [8] 杨霖, 吕伟嘉, 刘浩宇, 等. 用电信息采集系统监测技术的应用[J]. 电气应用, 2017, 91(17):69-71.
- [9] 张晓龙. 研究与应用电力用户用电信息采集系统[J]. 现代国企研究, 2017, 22(14):142.
- [10] 张国庆. 用电信息采集系统实时监测功能的设计和实现[J]. 科技风, 2017, 65(23):90.
- [11] 周小娜, 陈志英, 卢超龙. 高压断路器在线监测及故障诊断系统设计[J]. 南昌大学学报(工科版), 2017, 39(3):274-279.
- [12] 蔡晓燕. 基于智能用电大数据分析的台区线损管理初探[J]. 科技创新与应用, 2017, 96(17):181.
- [13] 范黎, 周美娇, 张轩雄. 基于OBD- II的故障诊断及数据采集系统设计[J]. 软件导刊, 2017, 16(16):71.
- [14] 李波. 城市智能电网故障的在线监控[J]. 电子技术与软件工程, 2017, 29(11):50.
- [15] 徐飞. 基于云计算的设备故障诊断系统研究[J]. 电子设计工程, 2017, 23(10):5-7.
- [16] 黄帅, 刘海颖, 吴风喜. 一种多传感器故障诊断系统的设计[J]. 计算机仿真, 2017, 31(7):59-62.

(上接第105页)

- [5] 丁浩峰, 鲁照权, 谢地, 等. 基于射频信号强度与超声波的室内目标定位[J]. 电子技术, 2018, 47(12):62, 70-72.
- [6] 田华. 新型超声换能器与辐射器的研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2013.
- [7] 景鹏斌, 李明辉. 基于单片机产生PWM信号的分析与实现[J]. 电子世界, 2017(21):65, 67.
- [8] 张波, 王朋亮. 基于STC89C51单片机超声波测距系统的设计[J]. 机床与液压, 2010, 38(18):56-58.
- [9] 孙艳玲. 简易高精度超声波测距仪的设计, 2018, 23(6):102-103.
- [10] 张强, 高颂. 基于红外同步的室内超声定位系统的设计[J]. 国外电子测量技术, 2017, 36(10):86-91.
- [11] 陈灏. 基于超声波测距的倒车报警系统设计[J]. 内
-110-
燃机与配件, 2018(20):5-7.
- [12] 深圳市蓝科讯通科技有限公司. nRF24L01 单片 2.4G 无线射频收发芯片手册, 2009.
- [13] 杜宁, 薛晓珍. 基于DS18B20温度控制器的设计[J]. 机械管理开发, 2018, 33(12):201-202, 248.
- [14] 王聪, 袁惠娟. 寻迹信息采集系统的设计[J]. 轻工科技, 2016, 32(9):67-69.
- [15] 高国伟, 白国振, 杨勇明. 基于RFID的改进室内三边定位算法研究[J]. 信息技术, 2017(5):75-78.
- [17] 徐盛良, 鲁照权, 周永燕, 等. 基于信号强度与超声波测距的室内定位系统[J]. 仪表技术与传感器, 2019(1):91-96.
- [18] 郝春吉. 超声波测距技术改进方法与实现[J]. 电子技术与软件工程, 2017(11):103.