

DOI: 10.13382/j.jemi.B1902719

多通道超声的双向单程伪距测量研究

赵佰秋^{1,2} 孟立新^{1,2} 于笑楠¹ 张立中^{1,2} 佟首峰¹

(1. 长春理工大学 空间光电技术国家与地方联合工程研究中心 长春 130022;

2. 长春理工大学 机电工程学院 长春 130022)

摘要: 超声波测距是一种非接触测量方式,在工业、交通等行业应用广泛。为提高超声波的测距量程,解决多通道在通道间距离较近时的串扰噪声问题,在不改变电声转换器与发射接收硬件电路前提下,将“双向单程伪距测量技术”应用到超声波测距系统中,利用双向单程测量替代了传统的反射式双程测距,通过无线串口通信进行测距主端与测距从端的时钟同步,提高测距量程,该技术还可消除系统自身的时钟同步误差。同时应用“时分多路复用”技术,通过无线电信号广播进行时隙分配,使任意时刻测距信道中只有单路处于工作状态,实现多通道近距离通道间隔下无串扰测量。实验结果表明,双向单程测量可以将反射测距量程提升1倍以上,探测精度优于1%。时分多路复用技术的引用,可以实现超声多通道近距离通道间隔下测量无串扰。

关键词: 超声波测距;双向单程伪距测量;时分多路复用;测距量程;串扰噪声

中图分类号: TB551;TN98 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.99

Research on dual one-way pseudorange measurement of multi-channel ultrasound

Zhao Baiqiu^{1,2} Meng Lixin¹ Yu Xiaonan¹ Zhang Lizhong¹ Tong Shoufeng¹

(1. National and Local Joint Engineering Research Center for Space Optoelectronic Technology, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China; 2. College of Mechanical and Electrical Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China)

Abstract: Ultrasonic ranging is a non-contact measurement method that is widely used in industry and transportation. In order to improve the ranging range of ultrasonic waves and solve the problem of crosstalk noise when the distance between multiple channels is relatively close, applies “dual one-way pseudorange measurement technology” to the premise of changing the electroacoustic converter and transmitting and receiving hardware circuits. In the ultrasonic ranging system, the dual one-way measurement replaces the traditional reflective two-way ranging, and the clock between the ranging main end and the ranging slave is synchronized by the wireless serial communication to improve the ranging range, and the technology can also eliminate the system itself. Clock synchronization error. At the same time, the “time division multiplexing” technology is applied to perform time slot allocation through radio signal broadcasting, so that only one path in the ranging channel at any time is in a working state, and multi-channel close-range crosstalk-free measurement is realized. The experimental results show that the dual one-way measurement can more than double the reflection ranging range, and the detection accuracy is better than 1%. The reference of the time division multiplexing technique enables measurement of crosstalk without interference in ultrasonic multi-channel short-range channel spacing.

Keywords: ultrasonic ranging; dual one-way pseudorange ranging; time division multiplexing; ranging range; crosstalk noise

0 引言

随着科学技术与工业自动化的不断发展,非接触检

测测量因其高效、不损伤被测物体表面等优点获得了迅速发展,主要包括毫米波雷达测距、超声波测距,激光测距、CCD 立体视觉测距等^[1-2]。超声波测距价格低廉,纵向分辨率高,方向性强,测量结果不受光照、颜色、烟雾、

电磁等环境因素的干扰。在液位检测^[3], 车辆停泊^[4], 电力线路铁道线路巡检^[5], 室内机器人定位^[6]等领域得到了广泛应用。

2010 天津大学彭涵阳等^[7]将伪随机码应用在超声波测距系统中, 将伪随机序列调制在发射超声波中, 使多路发射的超声波具有可识别性, 将接收码和本地码进行自相关运算判断是否为自身回波, 同时可通过相关峰相位进行渡越时间测量。2015 年胡延苏等^[8]采用自行开发的一种六元超声波阵列测距系统进行定位, 收发两端分离, 通过发送端向接收端发送无线同步时钟信号进行双端时钟同步, 网络节点测量距离能够达到 15.8 m, 平均误差为 28.6 cm, 通过最小二乘拟合平均误差 3.5 cm。2017 年汪群等^[9]利用可变增益放大器 AD8338 设计了超声波自动增益控制 (AGG) 接收补偿电路, 动态范围达到 80 dB, 使不同距离的回波信号的幅度稳定不变或维持在一个很小范围内变化, 一定程度上解决了由于介质传播导致的距离较远时回波信号幅度小, 无法准确提取到达时间的问题, 提高了测距量程和测距精度。2018 年孙辉等^[10]提出利用实验的方法测得超声波传感器最优激励信号和激励信号最优参数, 实验表明回波强度从大到小依次为方波、正弦波、三角波和锯齿波, 最优激励频率为 40.5, 而非标称的 20 kHz。在不改变硬件电路的前提下, 提升了测距量程。

目前超声波测距主要存在两方面缺陷, 测距量程较短, 与多个通道相邻较近时测量具有串扰噪声。在量程方面, 可通过提升发射功率增大测距量程, 但由于硬件条件限制, 发射功率不可能一味增大。传播介质对超声波能量的吸收程度与超声波频率的平方成正比, 所以降低频率可以达到增大量程的效果。但频率越低, 声波波长越长, 测距的绝对误差就会增大, 同时超声波的波束宽度增大, 降低传感器的指向性^[11]。自动增益控制和实验测得最优激励参数法只能在原有基础上小范围提升量程。超声波串扰是指在多个测距传感器工作时, 其中的一个超声传感器接收到的信号是其他传感器发射的, 并非自己发射的超声回波由此会导致测距信息发生错误。在串扰噪声方面, 解决方法有扩频法^[12]、基于软件的数据读取判别法^[13]和基于硬件的编码方法。扩频法即各个超声波采用不同的频率, 但超声波传感器的带宽较窄, 可分配频率较少且相互接近。基于软件的数据判读方法, 通过判断数据的“合理性”剔除串扰, 无需增加硬件条件, 但不能完全消除串扰, 使用具有局限性。基于硬件的编码方法, 将伪随机序列通过硬件加载到超声波传感器中, 利用伪随机码的自相关性运算判读回波信号。该方法可以有效抑制串扰现象, 但需相应的发射调制和高速的接收判决硬件支持, 且程序实现复杂。

为提高超声测距量程, 本文将反射式超声测距更改

为双向单程伪距测量, 利用无线串口通信进行发射端与接收端的时钟同步, 分别测得双向伪距信息, 利用伪距信息消除时钟同步误差实现高精度测量。为消除各通道间的串扰问题, 通过无线串口广播信息, 实现各个测量通道的时隙分配, 避免各通道间的串扰。

1 测距原理

超声波测距方法主要有相位检测法、声波幅值检测法和渡越时间法^[14], 本文采用飞行时间法 (time of light, TOF)。

1.1 反射式测距原理

反射式测距原理为超声波发射器向空间中任意方向发射超声波, 在发射的同时开启计时, 超声波在空气中传播, 途中碰到障碍物立即返回, 超声波接收器收到反射波后信号停止计时, 利用超声波在空气中的双向飞行时间来得到距离信息。测距公式如下:

$$s_1 = \frac{ct_1}{2} \quad (1)$$

式中: s_1 为障碍物距障碍物距离; c 为声速; t_1 为超声波双向飞行时间。反射式测距原理如图 1 所示。

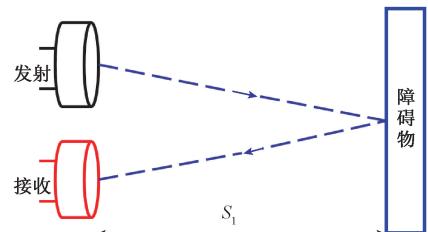


图 1 反射式测距原理

Fig. 1 Reflective ranging principle

1.2 双向单程伪距测量原理

收发分离的超声波测距是利用发射端同时向接收端发送超声波信号与同步时钟信号, 如图 2 所示, 当接收端收到时钟同步信号开启计时, 接收端收到超声波信号停止计数。渡越时间为 $(t_1 + t_2)$ 。 t_2 由接收端定时器测得, 而 t_1 为无线电波传播时间和硬件响应时间, 无线电波速度高出声速几个数量级, 所以 t_2 主要为硬件响应延迟, 利用示波器进行测量, 发现 t_2 时间并不稳定, 大约为 3 ms 但具有 $\pm 200 \mu\text{s}$ 的随机误差, 导致测距误差单峰值大约为 12 cm。该方法测距精度较差。

基于双向单程伪距测量的超声测距系统如图 3 所示。测距系统由超声波模块 A 和超声波模块 B 组成, 2 个终端同时具备收发功能。测距原理为测量终端 A 到终端 B 和终端 B 到终端 A 的伪距, 通过这种对称通道测量方法可以消除两通道间的时钟误差^[15] 提高测距精度。

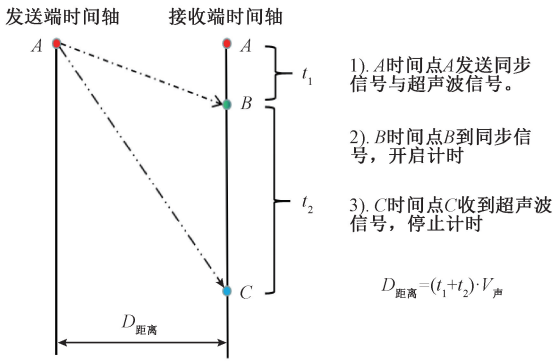


图 2 收发分离测距方案

Fig. 2 Reflective ranging principle of separation of transmission and reception

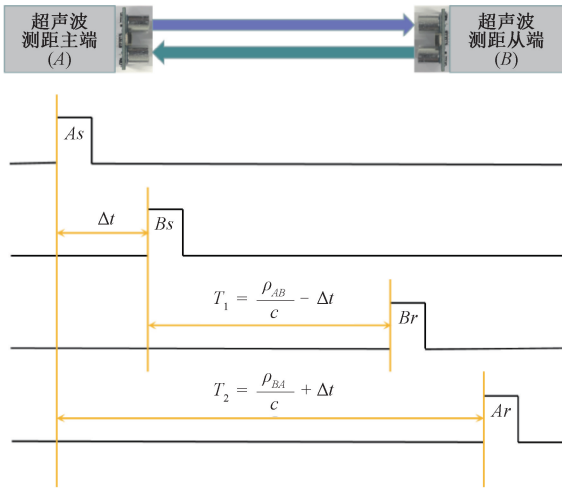


图 3 双向单程伪距测量时序

Fig. 3 Dual one-way pseudorange measurement timing

该方法的测距过程为同时给 A、B 两端触发信号, A、B 两终端收到触发信号后立即发出超声波, 并开始计时, 记 A 端触发信号为 A_s , B 端触发信号为 B_s 。由于硬件响应延迟与同步信号传播延迟, A 端与 B 端存在同步时间差 Δt 。一段时间后 B 端收到 A 端发射的超声波信号, 记为 B_r , A 端收到 B 端超声波信号, 记为 A_r 。A 端计时时间为 T_2 , B 端计时时间为 T_1 。表达式如下:

$$T_1 = \frac{\rho_{AB}}{c} + \Delta t \quad (2)$$

$$T_2 = \frac{\rho_{BA}}{c} - \Delta t \quad (3)$$

式中: ρ_{AB} 和 ρ_{BA} 是 A、B 两端不同方向的真实距离, 记两端距离为 ρ , 则 $\rho = \rho_{AB} = \rho_{BA}$ 。通过式(4)可以消除同步时间差 Δt 。

$$\rho = \frac{1}{2} [(T_1 - \Delta t) \cdot c + (T_2 + \Delta t) \cdot c] \quad (4)$$

1.3 时分多路复用原理

超声波的指向角一般在 $40^\circ \sim 80^\circ$ ^[16]。在多通道同时开启测量时, 如果相邻两通道距离较小, 接收端的距离信息会相互干扰, 严重影响测量结果, 限制了使用条件。通过引入时分多路复用技术^[17] (time-division multiplexing, TDM) 即将提供给整个测距信道传输信息的时间划分成若干时间片(时隙), 并将这些时隙分配给每一个测距源使用, 在整个多通道测距系统中利用时隙调用系统, 保证任一时隙下, 只有单条测距通道超声波测距启用。为保证各通道测试时不互相影响, 使每个时隙分配时间 $> 60 \text{ ms}$ (声速大约可传达 20 m), 60 ms 后超声波能量已衰减至探测器无法探知, 即相邻通道依次启动且不会探知上一通道的超声残余能量而影响测距。时分多路复用原理如图 4 所示。

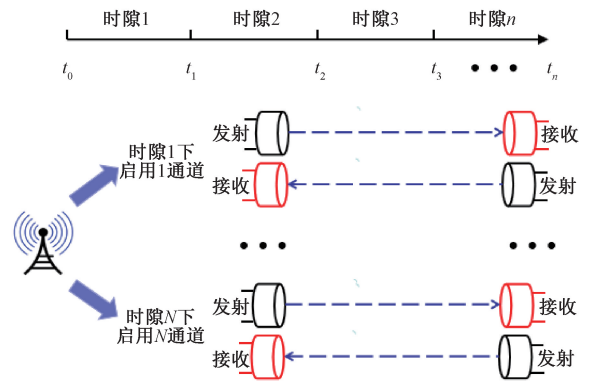


图 4 时分多路复用

Fig. 4 Time division multiplexing

2 多通道超声伪距测量系统设计

2.1 多通道超声伪距测量系统硬件设计

多通道超声伪距测量系统各子通道硬件组成完全相同, 此处仅以单通道为例。

单通道测距系统共由 3 部分组成, 分别为超声测距主端, 超声测距从端和无线广播时隙分配系统。时隙分配系统负责测距通道调用。主端无线串口 1 模块与从端无线串口 3 模块接收无线广播时隙分配信息, 判读该时刻下是否启用通道。双向单程测距完毕后, 从端无线串口 4 模块向主端无线串口 2 模块发送测距信息, 由主端进行伪距解算。子通道系统组成如图 5 所示。

2.2 多通道超声伪距测量系统软件设计

多通道超声伪距测量子系统流程如图 6 所示, 具体工作流程如下。

1) 通过无线广播时隙分配系统, 在每个时隙的起始刻向工作区间发送一组同步信号, 有效传输空间范围内的主、从端均可接收该数据, 根据协议, 任意时间将只有

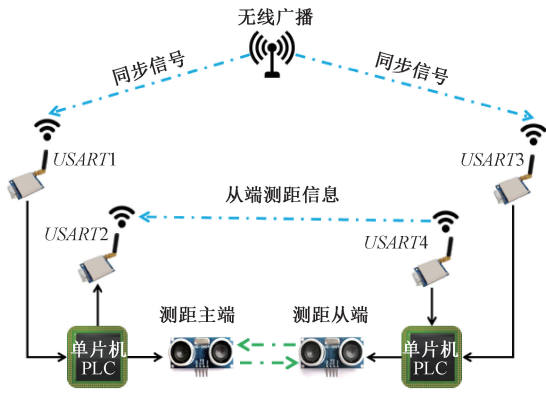


图5 多通道超声伪距测量系统子通道组成

Fig. 5 Multi-channel ultrasonic pseudo-range measurement system sub-channel composition

一路测距系统被启用,记此刻测量为第 K 路。

2) 被启用的测距通道,主、从两端利用同步信号进行时钟同步,发射超声信号并开启计时。

3) 主、从两端分别收到对方超声信号,停止计时。

4) 从端将测得的伪距通过无线串口输出给主端。

5) 主端对单向双程伪距信息进行消除时钟同步差处理,得到真实距离,完成第 K 路测距。

6) 时隙分配系统等待下一时隙起始刻,发送第 $K+1$ 路同步信息,开启下一通道测量。

7) 当 N 路通道测量全部完成,时隙分配单元从第 1 路重新开始测距。

3 实验系统搭建与测试结果

3.1 器件选型

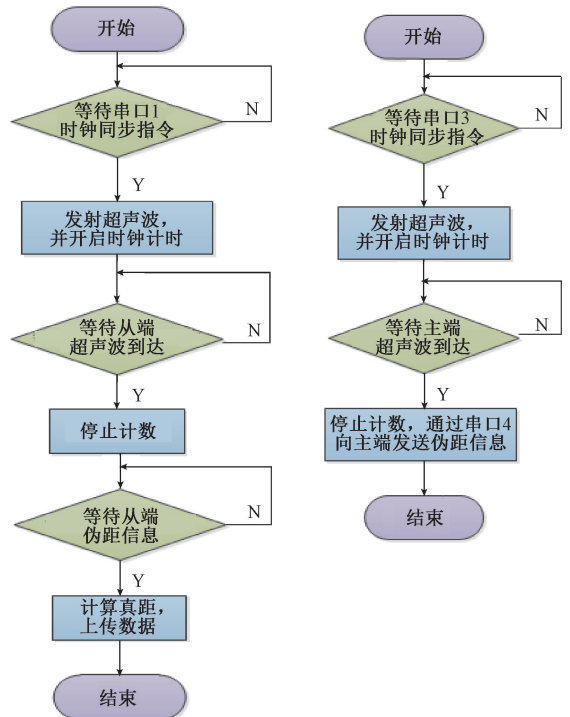
超声波模块选用 HC-SR04 型收发分体式测距传感器,探测距离 2~450 cm,探测角度 $<15^\circ$,探测精度 1%,分辨率 1 mm。测量条件要求被测物体的面积不少于 0.5 m^2 且要尽量平整。无线串口模块选用 LC12S,工作频率 2.4 GHz,接收灵敏度 -95 dBm,最大输出功率 12 dBm。开阔地通信距离 120 m 以上,通信速率 0.6~38.4 Kbps。

3.2 声速标定

声波是媒质中传播的质点的位置、强度和密度相对静止值的扰动,高于 20 kHz 的机械波称为超声波。声速的计算公式如下^[18]:

$$c = \sqrt{K/\rho} \quad (5)$$

式中: c 为声速; K 为介质的体积弹性模量; ρ 为介质的密度。当传输介质为气体时,温度、压强、湿度等因素均会引起密度的改变。当温度从 $0^\circ\text{C} \sim 40^\circ\text{C}$ 变化时,将会产生 7% 的声速变化。当湿度从 $0\% \sim 90\%$ 变化时,产生的



(a) 主端程序流程 (b) 从端程序流程
(a) Main block process (b) Slave block process

图6 多通道超声伪距测量子系统程序

Fig. 6 Multi-channel ultrasonic pseudo-range measurement subsystem block

最大相对误差为 2.17%^[19]。在一固定地点,正常情况下的气压波动为 $\pm 5\%$,会造成声速波动约 $\pm 0.6\%$ 。综上,环境因素对测量结果影响较大,可通过温/湿读传感器等进行补偿。但会引入传感器测量误差,与公式的计算误差。

本文使用标杆测量的方法,在实验环境下先通过对已知标准距离的测量,计算该实验条件下的声速,不引入温/湿度、压强等环境检测信息。标定过程使用日本安川型号滑台,测量精度为 $\pm 0.02 \text{ mm}$ 。为避免探头零点位置误差,先测量滑台 a 距离下超声波反射渡越时间为 t_1 。移动滑台为 $(a + 1) \text{ m}$ 后反射渡越时间为 t_2 。声速计算公式如下:

$$c = \frac{2}{t_2 - t_1} \quad (6)$$

通过式(6)标定实验环境下,声速为 346.32 m/s。

3.3 实验

1) 反射双程测量实验

通过反射双程测量实验,对超声波模块的实际性能进行标定。测量结果如表 1 所示。

反射双程测量结果表明,超声波探测死区范围为 1.76 cm,测距量程为 3.5 m 以上,但超过此量程将有很大比例的错误距离信息出现,不能完整反映真实距离信息。探测精度高于 1%。

表 1 反射双程测量实验结果

Table 1 Reflection two-way measurement experiment results

序号	实际值/cm	测量值/cm	相对误差/%
1	<1.76	无	无
2	50	50.02	0.04
3	100	100.06	0.06
4	150	150.21	0.14
5	200	200.43	0.22
6	250	250.76	0.30
7	300	300.88	0.29
8	350	352.63	0.75

2) 双向单程伪距测量实验

双向单程伪距测量如表 2 所示,结果表明,超声波探测盲区范围为 7 cm,测距量程为 8 m 以上,探测精度优于 1%。

表 2 双向单程伪距测量实验结果

Table 2 Dual one-way pseudorange measurement experiment results

序号	实际值/cm	测量值/cm	相对误差/%
1	<7	无	无
2	100	100.12	0.12
3	200	200.34	0.17
4	300	300.69	0.23
5	400	400.96	0.24
6	500	501.55	0.31
7	600	602.64	0.44
8	700	703.22	0.46
9	800	803.92	0.49

相较于反射双程测量,双向单程测量的量程高出 1 倍以上,其原因为超声波在障碍物表面反射具有一定能量损失,且反射面起伏程度越高能量损失越大,反射测距量程越低,双向单程测量与障碍物物理特性无关^[20],可以忽略反射式测量下,被测物体表面不少于 0.5 m² 且尽量平整的测量条件。

双向单程测量的探测盲区范围明显高于反射双程测量。反射式测量盲区的产生是由于收发分体式超声波传感器为避免发射环能器的波束旁瓣直接作用于接收换能器,会在接收换能器上设置短暂的时间延迟,造成了探测盲区的出现。双向单程测距两端由于硬件响应延迟和同步信号传输延迟的存在,每次同步会具有大约 $\pm 200 \mu\text{s}$ 的不定时钟同步误差,滞后端最大会延迟 200 μs 开启计时,所以系统相应存在约 6.92 cm 的探测盲区。

3) 多通道测距实验。

为验证多通道小间距测量下无串扰,进行了四通道近距离下的测距实验,实验效果图如图 7 所示。

相邻两通道相距 15 cm,处于串扰噪声干扰范围内。四路通道的测量距离依次递增 15 cm,测距信息分别为 15.0、30.0、45.1、60.1 cm,实现了四通道同时测量无

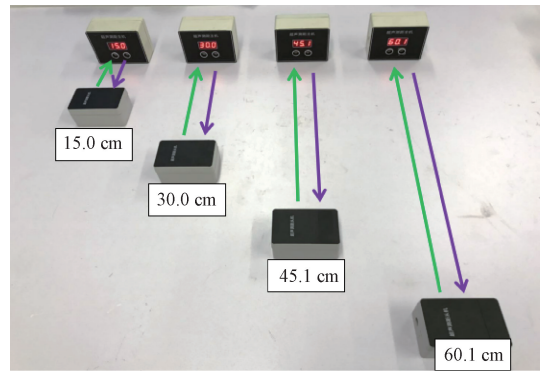


图 7 多通道测距实验

Fig. 7 Multi-channel ranging experiment

串扰。

4 结 论

基于双向单程伪距测量的超声波测距方式,在不改变硬件的基础上,可以将反射式测量的测距量程提升一倍以上,且消除时钟同步误差,测距精度相较于反射测量不改变。同时降低了对反射面的尺寸要求和平整度要求,但测量盲区会有所增大。基于时分复用的多通道测量,可以实现多通道,通道间小间距测量无串扰。

参考文献

- [1] 罗胜彬,宋春华,韦兴平,等. 非接触测量技术发展研究综述[J]. 机床与液压, 2013,41(23):150-153.
LUO SH B, SONG CH H, WEI X P, et al. Review for the development and research of non-contact measurement technology [J]. Machine Tool & Hydraulics, 2013, 41(23):150-153.
- [2] 孙广开,曲道明,周正干. 机器人辅助激光超声检测系统及参量匹配方法[J]. 仪器仪表学报, 2017,38(8):1961-1969.
SUN G K, QU D M, ZHOU ZH G, et al. Robot assistant laser ultrasonic test system and its parameter matching method [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2017,38(8):1961-1969.
- [3] 杨俊,邹志革. 基于 ARM 的超声波液位计的设计[J]. 仪表技术与传感器, 2018(10):35-38.
YANG J, ZOU ZH G. Design of ultrasonic level gauge based on arm [J]. Instrument Technique and Sensor, 2018(10):35-38.
- [4] 辛喆,邹若冰,李升波,等. 基于超声波传感器阵列的车辆周围目标物识别[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2017,57(12):1287-1295.
XIN ZH, ZHOU R B, LI SH B, et al. Target recognition around a vehicle based on an ultrasonic sensor array [J].

- Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 2017, 57(12):1287-1295.
- [5] 徐显金. 高压线路沿地线穿越越障巡检机器人的关键技术研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2011.
XU X J. Key technologies study of high-voltage power transmission lines inspection robot moving on a ground line [D]. Wuhan: Wuhan University, 2011.
- [6] 袁帅, 郭艳茹, 宫巍, 等. 基于 DSmT 的室内环境轮廓超声检测模型研究[J]. 仪器仪表学报, 2018, 39(10):142-149.
YUAN SH, GUO Y R, GONG W, et al. Research on ultrasonic detection model of indoor environmental contour based on DSmT [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2018, 39(10):142-149.
- [7] 彭涵阳. 无串扰超声测距系统的激励方法及基于 FPGA 的设计与实现[D]. 天津: 天津大学, 2010.
PENG H Y. Excitation method and FPGA based design and implementation of non-crossstalk ultrasonic ranging system [D]. Tianjin: Tianjin university, 2011.
- [8] 胡延苏, 高昂. 超声波测距误差分析及校正研究[J]. 计算机测量与控制, 2015, 23(8):2820-2823.
HU Y S, GAO ANG, et al. Error analysis and correction of ultrasonic ranging [J]. Computer Measurement & Control, 2015, 23(8):2820-2823.
- [9] 汪群, 许高斌, 陈兴, 等. 超声波测距自动增益控制电路的设计[J]. 电子器件, 2017, 40(3):597-601.
GAO Q, XU G B, CHEN X, et al. Design of auto gain control circuit in ultrasonic distance measurement system [J]. Chinese Journal of Electron Devices, 2017, 40(3):597-601.
- [10] 孙辉, 燕南飞. 基于超声波的测距系统量程提升研究与实验[J]. 煤矿机械, 2018, 39(5):39-42.
SUN Y, YAN N F, et al. Research and experiment aiming at measurement range of ultrasonic distance-measuring system [J]. Coal Mine Machinery, 2018, 39(5):39-42.
- [11] 张从鹏, 李弘, 周邦平. 基于互相关法的超声波高精度回波定位方法研究[J]. 机电工程, 2019, 36(8):830-834.
ZHANG C P, LI H, ZHOU B P, et al. Precise ultrasonic distance measurement method based on cross-correlation algorithm [J]. Mechanical and Electrical Engineering, 2019, 36(8):830-834.
- [12] 董海棠, 马殷元. 超声波传感器阵列式人数自动检测系统设计[J]. 自动化仪表, 2016, 37(1):43-46.
DONG H T, MA Y Y. Design of the automatic detection system based on ultrasonic sensor array for quantity of crowd [J]. Process Automation Instrumentation, 2016, 37(1):43-46.
- [13] 李海龙. 超声波传感器技术改进要点[J]. 电子技术与软件工程, 2018(12):85.
LI H L. Key points of ultrasonic sensor technology improvement [J]. Electronic Technology & Software Engineering, 2018(12):85.
- [14] 李戈, 孟祥杰, 王晓华, 等. 国内超声波测距研究应用现状[J]. 测绘科学, 2011, 36(4):60-62.
LI G, MENG X J, WANG X H, et al. Research and application status on domestic ultrasonic ranging [J]. Science of surveying and mapping, 2011, 36(4):60-62.
- [15] YU X, TONG S, ZHANG L, et al. 10.23 Mcps laser pseudo-code ranging system with 0.33 mm (1σ) pseudo-range measurement precision. [J]. Applied Optics, 2017, 56(19):5342.
- [16] 孙辉. 基于 T/R40-16 的超声波测距系统精度提升的设计与实验[J]. 仪表技术与传感器, 2018(8):94-97.
SUN H. Design and experiment of ultrasonic distance-measuring system with high precision based on T/R40-16[J]. Instrument Technique and Sensor, 2018(8):94-97.
- [17] SEO S W, BERGMAN K, PRUCNAL P R. Transparent Optical Networks with Time-Division Multiplexing[M]. IEEE Press, 1996.
- [18] 程建春. 声学原理[J]. 声学学报, 2012, 37(4):469.
CHENG J CH. Acoustic principle [J]. Acta acustica, 2012, 37(4):469.
- [19] 张燕, 陈爱国, 高荣贵. 声速的温湿度修正研究[J]. 压电与声光, 2011, 33(1):26-29.
ZHANG Y, CHEN AI G, GAO R G. Study of temperature and humidity correction for sonic velocity [J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2011, 33(1):26-29.
- [20] 王小阳, 童峰, 阮橙. 反射面起伏程度对超声波测距精度影响研究[J]. 南京大学学报(自然科学), 2015, 51(S1):107-111.
WANG X Y, TONG F, RUAN CH. Research on the fluctuation of reflectors affecting the precision of ultrasonic ranging [J]. Journal of Nanjing University (Natural Sciences), 2015, 51(S1):107-111.

作者简介



赵佰秋, 2017 年于北华航天工业学院获得学士学位, 现为长春理工大学硕士研究生, 主要研究方向为激光通信捕获、跟踪。

E-mail: 243171313@qq.com

Zhao Baiqiu received his B. Sc. degree from Beihua Institute of Aerospace Technology in 2017. Now he is a M. Sc. candidate at Changchun University of Science and Technology. His main research interests include

laser communication capture and tracking.



于笑楠(通信作者),分别在 2012 年、2015 年和 2018 年于长春理工大学获得学士学位、硕士学位和博士学位,现为长春理工大学讲师、硕士生导师,主要研究方向为激光测距、通信与控制。

E-mail:yuxiaonan1989@126.com

Yu Xiaonan (Corresponding author) received his B. Sc. , M. Sc. and Ph. D. degrees all from Changchun University of Science and Technology in 2012, 2015 and 2018, respectively. He is currently a laboratory teacher and M. Sc. supervisor at Changchun University of Science and Technology. His main research interests include laser ranging, communication and control.