

基于超声波测距的激光角度初始化系统研究

童艳利, 蒋蘋*, 罗亚辉, 胡文武, 戴宁湘, 刘林

(湖南农业大学 工学院, 湖南 长沙 410128)

摘 要: 为实现双激光源定位系统中激光发射角的自动测量, 建立了基于超声波测距的激光角度初始化系统。系统采用主站和从站的工作方式, 利用三角定位原理, 通过激光牵引超声波测量基线和双边距离, 根据角度解算程序, 完成系统初始化角度的自动测量。同时, 通过加入延时补偿、温度补偿及高度补偿等相关算法, 使得在 20 m 的测量范围内, 超声波测距的误差不超过 2 cm, 激光角度初始化误差小于 0.05°。

关 键 词: 超声波测距; 激光定位; 角度初始化

中图分类号: TP212

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2013)04-0440-05

Research on laser transmitting angle initialization system based on ultrasonic distance measurement

TONG Yan-li, JIANG Pin*, LUO Ya-hui, HU Wen-wu, DAI Ning-xiang, LIU Lin

(College of Engineering, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: In order to realize the automatic measurement of laser transmitting angle of the dual laser source location system, we established a laser transmitting angle initialization system based on ultrasonic distance measurement. The system finished the automatic measurement of the system initialization angle by adopting the work style of main and secondary stations, using the triangle location principle and carrying out laser-led ultrasound to measure base lines and bilateral distances. At the same time, by adding the concerned algorithm as time delay compensation, temperature compensation and height compensation, in the measurement range of 20 m, ultrasonic measurement error is less than 2 cm, the laser angle initialization error is less than 0.05°.

Key words: ultrasonic distance measurement; laser location; angle initialization

精确定位技术是实现精细农业的关键。目前主要的定位方式有 GPS 定位、视觉定位和激光定位等。1999 年, 日本研发了基于 GPS 定位技术的无人驾驶插秧机; 美国 Florida 大学研究了基于视频处理技术与激光雷达的拖拉机自动导航系统^[1]。激光定位由于其较高的精度和稳定性, 越来越受到科研工作者的青睐^[2-5]。在双激光源定位系统中, 精确的激光发射初始化角度是实现其准确定位解算的前提。为提高双激光源定位系统角度初始化的效率和精度, 笔者建立了基于超声波测距原理的激光定

位发射角度初始化系统, 系统采用 1 个主站和 2 个从站的工作方式, 通过超声波测量激光定位 3 边的距离, 并完成角度解算, 可实现激光初始化角度自动测量。

1 系统组成及工作原理

激光角度初始化系统作为双激光源定位系统的一部分, 主要由安装在双源激光定位系统上的 1 个主站及 2 个从站上的超声波测距单元、CPU 和无线模块构成。主站是系统的数据处理核心, 主要包

收稿日期: 2013-01-15

基金项目: 湖南省自然科学基金项目(12A063); 湖南省教育厅重点项目(09JJ6091)

作者简介: 童艳利(1987—), 女, 湖南岳阳人, 硕士研究生, 主要从事农业电子技术及自动控制研究, 285391079@qq.com; *通信作者, teacher_jp@163.com

含激光接收靶单元、超声波测距单元、温度测量单元和无线数传单元,负责环境温度的采集和下发、激光着靶状态、位置坐标和角度数据的处理及解算等。从站主要由激光发射控制单元、超声波收发单元和无线数传单元组成,其中,激光发射器与超声波收发单元上的超声波探头的中轴线平行,且共同安装在高精度步进电机轴上。从站主要实现激光发射器对激光接收靶的实时跟踪,为位置坐标解算提供角度数据。从站和主站以及从站和从站之间均通过无线模块进行协议通信。

激光角度初始化系统的工作原理如图1所示。主站C初始时刻位于从站A和从站B连线之外,首先人工旋转A、B从站激光发射器,使两超声波探头大致平行对准。系统上电,A、B、C3个模块完成初始化后,C采集当前环境温度数据并下发至2从站。基线 S_{AB} 测量启动,A发射无线电信号及超声波,B接收信号后开启定时器,当B接收超声波信号完毕后,停止定时器计时并计算基线距离。待B将基线距离打包发送至主站C,并经其判断正确后,主站控制A、B从站激光发射器旋转,直至被激光接收靶锁定。再启动双边距离 S_{AC} 、 S_{BC} 的测量,双边距离测量与基线距离测量过程类同。由于测量距离较短,且无线电传播速度很快,忽略无线电传输时间,将定时器计时取为超声波传播时间。则超声波所测距离 $S=C \cdot t$ 。

式中: s 为超声波测量距离; C 为超声波传播速度; t 为超声波传播的时间。

由此,可以得到 $\triangle ABC$ 3条边的长度。

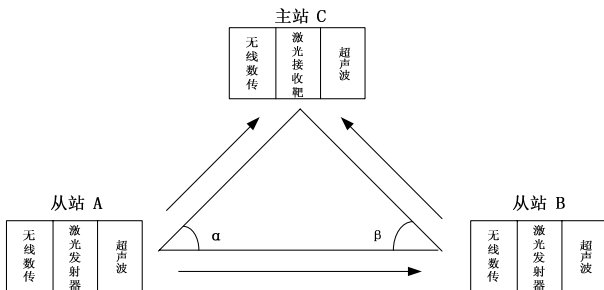


图1 激光角度初始化系统

Fig.1 The system of laser angle initialization

主站根据式(1)、(2)解算激光旋转的初始化角度。

$$\alpha = \arccos\left(\frac{S_{AC}^2 + S_{AB}^2 - S_{BC}^2}{2 \cdot S_{AC} \cdot S_{AB}}\right) \quad (1)$$

$$\beta = \arccos\left(\frac{S_{BC}^2 + S_{AB}^2 - S_{AC}^2}{2 \cdot S_{BC} \cdot S_{AB}}\right) \quad (2)$$

式中: S_{AB} 为基线距离; S_{AC} 、 S_{BC} 为双边距离; α 、 β 为激光旋转初始化角度。

2 硬件设计

由于主、从站构成相似,以主站为例作详细介绍。

2.1 主站主控制电路

主站的主控制单元主要包括中央处理器、无线通讯单元和串口通讯单元,如图2所示。中央处理器选用单片机STC11F04E作为核心,负责当前实时温度的采集与下发、超声波发射控制、无线数据的发送与接收、位置和角度解算等。振荡电路使用11.059 2MHz晶振,振荡电容采用22pF电容^[6]。

无线通讯主要完成无线数据的交换。在本设计中,无线模块采用移植性好、稳定性强且通讯效率高的nRF905,该无线模块采用3.3V供电,采用硬件CRC校验,能有效提高数据传输的可靠性,降低对单片机系统资源的要求^[7]。

单片机与计算机利用MAX232完成TTL电平与RS232电平之间的转换,为单片机提供程序下载和程序调试接口,实现计算机与单片机的通讯。

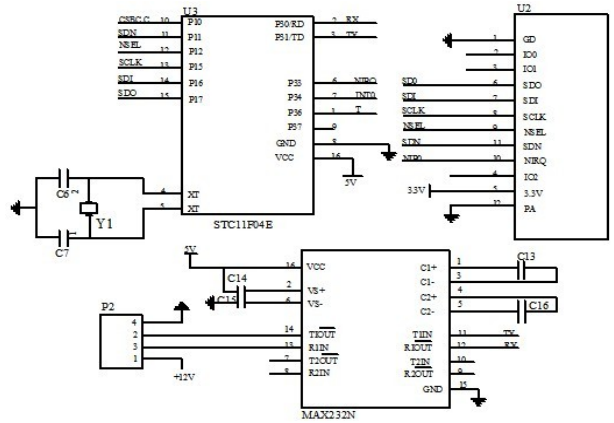


图2 主站主控制电路

Fig.2 The main controlling circuit of master station

2.2 超声波收发电路

超声波收发电路如图3所示。CSB_C为单片机方波控制输出端,U4为光耦,实现单片机与超声波发射端的电平匹配。采用中周T1进行升压,既能为超声波发射提供驱动电压,又可实现用较低电压对较高电压的控制。R5是与超声波换能器进行阻抗匹配电阻,接地的2个二极管D1、D2反向

并联,对接收电路的前置放大电路输入端进行电压钳制,以免其输入端因电压过高而发生阻塞。超声波的接收采用 CX20106A 集成电路,对信号进行滤波、放大,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_2 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,当 $R_2=200\text{ k}\Omega$ 时,中心频率约为 40 kHz ^[8-9]。

由于超声波工作较易受温度影响,在该电路设计中选用温度传感器 DS18B20 对电路进行温度补偿,提高测量精度。

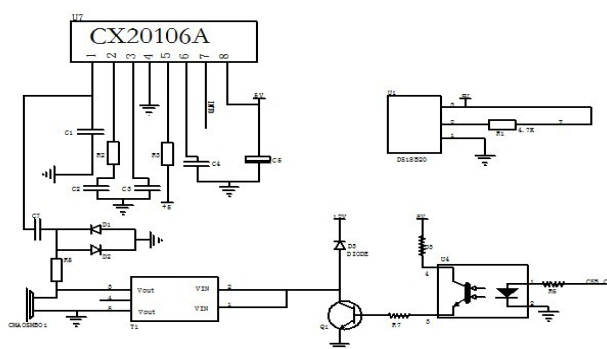


图3 超声波收发电路

Fig.3 Ultrasonic transmitting and receiving circuit

3 软件设计

3.1 软件流程

系统软件程序包括主程序、超声波发射接收子程序、温度测量子程序、距离测量子程序、距离判断子程序等。如图4所示。

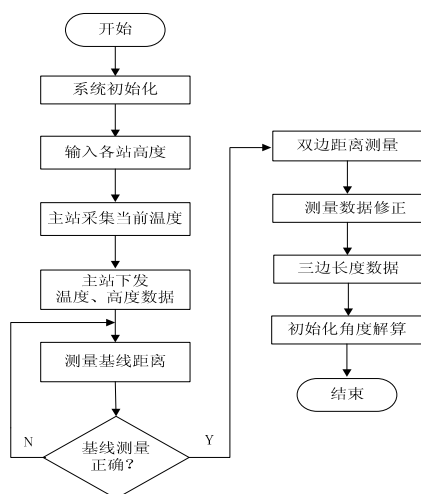


图4 主站程序流程

Fig.4 The flow chart of master station program

3.2 系统误差修正

系统从延时、温度、高低补偿以及数据滤波等提升超声波测距的精度。

3.2.1 延时补偿

单片机通过外部中断检测到超声波信号进入中断程序及指令执行等动作,使硬件电路存在一定的延时,且距离越大,延时误差越大。另外,系统启动时的初始化校准误差,更加大了延时误差。系统采用 11.0592 MHz 晶振,且进行 12 分频,因此,在距离测量的过程中,需要按照式(3)加入延时补偿,对硬件带来的延时进行修正。

$$S = 1.085 \times 10^{-6} (t - t_0) \cdot C \quad (3)$$

式中: Δt 为硬件及初始化产生的延时; t 为定时器测量的总时间; C 为超声波传播速度。

3.2.2 温度补偿

为了减小温度对超声波测距的影响,在控制电路中加入温度测量电路,应用式(4)对电路进行温度补偿^[10]。

$$S = 1.085 \times 10^{-6} (t - \Delta t) \times (331.4 + \sqrt{1 + T/273}) \quad (4)$$

式中: T 为环境的实时摄氏温度; t 为硬件及初始化产生的延时; t 为超声波传播的时间,且 $t = TH0 \ll 8 + TH0$ 。

3.2.3 高度补偿

在实际激光角度初始化过程中,超声波发射、接收器通常不处于同一水平线,这样在近距离测量时会产生较大误差,需要在超声波距离测量中用式(5)对距离测量进行高度补偿。

$$d = \sqrt{s^2 - h^2} \quad (5)$$

式中: s 为 2 个超声波模块测量所得距离; h 为 2 个超声波模块的相对高度; d 为 2 个超声波模块间的实际距离。

3.2.4 数据滤波

为了避免外界干扰对超声波测距数据产生的影响,采集的数据采用 3σ 法则进行数据滤波^[4-5]。

4 试验结果与分析

为验证超声波测量的精度,分别针对延时、温度、高度补偿以及数据滤波进行了对比试验。选取一块 20

m²的空地,进行了A、B两组12次试验。

A组试验:①7:00,环境温度为29℃,将从站A模块固定于起始端,从站B模块通过串口与笔记本电脑相连,并保持与A站平齐,从10 cm处开始测量,并以10 cm的间隔依次往另一端移动,直至20 m处,将所测数据通过串口输出与激光测距仪所测的实际距离作对比;②保持相同的测试环境,将B站相对于A抬高45 cm,重复①;③加入延时补偿,相同测试环境,重复①、②;④加入温度补偿,相同测试环境,重复①、②。

B组试验:14:00,环境温度为35℃,重复A组试验。

从图5可看出,未经滤波的原始测量数据曲线中,存在2个野点,这使测量数据发生较大的偏移。如不进行处理,将严重影响测距效果。采集的原始数据根据 3σ 法则进行数据滤波后,数据中尖锐部分消除,曲线变平滑,可消除因外界干扰产生的随机误差。

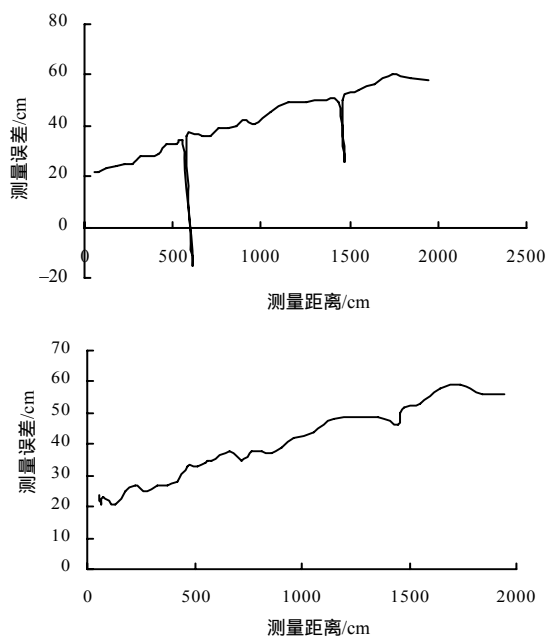


图5 数据滤波对比

Fig.5 The comparison of data filtering

由图6可知,未加入初始化校准和延时补偿时,超声波测距的误差比较明显,且由于超声波延时会随着距离的增大而增大,导致超声波测距的误差随着测量距离的增大而增大。在20 m的试验测量距离内,超声波测距的最大延时误差达59 cm。加入修正后,测量效果显著改善,最大误差仅为2 cm。

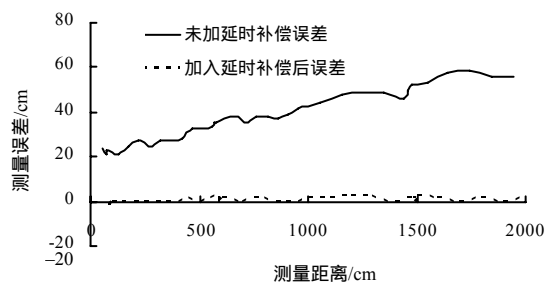


图6 延时补偿测量误差

Fig.6 The comparison of delay compensation test

由图7可知,未加入温度补偿的测量曲线,测量误差较大,且随着测量距离的增大而增大,在20 m的测量范围内,最大误差达到8 cm。在加入温度补偿后,同样测试环境下,测量误差明显变小,最大测量误差为2 cm。

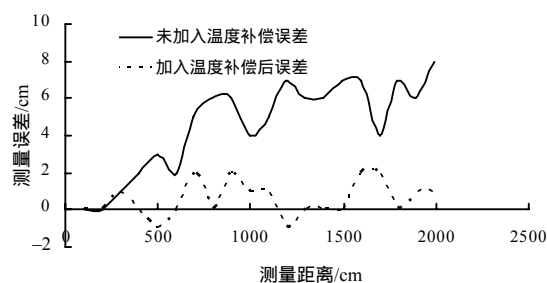


图7 温度补偿测量误差

Fig.7 The comparison of temperature compensation test

由图8可知,当2个超声波测距探头存在相对高度差时,测量结果会存在误差,且距离较近时,误差较大,在20 m的测量范围内,相对高度为45 cm时,最大误差可达11 cm。当加入高度补偿后,同样的测试环境下,测量结果得到改善,最大误差不超过2 cm。

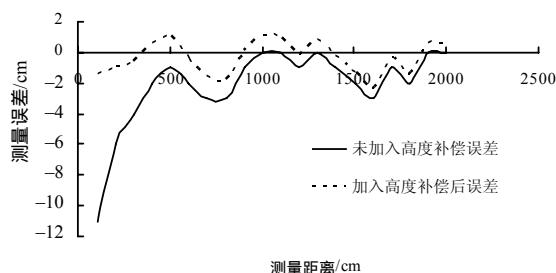


图8 高度补偿测量误差

Fig.8 The comparison of height compensation test

图9为同时加入延时补偿、温度补偿、高度补偿、滤波补偿后的测量效果。加入了3种算法综合补偿后的超声波测距效果明显改善,在20 m的测量距离内,最大误差仅为2 cm。

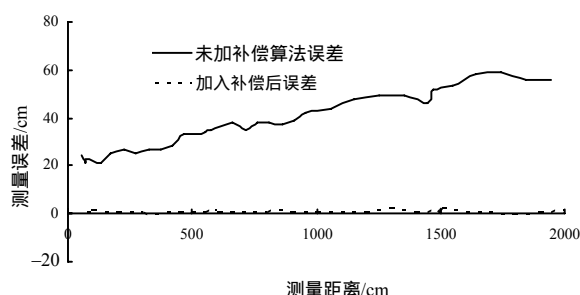


图9 补偿算法测量误差

Fig.9 The error comparison of compensation algorithm

5 结 论

所设计的基于超声波测距的激光角度初始化系统,在加入了温度、延时、高度补偿以及数据滤波算法后,其超声波测距单元的距离测量精度大大提高。在20 m的测量距离内,测量误差不超过2 cm,可满足激光角度初始化误差小于 0.05° ,保证激光角度初始化的精度。

参考文献:

- [1] 谢昌盛,蒋蘋,胡文武,等.高速插秧机无线遥控驾驶系统的设计[J].湖南农业大学学报:自然科学版,2012,38(4):441-445.

- [2] 孙琳琳,石飞飞.一种高精度超声波测距仪的设计与实现[J].科学技术与工程,2010,30(10):7447-7453.
- [3] 贺桂芳.一种高精度超声波测距系统的设计[J].传感器与微系统,2010,29(4):78-81.
- [4] 蒋蘋,胡文武,罗亚辉,等.基于模糊算法与 3σ 法则的比例遥控系统研究[J].湖南农业大学学报:自然科学版,2009,35(3):325-328.
- [5] 刘升平,王剑,葛红.超声波测距系统的开发与研究[J].计算机工程与应用,2009,45(25):78-81.
- [6] 宏晶科技.STC12C5A60S2系列单片机器件手册[EB/OL].(2011-07-05).http://www.stcmcu.com/(2012-05-14).
- [7] 蒋蘋,胡文武,孙松林,等.水田作业机械遥控系统设计[J].农机化研究,2009,6(6):62-68.
- [8] 百度文库.CX10206A中文资料及超声波收发电路[EB/OL].(2010-06-18)http://wenku.baidu.com/view/e42a650d7cd184254b353545.html(2010-09-02).
- [9] 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.
- [10] 王红云,姚志敏,王竹林,等.超声波测距系统设计[J].仪表技术,2010(11):47-49.

责任编辑:罗慧敏

英文编辑:张健

(上接第434页)

参考文献:

- [1] 周冀衡,汪邓民,方晓东,等.不同烤烟品种对钾素响应能力的研究[J].土壤,1998,3(5):247-260.
- [2] 李强,周冀衡,杨荣生,等.曲靖植烟土壤养分空间变异及土壤肥力适宜性评价[J].应用生态学报,2011,22(4):950-956.
- [3] 王彦亭,谢剑平,李志宏.中国烟草种植区划[M].北京:科学出版社,2010:28-35.
- [4] 陈泽鹏,詹振寿,郭治兴,等.广东植烟土壤肥力综合评价[J].中国烟草科学,2006(1):35-37.
- [5] 黎妍妍,许自成,肖汉乾,等.湖南省主要植烟区土壤肥力状况综合评价[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2006,34(11):179-183.
- [6] 胡月明,吴谷丰,江华,等.基于GIS与灰关联综合评价模型的土壤质量评价[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2001,29(8):40-42.
- [7] 宋淑芳,周冀衡,邓小华,等.大理植烟土壤养分含量及其对烟叶生产的适宜性[J].湖南农业大学学报:自然科学版,2012,38(2):16-20.

- [8] 沈慧,姜凤岐,杜晓军,等.水土保持林土壤肥力及其评价指标[J].水土保持学报,2000,14(2):60-65.
- [9] 李梅,张学雷.基于GIS的农田土壤肥力评价及其与土体构型的关系[J].应用生态学报,2011,22(1):129-136.
- [10] 鲁如坤.土壤农业化学分析法[M].北京:中国农业科技出版社,1999.
- [11] 高长波,陈新庚,韦朝海,等.熵权模糊综合评价法在城市生态安全评价中的应用[J].应用生态学报,2006,17(10):1923-1927.
- [12] 路鹏,彭佩钦,宋变兰,等.洞庭湖平原区土壤全磷含量地统计学和GIS分析[J].中国农业科学,2005,38(6):1204-1212.
- [13] 郝黎仁,樊元,郝哲欧.SPSS实用统计分析[M].北京:中国水利水电出版,2002.
- [14] Gao Rui, Qiao Hongbo, Zhang Hui, et al. Soil suitability evaluation for tobacco based on grey cluster analysis[J]. International Federation for Information Processing, 2010, 317: 532-538.

责任编辑:王赛群

英文编辑:王库