

# 基于 ZigBee 的干涉仪测控系统设计

张思晶<sup>1,2</sup>, 韩 森<sup>1,2</sup>

(1. 上海理工大学 光电信息与计算机工程学院, 上海 200093;

2. 苏州慧利仪器有限责任公司, 江苏 苏州 215123)

**摘要:**针对传统干涉仪需要手工调节机械装置, 自动化程度低等问题, 该文设计了一套以 ZigBee - CC2530 为核心的无线测控系统。该系统将 2 个 CC2530 节点分别作为射频信号收发器, 以点对点通信的方式实现无线控制功能。同时利用微软基础类库 MFC(Microsoft Foundation Classes)设计了上位机软件, 通过串口通信控制精密电机的运转, 并在仪器内部基于不同条件设计了对应的行程限位解决方案, 使得精密电机可以满足测控要求定点制动, 提高了干涉仪的测量效率和精度。

**关键词:**干涉仪; 无线控制; MFC 上位机

**中图分类号:** TN98      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000 - 0682(2021)01 - 0008 - 05

## Design of interferometer measurement and control system based on ZigBee

ZHANG Sijing<sup>1,2</sup>, HAN Sen<sup>1,2</sup>

(1. School of Optical - Electrical and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;

2. Suzhou H&L Instruments LLC, Jiangsu Suzhou 215123, China)

**Abstract:** Aiming at the problems that traditional interferometers need to manually adjust mechanical devices and the degree of automation is low, a wireless measurement and control system with ZigBee - CC2530 as the core is designed. The system use two CC2530 nodes as radio frequency signal transceivers to implement wireless control functions in a point - to - point communication manner. At the same time, the Microsoft basic class library MFC(Microsoft Foundation Classes) is used to design the host computer software to control the operation of the precision motor through serial communication, and the corresponding travel limit solution is designed based on different conditions in the narrow and compact space of the interferometer, so that the precision motor can meet the measurement and control requirements for fixed - point braking, improve the measurement efficiency and accuracy of the interferometer.

**Keywords:** interferometer; wireless control; Microsoft Foundation Classes host computer

## 0 引言

干涉仪是一种利用光学干涉效应对表面、厚度、表面粗糙度、光功率、材料均质性和距离等进行准确测量的仪器设备<sup>[1]</sup>。随着光学精密测量技术的发展, 对干涉仪测量精度和稳定性有了更高的要求。传统干涉仪仍旧采用机械旋钮或拉杆等方式手动调节光学测量单元, 给系统带来了人为误差和不确定性; 而无线控制技术可以使用远程控制来代替手动操控, 在降低人为误差引入的同时还能满足对特殊

要求无人工作环境的需求。该文引入了 ZigBee 微波通信技术, 有效传输距离可达几十米, 利用无线节点设计一款远程遥控器, 从而实现了室外远程测量, 为仪器创造一个相当稳定的测量环境。

## 1 系统结构及原理

### 1.1 菲索型干涉仪检测原理

光学干涉测量技术是以光波干涉原理为基础, 以光的波长为单位的一种计量测试方法, 是检测光学系统、光学元件较为有效和准确的方法之一<sup>[2]</sup>。其中, 菲索型干涉仪是一种基本共光路干涉仪, 传统菲索型干涉仪标准面和被测面间一般没有任何的光学元件以避免其引入误差, 广泛应用于测量平面面形<sup>[3]</sup>。激光器发射的激光经分束镜、准直镜后变为平行光, 一路经参考平面的标准平面反射回原光路; 另一路经过

收稿日期: 2020 - 08 - 19

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFF0101903)

作者简介: 张思晶(1996), 男, 安徽合肥人, 硕士研究生, 研究方向为仪器科学。E-mail: 1727220341@qq.com

透射镜出射到被侧面,再由反射面反射经原光路返回。这两路返回光束经分束镜反射到 CCD 相机,形成干涉图<sup>[4]</sup>。图 1 为利用精密直流电机驱动调节菲索型干涉仪示意图,图中由电机驱动滤光片旋转,为渐变滤光片旋转时光透过率连续改变,由此可以调节干涉条纹的强度。调节光强过程中,须保证光强在 CCD 线性响应区间内<sup>[5]</sup>,故调节需要一定的范围限制。

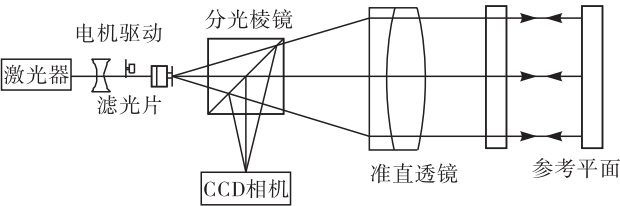


图 1 干涉仪调节示意图

干涉仪无线测控系统主要由遥控器模块、终端控制模块、MFC 上位机软件、限位模块以及光学测量结构组成。遥控器模块和终端控制模块都各有 1 个 CC2530 芯片作为主控芯片,2 个 CC2530 节点之间利用 ZigBee 无线通信技术进行点对点通信。遥控器模块的不同按键可以对不同电机实时操控,包括电机的转速大小、正反转和急停功能。电机在仪器内部通过齿轮或丝杆等与载有光学调整装置的机械结构相连接,根据需求不同,共分为消除系统空间相干性电机、调光强电机、调对比度电机、调焦变倍电机、调焦补偿电机和 CCD 切换电机。限位系统可在电机运转至行程极限位置时使电机停止运转。测控系统在保证远程无线遥控的基础上增加了 MFC 上位机软件实时控制,并且终端控制节点中使用同一套下位机软件分别处理来自串口的 RS232 电平信号和来自遥控节点的射频信号。系统原理框图如图 2 所示。

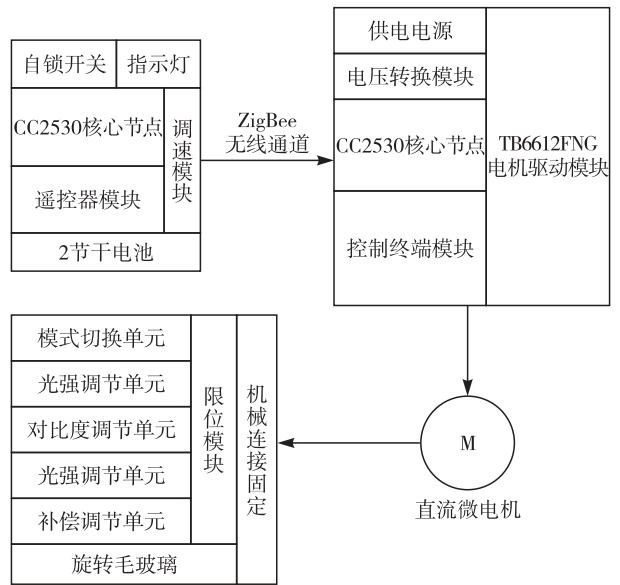


图 2 系统原理框图

2 系统硬件设计

2.1 CC2591 射频芯片

仪器的金属外壳和墙壁对射频信号都会有屏蔽作用,片上系统 CC2530 芯片的传输距离和发射功率有限,无法满足室外远距测控要求。基于此,增加射频芯片 CC2591 与 CC2530 相结合提高测量的灵敏度和稳定性。CC2591 是用于低功耗、低电压无线应用的高度集成的 2.4 GHz 的射频前端,它可以通过一个功率放大器,来提供较高的输出功率,通过低噪声放大器,来改善接收机的灵敏度,从而可以改善链路的估算<sup>[6-7]</sup>。根据 ZStack 协议栈,它通过 HGM, PANE 和 EN 三个管脚分别和 CC2530 的 P0\_7, P1\_1 和 P1\_4 管脚相连。

2.2 遥控器硬件设计

遥控器模块的核心控制部分是 CC2530 无线节点,主要包括电源、LED 显示、复位电路和功能按键。电源由 2 节 1.5 V 干电池组成,满足 CC2530 芯片工作电压在 2 ~ 3.6 V 宽电压范围的要求。LED 显示可以即时显示电源开关以及三挡调速拨动开关的状态。复位键与芯片 Reset 引脚相连接,按下复位按键后即可实现复位功能。功能按键主要可以选择不同电机的转速、方向等功能。天线选择 2.4 G, 2 dBi 的外置胶棒天线,有效通信距离可达几十米。

2.3 电机驱动电路

单片机 IO 口的带负载能力太弱,而直流电机是大电流感性负载,该系统选用 TB6612FNG 驱动芯片来驱动无刷直流电机。TB6612FNG 是东芝半导体公司设计的一款直流电机驱动芯片,它具有大电流 MOSFET - H 桥结构,内含 2 个 H 桥型电路,每个 H 桥型电路都可以控制一路电机的正反转,双通道电路输出,可同时驱动 2 个电机。TB6612FNG 芯片易于控制,占用 IO 口较少,该系统使用 3 组 TB6612FNG 芯片共控制 6 路电机的运转。其中消除系统空间相干性电机不需要控制其正反转以及 PWM 调速,该电机在测量过程中需要保持持续运转以消除空间相干性的影响。3 组芯片跟主控板之间通过 SPI 通信协议通信。独立电源 12 V 电压供电。采用脉宽调制信号 PWM 实现对电机的转速调节,其可支持高达 100 kHz 的频率,通过软件定时器调节脉宽调制占空比来决定其平均电压的大小,从而控制电机的转速。电机驱动电路如图 3 所示。

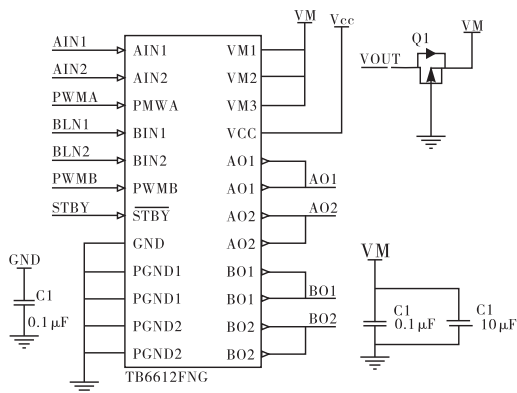


图3 电机驱动电路图

## 2.4 串口通信模块

串口通信模块的核心是 MAX232 芯片,该芯片专门用于 USB 转串口。它是由 MAXIM 公司推出的一款兼容 RS-232 标准的芯片,是专门为电脑的 RS-232 标准串口设计的接口电路,实现单片机的 TTL 电平和 PC 的 RS232 电平之间的转换。该芯片包括 2 个驱动器、2 个接收器和 1 个电压发生器。PC 端 USB 提供 5 V 供电电压,经 MAX232 芯片电平转换后可提供 5 V 和 3.3 V 两种供电电压,该文选择 3.3 V 电压给 CC2530 芯片供电。串口通信电路如图 4 所示。

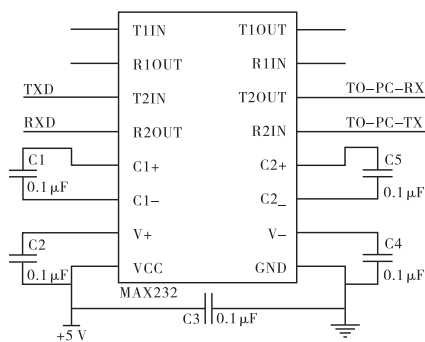


图4 串口通信电路图

## 2.5 限位模块

### 2.5.1 CCD 电机限位方案

CCD 电机在仪器内部主要是为了切换不同的摄像头工作,对此电机的要求是不需要即按即停,按键触发后即以一较快速度运转至极限位置即可。所以在软件程序中使用死循环的方式使其执行持续运转的操作,这里利用微动开关结合软件程序来使其跳出循环以完成切换操作。为了节省使用单片机 IO 引脚,利用芯片内部集成的 ADC 模块来实现限位,即通过 ADC 模块的输入口获取不同的电压信号来判断直流电机到达极限位的状态。单片机内部 ADC 可支持 14 位模拟数字转换,其中有效数字位有 12 位。当机械部件移动到极限位置时会使触点式微动开关按下,接通限位电路,信号从选用的 PO\_6 引脚进入芯片被

ADC 采集。限位原理是将每个按键按下的信号转化为 0~3.3 V 的不同电压模拟量,A/D 转换模块将电压模拟量转化为单片机可识别的数字量,并通过 DMA 写入 CC2530 单片机的寄存器中,单片机即可对其进行相关处理。限位电路如图 5 所示。

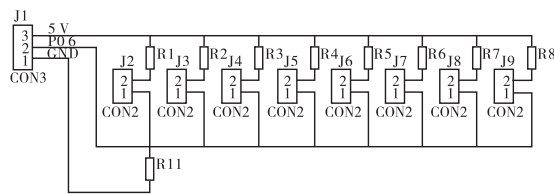


图5 限位电路

### 2.5.2 调光强电机限位方案

在干涉仪有限的空间结构中,需要根据不同的要求提出不同的行程限位解决方案。调光强电机的联轴器根据要求需在 0°~330°的弧形空间范围内调节转动,由于空间狭小,微动开关很难满足这一要求,最终选用 OMRON 公司 EE-SX67 系列光电遮断器实现限位功能。光电遮断器是一种光投射性光电感应器,将发光组件和受光组件面对面排列并设置于同一封装内,利用检测物体通过时会遮光的原理即可实现检测功能。这种 U 型槽对射式光电开关的槽型间距只有 5 mm,工作电压为 5~24 V 的广范围,NPN 型输出,当 U 型槽检测到物体时输出一个低电平,输出接口 OUT 可与单片机 IO 口直接相连。其相应频率为 1 kHz 的高速响应,有输出状态指示灯,为常开型,当检测到物体通过时灯灭。

## 3 系统软件设计

### 3.1 Basic RF 协议

Basic RF 协议是与 CC2530 芯片相配合的软件收发传输协议,是简化版的 ZigBee 协议,它具有 IEEE802.15.4 协议标准数据包的收发功能,提供 CCM-64 身份验证和数据加密,实现了一个安全稳定的双向无线通信<sup>[8]</sup>。协议内所有节点为平行关系,不提供不同种类的网络设备,所以只支持点对点的无线通信方式。其次,Basic RF 在传输数据过程中,若信道处于忙碌状态,会等待信道空闲。TI 公司将协议以库函数的形式进行封装,用户可以直接调用这些应用接口函数,简化程序设计开发。

### 3.2 无线收发控制程序

系统软件开发平台为 IAR Embedded Workbench 集成开发环境,单片机程序采用 C 语言在 IAR Embedded Workbench 编辑环境下实现开发和调试。编程过程采用模块化思想,遥控器节点模块和终端控制节点模块的核心都是 CC2530 芯片,所以

发送和接收程序都是在一个项目中完成,两种模式需要在主程序中定义切换,程序设计完成后,可通过IAR 编程环境以及仿真器下载到核心板中进行调试。发射节点和终端节点的程序流程如图 6、图 7 所示。

4 MFC 上位机软件

MFC 是微软公司提供的一个类库,以 C + + 的形式封装了 Windows 的 API 函数,并且包含了一个应用程序框架,丰富的类库和开放的 API 接口非常适合开发者使用。MFC 对话框是一种特殊类型的窗口,方便 Windows 程序通过对话框与用户进行交互<sup>[9]</sup>。该文以 CC2530 芯片为下位机,以 PC 为上位机,通过可视化编程软件 Visual Studio 2019 MFC 设计人机交互界面,模拟无线遥控器模块,实现上下位机间的串口通信,并且只用一套下位机软件就可以分别处理来自串口和射频的两种信号。通过按键对 CC2530 发送数据,让 CC2530 进行分析处理实现对直流微电机的 PWM 调速控制。上位机界面简洁、直观,通过上位机界面可以实时控制不同测控电机的转向、转速等功能。MFC 上位机软件如图 8 所示。

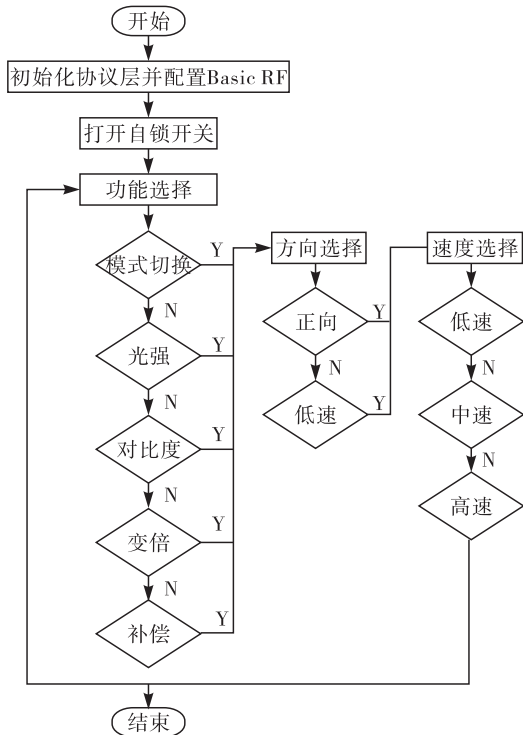


图 6 无线发射模块控制程序图



图 8 MFC 上位机软件界面

4.1 串口通信模块

在 Visual Studio 中可以使用 ActiveX Control 中的 Mscomm 控件,它是 Windows 下的一个串行通信控件,为应用程序提供了串行接口收发数据的简便方法。MFC 通过使用 Mscomm 控件,提供串行通信功能给应用程序,可以使串行端口接收和发送信息<sup>[10]</sup>。上位机软件通过 MFC 建立一个基于对话框并模拟遥控器模块的界面,由 PC 发送控制指令,调用 Mscomm 控件的 put\_Output ( ) 函数以向下位机发送一个二进制数据,这个二进制数据与射频信号保持一致方便下位机处理。Settings 属性选择为 115200,n,8,1,即波特率为 115 200,无校验位,8 位数据位,1 位停止位。串口界面设置编辑框控件手动输入端口号并通过 Mscomm 控件的 comport 属性返回通信端口号。在对话框 Combobox 控件中设置高、中、低三种速度选择,当选择不同速度时,上位机

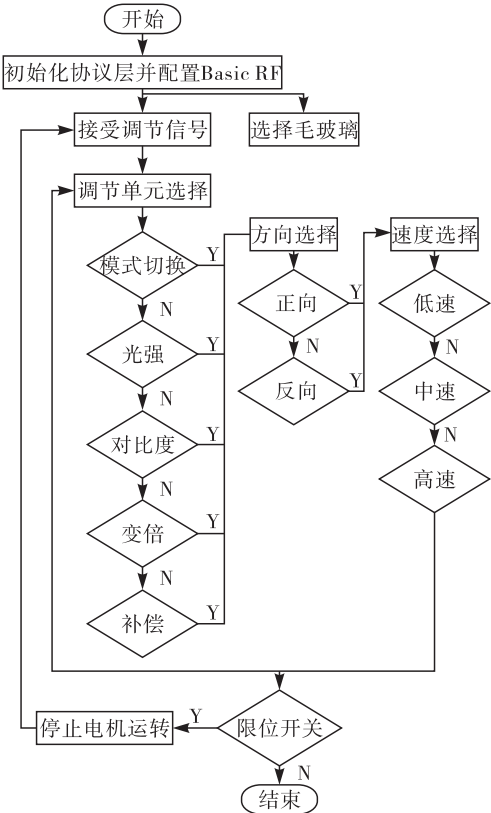


图 7 无线接收模块控制程序图



发送不同数据给下位机。干涉仪控制终端收到指令后对指令解码,并按指令读取存储器规定地址段中的数据。

#### 4.2 电机即按即停方案

干涉仪是精度极高的光学仪器,该测控系统中多个电机都要求达到即按即停的控制效果。但是在 MFC 中 Button 控件默认没有与按键长按对应的消息,也没有按下与松开的消息。基于此,提出了两种解决方案,调用 MFC 中的 PreTranslateMessage 函数,该函数是在消息处理前所做的操作,在 MFC 中主要用来截获消息,可以通过重载它来处理键盘鼠标消息。方案 1 是当鼠标左键按下时设置一个定时器 SetTimer,如果条件满足则触发定时器循环执行按键 click 回调函数,可以设置定时器的时间间隔最小到 1 ms,每隔 1 ms 可以向下位机发送一个字节;当鼠标左键抬起时调用 KillTimer 函数取消定时器。但是 1 ms 对于单片机来说还是很长的一个时间间隔,它会导致下位机接收信号的时间间隔长,最终使电机获得的平均电压降低,转速变得很慢。方案 2 是在该函数中可以定义鼠标左键按下及抬起事件,即当鼠标左键按下或抬起分别发送不同的二进制数据给下位机,以模拟遥控器模块的控制电机即按即停功能。

#### 4.3 下位机串口 UART

UART 即通用异步收发传输器,它将要传输的资料在串口通信与并行通信之间加以转换。它是一种通用串行数据总线,其作为异步串口通信协议的一种,工作原理是将传输数据的每个字符一位一位地传输。CC2530 芯片中集成了 2 个 UART 串口,该芯片的中断控制器集成了 18 个中断源,其中 UART 串口的 RX 接收完成中断适用于串口通信,在中断函数 UART0\_ISR() 中编写中断处理程序。

## 5 结语

该文提出的利用 ZigBee - CC2530 解决方案设计菲索型干涉仪无线测控系统,实现了干涉仪测控单元的自动控制,并设计了 MFC 可视化上位机软件。所设计的无线测控系统已经成功应用在 2016 年国家重点研发计划项目中,它利用 ZigBee 无线通信技术实现通信,对干涉仪的调节稳定可靠,只用 1 台遥控器就可以精确控制直流微电机的转向、转速、限位等功能,提高了干涉仪的检测效率和测试的精确性,最终实现了干涉仪无线测控系统替代手工调节完成激光干涉仪光学部件的调节。

#### 参考文献:

- [1] 朱沙,何天祥,方超,等. 激光干涉波形解调测量振动相位新方法[J]. 中国测试,2015,41(11):20-22+43.
- [2] 冯其波,谢芳,张斌. 光学测量技术与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2008.
- [3] 朱波. 移相式斐索中波红外干涉仪关键技术及应用研究[D]. 南京:南京理工大学,2014.
- [4] 黄根旺. 斐索型移相式激光干涉仪研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2011.
- [5] 陆旭明. 干涉仪测量的光强控制与抗振技术研究[D]. 苏州:苏州大学,2006.
- [6] 白宏图. 利用外部低噪声放大器(LNA)改善接收机灵敏度[J]. 电子设计工程,2010,18(01):128.
- [7] TEXAS INSTRUMENTS. Using CC2591 Front End with CC2530/1[Z]. Datasheet,2010.
- [8] 王铭明,陈涛,王建立. 基于 BasicRF 的家居环境监测预警系统设计[J]. 现代电子技术,2013,36(24):99-102.
- [9] 车忠志,孙雪雁. MFC 应用程序基本框架分析[J]. 农业网络信息,2010(09):145-147.
- [10] 王正强. VC 中应用 MSComm 控件实现串口通信[J]. 电子测试,2010(05):73-76.
- [11] (上接第 7 页)
- [12] 程拓. 四自由度并联平台位姿跟踪控制研究[D]. 秦皇岛:燕山大学,2016.
- [13] 胡斌,刘海涛,聂健壕,等. 基于 LabVIEW 分数阶控制器的机械臂控制[J]. 工业仪表与自动化装置,2018(03):11-15.
- [14] 罗东云,杨保海,蔡苗苗,等. 基于卡尔曼控制的滑模振动力输出跟随系统[J]. 机电工程,2017,34(12):1437-1440.
- [15] 赵春刚,张爱华,王明红,等. 多关节机器人事件驱动神经网络滑模控制[J]. 制造业自动化,2018,40(08):135-139.
- [16] 陈志勇,郭益深,陈力. 柔性关节双臂空间机器人的滑模神经网络控制[J]. 系统仿真学报,2014,26(12):2950-2956.
- [17] 李腾辉,谢寿生,彭靖波,等. 航空发动机模糊 PID 趋近律滑模控制器设计[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2018,19(02):15-20.
- [18] MOHAMMADI A, TAVAKOLI M, MARQUEZ H J, et al. Nonlinear disturbance observer design for robotic manipulators[J]. Control Engineering Practice, 2013, 21(3):253-267.