

相位式光纤测量电路系统的设计与实现

李中方 李新碗 杨潘 李乐逊

(上海交通大学电子工程系“区域光纤通信网与新型光通信系统”国家重点实验室)

摘要: 本文在FPGA、直接数字频率合成(DDS)、数字鉴相等技术的基础上,设计并实现了相位式光纤测量电路,用于基于光纤的激光测距校正系统中光纤光程的测量。本文介绍了相位法测量的基本原理,对其电路设计和关键技术的实现进行了论述,并给出了系统的实际测量结果,为光纤光程的测量和标定提供了一个可行的方案和参考。

关键词: 相位法; 现场编程门阵列; 直接数字合成; 检定方法; 激光测距

The Design and Implementation of Phase-based Circuit System for Optical Fiber Measurement

Li Zhongfang Li Xinwan Yang Pan Li Lexun

(State Key Laboratory of Advanced Optical Communication Systems and Networks, Dept. of Electronic Engineering, Shanghai Jiao Tong University)

Abstract: Based on the technologies of FPGA, Direct Digital Synthesizes (DDS) and digital discrimination, a phase-based measurement system which is used in the calibration of electro-optical distance meters and total station instruments with optical fiber as baselines is designed and implemented in this paper. The principle of phase-shift measurement is introduced and the implementation of the circuit design and key technologies is discussed. The actual measurement results are given at last. This paper would provides a feasible solution and reference for the measurement and calibration of optical fiber path.

Key words: phase-shift; FPGA; DDS; calibration methods; laser ranging

0 引言

光电测距仪和全站型电子速测仪(以下简称全站仪)作为一种在多领域广泛应用的计量仪器,为保证精度和可靠性,必须对误差进行定期检定和校正。目前这种检定多在室外标准基线上采用多段基线组合比较法进行^[1]。但这种方法成本大,维护困难,且易受环境因素的影响,因而国内外一直致力于建立室内检定装置,以取代室外基线,完成测距仪的检定和校正^[2]。

光纤作为一种光传输介质,以其良好的导光性和伸展性,成为激光测距室内校正的理想选择,已有文献对其可行性进行了分析^[3]。基于此,我们研制开发了基于光纤的激光测距校正系统。在该校正系统中,利用光纤模拟室外基线,使用全站仪对光纤光程进行测量,其测量结果和光纤实际光程进行比较,从而达到检定和校正的目的。

为了得到被测光纤基线的实际光程,需要对光纤的光程长度进行精确测量。现有的光纤长度测量方法有光时域反射(OTDR)、光频域反射(OFDR)^[4]、干涉法、脉冲法、相位法等。其中相位法测量范围较大、精度高,能够很好地满足光纤基线的测量要求。因而,我们利用FPGA、直接数字合成(DDS)、数字鉴相等技术,设计和实现了基于相位法的电路测量系统,用于光纤光程的测量。该测量系统具有比全站仪更高的测量精度,从而对光纤基线的实际光程进行标定,以其标定长度与全站仪测量结果进行比较,完成全站仪的校正。

1 相位法测量的基本原理

相位法激光测量技术利用光调制信号在发射端和接收端之间的相位差来实现对被测目标距离量或长度量的测量^[5]。

利用相位法测量光纤光程如图1所示,一段光程为的光纤,其输入输出端分别为A、B,在A端输入经调制的光信号,在光纤中传输后在B点输出。设调制信号在A的相位为 ϕ_0 ,在B点的相位为 ϕ_1 ,那么通过检测两端之间的相位差 $\Delta\phi = \phi_1 - \phi_0$,可得到L值。

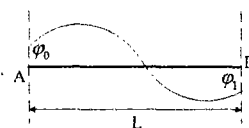


图1 相位法测距示意图

设光调制信号的频率为 f ,光速为 v ,则信号波长 $\lambda = v/f$,那么 $L = \frac{\Delta\phi}{2\pi} \lambda = \frac{v\Delta\phi}{2\pi f}$ 。

调制信号可认为是相位法测量的度量标尺,称之为“测尺”。测尺频率越大,测量精度越高。由于测尺信号的周期重复性,使用一把测尺不能实现长度的准确测量。因而使用一组(两个或以上)测尺一起对L进行测量,可同时保证测量的精度和范围,得到准确测量值^[5]。

2 相位法测量的电路实现

2.1 电路实现方案

利用相位法对光纤光程进行测量的电路框图如图2所示。

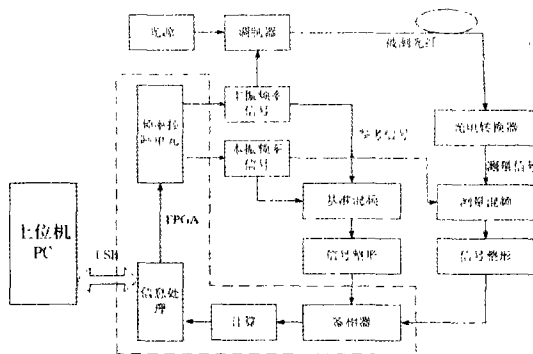


图2 相位法测量的电路框图

在该系统中,上位机PC接收用户的测量指令,通过USB接口发送到下位系统的FPGA中,FPGA对指令进行解析,控制频率信号产生电路产生主振信号和本振信号。

主振信号通过调制器对光源发出的光进行调制，调制光在被测光纤中传输后由光电转换器得到测量信号。原主振信号作为参考信号与测量信号分别和本振信号进行混频，然后经信号整形后送入FPGA进行鉴相得到两者相位差，该相位差包含了被测光纤的长度信息。FPGA通过相位差计算得到光纤光程，然后通过USB接口发送到上位机PC，显示给用户。实际测量中，按照以上流程，依次产生两组不同频率的测量信号，实现对光纤光程的准确测量。

2.2 系统关键技术的实现

2.2.1 FPGA单元的实现

FPGA单元使用Altera DE2开发板实现，构建SOPC系统，调用开发板中USB组件实现与上位机的数据交互，利用NIOs II处理器进行信息处理、指令解析和测量计算。同时使用Verilog HDL语言编写频率信号控制模块和鉴相模块。前者用于对频率信号产生电路进行控制，后者对测量后的信号进行相位差检测。其实现框图如图3所示。

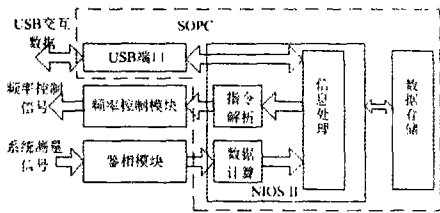


图3 FPGA单元的实现框图

2.2.2 频率信号产生电路的实现

频率信号产生电路在FPGA中频率控制模块的控制下，产生高精度正弦主振信号和本振信号，分别用于光调制和混频。此电路产生的信号要求频率可调，且具有较高的频率稳定性和低的相位噪声，相位抖动小，以保证最终的测量精度。

在本系统中，我们基于直接数字频率合成(DDS)技术进行信号产生。DDS的实现，使用芯片AD9951。AD9951是一个可控的频率合成芯片，具有32位频率转换字，最大合成频率为160MHz。系统中采用两块AD9951，分别产生主振信号和本振信号。FPGA通过该芯片的控制端口，对其产生的信号频率进行控制。其控制时序如图4所示。

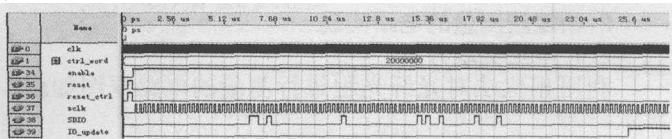


图4 FPGA对AD9951的控制时序

AD9951产生的频率信号具有一定的杂散，系统中使用七阶椭圆低通滤波器进行滤波，然后使用运算放大器AD8007进行信号放大。电路框图如图5所示。该电路产生的50MHz的正弦信号如图6所示。

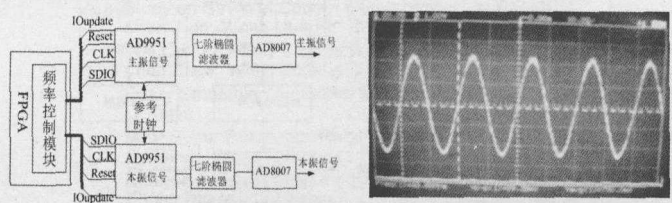


图5 DDS电路框图

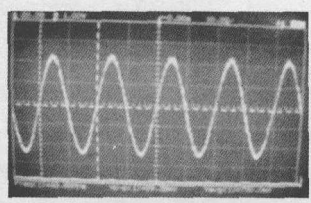


图6 DDS电路产生的50MHz信号

2.2.3 混频鉴相电路

由于测量信号频率较高，直接对其进行鉴相难以达到良好的鉴相精度，因而在系统中采用混频的方法进行差

频鉴相。在差频鉴相中^[6]，参考信号和测量信号同时与本振信号进行混频，滤除混频后高频分量，得到混频后低频参考信号和混频后低频测量信号。混频降低了信号频率，但保持相位差不变^[6]，便于鉴相操作。相位差的检测使用自动数字鉴相法。其原理如图7所示。参考信号和测量信号通过过零比较，得到参考方波信号和测量方波信号。比较两方波信号，得到两者之间的相位差信号，然后使用高频计数脉冲对相位差信号，然后使用高频计数脉冲对相位差信号进行计数。设参考信号和测量信号的周期为f，高频计数脉冲的频率为fc，一个周期内的计数值为M，则相位差为： $\Delta\varphi = 2\pi Mf / f_c$ 。为了减小偶然误差，提高鉴相精度，可以对多个周期计数求平均。设N个周期的计数值为M'，则 $\Delta\varphi = 2\pi M'f / Nf_c$ 。

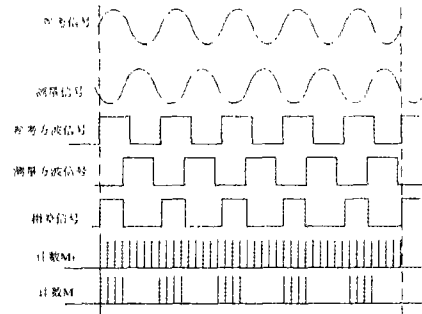


图7 自动数字鉴相原理

混频电路的实现基于混频器AD831。使用两片AD831，分别用于参考信号与本振信号混频及测量信号与本振信号混频。混频后使用芯片MAX274进行带通滤波，得到混频后的低频正弦信号。然后通过基于MAX912的过零比较电路将正弦信号转换为同相位差的方波信号，输入到FPGA中进行鉴相。在FPGA中，利用多周期自动数字鉴相法，对相位差进行检测。其实现框图如图8所示。

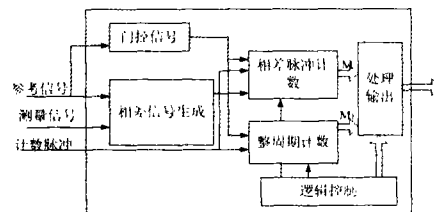


图8 自动数字鉴相的实现框图

3 测量结果

在实际测量中，利用组合测尺频率先后进行两次测量。第一次取主振信号频率为52MHz，本振信号频率为51.99MHz；第二次取主振信号频率为51MHz，本振信号频率为50.99MHz。对应于混频后信号频率为10kHz。FPGA中鉴相高速计数脉冲频率为50MHz。基于以上参数，对多段光纤进行测量。两次测量的结果进行分析比较，可得到测量值。被测光纤的实际光程已由精密反射仪通过光学方法进行标定。测量结果如表1所示。

表1 系统测量结果(参见下页)

由以上测量结果可以看到，在一定的量程范围内，基于相位法的测量系统，对光纤光程的测量误差绝对值小于2mm。

4. 结论

表1 系统测量结果

编号	实际光程 (mm)	测量值 (mm)	误差 (mm)
1	224.478	222.949	-1.529
2	342.806	343.176	0.370
3	704.066	704.532	0.466
4	1456.914	1457.890	0.976
5	2938.044	2937.427	-0.617
6	4421.874	4421.399	-0.475
7	7312.506	7311.226	-1.280
8	8774.2	8774.967	0.767
9	11700.18	11701.919	1.737
10	14539.36	14540.469	1.109

本文在FPGA、直接数字频率合成(DDS)、自动数字鉴相等技术的基础上,设计并实现了基于相位法的电路测量系统。实际测量结果表明,此测量系统在一定的量程范围内,对光纤光程的测量误差绝对值小于2mm。在此测量水平下,此测量系统可用于基于光纤的激光测距校正与检定中,对其中的光纤基线进行测量和标定,这为光电测距仪和全站仪的室内检定提供了一个可行的方案和参考。

本文所论述的相位法测量的电路实现是一个初步方案,在电路设计、系统优化和误差分析等方面还需要做进一步的改进,以提高系统性能。

参考文献:

- [1] JJG-2003.光电测距仪检定规程[S].国家质量监督检验检疫总局,2003.
- [2] 杨维芳,傅辉清.光电测距仪检定方法研究进展[J].光学仪器,2008,30(4):77-81.
- [3] 杨中东,雷雨堂.利用光纤检定激光测距仪的研究[J].光电工程,2007,34(1):139-144.
- [4] Bing Qi.High-resolution,large dynamic range fiber length measurement based on a frequency-shifted asymmetric Sagnac interferometer [J].Optics Letters,2005,30(24):3287-3289.
- [5] 胥俊丞.新型相位激光测距仪的研究[D].西安:西安电子科技大学.2008.
- [6] 孔东.相位法激光测距仪的研究[D].西安:西安电子科技大学.2007.

作者简介:

李中方,上海交通大学电子工程系,硕士研究生
电话:13918163765
电子信箱:lizhongfang@sjtu.edu.cn或lizhongfang@gmail.com
通信地址:上海市闵行区东川路800号电院群楼5-200B
(200240)。

(上接第9页)

掌握,为了讲透这两条指令,必须得结合MCS-51单片机的片内RAM(数据存储器)的硬件结构图来进行讲解,图2便是MCS-51单片机的片内低128B的RAM结构图^[3,4]。

在对图2所示硬件结构进行分析后,学生便很容易理解听起来很玄的"堆栈区"其实就是人为地在单片机片内RAM开辟的一段存储区而已,为了开辟此存储区,需要一个堆栈指针SP,SP始终指向栈顶,在使用前需对SP赋一初值,即设置"堆栈区"的起始地址,有了此基础,再来理解堆栈操作指令就不难了。

PUSH direct指令就是要将断点或现场地址压入堆栈进行保护,在保护之前,SP在首地址的基础上加1,即在首地址的下一单元存储所要保护的direct地址,因而,执行一次PUSH指令,SP就加1一次,所要保护的地址就依次保存在片内开辟的堆栈区里,由此可见,首先进栈的地址被保存在最下面,最后进栈的地址被保存在最上面,随着保存的地址增多,栈顶是不断变化的,而SP这个指针则一直是指向新的栈顶的。

POP direct指令则刚好相反,它是出栈指令,首先出栈的是原来最后被保存进来的地址,图2 RAM低128B的结构最后出栈的是原来最先保存进来的地址。由此可见,堆栈的特点是先进后出。

综上所述,有了图2所示的结构图,就不难理解PUSH direct为什么先是(SP)+1→SP,然后再是(direct)→(SP);而POP direct指令则先是(SP)→(direct),然后再才是(SP)-1→SP。

4 结束语

MCS-51单片机汇编语言因其特殊的性质,学生不易学,教师不易讲,正因如此,倘若教师不能采取有效的教学方法,学生要么不来上课,要么就坐在教室里旷课。本文所述的英语还原法、实例法和软硬结合法都只不过是些教学方法而已,但这些方法并不是万能的,针对不同的学生群体,教师平时应注意多摸索一些实用的方法来实施教学。

参考文献:

- [1] 陈江龙.MCS-51单片机一些疑难指令的解析[J].湖南工业职业技术学院学报,2002,2(2):15-16.
- [2] 覃凤清.MCS-51系列单片机指令快速记忆法[J].宜宾学院学报,2004(6):192-193.
- [3] 赵全利,肖兴达.单片机原理及应用教程(第2版)[M].北京:机械工业出版社,2007.
- [4] 张迎新,杜小平,樊桂花,等.单片机初级教程-单片机基础[M].北京:北京航空航天大学出版社,2000.

作者简介:

吴怀超,男,(1975-),博士,贵州大学副教授,研究方向为嵌入式系统的设计及电液控制技术
电话:0851-4119759;13312245977
电子信箱:magoubs@sina.com
通信地址:贵州省贵阳市金阳新区世纪城龙嘉苑3栋23-1
(550022)