

# 基于 FPGA 的基坑实时自动报警装置的设计

苟辉 董威 何雯

(西安工业大学光电工程学院 西安 710021)

**摘要:**随着城市建设的迅猛发展,城市基坑工程高速发展,基坑事故的发生日渐频繁,这便对基坑实时状况的监测和自动报警提出了越来越高的要求。针对以往基坑监测中实施的人工监测、人工计算、人工报警等导致险情误报和延报的问题,提出了一种基于 AD7670 和 EP4CE6F17C8 的基坑自动报警装置的设计。该设计给出了基坑自动报警装置的总体设计方案,并对硬件电路、软件程序、滤波算法等部分进行了详细的描述。经试验表明,该基坑自动报警装置能对基坑位移倾斜值进行有效的测量,误差在 5% 以内,满足了建筑基坑工程检测技术规范中的要求,并能实现实时报警。

**关键词:**基坑监测;数字滤波;自动报警

**中图分类号:** TN06 TU196 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 560.20

## Designer of real-time automatic alarm device in foundation pit based on FPGA

Gou Hui Dong Wei He Wen

(College of Optoelectronic Engineering, Xi'an Technologic University, Xi'an 710021, China)

**Abstract:** As the rapid development of cities, foundation pit engineering develops quickly with more requirements to the real-time monitoring of foundation pit and its automatic alarm device. Based on AD7670 and EP4CE6F17C8, this paper designs an automatic alarm device of foundation pit in order to avoid false or delayed alarm to dangerous condition caused by manual monitoring, calculation and alarm. The paper firstly make a general design scheme about automatic alarm device to foundation pit and then offer detailed introductions to its related hardware design, program and filtering algorithm. The results show that effective measurement to tilting value of foundation pit is achievable with errors within 5% basically satisfying technical specification of foundation pit engineering and the real-time alarm is workable for this automatic alarm device.

**Keywords:** foundation pit monitoring; digital filter; automatic alarm.

### 1 引言

人们很早就进行基坑工程的尝试,如为建造房屋、桥梁、水利设施等工程而进行的放坡开挖或简易木桩支护,但随着现代化城市的快速发展,城市基坑工程呈现大、深、紧、近等特点<sup>[1]</sup>。近十年来基坑工程中发生事故的频率显著提高了,对经济和人员造成很大的损失。北京交通大学唐业清教授曾经对全国 160 余起基坑事故进行了细致的调查分析,从那些事故中得出一个结论:基坑事故大多与监测不力或者险情预报不准确有关。这就对基坑工程监测与险情预报是否及时、迅速、准确提出了很高的要求。国外直到 20 世纪末才出现了监测电脑数据采集系统,实现了监测自动化,但其监测与报警不在同时进行,无法提

供实时报警的功能。日本神户大学的 AKutagawa(2007)提出了基于 LED 的现场监测可视化的方法,应用于桥梁、山岭隧道等工程中进行变形监测可视化<sup>[2]</sup>。瑞士联邦科技研究所的 Chamrva(2011)针对新奥法隧道施工提出了利用无线传感器技术进行变形监测和实时预警的构想,其系统的实现还有待研究。同济大学的黄宏伟、刘奇等(2011)提出了基于 LED 技术实现感知结构变形风险大小可视化的构想,在室内初步实现了基本功能,距离实际使用还有待研究<sup>[3]</sup>。本文采用 FPGA 芯片 EP4CE6F17C8 和 A/D 转换芯片 AD7670 对基坑位移倾斜值进行测量,对测量数据进行数字滤波处理,并控制 LED 灯亮相应的颜色显示基坑所处的状况,使得基坑监测、报警整个过程由微处理芯片来完成,避免现行的人为监测、计算、报警的

情况,使得实时性、准确性、稳定性得到了很大的提升<sup>[4-5]</sup>。

## 2 系统设计

基坑实时自动报警装置系统功能是把传感器测量的墙体倾斜值传输给 FPGA, FPGA 通过内置的程序对传感器输入的电信号进行处理并且综合评价风险后,控制记忆存储芯片进行存储(可通过软件和液晶屏设定预警值、并且通过液晶屏可以显示实时监测数据和已经存储了的数据),控制 LED 显示不同颜色的光(绿色、黄色和红色),从而对工程项目进行实时监测和预警。并且后期能够通过有线传输把内存芯片上的检测值调出来以供基坑位移、变形研究使用。

基坑实时自动报警装置主要分为以下几个部分:传感器、信号处理模块、滤波器模块、基坑报警信号灯模块。

## 3 系统传感器选型

目前用于基坑监测的传感器种类有:电位器式传感器、光纤光栅传感器、电阻应变片、激光测距仪等。电位器优点是结构简单、使用方便、价格低廉,缺点是测量过程中带有磨损和摩擦、有系统误差、分辨率低、使用寿命短。光纤光栅优点是非接触式测量因而无磨损和摩擦、分辨率很高、抗干扰能力较强,但是其缺点是价格昂贵、工艺复杂、使用麻烦、对工作环境过于敏感。电阻应变片线性度好、分辨率高、结构简单,但是可用量程很短并且由于应变片环境变化对其测量影响很大很难精确测出某一种物理量的变化。拉线式位移传感器结构小巧、安装空间尺寸小、灵敏度高、分辨率高,可在恶劣环境下工作<sup>[6]</sup>。

综上所述,考虑到基坑施工周期很长,基坑监测位移精度要求很高,基坑环境恶劣对传感器耐不良条件要求较高等原因选择拉线式位移传感器作为系统位移测量的传感器<sup>[7]</sup>。

## 4 基坑实时报警装置的硬件电路的设计

硬件电路主要分为以下几个部分:传感器信号传输模块、CPU 主控模块、开关量输出模块、液晶屏与按键人机交互模块、数据存储模块、时钟模块。

### 4.1 硬件控制器的选型

FPGA 是现场可编程门阵列,它是在 PAL、CPLD、等可编程器件的基础上进一步发展的产物。它是作为专用集成电路领域中一种半定制电路而出现的<sup>[8]</sup>。它利用硬件并行的优势, FPGA 打破了顺序执行的模式,在每个时钟周期内完成更多的处理任务,超越了数字信号处理器(DSP)的运算能力<sup>[9]</sup>。FPGA 芯片采用芯片级封装,其芯片的体积已经缩小到 mm 级。而采用 SOPC 技术,可以在一片 FPGA 芯片上实现整个预测控制器,从而使预测控制器的体积大大缩小,可以实现控制器的微型化,这样会使控制器的可植入性得到很大提高<sup>[10]</sup>。本文描述的基坑实时报警装置采用 EP4CE6F17C8 FPGA 芯片。工作频率

可达 100 多 GHz。有丰富的资源,包括 256 个芯片管脚、8 000 多个逻辑单元,还可以通过内核使用 PLL, FIFO, DDR2 等操作。

### 4.2 AD 采集设计

根据基坑监测要求的精度为 mm 级别和拉线式传感器的拉伸量程为 500 mm,得出需要采用 16 位的 A/D 芯片才能满足测量精度要求。基坑实时自动报警装置采用亚德诺半导体公司的 AD7670。16 位的 AD7670 具有如下特点:200 KSPS 的 A/D 具有 8/6/4 路同步采样输入,模拟输入范围为 2.3~5 V,灵活的并行/串行接口,片内滤波器和高输入阻抗。

A/D 采集模块的设计如图 1 所示,8 路拉线式位移传感器测得的位移值同时传输给 AD7670 芯片,芯片这时将 CONVSTA 和 CONVSTB 两个管脚同时拉高启动芯片模拟输入通道的同步采样,当 BUSY 脚下降后把数据传输给 FPGA 处理器 EP4CE6F17C8,这时选用 FPGA 的优势就很明显的体现出来了,因为 A/D 一次采集 8 组数据,再加上后续还要对数据进行滤波处理,采集多组之后数据量就很大, FPGA 并行的特点就能很快的对这些数据进行处理。设计如图 1 所示。

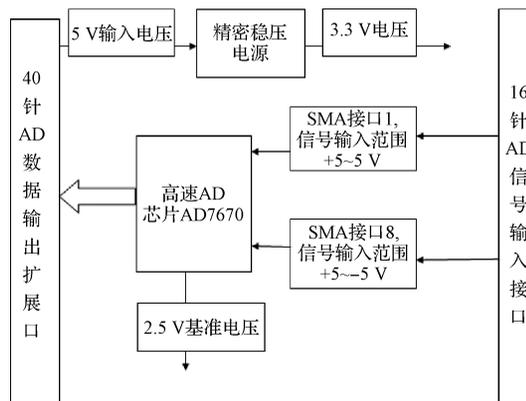


图 1 AD 采集模块设计

### 4.3 精密电压源设计

电压波动会让 A/D 芯片的供电电压和基准电压发生很大的波动,这会使测量输出产生很大的跳动,使测量数据很不稳定。因此必须设计一个精密稳压电源来使测量数据稳定、准确。

精密稳压电源的设计如图 2 所示:C1 和 C2 电容是用来滤波的,一个是减少电压纹波大小,一个是减少高次谐波对电源的影响。由 AR3 组成的运放跟随电路实现了输出电压跟随输入电压,并且因为引入了负反馈,电压较之前稳定了许多。而 Q1 三极管组成的电流放大电路,放大前面由运放输出的电流使其能够驱动后续的电路,R4 是一个保护三极管电流过大而损坏的保护电阻。这样就能对 AD 芯片进行稳定的供电使其能够正常工作,而芯片要求的 2.5 V 基准电压电路基本类似。

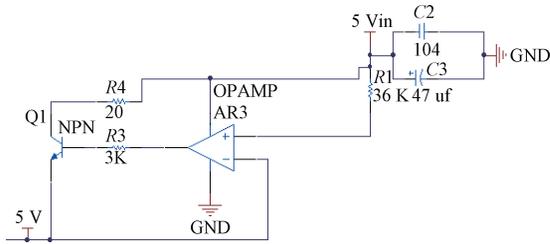


图2 精密电源设计

#### 4.4 开关量与输出模块

开关量与输出模块设计如图3所示,CK3为FPGA芯片输出的开关量输出信号,来控制不同颜色的LED灯

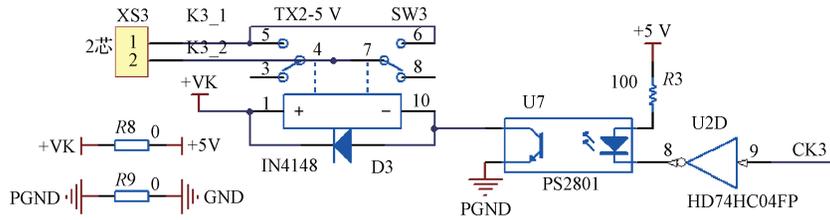


图3 开关量模块

### 5 软件设计

#### 5.1 数字滤波器的设计

基坑自动报警装置主要功能是监测基坑实时的位移倾斜情况,通过A/D采集芯片得到位移值的数字信号,其中重要的部分是数字滤波以及对滤波后的信号处理<sup>[12]</sup>。

基坑施工现场有很多不确定的,比方说有电磁干扰、高次谐波的干扰、基坑施工时振动的干扰、以及各种偶然因素引起的波动或采样器不稳定而造成误差等。这就要求设计的算法能够满足快速、准确、抗脉冲、信号波动小等特点。

算法借鉴滑动平均值滤波算法与防脉冲干扰平均值滤波算法和中值滤波算法。在原有的基础上进行了改进,综合了这3个算法的优点,摒弃了它们的缺点,使基坑自动报警装置能够更加精确的测量出基坑的位移倾斜值。改良后的算法主要操作步骤如下:先设定一个存储范围,使得每进来一个数据都能立刻输出一个数据,保证了数据的实时性和迅速性。使其免于在平均值滤波算法中那样采集很多次数据才能输出一个数据。每进入一个数据都把所有数据从小到大排序,把顺序在中间的那个数据输出去。当队列满了之后,第一次把最大值丢弃,第二次丢弃最小值,然后把新加入的数据按大小排好,输出中间值。把输出的中间值按照滑动平均值滤波算法的思路,20个为队列容量,求其算术平均值为最后的基坑自动报警装置的位移测量值。另外在滤波过程中还要加上计算噪声的一些算法,使得改进后数字滤波算法使用起来有两种功能:1)对计算机所采集到的信号用适合本信号的数字滤波

亮或者灭。U2D为六角反相器中的一组逻辑反相器,其对CK3上的逻辑进行反相还增加了电路的带负载的能力使其能够满足后续电路的要求。U7为光耦对输入输出电信号起隔离的作用,使电信号具有单向性等特点,让电路具有良好的电绝缘特性和抗干扰能力。又由于光耦合器的输入端属于电流型工作的低阻元件,因而具有很强的共模抑制能力。继电器SW3是一个典型的弱电控制强电的器件并隔离强电与弱电防止强电对电路产生干扰,因此LED负载那端的干扰很少能够传到控制电路部分中。两个零欧电阻也连接了数字地,电源和模拟地电源。另外两个颜色的LED灯开关两设计与此类似。

的算法进行数字滤波处理:2)在滤波过程中对相关的滤波处理的结果和效果有一个直观的了解,这就需要通过快速傅里叶变换来得到噪声的信息。基坑自动报警装置的滤波算法原理如图4所示。

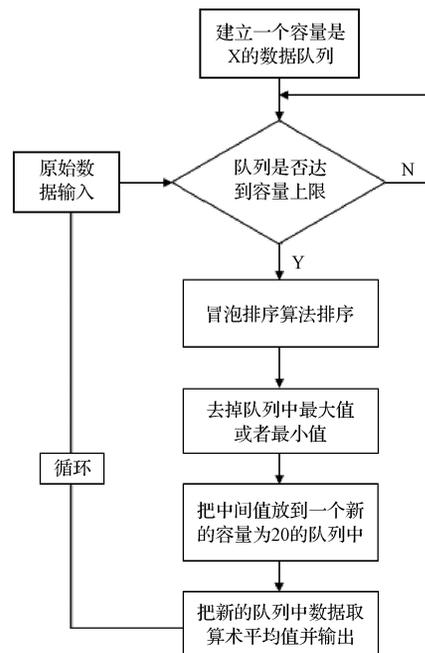


图4 滤波算法原理

#### 5.2 系统软件的设计

系统软件采用模块化设计,流程如图5所示,编程采用Verilog语言,在Quartus II上编写操作软件,并通过JTAG口进行下载调试程序。系统上电后,进入主程序,

完成对系统的初始化,包括对时钟 133 MHz 的配置和硬件初始化配置。初始化完毕后进入按键模块,对基坑自动测量装置的工作模式进行选择(连续测量和定时测量)、报警阈值的设置、校零的设置。设置完毕后打开 A/D 芯片使其工作,对 A/D 芯片传输来的信号进行数字信号滤波和处理操作,然后 FPGA 芯片对外输出 LED 控制信号来控制 LED 灯亮的颜色让其显示基坑当前所处的状态<sup>[12-13]</sup>。

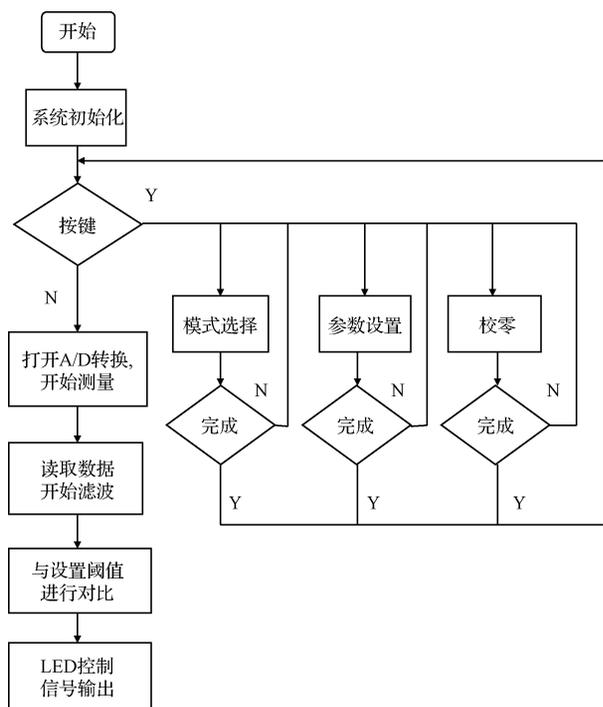


图5 软件程序流程

## 6 试验结果

通过对上海市某隧道基坑的墙体的位移倾斜值的监测,每隔 2 m 放置一个基坑自动报警装置测量数据如表 1 所示,并与瑞士徕卡 D510 型激光测距测量的数据进行对比。隧道基坑参数:内径 10.04 m,外径 11 m,环宽 1.5 m,混凝土 C50 级别,螺栓 5.8 级。(把全站仪的测量结果作为真值)

表 1 测量结果

高度/m	2	4	6	8
报警装置/mm	4.0	9.4	14.4	20.6
相对误差	0%	4.4%	-2.7%	3%
激光测距仪/mm	5	10	16	19
相对误差	20%	11.1%	8.1%	-5%
实际倾斜值/mm	4.0	9.0	14.8	20.0
LED 颜色	绿	绿	绿	黄

试验结果表明,通过在不同基坑高度下对基坑倾斜值

的测量,基坑自动报警装置测量误差都在 5% 以内,并且能够正确的点亮相应的 LED 颜色来反映基坑所处的状况,满足了建筑基坑工程检测技术规范中的要求测量误差在 5% 以内。比现在在基坑测量中经常使用的激光测距仪精度更高,可以达到 0.1 mm 级别,而常用的激光测距仪精度只能达到 1 mm。并且与激光测距仪相比,测量相对误差也较小。对比以往人工测量,计算或者使用全站仪来使用基坑报警装置,测量不仅方便、实时性好、稳定性好而且数据保存性更加好。测量结果发现基坑的位移倾斜值随高度增加而增加,并且在高度越高的情况下基坑自动报警装置的测量误差也越小,波动也越小。在 6 m 以下基坑倾斜位移量在安全范围,而当高度到了 8 m 时到了警告值还没到危险值,这说明基坑处于警告状态,需要加固支护。

## 7 结论

提出了一种基于 FPGA 芯片 EP4CE6F17C8 和 8 通道、16 位、双极性输入的同步采样 A/D 芯片 AD7670 的基坑自动报警装置的解决方案。该方案能够准确实时的对基坑位移倾斜值进行测量,告别了以往人工采集数据、人工计算数据、人工报警的实时性差、误报漏报等问题。

随着微电子技术的快速发展,基于高精度、高稳定性、高速度的、实时性好的基坑报警装置,将在基坑施工中发挥着越来越重要的作用。

## 参考文献

- [1] 毛吉化. 基坑监测预警系统的研究与应用[D]. 广州: 华南理工大学, 2014.
- [2] 覃睿, 唐光暹, 周永泉. 基坑监测技术的现状及应用[J]. 工程质量 a 版, 2008(15): 18-20.
- [3] 赵洪波. 基坑支护结构监测项目与监测报警[D]. 上海: 同济大学, 2008.
- [4] 王海飙, 杨海旭, 张华. 深基坑工程施工安全监测与预警[J]. 建筑技术, 2010, 41(3): 257-260.
- [5] 蔡干序. 基坑监测工程测斜技术的探讨[J]. 建筑科学, 2009, 25(11): 99-102.
- [6] 徐杨青, 程琳. 基坑监测数据分析处理及预测预警系统研究[J]. 岩土工程学报, 2014(增刊 1): 219-224.
- [7] 周二众, 刘星, 青舟. 深基坑监测预警系统的研究与实现[J]. 地下空间与工程学报, 2013(1): 204-210.
- [8] 郭永彩, 苏渝维, 高潮. 基于 FPGA 的红外图像实时采集系统设计与实现[J]. 仪器仪表学报, 2011, 32(3): 514-519.
- [9] 王爽, 胡冬旭. 基于 FPGA 的分布式测控装置设计与应用[J]. 国外电子测量技术, 2015, 34(10): 11-13, 15.

(下转第 90 页)

C#开发的上位机控制软件,用户可以通过上位机软件对步进电机运行速度和位置进行设置。最后,利用本文设计的步进电机细分驱动系统对42HS03两相式混合步进电机进行细分控制,得到的驱动波形与理论分析波形完全相符。同时,通过采样点组观察步进电机两相电流,步进电机两相相电流正弦趋势明显、波形平滑、系统运行流畅、电机工作平稳。

## 参 考 文 献

- [1] 胡维庆,颜建军. 步进电机驱动控制系统设计[J]. 现代制造, 2015(18):139-140.
- [2] 王辉堂,颜自勇,陈文芄. 基于带PWM模块单片机的步进电机细分驱动技术[J]. 国外电子测量技术, 2007, 26(3):9-11.
- [3] 俞林. 步进电机多级细分驱动方法研究[J]. 仪表技术, 2015(9):29-30.
- [4] 彭礴,张明敏,林飞龙,等. 基于AT89S52高精度步进电机伺服控制系统设计[J]. 电子测量技术, 2011, 34(3):49-53.
- [5] 王志超,林岩,李大庆. 两相混合式步进电机细分驱

动[J]. 信息与电子工程, 2008(6):457-460.

- [6] 章烈剽. 基于单片机的高精度步进电机控制研究[D]. 武汉:武汉理工大学, 2007.
- [7] 林鑫. 三相混合式步进电机细分控制策略优化[D]. 杭州:浙江工业大学, 2012.
- [8] 王晨光,孙运强,许鸿鹰. 步进电机的单片机控制设计分析[J]. 国外电子测量技术, 2008, 27(9):39-41.
- [9] 马文斌,杨延竹,洪运. 步进电机控制系统的设计及应用[J]. 电子技术应用, 2015, 41(11):24-26.
- [10] 李东君. 步进电动机加减速控制的查表算法研究[J]. 微特电机, 2015, 43(11):77-79.
- [11] 郑雪钦,郭东辉. 基于混合模式PWM二相步进电机驱动控制的研究[J]. 系统仿真学报, 2012, 24(2):456-461.

## 作 者 简 介

**刘玉章**,1988年出生,工程硕士,研究实习员,主要研究方向为电机控制、伺服系统控制等。

E-mail:liuyuzhang1988@126.com

(上接第80页)

- [10] 胡云峰,陈虹,刘明星,等. 基于FPGA/SOPC的预测控制器设计与实现[J]. 仪器仪表学报, 2010, 31(6):1241-1248.
- [11] 庄晓燕,赵贻玖. 谱稀疏信号随机等效采样重构方法研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(10):1507-1512.
- [12] 宋晓琳,张三林,张伟伟. 应用匹配滤波器的车道线恒虚警率识别方法[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(3):328-336.
- [13] 倪健华,谈恩民,姚普粮. 基于ATT7022E与STM32多功能电力监测仪设计[J]. 国外电子测量技术,

2015, 34(5):48-51.

## 作 者 简 介

**苟辉**,1992年出生,硕士研究生。主要研究方向为光学工程。

E-mail:1136011934@qq.com

**董威**,1958年出生,教授。主要研究方向为测控技术与仪器。

**何雯**,1992年出生,硕士研究生。主要研究方向为精密仪器及机械。