

文章编号: 2095-2163(2022)09-0087-07

中图分类号: TS103.6

文献标志码: A

在线张力传感器的设计与实现

陈传亮¹, 王成群¹, 吕文涛¹, 徐伟强²

(1 浙江理工大学 信息学院, 杭州 310018; 2 浙江理工大学 纺织科学与工程学院, 杭州 310018)

摘要: 在化纤生产过程中, 化纤张力是影响产品质量的一个重要控制参数, 为了实时在线检测化纤的张力信息, 本文设计了一款应用于高速纺丝生产环节中的在线张力传感器。传感器以高性能的 LPC1768 为主控中心, 数据采集单元对信号进行预处理, 采集数据经过 A/D 转换后传输到控制中心, 并通过通信模块传输到上位机显示出来。传感器采用 S 型曲线算法, 达到精准控制步进电机的目的, 可以更好地提高测试精度。实验表明: 该传感器具有实时性好、稳定性强等特点。

关键词: 纺纱张力; 张力传感器; 张力检测; LPC1768

Design and implementation of online tension sensor

CHEN Chuanliang¹, WANG Chengqun¹, LÜ Wentao¹, XU Weiqiang²

(1 School of Information Science and Technology, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China;

2 School of Textile Science and Engineering, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

[Abstract] In the process of chemical fiber production, chemical fiber tension is an important control parameter affecting product quality. In order to detect the tension information of chemical fiber in real time, an online tension sensor applied to high-speed spinning production is designed. The sensor takes the high-performance LPC1768 as the main control center. The data acquisition unit preprocesses the signal, transmits the collected data to the control center after A/D conversion, and transmits it to the upper computer for display through the communication module. The sensor adopts S-curve algorithm to accurately control the stepping motor, which can better improve the test accuracy. Experiments show that the sensor has the characteristics of good real-time and strong stability. At the same time, the intelligence and automation of yarn tension detection are further improved, which is of great significance to the liberation of labor force, and can bring better economic benefits to enterprises and even the textile industry to a certain extent.

[Key words] yarn tension; tension sensor; tension detection; LPC1768

0 引言

在纺织及化纤等工业生产中, 丝线的张力是一个十分重要的技术参数^[1]。张力的不均匀性会直接影响丝在筒管上的成型, 还会影响着色的均匀性。因此, 如何提高纱线生产过程中纱线张力检测的灵敏度、精确度以及实时性, 成为研究的热点。目前, 国内外常见的纱线张力传感器主要有差动电容式、磁电式、声表面波式、光纤 Bragg 光栅式, 以及基于 CCD 技术和基于光电传感器技术的纱线张力传感器。其中, 前 4 种属于接触式张力传感器, 后 2 种属于非接触式张力传感器。由于接触式张力传感器普遍采用三点弯曲测力结构, 引入了额外的导纱轮摩擦环节, 长时间在线测量会对纱线的品质造成一定

的影响^[2]。因此, 接触式张力传感器适用于纱线生产的离线巡检环节, 不可应用于高速在线检测的场景。非接触式张力传感器因其测量元件不需要接触纱线, 一定程度上避免了检测过程对纱线质量的影响。但是, 由于检测采用的技术容易受到检测环境的影响, 同样不适用于高速在线检测场景。随着纺织技术高速发展, 纱线和织物的加工速度也越来越高, 传统的纱线张力传感器已无法完全满足现代纺织工艺的需求。

针对以上问题, 本文设计了一款应用于高速纺丝生产环节中的在线张力传感器。可以保证高速环境下对丝线的质量无破坏, 并可以进行张力数据在线采集以及可视化显示, 可以实现生产过程的自动化、智能化, 进而提高纺丝的质量和效率。

基金项目: 国家自然科学基金(61601410); 浙江省科技厅重点研发计划项目(2021C01047); 东北大学流程工业综合自动化国家重点实验室联合基金(2021-KF-21-03, 2021-KF-21-06)。

作者简介: 陈传亮(1992-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 传感器、工业互联网; 王成群(1981-), 男, 博士, 讲师, 主要研究方向: 物联网、工业互联网、纺织与信息交叉技术。

通讯作者: 王成群 Email: cqwang@zstu.edu.cn

收稿日期: 2022-03-01

1 系统设计

张力传感器的整体框架如图1所示。系统主要由LPC1768主控模块、张力检测模块、电机驱动模块、光电检测模块、通信模块、系统电源模块等6部分组成。其中,电机驱动模块通过步进电机完成对2个辅助滑轮的移动控制,组成三点弯曲张力检测

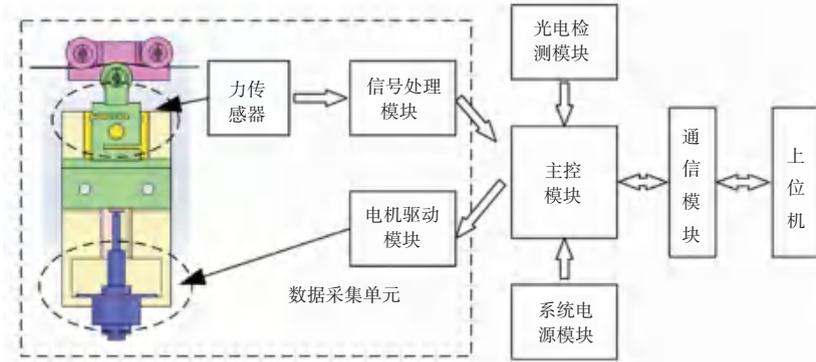


图1 传感器总体结构图

Fig. 1 Overall structure diagram of sensors

2 硬件电路设计

2.1 LPC1768 主控模块

主控模块采用 ARM Cortex - M3 内核的LPC1768 作为主控芯片,LPC1768 控制器含有丰富的内部外设,使得该处理器非常适合运动控制应用。LPC1768 芯片采用32位操作,工作电压为3.3 V,工作频率可高达100 MHz。其中包括4个UART、8通道的12位ADC、电机控制PWM、4个通用定时器、6输出的通用PWM,以及多达70个的通用I/O引脚^[4],可满足相关的功能需求。

2.2 信号采集及处理模块

力传感器采用S型结构,该结构具有较好的线性度和重复性,拉压均可使用。此外,系统对传感器零点和灵敏度温度影响进行了补偿,保证了传感器的长期稳定性。电阻式力传感器输出的是mV级的模拟小信号,容易受到检测环境的干扰,因此接入INA128的输入端,对其进行信号放大。由于电阻式力传感器最大输出为5 mV,为方便检测放大后的模拟信号,电压范围保证在±4 V之内,因此放大倍数应该取值在800左右,即 $G = 800 = 50 \text{ k}\Omega / R_G$, $R_G = (R_1 + R_2) \approx 62 \Omega$ 。放大电路如图2所示。

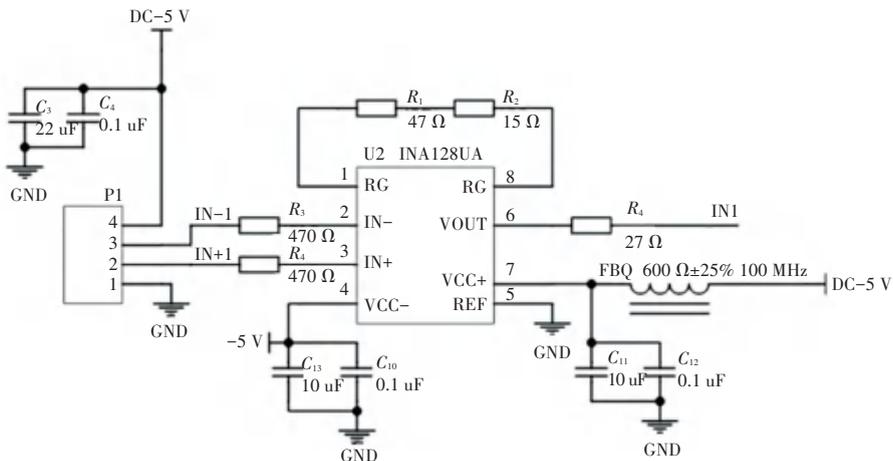


图2 信号处理模块电路图

Fig. 2 Circuit diagram of the signal processing module

图2中,IN-与IN+连接力传感器的电势输出端,IN1为放大之后的信号,将该信号送入到LPC1768主控芯片进行模数转换等相关运算。

2.3 电机驱动模块

电机驱动模块采用Allegro MicroSystem公司生产的A3979SLP作为步进电机驱动芯片,芯片内含脉冲分配器使每输入一个脉冲,电机就走一步,不需

要相序表、高频控制线或复杂的程序接口^[5]。而且内部还含有同步整流控制电路,可以实现滞后热关机、欠压锁定、交叉电流保护功能^[6],芯片输出高达35V和±2.5A。芯片内部包括一个固定关闭时间的电流调节器,能够在慢、快或混合衰减模式下运行,进一步降低电机的可听噪声,提高步进精度,降低功耗。步进电机驱动电路如图3所示。

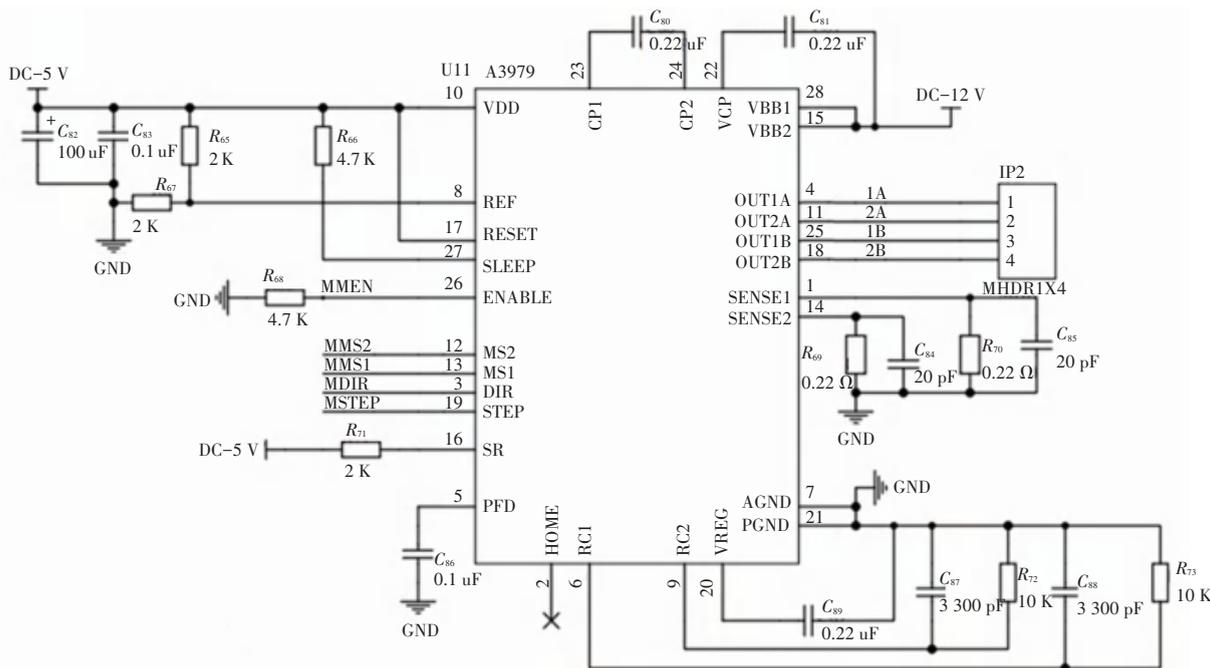


图3 步进电机驱动电路图

Fig. 3 Stepping motor drive circuit diagram

2.4 通信模块

通信模块主要包括串口通信和以太网通信,负责上位机和下位机通信。上位机通过串口通信发送校准指令给下位机,并通过串口通信实时在线显示下位机采集到的纱线张力信息;下位机接收并执行上位机的指令,控制A3979SLP驱动模块驱动步进电机。通过以太网的方式,将各个张力传感器连接起来,实现多站点大规模通信。以太网通信电路如图4所示。采用双以太网通信方式,兼容性好,通信速率快,便于调试与监控。

2.5 光电检测模块

系统增加光电检测模块,确保辅助滑轮不越界,并始终处于最佳的检测结构。光电检测开关精度高、响应速度快,并且不与被检测物体直接接触,减少了磨损。当挡片、即辅助滑轮挡住光电开关中发

光二极管的光,光电检测模块PHS端口输出低电平信号,主控制器通过判断接收到的信号来控制步进电机停止。光电检测模块电路如图5所示。

2.6 电源模块

为了保证电路正常工作,需要提供2种供电电源。其中,5V直流电源由12V直流电源经电压转换芯片LM2576R-ADJ获得,计算公式为:

$$V_0 = V_{ref} \times \left(1 + \frac{R_6 + R_8}{R_9}\right) \quad (1)$$

其中, V_{ref} 表示稳压器取样电路的基准电压,这里为1.23V。

5V电源直接为传感器模块、光电检测模块、电机驱动模块等供电,并经AMS1117-3.3稳压模块压降到3.3V,为LPC1768主控芯片、通信模块等供电。电源模块电路如图6所示。

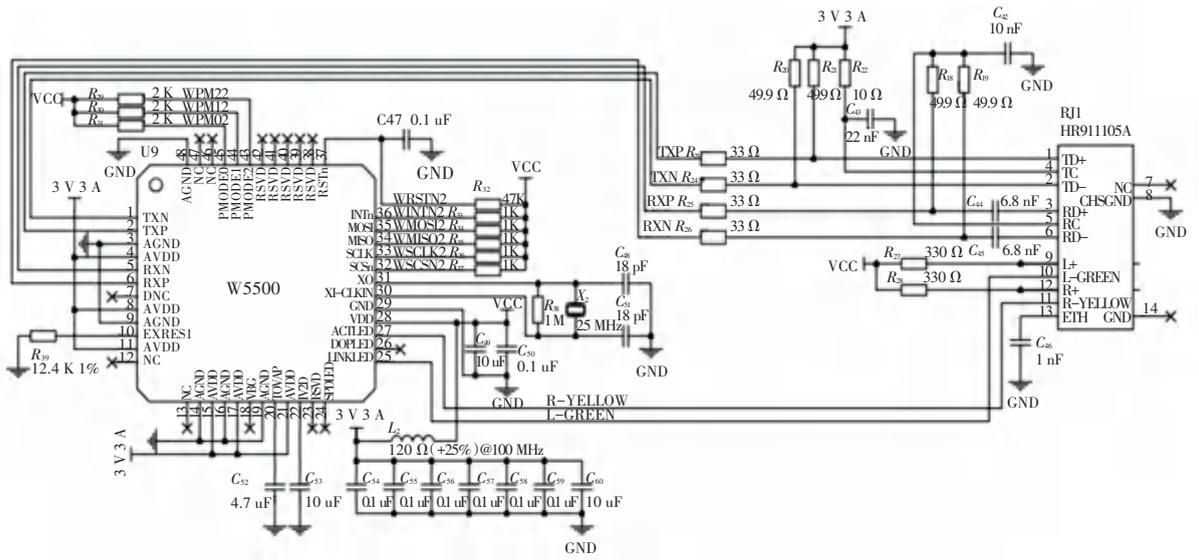


图 4 以太网通信模块电路图

Fig. 4 Circuit diagram of the Ethernet communication module

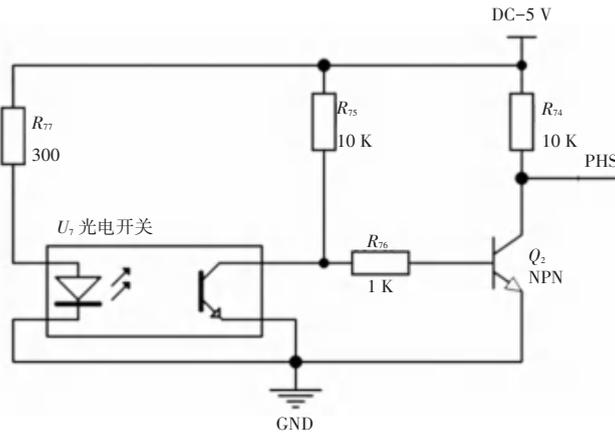


图 5 光电检测模块电路图

Fig. 5 Circuit diagram of the photoelectric detection module

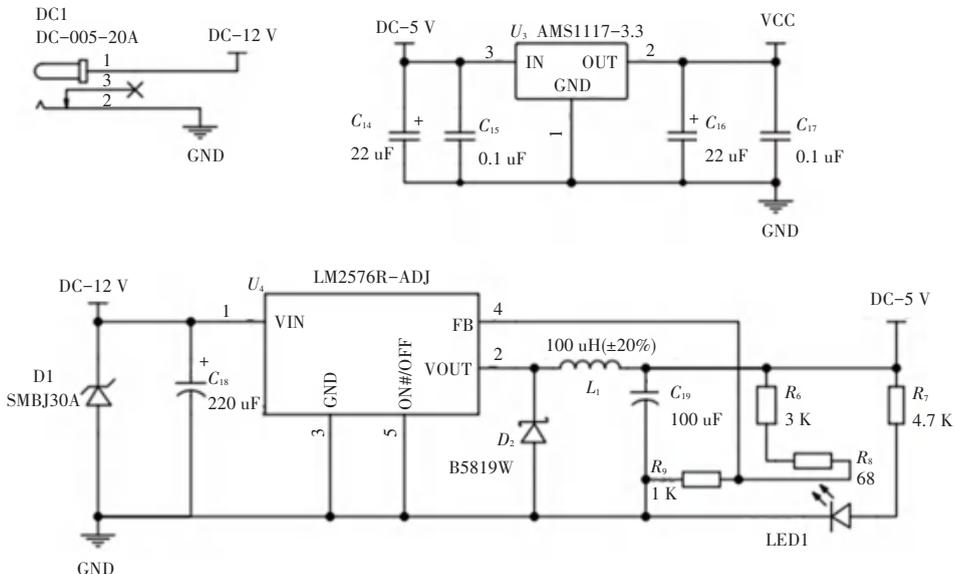


图 6 电源模块电路图

Fig. 6 Circuit diagram of the power module

3 系统软件设计

3.1 下位机软件设计

3.1.1 主函数设计

系统软件流程如图 7 所示。系统加电后, 工作流程主要包括系统及各模块初始化; 上位机发送校准参数指令; 主控芯片控制步进电机运动, 直至辅助滑轮到达最佳检测位置; 张力检测单元采集张力信息, 并传输到上位机上显示。其中, 辅助滑轮在步进电机的控制下达到最佳的检测位置, 组成最佳检测结构进行检测。若辅助滑轮超过最佳检测位置, 会被光电模块检测到, 并迅速反馈到主控芯片, 控制步进电机停止运动, 进一步保证了张力检测时为最佳的检测结构。如果系统检测到 20 s 内无数据处理, 则系统会进行报警, 并判断是否重新启动系统。

3.1.2 电机速度控制设计

由于步进电机在整个运动过程中, 需要经过加速-匀速-减速的过程, 为了减小振动对信号采集的影响及精准定位, 本文采用 S 型曲线, 对步进电机进行加减速的控制。速度控制是通过控制系统的脉冲频率或者周期来实现的。首先, 计算出脉冲时间数列对应的定时器 T_1 的载入值, 并通过实验数据计算

出最佳检测结构, 对应步进电机的总步数, 保存在主控芯片中^[7]。通过查阅参数值表即可实现步进电机指定速度的控制。步进电机 S 型曲线控制流程如图 8 所示。

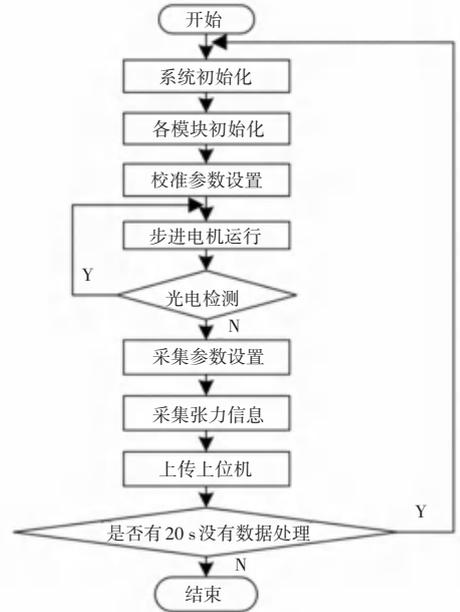


图 7 主函数程序流程图

Fig. 7 Flowchart of main function program

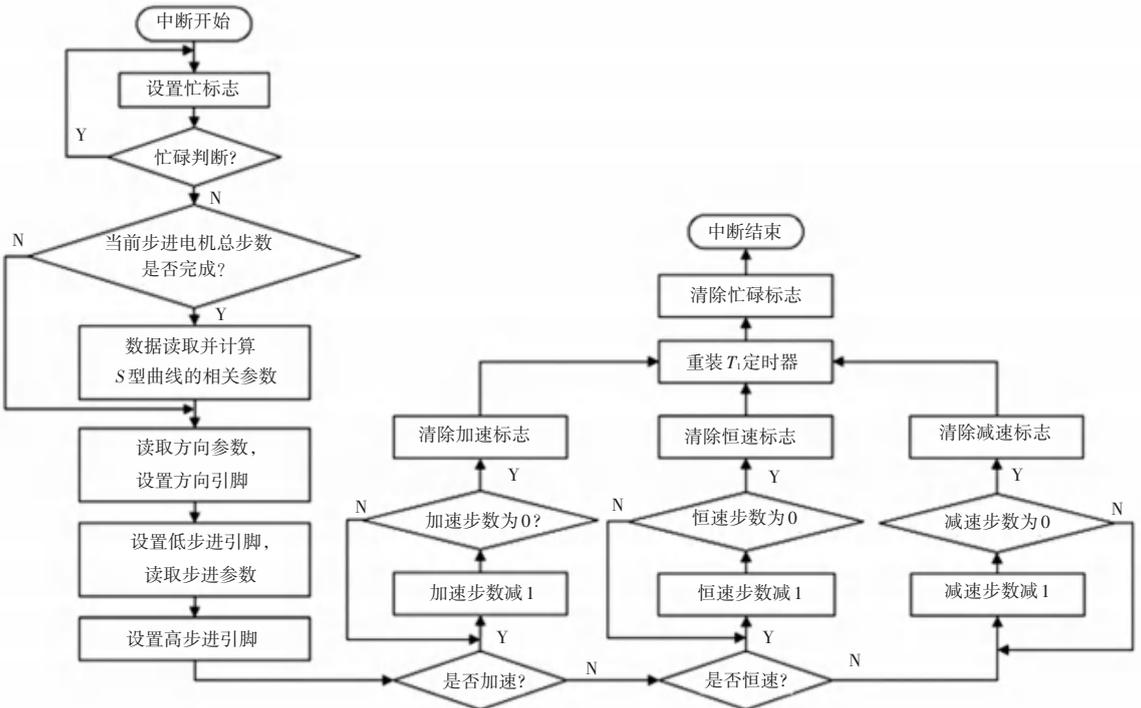


图 8 S 型曲线步进电机控制程序流程图

Fig. 8 Control program flowchart of S-shaped curve stepping motor

3.2 上位机软件设计

为了让用户更加直观地查看检测结果,设计了一个上位机显示界面。上位机界面是使用 QT 软件开发设计得到的。上位机软件界面如图 9 所示。图

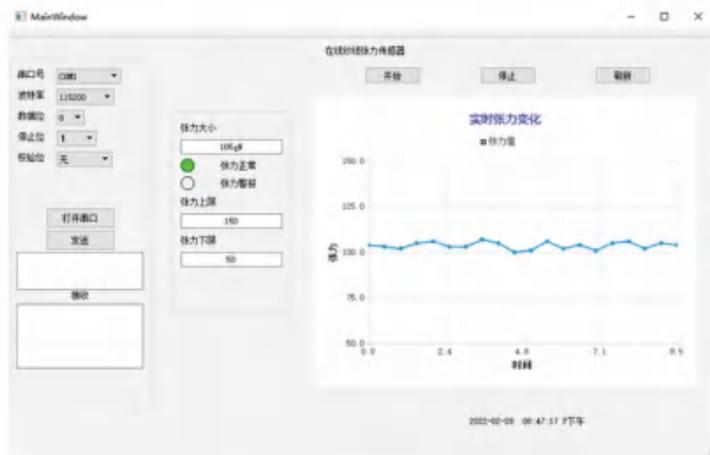


图 9 上位机软件界面

Fig. 9 The interface of upper computer software

4 实验测试与分析

4.1 测试平台

在系统软硬件分析结束后,将依据系统硬件部分的设计来展开实物的搭建工作,并根据软件部分的设计进行系统的调试,根据实验测量的结果来判断是否已达到预期的设计目标^[8]。实验测试平台如图 10 所示。

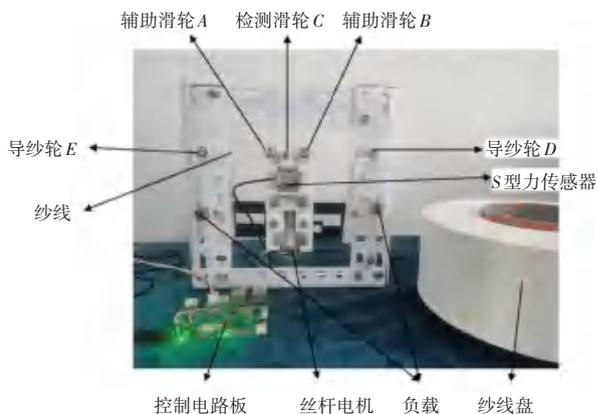


图 10 实验测试平台

Fig. 10 Experimental test platform

4.2 实验结果与分析

实验过程中,使用砝码模拟提供纱线张力,采集到的数据经过放大、模数转换等处理后,张力值显示在上位机上。传感器采集到的张力值与相对应的砝码重量往往不是线性关系,因此需要使用最小二乘法构建数学模型,可以较好地减少干扰信号与测量

9中,右边窗口(实时张力变化)显示实时的纱线张力数值变化曲线;中间位置(张力大小)显示拟合后的张力数值。应用中可根据需要,随时进行开始、停止张力检测系统以及张力信息界面刷新操作。

误差带来的影响。在标定过程中,使用标准砝码间隔 5 g 质量,由小到大、再由大到小重复多次测量,可以有效减少测量过程中的人为误差,最终测得 0~150 gN 的张力变化数据。为保证实验数据的准确性,每次改变砝码加载质量后会停顿 30 s,记录 10 次数据并求出平均值。

表 1 是测量的一组数据,根据表 1 中的检测数据,并利用最小二乘法,求出张力传感器的 AD 值输出与纱线张力 F (纱线负载) 之间的函数方程关系,对此可表示为:

$$y = aF + b = 8.857 4F + 217.95 \quad (2)$$

表 1 标定张力值与对应 AD 采样值对照表

Tab. 1 Comparison between calibrated tension value and corresponding AD sampling values

标定张力值/g	AD 值	标定张力值/g	AD 值	标定张力值/g	AD 值
5	263	55	711	105	1 150
10	308	60	754	110	1 190
15	352	65	798	115	1 234
20	393	70	833	120	1 270
25	434	75	891	125	1 320
30	479	80	930	130	1 371
35	523	85	977	135	1 414
40	568	90	1 014	140	1 460
45	614	95	1 060	145	1 503
50	663	100	1 170	150	1 545

通过对表1的数据进行拟合分析后发现,实验采集到的样本点几乎在一条直线上,如图11所示。拟合结果证明该纱线张力传感器在进行AD采样时,在标定范围内有很好的线性。

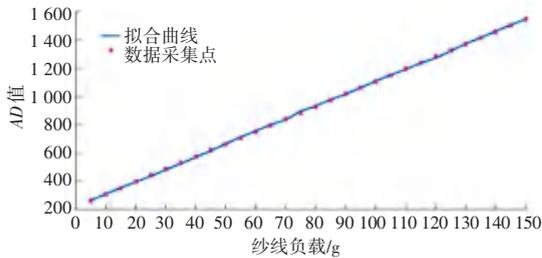


图11 张力拟合曲线

Fig. 11 Tension fitting curve

5 结束语

本文探讨了基于LPC1768为核心的纱线张力传感器设计,通过间歇式检测纱线张力信息,解决了传统纱线张力传感器耐磨性差以及数据测量误差大的问题。实验结果表明:该纱线张力传感器在标定范围内有很好的线性,并且实时性好,稳定性强,同

时纱线张力检测的智能化、自动化进一步提高,对劳动力的解放具有积极意义,并在纱线生产场景中显示出较好的实用价值。

参考文献

- [1] 郝永健,张团善,周文胜,等. 动态纱线张力传感器弹簧片的有限元模态分析[J]. 西安工程大学学报,2015,29(03):358-361,368.
- [2] 雷毅,王杰,余圣甫. 基于钢丝绳股绳张力在线自动检测技术[J]. 制造业自动化,2004(04):53-55+68.
- [3] 吕文涛,陈传亮,王成群,等. 一种用于高速化纤生产中纱线在线张力检测装置:中国,CN113607322A[P]. 2021-11-05.
- [4] 庞立,朱莉莉,栾金军,等. 基于LPC1768和液晶触摸屏的超声测厚仪的设计[J]. 船电技术,2020,40(09):16-18.
- [5] 刘凯,张立民,张兵强. 基于ARM Cortex-M3的分布式仪表设计[J]. 微计算机信息,2011,27(01):150-152.
- [6] ZHANG Q, ZHANG R, DONG H. The research of PSD locate method in micro laser welding fields[J]. Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering,2010,7853(4):314-317.
- [7] 谭秀腾,郭小定,李小龙,等. 基于ARM的桌面型3D打印机控制系统设计[J]. 应用科技,2014,41(05):57-61,66.
- [8] 简繁,李泽滔. 基于单片机的双向DC-DC充放电电路设计[J]. 智能计算机与应用,2021,11(04):72-76.

(上接第86页)

实验结果表明,以该方案构成的系统可以实现准确的弧形扫描和线性扫描,且扫描曲率半径、扫描角度等参数可在很大的范围内任意设置,以适应不同需要。扫描机构中的多台电机由同一个CPU控制,互相配合与协调、容易实现。高精度位移传感器的设置保证了对扫描准确性的有效监控,并为可能存在的扫描误差提供了校正依据。

由于采用了低速的串口通信,实验装置暂无法实现实时成像,因实验系统中图像信息由FPGA采集,因此该问题可通过增加高速信息通道、比如USB3.0实现。

参考文献

- [1] 杨洪波. 超声生物显微镜应用于我国眼科领域的研究[J]. 医药

前沿,2014,4(01):16-17.

- [2] 刘洋. 超声生物显微镜在眼科中的应用进展[J]. 世界最新医学信息文摘,2019,19(93):60-61.
- [3] 王适宜,任珏. 超声生物显微镜及其在眼科临床中的应用[J]. 国际眼科杂志,2012,12(10):1915-1918.
- [4] 王宁利,刘文. 活体超声生物显微镜眼科学[M]. 北京:科学出版社,2010.
- [5] 陈倩,孙兴怀. 超声生物显微镜[M]. 上海:复旦大学出版社,2015.
- [6] EILERS G J, WEBER W, WATSON J D. Alignment and imaging of an eye with an ultrasonic scanner; US, 8317709 B2[P]. 2012-11-27.
- [7] EILERS G J, STIENMIER G J, WEBER W, et al. Procedures for an ultrasonic arc scanning apparatus; US, 8496588 B2[P]. 2013-07-30.
- [8] EILERS G J, HOOPS H, MABE D, et al. Innovative components for an ultrasonic arc scanning apparatus; US, 2014/0249422 A1[P]. 2014-09-04.