

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2416455

基于 STM32 的铜线放线监测系统设计*

何龙 靳斌

(西华大学电气与电子信息学院 成都 610039)

摘要: 针对于在工业中对缠绕在工字轮上的扁平铜线放线过程中,出现的由于铜线偏移倾斜造成的工业生产问题,设计了一种基于 STM32 的铜线放线监测系统。该系统通过腐蚀中心算法匹配铜线颜色,对铜线进行实时追踪,确定铜线的位置与在 LCD 屏幕上的宽度,从而检测出铜线的偏移或倾斜,为后面的铜线纠正提供数据。系统使用了 MT9V034 摄像头作为图像采集模块,LCD 显示屏作为图像显示模块,STM32H743 与串口屏分别作为控制模块和人机交互模块。实验结果表明,系统能够在对铜线追踪的同时,有效的检测出铜线的偏移与倾斜,对于线宽的测量误差在 5 px 以内。

关键词: STM32;铜线;偏移;倾斜;追踪;腐蚀中心算法;人机交互

中图分类号: TN919 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.8040

Design of copper wire laying monitoring system based on STM32

He Long Jin Bin

(School of Electrical and Electronic Information, Xihua University, Chengdu 610039, China)

Abstract: A copper wire laying monitoring system based on STM32 was designed to address the industrial production issues caused by the deviation and tilting of copper wires during the laying process of flat copper wires wrapped on I-shaped wheels in industry. The system matched the color of copper wire through the corrosion center algorithm, tracked the copper wire in real-time, determined the position of the copper wire and its width on the LCD screen, and detected the offset or tilt of the copper wire, providing data for subsequent copper wire correction. The system used MT9V034 camera as the image acquisition module, LCD display screen as the image display module, STM32H743 and serial port screen as the control module and human-machine interaction module, respectively. The experimental results show that the system can effectively detect the offset and tilt of copper wires while tracking them and the measurement error for line width is within 5 px.

Keywords: STM32; copper wire; deviation; tilt; tracking; corrosion center algorithm; human-computer interaction

0 引言

在工业放线中,通常需要对缠绕在工字轮上的扁平铜线进行放线,并在此过程中进行一系列操作,如覆膜或在铜线上焊接元器件等,一般要求其保持固定直线轨迹。然而由于放线速度过快或过慢等原因,可能导致铜线偏离轨迹或倾斜,影响后续处理。

近年来,有不同的科研团队对检测的方法进行了研究,例如周慧颖^[1]采用了超声波传感器替代了传统的张力传感器,能够对多种不同材质的线料进行检测,赵练等^[2]则是通过 PLC 与神经网络相结合对放出的铜线张力进行检测,彭定文等^[3]对放线结构以及流程进行了优化,有效的提高了线料的质量。

上述研究更多的是对放出线料的张力进行检测,并未对线料的倾斜偏移检测进行更深入的研究。基于上述分析,本文使用图像传感器实时采集铜线状态,以 STM32H743 为控制模块,以串口屏为人机交互模块对识别参数进行设置,以 LCD 屏为图像显示模块实时显示图像数据,设计了一种实时监测铜线状态的铜线放线监测系统。该系统能够实时检测铜线位置与状态,人工设置识别条件,操作简便,大大提高了检测精度。同时将嵌入式系统运用于图像采集中,提高了图像采集的效率与质量^[4],节约了图像采集的成本。

1 系统总体方案设计

系统由图像采集模块 MT9V034 摄像头,图像显示模

收稿日期:2024-07-17

* 基金项目:四川省科技厅重点科研项目(2020YFG0171)资助

块 LCD,控制模块 STM32H743,人机交互模块串口屏组成。MT9V034 将采集到的图像数据经由 STM32H743 处理后发送给 LCD,将图像数据显示出来。

当串口屏发送指令后,再按下 STM32H743 连接的按键,系统开始检测铜线状态,确定标准线宽,追踪铜线位置,使用者可以根据使用的条件通过串口屏对检测的参数进行设置,提高检测的成功率与精度,检测的铜线数据以及检测的参数显示在图像显示模块,图 1 为系统总体设计框图。

2 系统硬件设计

系统的硬件是以 STM32H743 为中心,通过不同的外设接口与其他模块相连,图 2 为系统硬件连线图。

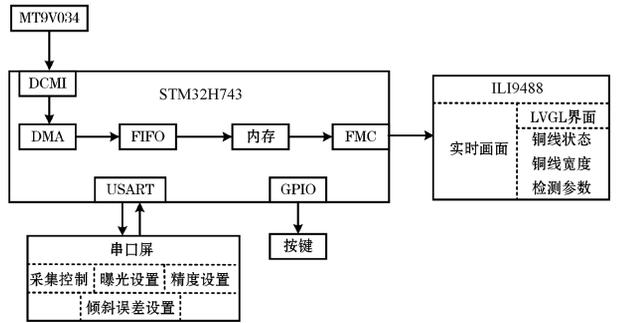


图 1 系统总体设计框图

Fig. 1 Overall system design block diagram

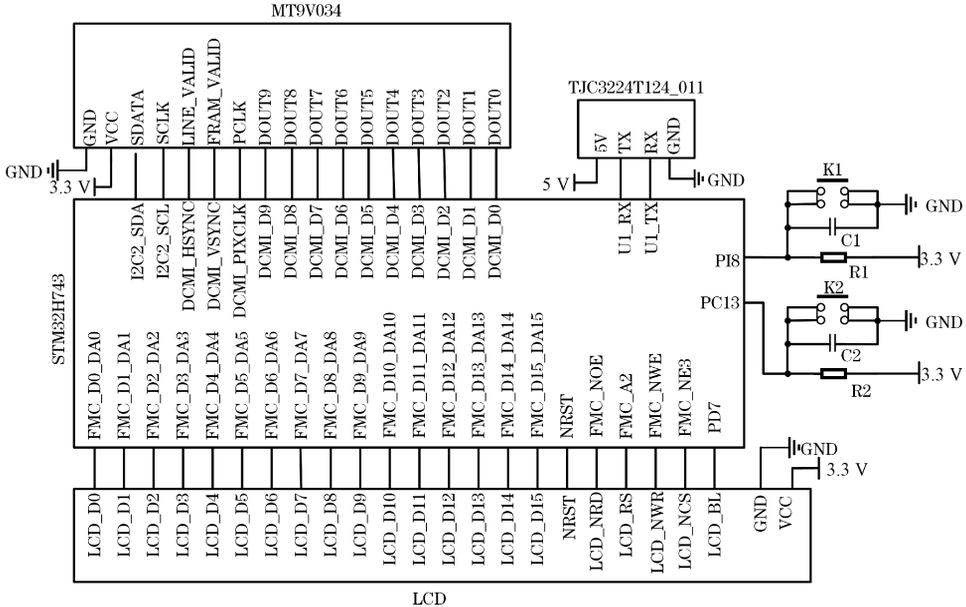


图 2 系统硬件连线图

Fig. 2 System hardware wiring diagram

2.1 图像采集模块

图像采集模块使用灰度输出的 MT9V034,是一款支持全局快门的图像传感器模块,对于正在运动的物体,MT9V034 能够更加清晰的采集到实时图像数据^[5]。

MT9V034 将采集的数据通过数字摄像头接口 (digital camera interface, DCMI) 传入到 STM32H743。DCMI 是一个同步并行接口,能够接收外部 CMOS 摄像头模块发出的高速数据流^[6]。

根据 MT9V034 图像传感器的输出,将 DCMI 设置为 10 位数据输入,配置 DCMI 水平同步中断,垂直同步中断分别对图像数据的行数进行计数以及清空,配置帧中断对帧数进行计数,表 1 为 DCMI 的引脚说明。

由于铜线反光的特性,不需要额外提供光源,室内一般光源即可,摄像头从铜线底部背光处采集图像数据。为了适应环境光亮强度,提高系统的识别精度与成功率,本文配置了 I2C 对 MT9V034 的寄存器进行操作,能够对曝

表 1 DCMI 引脚

Table 1 DCMI pins

引脚名称	引脚类型	引脚说明
DCMI_D0-D9	数字输入	DCMI 数据
DCMI_PIXCLK	数字输入	像素时钟
DCMI_HSYNC	数字输入	水平同步
DCMI_VSYNC	数字输入	垂直同步

光时间进行实时设置。

2.2 图像显示模块

该模块使用的是以 ILI9488 作为液晶控制器芯片的 LCD 屏幕,分辨率为 480×320。STM32H743 将接收到的图像数据由内部直接存储器访问控制器 (direct memory access, DMA) 经过先入先出缓冲区 (first input first output, FIFO) 存入内存,最后再由 LCD 显示屏通过可变存储控制器 (flexible memory controller, FMC) 将存入内存

的图像数据显示出来。

在 DMA 传输过程中,本文采用了 DMA 双缓冲的方式,设置了 BufA 和 BufB 两个 1 000 字节的缓冲区,有效地提高了数据传输和处理的效率,同时确保了系统的稳定性和可靠性^[7]。

由于 MT9V034 传入的图像灰度数据为 10 位,而 LCD 屏幕接收的数据为 16 位,因此需要对采集的数据进行处理。本文将采集到的 10 位像素数据向右移动两位,舍弃最后两位得到 8 位的像素数据。由于灰度图的 RGB 通道满足:R=G=B,于是将灰度值替换 RGB 3 个通道就得到 RGB 格式的数据,同时 LCD 显示格式为 5:6:5 的 16 位数据格式,而处理过后的数据为 8 位灰度数据,因此可以通过下列公式将 8 位灰度格式转换到 16 位 565RGB 的格式,其中 gray 为灰度图像的灰度值:

$$R = gray/256 \times 32 = gray/8 = gray \ggg 3$$

$$G = gray/256 \times 64 = gray/4 = gray \ggg 2$$

$$B = gray/256 \times 32 = gray/8 = gray \ggg 3$$

STM32H743 的 FMC 控制的存储器类型可以是 NOR/PSRAM 信号、NAND 信号和 SDRAM 信号等^[8-9]。它们公用地址数据总线等信号,具有不同的 CS 来区分不同的设备,本文使用的 LCD 是用 FMC_NE3 来作为片选,将 LCD 当做 SRAM 来控制。系统 ILI9488 使用的是 8080 协议,表 2 为 8080 协议的信号线与 FMC 控制 NOR FLASH 的信号线,通过对比发现,两者除 D/CX 信号线其余全部对应。

表 2 8080 信号线与 FMC-NOR 信号线

Table 2 8080 signal line and FMC-NOR signal line

8080	功能	FMC-NOR	功能
CSX	片选信号	NE _x	片选信号
WRX	写使能	NWR	写使能
RDX	读使能	NOE	读使能
D[15:0]	数据信号	D[15:0]	数据信号
D/CX	数据/命令选择	A[25:0]	地址信号

为对应 8080 信号线,本文将 FMC 的 A2 地址线连接 8080 的 D/CX 线,当 FMC 控制器写地址 0 时,那么 A2 变为 0,对 LCD 来说,这是写命令。而 FMC 写地址 1 时,A2 变为 1,对 LCD 来说,这是写数据。

2.3 控制模块与人机交互模块

控制模块与人机交互模块分别为 STM32H743 和串口屏,STM32H743 是一款高性能 MCU,主频可达到 480 MHz,支持低功耗模式^[10]。串口屏通过串口与 STM32H743 连接来传输信息^[11],可显示铜线的位置,能够对倾斜误差,识别精度,曝光时间进行配置。

串口屏发送的信息规定为 6 字节,且格式为“0X55 序号发送的数据 0XFF 0XFF 0XFF”,便于 STM32H743 解

析,实现相应的功能,表 3 为序号功能对应表。

表 3 序号功能对应表

Table 3 Corresponding table of number functions

序号	发送数据	功能
00	倾斜误差	设置倾斜误差
01	识别精度	设置识别精度
02	曝光时间	设置曝光时间
05	01	开启采集
06	00	关闭采集

为了能够更加准确的匹配铜线的颜色,系统采用即时采集铜线颜色数据的方法,在开始检测前采集铜线颜色,同时本文将 STM32H743 的两个 GPIO 与两个按键相连,分别用来控制采集铜线的颜色信息与标准线宽。串口屏上还设置了控制采集开始与关闭和显示铜线位置的功能,避免了按键误触导致采集信息错误的问题以及便于用户在操作时实时查看铜线位置。图 3 为系统功能流程图。

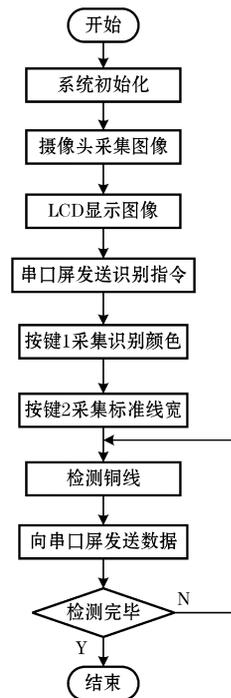


图 3 系统功能流程图

Fig. 3 System function flow chart

3 系统软件设计

系统的软件设计主要包括对铜线的追踪,铜线偏移倾斜的检测,滤波以及 LCD 与串口屏界面设计部分。图 4 为系统软件设计的流程图。

3.1 铜线图像追踪

铜线追踪的原理是对铜线颜色进行追踪识别,颜色追

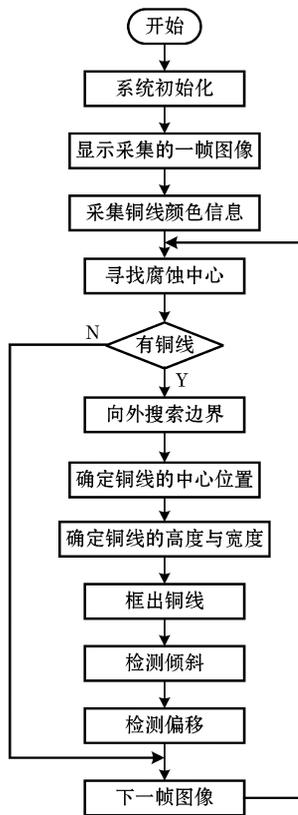


图 4 系统软件设计的流程图

Fig. 4 Flowchart of system software design

踪识别使用比较广泛的是颜色传感器模块如 TCS3200 模块^[12]与腐蚀中心算法^[13], 本文为了匹配 LCD 以及后面的功能检测, 采用了腐蚀中心算法。为避免 STM32H743 处理的数据过多导致图像卡顿的问题以及减少识别的干扰因素, 本文减少了显示的图像数据, 只在分辨率为 480×320 LCD 屏上显示 50×320 的图像数据。

腐蚀中心算法是将整个图像分为若干个大小相等的色块, 本文将图像分为 5×32 个色块, 每个色块的大小为 10×10 个像素点。首先选取第一个色块 $1/2$ 高的位置, 从左往右识别目标颜色, 如果识别失败的次数大于设定的失败次数 a , 就认为该色块无效, 继续识别下一个色块; 没有超过设定的值, 则又从该色块 $1/2$ 宽的位置从下往上识别目标颜色, 若少于设定的失败次数 a , 就认为该色块识别成功, 并将该色块的中心坐标设定为腐蚀中心, 停止腐蚀中心的寻找; 反之超过设定的次数, 则跳出该色块, 识别下一色块。若对所有的色块进行识别后, 都未寻找到腐蚀中心, 说明这一帧图像中并未出现目标铜线颜色, 转而对下一帧图像进行识别。

当腐蚀中心确定之后, 从该中心上下左右 4 个方向对外向整个图像搜索目标颜色边界, 若上下两个方向的识别失败次数超过纵向识别失败次数 b , 左右两个方向的识别失败次数超过横向识别失败次数 c , 就分别记录此时的位

置, 将这 4 个坐标的中心位置设置为最终的铜线中心位置, 并通过这 4 个坐标计算出包含这 4 个点矩形的长宽, 然后根据以上信息画出矩形框, 实现对铜线的追踪功能。

以图 5 颜色追踪识别过程图为例, 由于本文将腐蚀中心识别失败次数 a 设定为 10 次, 为总识别次数的一半, 因此腐蚀中心只会出现在第 3, 4 列色块。当通过识别确定腐蚀中心后, 就会向外搜索边界得到 4 个边界点, 本文将纵向识别失败次数 b 设定为 13 次, 横向识别失败次数 c 设定为 43 次。最终通过 4 个边界坐标得出铜线中心位置与边界信息。

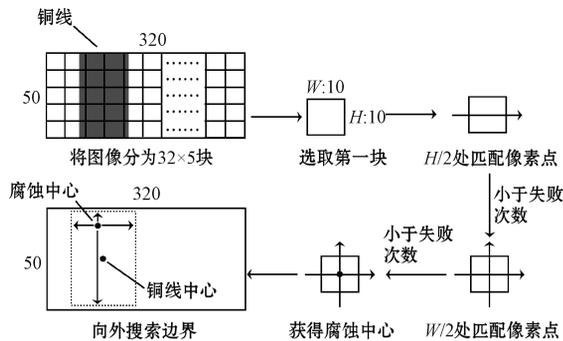


图 5 颜色追踪识别过程图

Fig. 5 Color tracking recognition process diagram

3.2 线条偏移倾斜检测

线条倾斜检测的原理是检测 LCD 上的实时线宽与标准线宽的差值, 标准线宽为铜线未发生倾斜偏移处于正常状态时采集的线宽, 若差值达到或超过设定的值, 则表明铜线发生了倾斜。

为了减少 STM32H743 处理的数据量, 线宽的检测只针对一行像素点, 分别从最左边和最右边匹配颜色, 两侧第 1 次颜色匹配成功则认为这两个点为铜线的两个边界端点, 再将两个端点的位置相减得到线宽。

偏移的检测主要是寻找偏移点, 而偏移点则是在铜线最远端的左右边界端点中出现。本文将图像宽 $1/2$ 处设为中心点, 对比两个端点到中心点的距离, 距离远的点则设为偏移点, 同时偏移点的位置也作为铜线在 LCD 屏幕中的位置通过串口发送给串口屏。

本文将宽度为 320 像素点的图像根据 10、60、110、160、210、260、310 这 6 个点分为 8 个部分, 而 160 就是中心点。110 到 210 之间为未偏移部分, 若偏移点超出该部分, 则认为铜线发生偏移。同时倾斜状态的优先级与偏移状态的优先级是相同的, 只要铜线处于其中任意一种状态, 则说明铜线出现问题。分段示意图如图 6 所示。

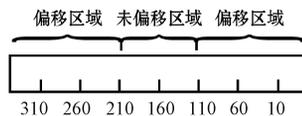


图 6 分段示意图

Fig. 6 Schematic diagram of segmentation

3.3 数据滤波

在对线条倾斜的检测中,需要对LCD屏上的铜线宽度进行采样计算,但是由于环境等其他因素的干扰,铜线的宽度会出现误差,为了减少误差,本文采用了卡尔曼滤波对铜线的实时宽度进行滤波,同时由于铜线宽度只是一维数据,因此选用一阶卡尔曼滤波,图7为滤波效果示意图。

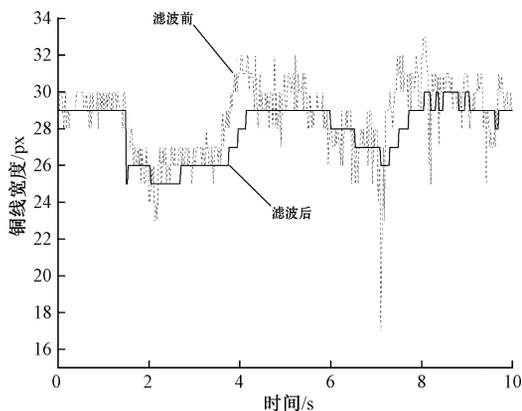


图7 滤波效果示意图

Fig. 7 Schematic diagram of filtering effect

卡尔曼滤波采用递归的方法解决线性滤波问题,只需要当前测量值和前一个采样周期估计值就能进行状态估计,需要的存储空间小,每一步的计算量小^[14-15]。下面是一阶卡尔曼滤波同时输入数据为一维数据的一般组成:

预测状态方程:

$$\mathbf{X}_{k|k-1} = \mathbf{X}_{k-1|k-1} \quad (1)$$

预测协方差方程:

$$\mathbf{P}_{k|k-1} = \mathbf{P}_{k-1|k-1} + \mathbf{Q}_k \quad (2)$$

卡尔曼增益方程:

$$\mathbf{K}_k = \mathbf{P}_{k|k-1} \cdot (\mathbf{P}_{k|k-1} + \mathbf{R}_k)^{-1} \quad (3)$$

更新最优值方程:

$$\mathbf{X}_{k|k} = \mathbf{X}_{k|k-1} + \mathbf{K}_k \cdot (\mathbf{Z}_k - \mathbf{X}_{k|k-1}) \quad (4)$$

更新协方差方程:

$$\mathbf{P}_{k|k} = (\mathbf{I} - \mathbf{K}_k) \cdot \mathbf{P}_{k|k-1} \quad (5)$$

式中: $\mathbf{X}_{k-1|k-1}$ 为 $k-1$ 时刻最优值; $\mathbf{X}_{k|k-1}$ 为利用 $k-1$ 时刻预测的当前状态结果; $\mathbf{P}_{k|k-1}$ 为 k 时刻系统协方差矩阵; $\mathbf{P}_{k-1|k-1}$ 为 $k-1$ 时刻系统协方差矩阵; \mathbf{Q}_k 为系统过程噪声的协方差; \mathbf{K}_k 为卡尔曼增益; \mathbf{R}_k 为对象测量噪声的协方差矩阵; $\mathbf{X}_{k|k}$ 为 k 时刻状态变量最优估计值; \mathbf{Z}_k 为对象的测量值; \mathbf{I} 为单位矩阵; $\mathbf{P}_{k|k}$ 为 k 时刻协方差矩阵。

3.4 界面设计

为了方便控制以及查看铜线的状态,在LCD以及串口屏上分别设计了一个界面。对于LCD的界面,采用了LVGL对界面进行设计,LVGL是一个适用于各种嵌入式平台和显示器的图形用户界面库,它提供了丰富的控件、主题、动画、字体、图像等元素,以及灵活的布局和事件处

理机制^[16]。通过设计能够在LCD上显示铜线数据,状态以及配置的参数。本文配置了STM32H743的定时器7中断作为LVGL1ms的心跳时基,同时在LVGL中创建一个100ms的定时器,每100ms刷新一次数据。为了使界面刷新的更加流畅,使用了填充函数作为LVGL的刷屏函数,并制作中文字库,使LVGL界面能够显示中文。

对于串口屏的界面,依托上位机软件USART-HMI来完成开发,以及模拟和程序下载。USART-HMI以功能控件作为基础加逻辑表达来实现所需的功能,开发周期较短且易于上手^[17-18]。界面对识别精度的设置,实质上是在腐蚀中心时设置分割整个图像的小图像块大小,倾斜误差则是设置实时线宽与标准线宽的差值。

4 测试结果

根据以上对系统硬件和软件的分析,研发了一种基于STM32的铜线放线监测系统,在实验室条件下对系统的功能和检测的精准度进行了测试。首先是对不同光照强度下的测试,如图8所示,在光亮较暗的环境下系统无法识别到铜线,提高MT9V034的曝光时间后系统能够成功识别铜线,如图9所示,在光亮较强的环境下降低曝光时间后系统也能成功识别铜线。

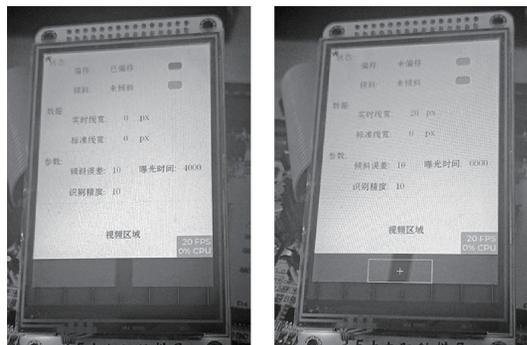


图8 光照强度较弱图

Fig. 8 Weak light intensity diagram

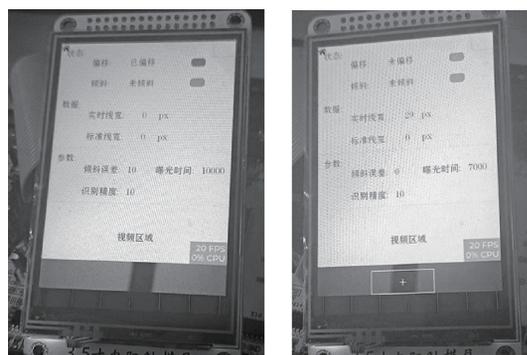


图9 光照强度较强图

Fig. 9 Strong light intensity diagram

通过对不同宽度铜线数据的测量,得到了6组不同铜线宽度的1000组实时线宽数据,选出每组的最大实时线

宽与最小实时线宽作为最大误差参考得到表 4 的数据。

表 4 最大误差参考

Table 4 Maximum error reference

标准线宽/px	最大线宽/px	最小线宽/px
20	24	17
25	29	22
30	32	26
35	37	30
40	36	44
45	50	42

由表 4 可知,该系统的最大误差在 5 个像素点内,能够达到使用的精度。

如图 10 实验结果所示,LCD 屏能够实时显示摄像头采集的图像数据,将铜线在屏幕上的位置框画出来,并且能够准确的识别出偏移与倾斜的状态。根据测量计算,该系统能跟踪的铜线偏移速度最快约为 9.39 cm/s,能够适应绝大多数情况。



图 10 实验结果示意图

Fig.10 Schematic diagram of experimental results

5 结 论

本文设计了一种基于 STM32 的铜线放线监测系统,详细分析了其硬件和软件设计,并设计了相应的系统硬件和软件。通过实验测试验证了系统在不同光照环境下的可行性,且线宽的测量误差在 5 px 以内,具有低成本、简单操作和实时性的特点,能够有效完成铜线放线误差监测的任务。

参考文献

- [1] 周慧颖. 超声波传感器在自动化放线机中的应用[J]. 机械工程师,2015(3):106-107.
ZHOU H Y. Application of ultrasonic sensors in automated cable laying machines [J]. Mechanical Engineer,2015(3):106-107.
- [2] 赵练,石艳,廖映华,等. 预绞丝成型工艺研究与设备开发[J]. 机床与液压,2024,52(8):112-118.

ZHAO L, SHI Y, LIAO Y H, et al. Research on pre-stranding forming process and equipment development[J]. Machine Tool and Hydraulic,2024, 52(8):112-118.

- [3] 彭定文,张学科. 特种钢精线生产线的优化设计及应用[J]. 装备制造技术,2019(12):52-55.
PENG D W, ZHANG X K. Optimization design and application of special steel precision production line[J]. Equipment Manufacturing Technology, 2019 (12): 52-55.
- [4] 李海. 嵌入式单片机系统在图像采集中的运用分析[J]. 中国新通信,2017,19(22):128.
LI H. Analysis of the application of embedded microcontroller systems in image acquisition [J]. China New Communications,2017,19(22):128.
- [5] 邱有森. 集成多路独立光源控制的图像采集系统设计[J]. 通讯世界,2016(13):239-240.
QIU Y S. Design of image acquisition system with integrated multi channel independent light source control[J]. Communication World,2016(13):239-240.
- [6] 宋春胜,廖鑫欣. 基于 OV5640 的图书馆座位检测系统研究[J]. 轻工科技,2019,35(6):76-77,82.
SONG CH SH, LIAO X X. Research on library seat detection system based on OV5640[J]. Light Industry Technology,2019,35(6):76-77,82.
- [7] 陈蓉,刘双劫. 电能质量监测仪的设计与实现[J]. 电子设计工程,2022,30(1):32-36.
CHEN R, LIU SH J. Design and implementation of power quality monitoring instrument [J]. Electronic Design Engineering,2022,30(1):32-36.
- [8] 张新磊,卜雄洙,赵伟钦,等. 弹载加速度采集存储系统设计[J]. 仪表技术,2022(4):7-10,16.
ZHANG X L, BU X ZH, ZHAO W Q, et al. Design of a missile borne acceleration acquisition and storage system[J]. Instrument Technology,2022(4):7-10,16.
- [9] 阳志林,杨志军,柯帮维,等. 基于 FPGA+ARM 的位置双反馈数据采集装置设计[J]. 仪表技术与传感器,2023(5):30-35.
YANG ZH L, YANG ZH J, KE B W, et al. Design of position dual feedback data acquisition device based on FPGA+ARM[J]. Instrument Technology and Sensors, 2023(5):30-35.
- [10] 孙巍,孙芹东,马士全,等. STM32H743 系列水声数据采集存储系统设计与实现[J]. 电子测量技术,2021, 44(16):98-102.
SUN W, SUN Q D, MA SH Q, et al. Design and implementation of STM32H743 series underwater acoustic data acquisition and storage system [J].

- Electronic Measurement Technology, 2021, 44(16): 98-102.
- [11] 杨啸鹏, 华国环. 基于 WiFi 嗅探的室内人员定位系统[J]. 电子测量技术, 2023, 46(2): 19-24.
YANG X P, HUA G H. Indoor personnel positioning system based on WiFi sniffing [J]. Electronic Measurement Technology, 2023, 46(2): 19-24.
- [12] 程瑶, 田又源, 张果, 等. 基于颜色传感器的彩色铅笔自动分选系统[J]. 仪表技术与传感器, 2021(9): 70-73.
CHENG Y, TIAN Y Y, ZHANG G, et al. Color pencil automatic sorting system based on color sensor [J]. Instrument Technology and Sensors, 2021(9): 70-73.
- [13] 陈梅芬, 吴佳骏. 基于 STM32F103 的颜色及形状识别系统设计[J]. 山西电子技术, 2023(5): 26-29.
CHEN M F, WU J J. Design of color and shape recognition system based on STM32F103 [J]. Shanxi Electronic Technology, 2023(5): 26-29.
- [14] 刘影, 张美娜, 刘洪帅, 等. 基于 FPGA 的运动目标检测与跟踪系统[J]. 集成电路与嵌入式系统, 2024, 24(3): 62-66.
LIU Y, ZHANG M N, LIU H SH, et al. A motion object detection and tracking system based on FPGA [J]. Integrated Circuits and Embedded Systems, 2024, 24(3): 62-66.
- [15] 贾光耀, 闫飞. 基于卡尔曼滤波迭代学习的交通信号控制方法[J]. 电子测量技术, 2023, 46(8): 126-133.
JIA G Y, YAN F. Traffic signal control method based on Kalman filter iterative learning [J]. Electronic Measurement Technology, 2023, 46(8): 126-133.
- [16] 陈浩鑫, 钟雄源, 叶格豪, 等. 基于 UCOS III 系统的嵌入式智能手表设计[J]. 电子制作, 2023, 31(15): 31-34.
CHEN H X, ZHONG X Y, YE G H, et al. Design of embedded smart watch based on UCOS III system [J]. Electronic Manufacturing, 2023, 31(15): 31-34.
- [17] 李梁京, 张雪芹, 刘华波. 基于 USART-HMI 智能串口屏的节能恒温控制系统设计[J]. 制造业自动化, 2022, 44(6): 113-115.
LI L J, ZH X Q, LIU H B. Design of energy saving constant temperature control system based on USART-HMI intelligent serial port screen [J]. Manufacturing Automation, 2022, 44(6): 113-115.
- [18] 卫建华, 刘文玥, 徐薇, 等. 基于 USART HMI 的空气质量测量系统的设计[J]. 国外电子测量技术, 2020, 39(1): 77-81.
WEI J H, LIU W Y, XU W, et al. Design of air quality measurement system based on USART HMI [J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2020, 39(1): 77-81.

作者简介

何龙, 硕士研究生, 主要研究方向为控制工程。

E-mail: 1039807140@qq.com

靳斌(通信作者), 教授, 博士, 主要研究方向为测控技术与自动化装置。

E-mail: JB123456@163.com