

嵌入式织物经纬密度检测系统设计*

颜柯 徐岚 陆雅婷

(1. 上海大学通信与信息工程学院 上海 200444; 2. 上海研创机电工程有限公司 上海 201705)

摘要: 近年来,数字图像处理技术在纺织行业中得到了广泛的应用。为实现对织物经纬密度的高精度自动检测,以ARM架构处理器为核心硬件平台,配合Linux操作系统,设计了一套小型化、高精度的嵌入式织物经纬密度检测系统。该系统使用微型光学镜头采集织物图像,结合直方图均衡、频域滤波等多种图像检测算法,实现对织物经纬密度的高精度检测。硬件设计部分详细介绍了检测系统的系统框架与硬件结构;软件设计部分介绍了基于FIQ中断系统的高速CCD图像传感器驱动设计方案、综合多种图像处理算法的纱线密度检测算法等模块。实验表明,对于经典斜纹机织牛仔布,手动检测与自动检测的相对误差在1%以内,检测效果令人满意,设备可以批量生产。

关键词: 经纬密度; ARM架构; 数字图像处理

中图分类号: TN98 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4030

Embedded fabric warp and weft density detector

Yan Ke Xu Lan Lu Yating

(1. School of Communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai, 200444, China; 2. Smartec Machinery & Engineering Inc, Shanghai 201705, China)

Abstract: In recent years, digital image processing technology has been widely used in the textile industry. In order to achieve high-precision automatic detection of the fabric warp and weft density, this paper designed a set of miniaturized embedded fabric weft density detector. The detector uses ARM architecture processor as the core hardware platform and running on the Linux operating system. The detector uses micro-optical lens to capture fabric images, and uses histogram equalization, frequency domain filtering and other image processing algorithms to detect the fabric warp and weft density. In this paper, the hardware design part introduces the system framework and hardware structure of the detection system in detail. The software design part introduces the driver design scheme of the high speed CCD image sensor based on the FIQ interruption system, and the weft density detection algorithm which synthesized various image processing algorithms. Experiments show that for the twill weave denim, the relative error between manual measurement and automatic measurement is less than 1%. The test results are satisfactory and the detector can be mass produced.

Keywords: warp and weft density; ARM architecture; digital image processing

0 引言

织物纱线密度是衡量织物质量的重要指标之一,直接影响织物的厚度、强度等性能。对于织物纱线密度,常见的检测方法包括织物分解法、织物分析镜法、移动式织物密度镜法等^[1];这些方法均依靠人工操作,存在着效率低、错误率高等缺点。

近年来,随着计算机技术的快速发展,数字图像处理技术在纺织行业中得到了广泛的应用。当前对于织物纱线密度的自动检测方法包括空间域处理法^[2],即使用直方图均

衡、图像二值化等方法,在织物图像的空间域对其进行处理,提取纹理特征;傅里叶变换法^[3],织物纹理图像的傅里叶功率谱极值包含了丰富的织物结构信息,傅里叶变换法使用傅里叶、反傅里叶变换配合频域滤波器提取织物图像的周期信息;小波变换法^[4],即采用自适应小波对信号进行小波分解,提取经、纬纱线信息。虽然织物纱线检测算法的理论研究有了较丰富的成果,但将算法应用到实际产品并推向市场的案例并不多。

为实现织物密度检测设备的产品化,本文设计了一套手持式、小型化、高精度的嵌入式织物经纬密度检测系统,

收稿日期:2017-04

* 基金项目:上海市科委 2015 年创新行动计划项目(15111101804)、上海市科委 2016 年创新行动计划项目(16441905302)资助

并使设备原型达到了可小批量生产的水平。在硬件方面,本检测系统使用 ARM 架构处理器作为核心数据处理平台;使用高速 CCD 传感器配合微型定焦光学镜头和高亮度 LED 光源采集数字化织物图像;使用 OLED 显示屏和机械按键完成数据显示、参数设置等用户交互功能。在软件方面,检测程序运行于 Linux 操作系统上,分为用户空间应用与底层驱动两个部分;主程序包括镜头对焦、密度检测、数据显示等主要功能;检测过程中使用空间域、频域相结合算法分析、处理织物图像数据。

1 硬件设计方案

1.1 系统框架

本文设计的织物密度检测系统属于其视觉系统应用案例。近年来,机器视觉系统在自动化领域有着非常广泛的应用^[5-6],一个典型的工业机器视觉系统应该包括光源、光学成像系统、图像采集模块、图像数据处理模块、控制执行模块等必要模块^[7]。考虑到产品化设计中的易用性、小型化等要求,还应该设计合理的用户交互模块、电源模块等辅助模块。系统结构框图如图 1 所示,光源与光学成像系统将保证待测织物的清晰成像;CCD 传感器将待测织物图像转换为数字信号,并通过快速中断 I/O 口以串行比特流形式,传输给以 ARM 处理器为核心的图像处理系统;针对获取到的图像数据,处理器将使用空间域、频域相结合的算法抽取织物图像特征信息,计算织物纱线密度值;根据计算结果,处理器将完成对 CCD 传感器、光源等部件的控制决策以及数据显示、参数设置等用户交互流程。

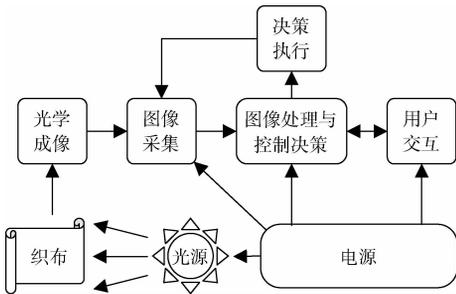


图 1 系统结构框图

1.2 硬件结构

本文设计的织物密度检测系统硬件平台整体结构如图 2 所示,平台为 62 mm×62 mm×90 mm 封闭式长方体结构,底部留有图像采集口。从下至上依次为 CCD 传感器、光学系统、ARM 处理器、显示屏、按键,背部可经由以太网接口连接至服务器计算机(为便于标注,图 2 中元器件大小与实际元器件大小不成比例)。检测系统主要硬件包括:

1)光学系统,包括 1 枚 9.3 mm 焦距、1/2 in 画幅的固定光圈定焦镜头和 12 颗高亮度 LED 补光灯,光学镜头配合对焦检测程序完成手动对焦,光源可通过 PWM 波调节光照强度;

2)图像采集电路,包括 1 枚 CCD 图像传感器和电源等外围电路,数字化的织物图像数据经由快速中断 I/O 口传输至 ARM 处理器;

3)处理器及外围电路,包括 1 颗 ARM 架构处理器、1 块 OLED 显示屏、4 颗机械式按键和电源等外围电路。

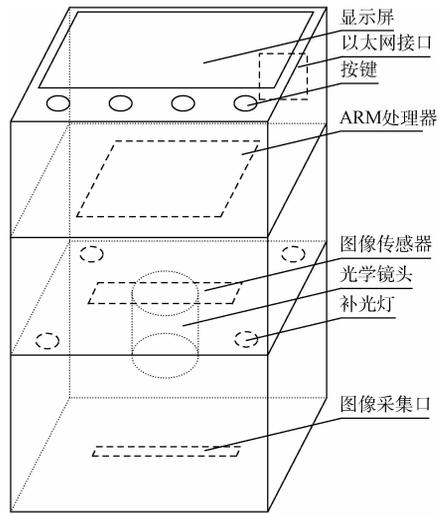


图 2 硬件结构

2 软件设计方案

嵌入式 Linux 开发主要工作包括移植 Linux 内核、构建文件系统、编写设备驱动、编写用户空间应用等^[8]。本文主要介绍用户空间应用、图像处理算法以及内核空间的硬件驱动程序,用户空间应用运行流程如图 3 所示。程序启动后首先进行硬件检测与初始化工作,包括设置处理器 I/O 口、光源强度、CCD 工作参数和显示屏初始化等,之后程序进入等待任务状态。等待状态下的主程序检测到用户发起的检测任务后,将进行软件初始化,包括设置检测次数、算法参数等,之后调用 CCD 驱动的 read() 接口并使程

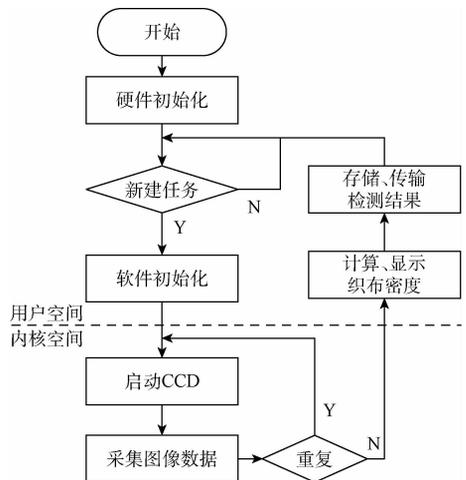


图 3 用户空间应用运行流程

序陷入内核空间。织物图像处理过程在用户空间进行,处理结果显示在屏幕上,同时也可将数据经由以太网接口传输至远程服务器做进一步的分析与存储。

2.1 驱动程序设计

对于嵌入式 Linux 开发,特定硬件(如 CCD 传感器)需要设计底层驱动程序以实现硬件的正常访问。本文中 CCD 传感器工作于 5 MHz 时钟下,图像数据串行传输至 ARM 处理器,传输速率 5 Mbps,即每个 bit 间时间间隔为 200 ns。对于 ARM Linux 环境下的 IRQ 中断,其响应时间通常为微妙级别,数据接收速率远远不够。因此,对于本文涉及的高速数据采集、传输系统,常使用 CPLD 或 FPGA 接收数据并作为数据缓冲区,配合嵌入式处理器的形式以满足数据传输速率^[9]。但另一方面,CPLD 等器件的引入增加了硬件体积、故障率、耗电量,也提高了软件复杂度。为符合小型化、产品化的设计初衷,本文使用 ARM 处理器架构中的 FIQ 中断实现对图像数据的高速采集与传输。

FIQ(fast interrupt request)是不同于 IRQ 的中断类型,具有最高优先级,响应时屏蔽所有中断信号,这保证了 FIQ 的实时性与原子性。在 ARM Linux 环境下,其中断向量地址通常位于 IRQ 中断之后,0x0000001C 处。FIQ 中断服务子程序必须以 ARM 汇编语言编写,并直接写在中断向量表 0x0000001C 处。

FIQ 中断系统属于平台相关的硬件,针对 ARM 架构处理器,linux 提供了操作 FIQ 系统的 API 函数。CCD 驱动程序运行流程如图 4 所示。首先,驱动程序中需要使用 claim_fiq() 申请 FIQ 中断,确保 FIQ 中断的唯一性。其次,由于 ARM 架构 FIQ 系统中使用了单独的 R8~R14 寄存器,驱动程序需要使用 set_fiq_regs() 函数设置 FIQ 寄存器。本文中寄存器设置包括设为 FIQ 模式的 I/O 口地址、FIQ 中断号、数据缓冲区地址、接收比特标志位等。FIQ 中断服务子程序经由 set_fiq_handler() 写入中断向量表中,该函数输入参数即为中断服务子程序的入口地址及程序长度,其原型如下:

```
void set_fiq_handler ( void * start, unsigned int length)
```

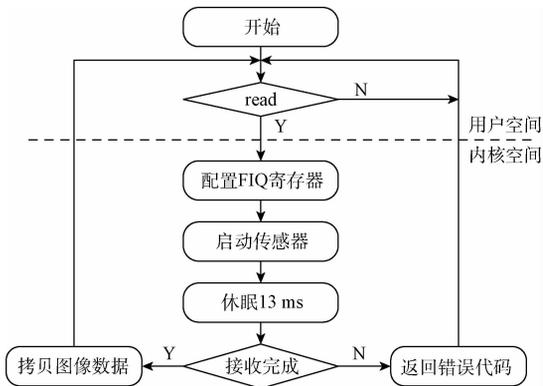


图 4 CCD 驱动流程

2.2 图像检测算法

本文设计的织物密度检测算法,其图像处理流程包括图像预处理、频域滤波处理、图像后处理等步骤。算法运行流程如图 5 所示。

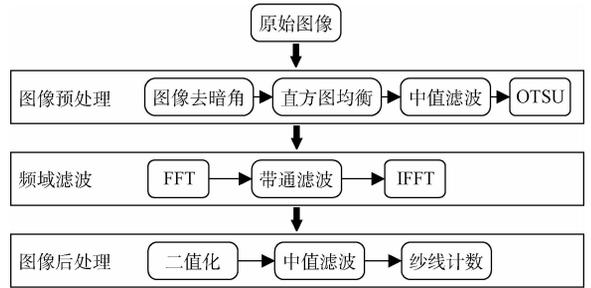


图 5 算法流程

1) 图像预处理

考虑到原始彩色图像数据量偏大,算法处理前会将原始图像转换为灰度图像进行运算。普通的光学镜头存在边缘失光现象^[10],灰度织物图像需要将失光部分数据填充零值以保证检测精度。由于图像采集过程中的光照不均等因素,图像的灰度值可能分布于较窄区间^[11],因此本文使用直方图均衡调节灰度值分布,增强图像细节^[12]。此外,对于图像采集过程中产生的随机噪声,算法还需使用中值滤波器对图像进行平滑处理^[13]。

对于斜纹机织牛仔布,其织物图像检测会受到深色斜纹的干扰,本文中使用 OTSU 算法将图像分割前景和背景。该算法通过计算方差来寻找适的灰度划分阈值^[14-15],针对某一幅图像,设图像前景、背景分割灰度阈值为 x ,前景、背景像素点占图像总像素点比例为 p_1 、 p_2 ,前景、背景像素点灰度均值为 q_1 、 q_2 ,则图像的平均灰度值为:

$$Q = p_1 \cdot q_1 + p_2 \cdot q_2 \tag{1}$$

分割灰度阈值为 x 时的类间方差表达式 $f(x)$ 为:

$$f(x) = p_1 \cdot (q_1 - Q)^2 + p_2 \cdot (q_2 - Q)^2 \tag{2}$$

OTSU 算法中遍历灰度值求取上述 $f(x)$ 的值,求得类间方差值最大时的灰度值则为所求的最佳灰度阈值 x 。图像预处理算法效果如图 6 所示。

2) 频域滤波与后处理

频域滤波处理算法使用傅里叶变换将灰度图像转换为对应频域中的频谱图,之后使用带通滤波器滤处理频域数据,提取周期性纱线信息,最后使用反傅里叶变换将频谱图恢复至灰度图像。Linux 系统并未提供图像处理所需的函数库,本文实际使用由 MIT 的 Frigo 和 Johnson 开发的 FFTW(fastest fourier transform in the west)函数库完成傅里叶变换处理。频域滤波后图像如图 7 所示,此后在图像后处理中使用图像二值化方法对图像进行二值化处理,然后统计线条数即可得到纱线数。

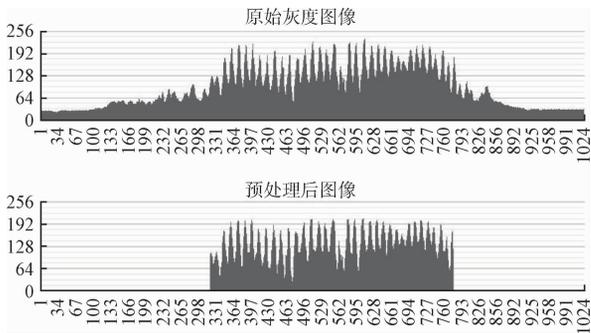


图 6 图像预处理效果

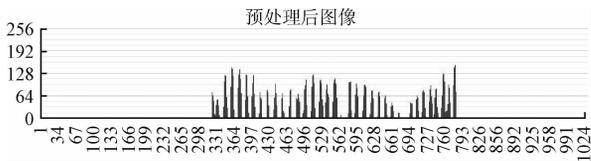


图 7 频域滤波后图像

3 实验结果与分析

本文设计的织物密度检测系统主要针对经典斜纹机织牛仔布的织线密度检测,为了评价检测系统的准确性与稳定性,选择不同颜色、纱线密度的 6 份斜纹织布试样进行测试。同时对对照组使用人工检测法对待测织布进行检测,每组实验均测试 10 次,取均值为最终检测结果。两种检测方法结果如表 1 所示。

表 1 织物纱线密度检测结果

样品编号	颜色	人工检测 D_m (根/inch)	自动检测 D_a (根/inch)	相对误差 $E\%$
1	黑色	45	44.8	0.44
2	黑色	53	52.7	0.57
3	黑色	63	63.5	0.79
4	蓝色	46	45.8	0.43
5	蓝色	59	59.4	0.68
6	蓝色	71	70.7	0.42

其中,相对误差 E 定义为:

$$E = \frac{|D_m - D_a|}{D_m} \times 100\% \quad (3)$$

从表 1 数据可以看出,使用本检测系统测试得到的织物纱线密度与人工测量得到的纱线密度误差很小,相对误差可控制在 1% 以内,这在实际生产中可以接受。这一方面是检测算法有效运行,另一方面也是由于斜纹机织牛仔布的纱线排列较为整齐、均匀。

对于样品 2 的一次检测结果实拍图如图 8 所示。

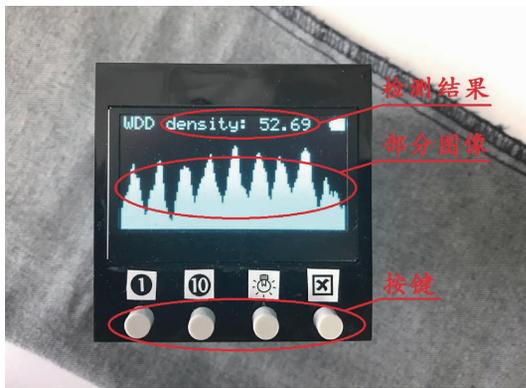


图 8 检测结果实拍图

4 结 论

本文从产品化设计的角度出发,介绍了一套基于 ARM 架构处理器与 Linux 操作系统,针对斜纹机织牛仔布的织物纱线密度检测系统的设计过程。文中着重介绍了系统的硬件原理与设计、软件运行流程、图像处理算法和 FIQ 中断驱动程序。经由 6 组实验数据,可以看到本文设计的织物密度检测系统的设计方案切实可行,且对于纱线排列整齐的斜纹机织布有较好的检测效果,检测误差可以满足生产需求,所设计的产品可达到小批量生产的水平。

参考文献

- [1] 柯维,张长胜. 织物经纬密度测量的研究进展[J]. 现代丝绸科学与技术,2010, 25(4):27-29.
- [2] 张孝超,李平,金福江. 应用图像空域法的针织物密度在线测量[J]. 纺织学报,2015,36(11):138-145.
- [3] 潘如如,高卫东,李忠健,等. 基于傅里叶图像分析的机织物密度检测[J]. 中国科技论文,2015(20):2416-2421.
- [4] 花勇,龙海如. 基于图像处理技术的纬平针织物结构参数测量[J]. 纺织科技进展,2010(6):60-62,65.
- [5] 周显恩,王耀南,朱青,等. 基于机器视觉的瓶口缺陷检测方法研究[J]. 电子测量与仪器学报,2016,30(5):702-713.
- [6] 吴成中,王耀南,贺振东,等. 基于机器视觉的注射液中不溶异物检测方法研究[J]. 仪器仪表学报,2015,36(7):1451-1461.
- [7] 郭静,罗华,张涛. 机器视觉与应用[J]. 电子科技,2014, 27(7):185-188.
- [8] 夏兰,林凌云. 嵌入式 ARM-Linux 血氧饱和度监测系统[J]. 电子测量技术,2016,39(3):74-79.
- [9] 张淑梅. 基于 ARM+FPGA 的高精度数据采集系统设计[J]. 国外电子测量技术,2014,33(11):62-65.
- [10] 罗红娥,陈平,顾金良,等. 线阵 CCD 测量系统的镜头畸变校正新方法[J]. 半导体光电,2009, 30(3):441-

- 443,459.
- [11] 刘裕文,杜文琴. 基于机器视觉的织物经纬密度自动检测研究[J]. 五邑大学学报:自然科学版, 2015(2): 16-20.
- [12] 李乐鹏,孙水发,夏冲,等. 直方图均衡技术综述[J]. 计算机系统应用,2014,23(3):1-8.
- [13] 徐雪倩,张凤生. 基于中值滤波和小波变换的织物图像预处理[J]. 青岛大学学报:工程技术版, 2011, 26(1):19-22.
- [14] 韩嘉隆,毛征,王宁,等. 基于二维 OTSU 的海天分界线提取算法[J]. 国外电子测量技术,2016,35(8): 67-70.
- [15] 胡敏,李梅,汪荣贵. 改进的 Otsu 算法在图像分割中的应用[J]. 电子测量与仪器学报,2010,24(5): 443-449.

作者简介

颜柯,1992 年出生,硕士研究生,主要研究方向为嵌入式图像处理。

E-mail:kyan92@163.com