

文章编号 : 0253-9721(2007)12-0127-04

织物自动检测系统设计与实现

高晓丁, 左贺

(西安工程大学, 陕西 西安 710048)

摘要 应用 4 片 DSP + FPGA 流水阵列结构, 用现场可编程门阵列 FPGA 对采集的视频数字图像信息进行处理, 实现了织物疵点自动检测。设计了以 4 片 TMS320C62x 为数字图像信息处理核心, 由 FPGA 实现系统控制互连的织物疵点自动检测系统, 设计了基于直方图统计和基于支撑矢量机的织物疵点分类识别算法。实验结果表明, 当样布传送速度达到 100、120 m/min 时, 该织物疵点自动检测系统对样布的疵点识别准确率分别达到 80% 和 60%。

关键词 织物疵点; 自动检测; 数字图像处理; DSP + FPGA

中图分类号: TP391.3 文献标识码: A

Design and implementation of automatic fabric inspection system

GAO Xiaoding, ZUO He

(Xi'an Polytechnic University, Xi'an, Shanxi 710048, China)

Abstract By application of the four pieces DSP + FPGA architecture and processing the collected video digital images by the field programmable gate array (FPGA), the automatic fabric inspection is realized. It designs the four pieces TMS320C62x as digital image processing core and the connecting of the fabric inspection system control is executed by FPGA. It also designs the classified identification arithmetic of fabric defects based on attributed relational histogram and support vector machine. The experiments show when the velocity of sample fabric is of 100 m/s and 120 m/s, the automatic fabric inspection system has achieved the accuracy of fabric defect detection 80% and 60% respectively.

Key words fabric defect; automatic inspection; digital image processing; DSP + FPGA

织物疵点检验是控制纺织品生产质量的重要工序。目前国内织物检验基本上由人工来完成。文献[1]认为, 目前由人工进行的织物疵点检验, 大约 30% 的疵点被漏检, 而且, 以人工视觉完成织物疵点检验的劳动强度非常大。

计算机技术、数字图像技术的不断发展, 使得基于图像处理和微型计算机平台的织物疵点自动检验技术成为可能。织物疵点自动检测系统包括: 织物表面图像采集、图像预处理、数字图像信息分析处理、织物疵点检验分类、检验结果统计分析等。织物疵点自动检测系统的核心是对高速运动织物表面图像信息进行实时采集、处理, 以及对织物表面图像信息进行分析处理。本文设计了以 4 片 TMS320C62x 为数字图像信息处理核心, 由 FPGA 实现系统控制

互连的织物疵点自动检测系统, 实现了高速运动下的织物疵点识别。

1 自动检测系统的硬件设计

织物疵点自动检测系统要求必须具有处理大量数据的能力, 以保证系统的实时性; 其次对系统的体积、功耗、稳定性等也有较严格的要求。为了实现织物疵点自动检测系统对织物图像信息的实时处理, 采用 4 片 TMS320C62x 为数字图像信息处理核心, 由 FPGA (采用 ALTERA 公司 EPIK100) 实现系统控制互连。系统分为织物表面视频图像信息和运动信息采集及预处理单元模块、FPGA 系统控制与各总线接口单元模块、数字图像存储器与 DSP 数据分析处理单

收稿日期: 2006-09-17 修回日期: 2007-01-09

基金项目: 陕西省教育厅自然科学研究重点项目 (04JK183)

作者简介: 高晓丁 (1956—), 男, 教授。主要研究方向为机电控制及检测技术。E-mail: gaopengpeng119@yahoo.com.cn。

元模块等,其结构框图如图 1 所示^[2-3]。

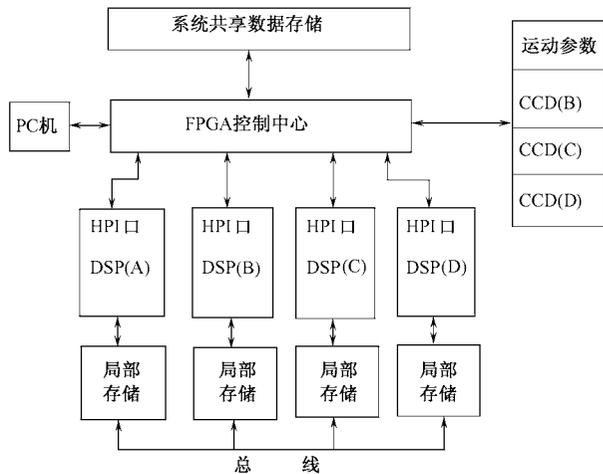


图 1 织物疵点自动检测系统结构框图

Fig.1 Structure block diagram of the automatic inspection system for fabric defect

DSP 数字处理器选择 TMS320C623x 为内存空间以及相应逻辑。数字处理器作为最小处理单元模块而存在,可以完成相应的图像处理 and 织物运动参数处理子任务。在系统中设置了 4 个这样的处理模块。其中 DSP(A) 处理来自装在织物输送带电机轴上的光电编码器的信息,以确定织物疵点的位置; DSP(B)、DSP(C)、DSP(D) 处理分别来自面阵 CCD(B)、CCD(C)、CCD(D) 的织物表面数字图像信息。这 4 个数字处理器都是在系统控制核心 FPGA 控制下运行的,而 FPGA 作为系统控制中心,负责 4 个微处理器互相通信、互相协调以及它们与外界(这里通过主从总线和互连总线)的信息交换。同时,系统处理子任务可以由 FPGA 直接派发给数字处理器,灵活的 FPGA 体系结构设计是该系统有效性的保证。根据系统的任务,通过配置 FPGA 控制 4 个数字处理器按 MIMD 方式并行处理同步输入的织物表面数字图像信息。为了提高数据交换的效率,在 FPGA 控制下的数据交换中心设置了灵活的系统存储空间。这块存储空间与 DSP 的局部存储空间构成了一种分布共享式的结构;然而,不同于一般的分布共享式存储结构的是系统存储空间相对独立,不是直接挂接在各 DSP 的地址空间中,而是通过两者的 HPI 口进行互连。

织物表面视频图像信息及运动信息采集及预处理单元接收面阵 CCD 摄像机输出的全视频信号,并对视频信号首先经过预处理、同步分离、程控放大、进行二值化处理后送到 FPGA;同时,通过安装在织物输送带电机轴上的光电编码器采集织物的位置信

息送到 FPGA,由 FPGA 将各类信息分配到相关的数字处理器进行处理,处理流程如图 2 所示。

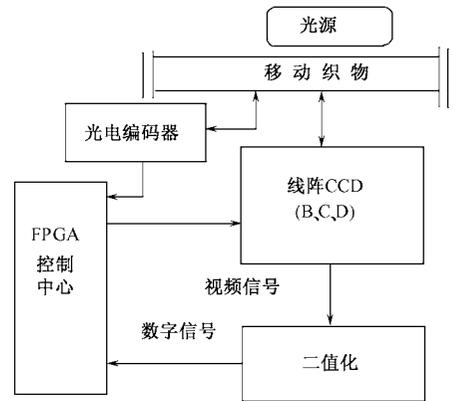


图 2 信息采集处理单元结构图

Fig.2 Structure diagram of the gathering and disposal information cell

系统的互连,各个接口以及数据通道都是通过 FPGA 完成,并在 FPGA 内部实现除一些必要逻辑之外的其他所有逻辑,因此系统的重构非常方便。由于所有的接口逻辑(包括数字处理器以及板上其他接口)都由 FPGA 实现,并且由于系统实现主从接口逻辑,完全可以通过软件获取系统内部运行的所有状态。在系统调试阶段,可以增加一些测试点和测试状态字节,相当于将该信息处理子系统在一个优良的数字测试环境下运行。由于 FPGA 的实现完全类似于软件的编程工作,系统设计变为软件模块的设计,模块化设计方法可以使系统具有功能的可裁减性。根据不同应用环境进行不同目标的设计将拥有不同的模块功能。由于 FPGA 系统的引入,在硬件设计方法和步骤上,初步的硬件连线只需关注系统外部特征、数字处理器系统的可能控制线等,无需关注更多的细节,而在系统调试时才注意逻辑接口的具体功能,并且都在 FPGA 上完成,这使得系统设计的周期变短。

数字处理器 TMS320C623x 指令周期为 4 μs,具有超长指令字节处理能力。其内部有 8 个并行处理单元,8 条指令组成 1 个指令包,1 个指令包的总字节长为 256 位。它可在一个时钟周期内并行执行 8 条指令。这种高速高性能的数字信号处理器,通过片内的锁相环路(PLL)输入时钟频率倍频,可达 300 MHz。主要完成对 FPGA 分配的目标信息做各种图像数据分析处理,接收 FPGA 发送指控命令,实时完成织物疵点特征提取、织物疵点分类计算并输出被处理目标的数据结果,以及织物疵点目标在视场

中的位置等信息。

2 自动检测系统图像处理算法的设计

2.1 织物疵点识别算法设计

系统对织物疵点识别算法选择逆向识别即过滤规则,过滤单一的规则纹理,间接存留异常纹理,这样可以避免复杂的模型构造、特征映射和偏差计算,使织物疵点识别问题转换为正常纹理过滤。根据织物基本结构单元稳定,经纬线呈直线分布且灰度变化具有单一周期的特征,选择简单的直方投影来分析织物纹理特征。

对于经过图像预处理的大小为 $M \times N$ 的织物结构图像,纬纱方向的灰度值分布为 $f_x(m)$,经纱方向的灰度值分布为 $f_y(n)$,识别算法的核心是分别沿纬、经纱方向对检测纹理灰度值累加求和^[4]。

$$f_x(m) = \sum f(m, x_i) \quad (1)$$

$$f_y(n) = \sum f(y_j, n) \quad (2)$$

用编程直方算法对各类织物进行检测试验^[5]具有以下特点:1)正常纹理的经纱方向和纬纱方向直方投影均能生成周期及幅度相对稳定的直方波形;2)织物疵点区域的经纱方向或纬纱方向直方波存在显著波形畸变,通过检测周期、幅度偏差可识别织物疵点;3)织物疵点都沿纬、经纱方向分布,符合织物的结构组成,适于直方图投影识别。

由于织物基本结构包含大量随机误差,难以由单个结构检测识别异常结构,且仅当异常结构单元在区域内达到一定密度时才形成织物疵点。依据此特点,用式(3)、(4)进行直方投影重复累加运算能使随机干扰趋于常值,而且具有噪声过滤功能。当纬、经纱线间隔和纱线直径一定时,沿纬、经纱线方向的直方投影等效于跟踪检测纬、经纱线直径和间隔,编织孔可形成波谷,而纬、经纱线会产生波峰,线孔间的灰度波动被累积放大,生成明显的分界。

$$F(m, x_i) = n \left[\sum f(m, x_i) \right] \vee M \quad (3)$$

$$F(y_j, n) = n \left[\sum f(y_j, n) \right] \vee N \quad (4)$$

式中: $F(m, x_i)$ 、 $F(y_j, n)$ 分别为纬、经纱线方向灰度累加运算直方统计值; n 为累加次数。

波形脉宽检测能识别纬、经纱线分布异常,而波形幅度检测可识别纬、经纱线外观尺寸差异,结合灰度均值能全面准确地反映织物的纹理特征。直方波形均衡稳定表明检测区域内织物纹理正常。否则说

明存在织物疵点引发的结构异常。织物疵点会造成纹理结构及灰度分布异常,导致纬纱方向和经纱方向的所有特征参数均发生一定程度的变异。采用数学方法即可提取织物疵点区域直方波特征参数 $H^{[5]}$ 。

正常纹理结构的纬纱方向和经纱方向的特征参数幅度和周期较为稳定,在织物数字图像信息处理期间可重复对随机选择的正常纹理结构检测区分别提取特征参数 h 。经均方差分析处理,准确设定正常纹理结构的特征参数的变化范围,即过滤阈值 λ 。引入织物图像预处理使识别算法适应织物纹理类型的变化,嵌入经验积累和学习功能,可提高阈值 λ 设置精度。

最后构造如下滤波器^[5]:

$|H - h| > \lambda$ 识别为织物疵点位置,不允许通过被过滤;

$|H - h| \leq \lambda$ 识别为正常纹理结构,允许通过被过滤。

确保正常纹理结构特征值自由通过过滤,而存有织物疵点的异常纹理结构的特征值被有效识别记录。

2.2 织物疵点分类识别算法设计

利用已收集的5类典型织物疵点样本,即百脚、边撑疵、错纬、断疵、经缩,并采用数字图像处理软件对这些样本进行旋转、缩放、平移等不改变织物纹理特征的变换,变换的比例系数通过随机数发生器(预先设定变化范围)生成,从而生成大量新样本。新样本集容量上实现了数倍的扩充,以保证对织物疵点分类识别的准确性^[6]。

1) 通过图像变换生成的新样本实际是对原样本进行仿射变换的结果,和原样本归于同类。对采集到的和通过变换所得的疵点样本进行类别标识 $y = +1$,其他样本进行类别标识 $y = -1$ 。从这2类样本中选取一定量的样本作为训练样本集。

2) 使用式(3)、(4)对织物数字图像信息进行处理,并针对不同类型的疵点类型,对训练样本图像用式(3)、(4)进行直方图统计。

3) 利用已提取特征值(周期、幅度)作为输入参数训练 SVM,使用 SMO 求解 QP 问题,得到支撑矢量。

4) 利用 SVM 对已被识别的织物疵点进行类别识别,得到分类识别结果。

5) 在分类识别结果中寻找最优匹配,将待识图像归入最匹配类中,确定其疵点类型并进行记录。

3 结束语

应用 4 片 DSP + FPGA 流水阵列结构,用现场可编程门阵列 FPGA 对采集的视频数字图像信息进行处理,实现了视频图像的采集和目标提取的视频数字图像处理系统的设计。由于采用了在线系统编程技术,使系统具有灵活性,系统升级方便。同时应用基于直方图统计和支撑矢量机的织物疵点识别算法。该算法运用直方图统计的方法,由概率统计生成直方波形,基于波形特征参数对比能准确定位织物纹理结构的异常位置,正确识别织物疵点;并将其作为支撑矢量机的输入参数,用于训练特征样本集,以获得支撑矢量,对织物疵点进行分类。

实验样机采用双片 DSP + FPGA 结构和一个面阵 CCD 摄像机构成系统。实验布样采用选定的窄幅布,选用交流伺服电机驱动卷布滚轮,调整布的速度,记录疵点位置。实验中当样布速度小于 100 m/min 时,该织物疵点自动检测系统对样布的疵

点识别准确率达到 80%;当样布速度达到 120 m/min 时,该织物疵点自动检测系统对样布的疵点识别准确率达到 60%。实验结果表明:该织物疵点自动检测系统具有运算速度快,稳定性好等特点,可以满足织物疵点自动检测要求;该系统图像处理算法用于织物疵点检测是可行、有效的,能得到满意的识别结果。

FZXB

参考文献:

- [1] Meier R. 织物检测领域的一次质量革命[J]. 国外纺织技术, 2000(1): 23 - 25.
- [2] 吴敏渊. ADSP 系列数字信号处理器原理[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002: 20 - 150.
- [3] 杨明林, 张晓飞. FPGA 控制实现图像系统的视频图像采集[J]. 计算机测量与控制, 2003, 11(6): 451 - 454.
- [4] 胡敏, 丁益洪. 基于属性关系直方图统计的线状纹理图像检索方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2003, 15(1): 48 - 52.
- [5] 高晓丁, 汪成龙, 左贺, 等. 基于直方图统计的织物疵点识别算法[J]. 纺织学报, 2005, 26(2): 121 - 23.
- [6] 高晓丁, 高滨, 左贺. 基于支撑矢量机的织物疵点识别算法[J]. 纺织学报, 2006, 27(5): 26 - 28.