

基于 DSP 机器视觉的缠辊检测系统

宋 俊, 于盛林

(南京航空航天大学自动化学院, 南京 210016)

摘 要: 涤纶短纤后期处理中时常会发生缠辊。缠辊发生时, 短纤后续表面会因缺丝而产生裂缝。辊筒缠丝越多, 裂缝宽度就越大, 辊筒就越容易损坏。针对如何实时、准确地检测缠辊这一问题, 该文提出一种基于 DSP 机器视觉相结合的实时处理方案, 介绍系统硬件组成和软件设计。在仿真实验中, 系统对裂缝宽度以 0.67 m/s 增长的几幅仿真图进行检测, 当发生报警时, 检测时间为 156 ms。

关键词: 数字信号处理; 机器视觉; 缠辊检测; 自动检测

Wrap Detection System Based on DSP' Machine Vision

SONG Jun, YU Sheng-lin

(College of Automation Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016)

【Abstract】 The fiber wrap always occurs in the later processing of staple fiber. When it happens, the surface of later fiber brings out some fissures because of lacking of silk. The more silk the roller wraps, the wider the fissure is, and the easier the roller damages. The paper presents a real-time solution based on DSP and machine vision for detecting the fiber wrap accurately in real-time, and also introduces the system hardware platform and software design. In the simulation test, some pictures whose fissure width increases at the speed of 0.67 m/s are detected, and it only takes 156 ms to find out the fiber wrap and send the alarm signal.

【Key words】 Digital Signal Processing(DSP); machine vision; wrap detection; automatic detection

1 概述

在涤纶短纤的后期处理过程中, 要经过第三牵伸和紧张热定型段 2 个重要工艺环节, 由于存在各丝束所能承受的拉力不均, 辊筒转速过快或辊筒的表面温度过高等原因, 经常会发生丝束缠辊现象^[1]。在实际生产过程中, 如果未能及时对缠辊作出处理, 则将导致辊筒损坏以及生产效率的降低。

目前, 国内外处理这一问题有 3 种方法:

(1) 利用缠辊时缠绕在辊筒表面的丝束使行程开关产生机械位移, 通过位移传感器将位移信号转换为电信号, 从而输出报警或停机信号。

(2) 利用光电接收原理, 将光发射器阵与光接收器阵同置丝面的一方, 而在另一方相应位置放置一光反射板。如果发生缠辊, 丝面中必然会产生裂缝, 光发射器所发出的光经反射板后被光接收器获得, 进而转换为电信号, 产生报警信号。

(3) 利用摄像头将采集的图像经视频电缆传送至 PC 机中的视频采集卡, 然后运用图像处理技术对计算机获取的位图图像进行处理, 如果在位图图像中检测出一定宽度的裂缝, 则立刻发出报警信号^[1]。

然而, 由于定型机内有大量水蒸汽和腐蚀性介质, 温度和压力较高, 经常会发生行程开关接触不良的故障, 光电式又容易受现场环境的干扰。视频检测系统虽然能克服前 2 种方法的缺点, 但该系统需结合 PC 机, 结构较复杂, 体积较大, 维护相对困难。

因此, 本文提出了一套基于 DSP 机器视觉的小型实时缠辊检测系统, 其采用的 DSP 芯片型号为 TMS320C64xx

2 系统设计要求和总体设计方案

检测系统需满足的技术指标如下:

(1) 从缠辊发生到停车, 受损的纤维长度应在 20 m 以内。由于辊筒的转速为 4.5 m/s, 因此从发现缠辊到给出停车信号, 处理时间不应超过 4.4 s。

(2) 能够分辨的最小裂缝宽度为 2 mm。由于纤维表面宽 1.2 m, 因此采集图像的分辨率设定为 640×480。

(3) 系统要有一定的预报性, 无漏报警。

整个检测系统分为图像采集、图像处理和报警输出 3 个部分。考虑到系统的实时性要求较高, 故设定智能相机的采样频率为每秒钟采集 5 帧图像。因此, 每一帧图像从捕获开始, 到系统完成对图像的所有处理, 必须在 200 ms 内结束。

图 1 是图像采集系统安装示意图。

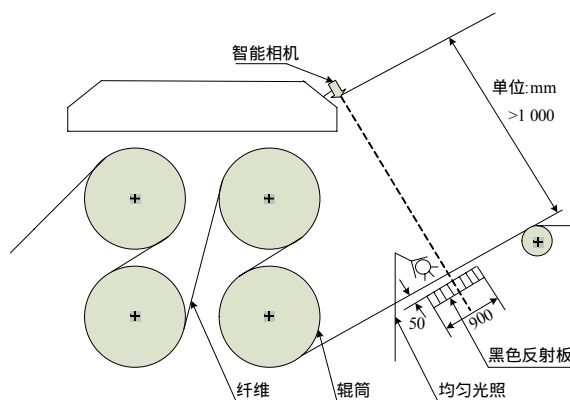


图 1 图像采集系统安装示意图

作者简介: 宋 俊(1982 -), 男, 硕士研究生, 主研方向: 计算机测控, 数字图像处理; 于盛林, 教授、博士生导师

收稿日期: 2007-05-10 E-mail: dtsj2004@126.com

图 1 在纤维表面下方放置黑色反射板和在上方使用均匀光照主要是为了使裂缝和其他区域的对比度更大一点,方便后续的图像处理。

智能相机所照射的位置为底部有黑色反射板的那块纤维表面。当发生缠辊时,纤维后续表面会因缺丝而产生裂缝。辊筒缠丝越多,裂缝宽度就越大。因此,通过对纤维表面裂缝的检测便可知道是否发生了缠辊,从而决定是否发出报警信号。

在整个检测方案中还需注意的一个问题是:由于辊筒速度较快,为了避免产生垂直托影而影响裂缝的清晰度,必须保证在摄像机的曝光时间内,短纤的位移要小于 2 mm,因此曝光时间要小于 $2\text{ mm}/4\ 500\text{ mm}\approx 444.4\ \mu\text{s}$ [2]。

3 系统硬件部分

检测系统的硬件主要由 VCSBC4018 智能相机、外围脉冲触发电路以及报警处理 3 个部分组成。图 2 是系统硬件结构,图中虚线框以内都属于智能相机 VCSBC4018。

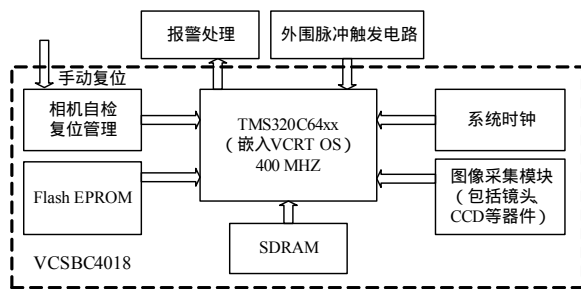


图 2 系统硬件结构

3.1 VCSBC4018 智能相机

该智能相机的核心处理器,即所采用的 DSP 芯片型号为 TMS320C64xx,其主频为 400 MHz,处理速度高达 3 200 MIPS。它采用了带有 8 个功能单元的 VLIW 体系结构,每个周期最多可以执行 8 条指令,为其他 DSP 的 10 倍性能。同时,它具有 32 MB 的 SDRAM 和 4 MB 的 Flash EPROM。

在外部接口上,VCSBC4018 拥有输入/输出触发端口、12 V~24 V 的数字 I/O 口以及 100 Mb 的以太网口等 [3]。

VCSBC4018 采用的 CCD 为 1/3" SONY ICX424AL,分辨率为 640×480。它的曝光时间最小可达到几十微秒,符合系统的曝光时间要求。其每秒钟最多采集 32 帧图像的性能更是远高于系统 5 帧的设计要求 [4]。

在镜头选用上,根据镜头和纤维表面的距离、纤维表面宽度以及 CCD 的尺寸进行计算后,选用了 COMPUTAR 公司的 M0814-MP 作为镜头。该镜头是焦距为 8 mm 的定焦镜头,镜片规格为 1/2",其焦点的位置和光圈大小可以手动调节。

此外,整个智能相机的体积为 8 cm×6 cm×5 cm,相比一般的工业相机来说要小得多。

3.2 外围脉冲触发电路

相机拍摄一帧图像是要靠触发信号来实现的。为了方便改变相机的拍摄频率,故采用外部触发的方式。

外部触发主要是利用相机的输入触发端口接收脉冲来实现的。其基本思想就是利用多谐振荡器及可变电阻、电容产生周期可调的脉冲信号,将该脉冲信号经整形后送入相机的触发端口,在内部运行程序的配合下,便可实现图像的采集。

4 系统软件部分

软件开发是基于集成开发环境 CCS2.2 完成的。其主程

序流程如图 3 所示。

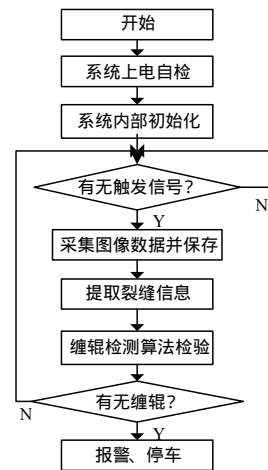


图 3 主程序流程

4.1 提取裂缝信息

对于摄像机采集的图像,为了抑制噪声或某些意外情况对后续检测的影响,本文首先运用图像灰度变换的方法来抑制图像中某些不感兴趣的地方(主要为强光),然后利用均值滤波对图像进行处理。由于这 2 种方法都已做成库函数的形式,其运行时间都在 10 ms 以内 [4]。为提取出图像中的裂缝,本文使用了边缘检测的方法。边缘检测的算子有很多,如 Sobel, Robert, Laplace 等。但是这几种方法都无法在抑制噪声和边缘精确定位之间达到最优,往往是顾此失彼。然而 Canny 算子却能在这两者之间选择一个最佳的折衷方案 [5]。

原始灰度图的尺寸为 640×480 个像素。在图 4(a)中,靠右的 2 条较明显的黑线为真裂缝,而其他的一些阴影为假裂缝。真假裂缝的区别就在于其灰度值在水平方向的变化幅度不一样。此外,图 4(a)中较明显的白色区域为强光照射所致,在系统设计时应尽量避免。但这里仍然将这种可能出现的情况考虑在内。比较图 4(b)~图 4(d)可以发现,图 4(b)和图 4(c)中都存在一些斑点,这其实是检测出的假边缘;图 4(d)中就明显不存在这种情况。可见, Canny 算子的检测效果明显要好于其他几种算子。且 Canny 算子的运行时间为 24 ms,完全在预算之中。

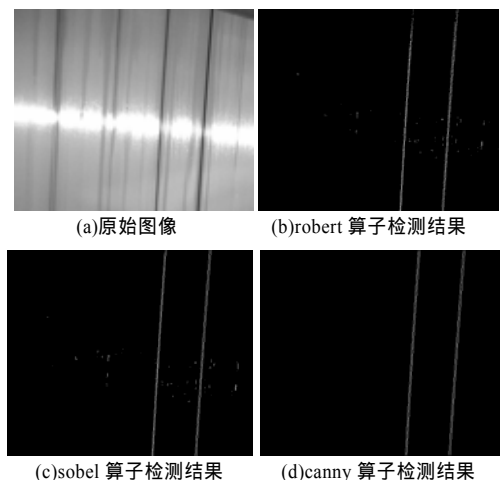


图 4 原始灰度图边缘检测后的效果

4.2 缠辊检测算法

如前所述,缠辊越严重,裂缝的宽度就越大。文献 [1] 中

就使用宽度值来判断是否有缠辊发生。显然，单靠一两次宽度值测定就作出判断是不完善的，无法排除偶然性因素的存在。本文提出了对裂缝宽度使用线性拟合的方法，通过检测裂缝宽度的变化趋势并结合裂缝宽度值双重判断是否发生缠辊。这种方法引用了统计规律的思想，因此，能够抑制偶然性因素的作用，且有一定的预判性。

为了能够得到裂缝宽度的变化趋势，提取裂缝在各处的宽度值是关键。由于canny算子检测出的裂缝边缘为单像素边缘^[6]，边缘处的像素灰度值为 255，因此，可以通过在图像某一行中寻找相邻 2 个灰度值为 255 的像素，用其纵坐标之差作为裂缝的逻辑宽度值。所谓逻辑宽度值是指以像素个数来表示裂缝宽度。考虑到程序的运算量和运算时间的问题，显然不能对整幅图进行计算。因此，本文采取了对同一条裂缝的上、中、下 3 个部分各取 5 个宽度值，将其保存起来做下一步的分析。

在检测图像中哪条裂缝宽度增加最快时，本文使用了线性拟合的方法对上面提取的 15 个裂缝宽度值进行综合分析。线性拟合的基本思想如下：

假定从裂缝上、中、下 3 个部分依次提取的逻辑宽度值排列为 y_1, y_2, \dots, y_{15} ，将这些数据组成在 xoy 平面上的 15 组数据： $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_i, y_i), \dots, (x_{15}, y_{15})$ 。其中， $x_i=i(1 \leq i \leq 15)$ ，并假定拟合直线为 $y = ax + b$ ，经最小二乘法拟合可得：

$$a = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \quad (n=15)$$

如果 a 大于 0，说明裂缝的宽度在增加，反之说明在减小。然后再利用斜率和裂缝宽度值双重衡量的方法来判断是否产生缠辊或将要产生缠辊。

整个缠辊检测算法流程如图 5 所示。

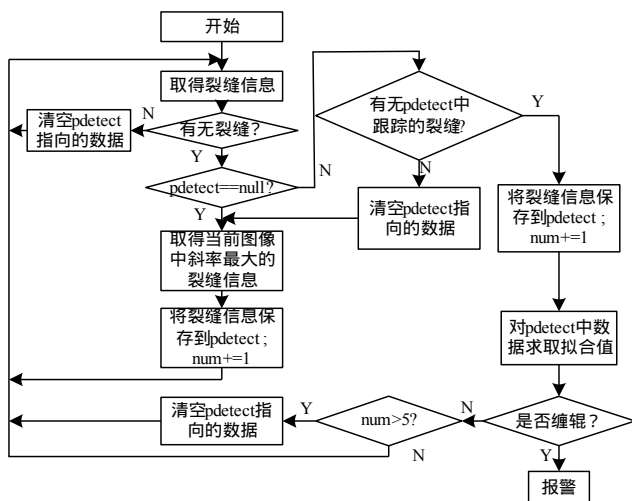


图 5 缠辊检测算法流程

图 5 中取得的裂缝信息为当前图像中的裂缝信息。指针 $pdetect$ 指向了一个数组，数组中存放的是被跟踪的某条裂缝在前几幅图中的宽度数据值。这个数组的内容会根据检测情

况的不同而动态地改变。同时，该数组也是判别缠辊最直接的数据来源。图中 num 的值为保存某条裂缝数据的次数。考虑到运算量的问题，在 $num > 5$ 时就清空指针 $pdetect$ 所指向的数据，这对检测缠辊的随机性也有一定的好处。整个缠辊检测算法的时间在 30 ms 以内，加上之前一些处理步骤所需要的时间，一帧图像处理的时间总和不超过 100 ms。可见，在检测能力上，该系统仍有较大的提升余地。

5 实验结果分析

为了检验该算法的正确性和检测精度以及运算时间，本文对一组仿真图进行了检测。图 6 中白色背景为假想的纤维表面，黑色线条为假想的裂缝。

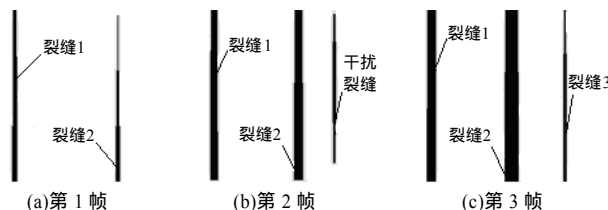


图 6 仿真图

在图 6 中，3 幅灰度图的尺寸都为 640×480 。纵观 3 幅图像，裂缝 1 和裂缝 2 宽度都在增加，但裂缝 2 宽度增加得快些，所以它被视为宽度增加最快的裂缝而跟踪，裂缝 3 是在第 3 幅图像中新增的裂缝，此外还有干扰裂缝。由于裂缝 2 在连续 3 幅图中都在增大，且裂缝底部宽度值同时也超过了所给的标准，因此检测系统产生了报警信号。

检测结果表明，该方法的检测误差为 1 个像素，其精度满足了该项目的要求。3 幅图像的运算时间为 156 ms。平均每幅图的处理时间为 52 ms，小于 200 ms。显然时间已经远远满足该项目的实时性要求。

6 结束语

实验结果表明，本文所提出的基于 DSP 机器视觉的缠辊检测系统在精度上和实时性要求方面均能满足系统设计的要求。同时，该系统体积小，自动化程度较高，维护和升级也非常方便。此外，该系统一次性投入较少，在现代工业机器视觉处理中具有一定的应用前景。

参考文献

- [1] 董英城. 基于图像处理技术的缠丝检测系统设计及应用[J]. 聚酯工业, 2003, 16(3): 55-57.
- [2] 何晓成, 国澄明, 林漫红. 基于 DSP 的实时地面裂缝检测系统平台的设计[J]. 国外电子测量技术, 2003, 5(6): 18-22.
- [3] Neuhaus P. Hardware Documentation VCSBC40xx Smart Cameras [EB/OL]. (2006-03-12). <http://www.vision-components.com>.
- [4] Neuhaus P. VCRT5 Operation System Manual[EB/OL]. (2004-04-10). <http://www.vision-components.com>.
- [5] Canny J. A Computational Approach to Edge Detection[J]. IEEE Trans. on PAMI, 1986, 8(6): 679-698.
- [6] 贾云得. 机器视觉[M]. 北京: 科学出版社, 2000.