

文章编号 1004-924X(2003)04-0384-06

烟草在线异物剔除系统设计与实验研究

陈文涛, 钟先信, 李志敏, 刘 军, 陈 杰
(重庆大学 光电技术及系统教育部重点实验室, 重庆 400044)

摘要:介绍了烟草在线异物剔除系统的结构及工作原理,讨论了系统方案设计中的主要问题,设计了系统原理样机调试实验,并分析了实验结果。采用 HIS 颜色模型,以色度为主要特征量,设定阈值对烟草和异物的像素点进行判别。在此基础上,设定一定数量的像素点构成判别单元,统计单元中异物像素点的比例,再对该比例进行二次判别,以最终给出表示烟草或异物的检测信号。采用高性能的元器件构成系统,并利用(MIL-LITE 7.0)图像开发库,实现对内存数据的直接操作。实验研究的结果表明:原理样机在模拟在线条件下能实时地运作,对异物具有较高的识别率和剔除率。

关键词:烟草在线异物剔除系统; HIS 颜色模型; 内存直接操作; 原理样机

中图分类号: TP391 文献标识码: A

Design of a tobacco online foreign body eliminating system and its experiment

CHEN Wen-tao, ZHONG Xian-xin, LI Zhi-min, LIU Jun, CHEN Jie

(The Education Ministry's Primary Lab of Optic-Electric Technique
and System of Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: This paper introduces the structure and working principle of a tobacco online foreign body eliminating system, and discusses the key techniques in its design. The testing experiments of sample machine are designed, and the results are analyzed. The HIS color model is used and the chroma is taken as the most characteristic parameter. The threshold value is set to distinguish whether the pixel belongs to tobacco or foreign body. Based on these, some pixels are set to constitute a judgement unit, then the proportion of pixels is counted, which belongs to foreign body, then it is distinguished whether the unit belongs to tobacco or foreign body based on this proportion. Finally, the detected result is provided. High-performance components and devices are employed to make the system. Direct operation on EMS memory is achieved by using image developing library. All above make the system operate realtimely on product line. The results of experiment indicate the sample machine can operate realtimely on simulation online, and the distinguishing rate and eliminating rate to foreign body are preferable.

Key words: tobacco online foreign body eliminating system; HIS color model; direct operating on EMS memory; sample machine

收稿日期: 2003-01-06; 修订日期: 2003-06-05.

基金项目: 国家计委项目: 计高技[2000]1882号; 国家高科技产业化工业过程自动化专项“企业集成自动化系统”

1 引言

随着工业自动化技术的迅猛发展,自动化检测与控制系统的應用已成为我国传统产业改造和发展的趋势^[1-2]。烟草在线异物剔除系统是用于烟草生产线上,用以识别并剔除烟叶中混杂的异物(如麻绳、纸片、霉变烟叶以及其它杂物)的自动化光电检测系统。目前,在国外的一些较大烟草企业里,在线异物剔除设备已经成为生产线上一种不可缺少的设备。而在国内,大多数烟草生产线上都采用金属探测仪检测和剔除金属异物、并辅之人工剔除其它异物的方法,费时费力,而且,异物的剔除率受人为因素影响较大,效果不理想。也有少数国内卷烟厂引进了国外的烟草分选设备,但由于价格昂贵、配件更换困难以及售后服务难以到位等问题,影响企业的生产。更为重要的是受到产品知识产权的牵制,国内始终引进了国外先进水平的设备,难以提高企业的国际市场竞争能力。因此,烟草在线检测系统的研制,对优化烟草产品质量、为企业节约开支、提高我国烟草行业的国际竞争力都具有重要的意义。

2 系统方案设计

2.1 系统结构及工作原理

烟草在线异物剔除系统的工作原理可用以下步骤来描述^[3]:(1)图像摄取。在生产线上,当烟叶流被传送至传送带输出端时,在风压装置的作用下,烟叶流以高速(5 m/s左右)抛射出,当烟叶流悬空时,用 CCD 线阵摄像机连续扫描,摄取烟草和异物混合物的图像。(2)图像传输。用图像采集卡将所摄图像以数据的形式传至计算机内存当中。(3)图像识别处理。对传至内存中的表示烟草和异物图像的数据,处理器根据烟草和异物特征参数的差异,设定阈值来判别烟草和异物。(4)识别信号传输。对烟草和异物进行识别后,将表示异物位置的信号传输至气动喷嘴。(5)剔除异物。气动喷嘴根据所接收到的异物位置信号,控制相应位置的电磁阀动作,从对应喷嘴喷出高压空气将异物剔除。如此连续不断地重复上述过程,实现烟草异物的实时在线检测和剔除。

烟草在线异物剔除系统原理样机的结构示意图

如图 1 所示,较之实际的产品,样机省去了风压装置,并且只采用单面检测。

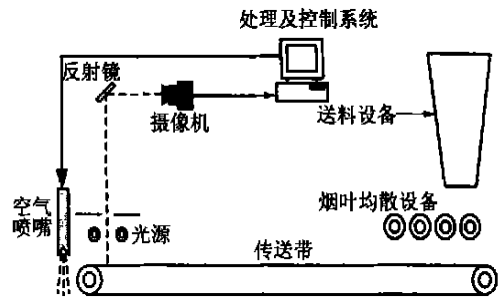


图 1 烟草在线异物剔除系统原理样机结构示意图

Fig. 1 Sketch map of sample machine of tobacco online foreign body eliminating system

2.2 系统设计中的关键技术

烟草在线异物剔除系统能否实现其性能,主要由以下两个方面的因素决定:其一,在所摄得的在线物流图像当中,烟叶和异物能否被准确识别、误判率能否小到较为理想的值;其二,系统对异物的检测和剔除能否达到实时性,以满足生产线上对物流速度的要求。这两点也是系统设计中要解决的两个关键问题。

2.2.1 烟草和异物的准确识别

烟草和异物主要根据其色度的差异来区分:根据所摄图像中各像素点色度的 R (红)、 G (绿)、 B (蓝)分量的差异,来判定该像素点是属于烟草或是异物。 HIS (色调、亮度、饱和度)模型是一个反映人观察彩色方式的彩色模型。该模型把彩食用亮度(I)、色调(H)和饱和度(S)来表示。

从 $R、G、B$ 颜色空间到 $H、I、S$ 颜色空间的变换关系如下^[4]:

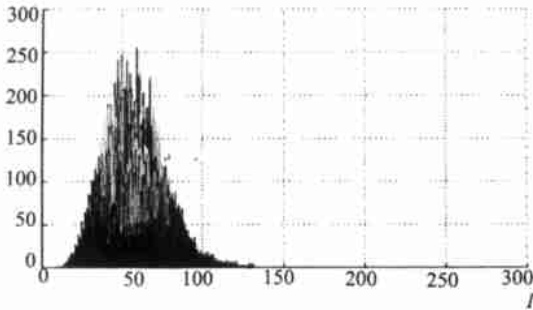
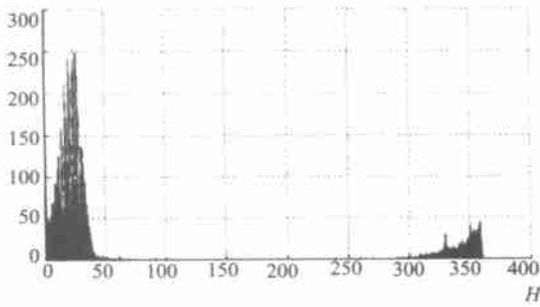
$$I = \frac{R + G + B}{3}, \quad (1)$$

$$W = \cos^{-1} \left\{ \frac{H = W \quad B > G}{H = 2 - W \quad B < G} \right\} \\ W = \cos^{-1} \left\{ \frac{2R - G - B}{2[(R - G)^2 + (R - B)(G - B)]^{\frac{1}{2}}} \right\}, \quad (2)$$

$$S = 1 - \frac{3 \min(R, G, B)}{R + G + B}, \quad (3)$$

利用 HIS 颜色空间中的色调 H 和亮度 I 值构成的二维特征空间可对烟叶和异物进行有效的识

别。方法是对烟叶和各种异物,分别抽取一定数量的样本进行统计,作出烟叶以及各种异物的 H 及 I 的直方图。从直方图中分析烟叶和异物的色度特性,依此设定二维的色度阈值来判别烟草和异物。图 2 为烟叶的 H 和 I 的直方图,图中纵坐标 n 为频数。分析图 2 以及在相同摄像条件下所拍摄的各种异物图像的 H 和 I 直方图可得到表 1 中的数据。

(a) 烟叶 I 直方图(a) I histogram of tobacco(b) 烟叶 H 直方图(b) H histogram of tobacco图 2 烟叶的 I 及 H 直方图Fig. 2 I and H histogram of tobacco

从表 1 中可见:利用 $H-I$ 二维直方图,可以明显区分出烟叶和黄、蓝、绿纸和黄海绵、木片、泡沫等异物的像素点。而纸箱、黄皮带等异物,虽然它们的亮度 I 和色度 H 都和烟叶有一定程度的重叠,但两者 I 分布的中心值有较大差异。用以上数据为例,设定烟叶的亮度 I 的阈值下限为 25、上限为 80 则可较好地地区分烟叶和纸箱、黄皮带等异物的像素点。虽然这样判别的结果仍会产生一定的错判率,但可通过以下的方法来解决这一问题。

表 1 烟叶和异物的 $H-I$ 主要分布范围Tab. 1 The mostly $H-I$ distributing range of tobacco and foreign body

| 种类 | 灰度 I 主要分布范围(0~255) | 色调 H 主要分布范围(0~360) |
|-----|----------------------|----------------------|
| 烟叶 | 25~100 | 0~40, 330~360 |
| 红纸 | 65~70 | 0~10, 355~360 |
| 黄纸 | 145~200 | 55~70 |
| 蓝纸 | 60~90 | 230~250 |
| 绿纸 | 55~80 | 110~145 |
| 黄海绵 | 180~200 | 55~60 |
| 黄皮带 | 75~100 | 15~30 |
| 黄纸箱 | 85~115 | 20~40 |
| 灰纸箱 | 80~105 | 20~45 |
| 木片 | 110~ | 规律不明显 |
| 泡沫 | 150~ | 规律不明显 |

在判别出各像素点的属性后,再根据用以剔除异物的喷嘴间隔,设定一定数量的像素点作为一个判别单元。统计判别单元中属于异物的像素点的比例,如比例超过一定值则将该单元判为异物。采用这样的方法,经统计后,在对单个像素点进行判决时被误判的一些像素点,在整个判别单元的层次上其误判的作用被掩盖了。这样,在整个判别单元的层次上,误判率较之单个像素点的误判率大大降低了。

2.2.2 系统实时性的实现

检测速度是自动化检测系统的一项重要指标。安装在烟草生产线上的烟草在线异物剔除系统,其检测和对异物的剔除速度必须超过生产线上其它环节的处理速度,否则将成为整条生产线的“瓶颈”。由于产量的要求,原先在生产线上流速较慢的烟叶厚层必须被摊成有一定宽度的薄层,并以高速抛射出。检测系统在烟叶流悬空期间,在 15~20 cm 的距离上(相应时间为 30~40 ms)完成从图像摄取、传输、识别处理直至异物剔除的整个工作过程。

2.2.2.1 对系统软硬件的要求

假定抛射烟叶流的宽度为 1.8 m,速度为 5 m/s,对横向和纵向的检测精度的要求均为最小能分辨 1 mm 的物体。要实现系统的实时性,则系统的软硬件必须达到以下要求:

(1) 线阵摄像机的线扫描频率必须大于 5 000 L/s。

(2) 图像采集卡的传输速率必须大于 27 MB/s ($1\ 800 \times 5\ 000 \times 3$, 因为有 R、G、B 三个颜色分量的数据)。

(3) 图像处理软件的处理速度必须大于以上数据传输的速度。

以上所述的 H-I 判别模型编制了图像处理程序,并测定了该程序处理一幅 $1\ 800 \times 30$ 个像素的图像的时间,结果约为 2.6 ms,表明该程序的处理速度完全能达到要求。

(4) 若在纵向上采用 10 个像素的宽度 (1 cm) 作为一个最小判别单元,则用以剔除异物的气动喷嘴的反应频率必须大于 500 Hz。

2.2.2.2 内存的直接操作技术

由于 CPU 对硬盘的读取速度远远慢于对内存的读取速度,因此,必须采用直接存取与处理内存中的数据的方法,即采集卡将采集到的数据放入系统内存后,不存入硬盘而直接在内存中进行处理。这样系统的实时性才可能实现。

烟草在线异物剔除系统的图像采集和处理软件是运行在 Windows2000 操作系统下的。Windows2000 工作在保护模式下,内存资源经过了 CPU 严格的分段分页保护机制,其存储器地址以虚拟地址空间,线性地址空间和物理地址空间来进行描述。在用户模式下,程序员进行编程时能够使用的只是虚拟地址空间中的虚拟地址,而采集卡采集数据存入 PC 机系统内存时使用的是物理地址,从虚拟地址到物理地址的转换需要经过 CPU 的分段、分页部件来完成。虚拟地址先通过分段部件,为虚拟地址提交实际物理内存,得出此时与虚拟地址对应的线性地址;线性地址再经过分页部件的转化得到真正的物理地址^[5-6]。由于 CPU 的分段、分页部件的作用,使得虚拟地址相对于物理地址来说是不固定的。因此,同一虚拟地址通过转化得到的线性地址可能是不一样的,从而,按照由虚拟地址得到物理地址的这一方法不能够准确实现对物理内存的直接存取。

为了解决这个问题,基于图像采集卡 (Matrox Meteor II CL) 开发库 (MIL-LITE 7.0) 提出了一种直接访问物理内存的方法:先获得物理内存,再求其编程中可用的线性地址或虚拟地址。即先通过库函数 bufAllocate() 完成对连续物理内存的分配,然后使用库函数 MbufInquire() 获得所分配物理内存的经过分页分段处理后得到的线性地

址或虚拟地址。由物理内存得到的线性地址或虚拟地址是相对固定的,可以直接使用。这样就实现了对物理内存的访问操作^[7]。

选用高性能的硬件,采用内存直接操作技术,结合快速有效的算法即可实现系统的实时性。

3 原理样机调试实验

系统原理样机的结构如图 1 所示。相关参数如下:传送带宽度为 600 mm,传送速度为 0~6 m/s 可调;气动喷嘴共设置 32 个,中心间隔为 10 mm,有效喷射范围为 320 mm;摄像机采用彩色 CCD 线阵摄像机,其主要参数为像素数量 $2\ 098 \times 3$,像素大小为 $14\ \mu\text{m} \times 14\ \mu\text{m}$,最高扫描频率 9 200 Hz;摄像镜头用可调焦广角镜头,焦距 f 的调节范围为 24~120 mm;摄像物距为 800 mm。

3.1 系统参数的正确设置

首先,调节镜头的光学参数及摄像机的设置,使得所检测的范围和喷嘴覆盖的范围对应起来,并设置合适的判别单元大小。各参数调节的结果如下:

镜头焦距为 35 mm。此时,摄像机的放大倍数约为 $35/800 = 0.044$,像平面 (CCD 阵列平面) 上一个像素对应于物平面 (传送带) 上的大小为 0.32 mm。

起始摄像位置为第 549 个像素。由于喷嘴阵列总宽度为 320 mm,所以所摄的图像中感兴趣的区域大小为 1 000 个像素,故起始摄像位置为 $(2\ 098 - 1\ 000)/2 = 549$ 个像素处。

在宽度上,1 000 个像素范围内共有 32 个判别单元 (一个判别单元对应于一个喷嘴),每个判别的宽度为 $1\ 000/32 = 31$ 个像素。判别单元的长度也设为 31 个像素。

由于所用光源 (直流三基色荧光灯管) 的亮度相对偏暗,所以设置灯管至传送带面距离为 150 mm 这一较小值,并设置镜头光圈至最大值 3.5。

根据物平面上每个像素大小为 $0.32\ \text{mm} \times 0.32\ \text{mm}$,要使所摄图像正确反映物体的实际形貌,传送带速度 v 和摄像机扫描频率 F 之间的关系为: $v = 0.32 \times F$ 。

最后,调节摄像机的增益及偏置,使所摄图像中色调达到平衡。由于 R、G、B 三个通道对光的敏感程度不同,以及光源波段可能存在的均匀

性,三个通道增益存在差异,一般是 R, G, B 依次递增。偏置一般设为零,使得所摄图像的饱和度取较大的值,这样有利于从色调上对烟草和异物进行判别。

3.2 实时性测试实验

3.2.1 系统处理单个判别单元所需时间的测定

实验中对贴于绿色背景上的 $20\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ 大小的白纸(视为异物)的击打点距离进行了测试。判别单元大小为 31×31 个像素。传送带速度为 5 m/s 。喷嘴到摄像机所摄位置的水平距离为 145 mm 。白纸位置相对应的喷嘴中注入墨汁以作喷打后的标记。

实验结果:墨汁的痕迹在白纸运动前方 90 mm 处。即异物从被检测到被剔除时运动的距离为 55 mm ,对应的时间为 11 ms 。表明在对单个异物的检测并剔除的耗时上,系统能达到实时性的要求。

3.2.2 异物连续出现时系统处理时间的测定

系统实时性的另一项指标是当异物连续出现时,系统能否将所有的异物都检测到并剔除掉。检验方法是:令摄像机的扫描频率取 $5\ 000\text{ L/s}$,传送带速度为 5 m/s ,在传送带上贴上沿传送带运动方向的长条状白纸,以模拟异物连续出现的情形,白纸横向位置对应的喷嘴中注入墨汁。设定判别单元大小为 31×31 个像素。然后,开启样机工作一段时间后,测定白纸上墨迹的间距。

实验结果为:白纸上相邻墨迹点的间距均约为 $31 \sim 33\text{ mm}$,排除误差因素后,基本与理论值相符。表明系统在连续异物出现时,对异物的检测和剔除速度能够满足实时性的要求。

3.3 识别率和剔除率测试实验

实验中,在传送带速度为 3 m/s 的条件下,共对多种异物(包括白纸片,白纸箱板,白色泡沫,灰

色百叶窗,黑色橡胶,黄皮带,稻草,黄色海绵,蓝色海绵,木板,麻袋片,黄色纸板,黑布标,绿纸片,绿皮带,有机玻璃等)单独存在时的识别率和剔除率进行了测试;并对烟草和十种典型异物混合状态下的剔除率进行了测试。测试中异物的尺寸制成 $30\text{ mm} \times 30\text{ mm}$ 、 $20\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ 、 $10\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ 三种规格。

实验结果表明:在异物单独测试的情形下,样机对各种异物,尤其是尺寸较大的异物具有较高的识别率和剔除率。

4 结论及讨论

制造的烟草在线异物剔除系统原理样机,在模拟在线条件下能实时地运作,对尺寸较大的各种异物具有较高的识别率和剔除率。

当异物尺寸减小时,原理样机对异物识别率有所下降,其主要原因是:判别单元中有较多的背景像素点,从而减小了异物像素点的比例,使其低于阈值而产生漏判。进一步的研究中,可采用去除背景像素点后再进行统计的方法来解决这一问题。烟草和异物的识别算法也可在以上基本算法的基础上,进一步采用提取纹理特征等基于判别单元总体色度特性的算法,以提高识别率。

样机对异物的剔除率较之识别率降低,且在混合烟叶和异物进行测试时,剔除的效果不好。造成这些现象的主要原因是没有使用风压装置,导致物流在检测期间运动不平稳,影响喷嘴击打的准确性。

烟草在线异物剔除系统原理样机研制及测试结果证实了系统方案的可行性。为进一步研制产品打下了基础。

参考文献:

- [1] 李琳. CMOS 数字成像技术在电力系统图像监控中的应用[J]. 光学 精密工程, 2002, 10(1): 84-88.
L I L. CMOS digital imaging technology and its applications to image monitor in power system[J]. *Optics and Precision Engineering*. 2002, 10(1): 84-88. (in Chinese)
- [2] 张业鹏. 机器视觉在工业测量中的应用与研究[J]. 光学 精密工程, 2001, 9(4): 324-329.
Z H A N G Y P. Applications and research on machine vision in industry inspection[J]. *Optics and Precision Engineering*. 2001, 9(4): 324-329. (in Chinese)
- [3] 边肇祺. 模式识别[M]. 北京:清华大学出版社, 1985.
B I A N Z Q. *Pattern recognition* [M]. Beijing: Publishing House of Tsinghua University, 1985.
- [4] CASTLEMAN K R. 数字图像处理[M]. 北京:电子工业出版社, 2002. 456-462.

- CASTLEMAN K R. *Digital image processing* [M]. Beijing:Publishing House of Electronic Industry,2002. 456-462.
- [5] 周德兴. 实时系统软件设计方法[J]. 计算机测量与控制. 2000,(4):28-31.
ZHOU D X. Design method of real-time system software[J]. *Measurement & Control*. 2000,(4):28-31. (in Chinese)
- [6] 王浩. 高级 Windows 程序设计技术[M]. 上海:上海同济大学出版社,1996.
WANG H. *Advanced programming technique in Windows* [M]. Shanghai: Shanghai Publishing house of Tongji University,1996.
- [7] MATROX GROUP. *Matrox image library user guide* [M]. Canada:Matrox Press,2000.

作者简介:陈文涛(1972-),男,广东湛江人,博士研究生,主要从事测控技术,模式识别等方面的研究;
钟先信(1935-),男,重庆人,教授、博士生导师,主要从事测控技术与微系统等方面的研究。

《光机电信息》(月刊)

——一本为您提供信息服务的独特专业杂志

《光机电信息》是一份为工程师、研究者、科学家和技术专家提供国内外有关光学、光电子学和精密机械综合消息的月刊。它从技术和商业两方面报道和分析上述领域的最新研究进展和发展趋势,其特点是信息量大且传播速度快。

完整的报道范围

《光机电信息》以全方位的视角瞄准国际前沿,紧盯国内外光机电领域发展的热点和焦点,每期以专题形式发布。主要报道光学、光电子学、光电工程、精密机械、激光、光通信、光学仪器、发光学、显示技术、医用光学、光学材料、微纳技术、微机械系统(MEMS)、先进加工制造技术等诸多读者感兴趣的领域。

有效的报道内容

《光机电信息》是国内致力于光电子领域的工程师、管理人员、科学家、研究者和技术专家的必读之物。《光机电信息》每月都会向其所服务的产业提供以下栏目:各种专题报道、市场纵横、科技简讯、产品放送、设计与应用和专题信息长廊等。

广告投资的最好选择

《光机电信息》是一份每月发行量达 5000 余份的资深杂志,这意味着每年有数 10 万人次的顶级工程师和研究人员阅读《光机电信息》。您的广告会被所有《光机电信息》的读者看到。请抓住机遇,扩大贵公司在中国市场的知名度。

欲投放广告于《光机电信息》请按下列地址联系

联系人:高晓萍

地址:长春市人民大街 140 号

邮编:130021

传真:(0431)5682346

电话:(0431)5261590

E-mail:xxfw@ciomp.ac.cn