

# 机器视觉在钢化玻璃缺陷检测中的应用研究

杨 杰<sup>1</sup>, 卢盛林<sup>2</sup>, 赵晓芳<sup>1</sup>

(1. 东莞理工学院 电子工程学院, 广东 东莞 523808;

2. 东莞理工学院 机械工程学院, 广东 东莞 523808)

**摘 要:**在总结引发钢化玻璃产生自爆的原因的基础上,针对有缺陷玻璃和无缺陷玻璃的光学特性差异性和人工检测缺陷玻璃的局限性等问题,提出采用机器视觉技术对钢化玻璃的缺陷进行检测。首先分析了钢化玻璃缺陷检测的光学基本原理,然后给出了缺陷检测系统的基本结构设计,最后探讨了针对钢化玻璃自爆的机器视觉检测系统的技术要点。试验结果表明,利用机器视觉技术能够快速、可靠、准确地检测出含有缺陷的钢化玻璃,从而避免其在使用中出现自爆。

**关键词:**钢化玻璃;自爆;机器视觉;缺陷检测

**中图分类号:**TP39

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2013)03-0211-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2013.03.053

## Application and Research of Machine Vision in Tempered Glass Defect Inspection

YANG Jie<sup>1</sup>, LU Sheng-lin<sup>2</sup>, ZHAO Xiao-fang<sup>1</sup>

(1. School of Electronic Engineering, Dongguan University of Technology, Dongguan 523808, China;

2. School of Mechanical Engineering, Dongguan University of Technology, Dongguan 523808, China)

**Abstract:**Based on the study of several facts that may cause self-broken of tempered glass, a machine vision inspection technology is adopted to detect the defects of the tempered glass for the limitations of manual inspection of defects in glass and the optical characteristic differences of defect glass and defect-free glass. First analyze the basic optical principles of the tempered glass defect detection, and then give the basic structure design of the defect detection system, finally the technical points of the machine vision inspection system in view of the self-broken of tempered glass are also mentioned. The test results show that the use of machine vision technology can detect the defects rapidly, reliably and accurately, avoiding the self-broken in using.

**Key words:**tempered glass; self-broken; machine vision; defect detection

## 0 引言

随着社会的发展和生活水平的提高,玻璃在人们的日常工作和生活中的应用越来越广泛。为提高玻璃的安全性,尤其在建筑、汽车、装饰装修、家具等行业,人们普遍使用了强度较高的钢化玻璃<sup>[1]</sup>。但是,由于玻璃本身是一种脆性材料,其抗拉强度远低于抗压强度,在断裂过程中几乎没有任何塑性变形,即使是钢化玻璃也是如此,其破坏往往是突发性的和灾难性的。

就钢化玻璃而言,虽说其强度等各项指标远远优于普通玻璃,但其脆性材料的本质并未发生改变,且由于生产工艺的原因,其自身还存在先天性的重大隐患:自爆,即在无直接机械外力作用下发生自动性炸裂。

自爆在玻璃加工、贮存、运输、安装、使用等过程中均可发生,且无任何预兆,突发性很强。由于钢化玻璃往往用于重要场合,自爆后通常更换难度大,处理费用高,同时会伴随较大的影响及经济损失,甚至危及人的生命。解决这个被称为“玻璃癌症”的自爆问题一直是困扰工程界的难题<sup>[2]</sup>。

## 1 钢化玻璃自爆的原因及对策

一般认为,引发钢化玻璃自爆的主要原因,是玻璃中各种杂质发生的相变膨胀。这些杂质主要是硫化镍,还有其它的异质相杂质如单质多晶硅、氧化铝和硅铝酸钠等<sup>[1]</sup>。

为了应对自爆,许多厂家对钢化玻璃采取均质处理(HST),即将钢化玻璃再次加热到 290℃ 左右并保温一定时间,让有缺陷的玻璃在工厂内提前破碎。但实际应用情况表明,均质处理对工艺的要求很高,很难

收稿日期:2012-07-04;修回日期:2012-10-15

基金项目:东莞市科技计划项目(201010814008)

作者简介:杨 杰(1961-),男,江苏南京人,副教授,主要研究方向为嵌入式系统应用。

把所有杂质问题都处理掉,虽然这种方法确实降低了自爆率,但仍然不能杜绝自爆现象。换言之仅用均质处理是不够的<sup>[3]</sup>。

分析计算和实例统计都表明,引起自爆的杂质颗粒直径在 0.04mm ~ 0.65 mm 之间,平均粒径为 0.2 mm<sup>[4]</sup>,基本接近于人类视觉的极限。并且这些微粒都是以晶体存在于玻璃中,在普通光照环境中,特征不明显。因而,采用人工检测具有较大难度,且效率低,标准不统一。而机器视觉技术可以完成相应的识别。

## 2 缺陷检测的基本原理及系统结构

机器视觉技术是指通过图像获取装置,将被测对象的目标信息转换成图像信号并传输至计算机,图像信号的亮度、颜色等信息经过计算机中的图像分析处理系统的分析处理得到目标特征,然后由计算机进行相应的判断,从而实现各种检测、判断、识别、测量等功能。一个典型的机器视觉系统包括:光源、镜头、摄像头、图像采集卡、图像处理软件、显示器、执行单元等<sup>[5]</sup>。

### 2.1 缺陷检测的基本原理

玻璃中的各种杂质,在光学特性上必然与玻璃本身有差异。当光线入射玻璃后,各种杂质会在反射、折射等方面表现出与周围玻璃不同的异样。例如,当均匀光垂直入射玻璃时,如玻璃中没有杂质,出射的方向不会发生改变,所探测到的光也是均匀的;当玻璃中含有杂质时,出射的光线就会发生变化,所探测到的图像也要随之改变。由于杂质的存在,在其周围就发生了应力集中及变形,在图像中也容易观察<sup>[6,7]</sup>。若遇到光透射型缺陷(如裂纹、气泡等),光线在该缺陷位置会发生折射,光的强度比周围的要大,因而相机靶面上探测到的光也相应增强;若遇到光吸收型(如砂粒等)杂质,则该缺陷位置的光会变弱,相机靶面上探测到的光比周围的光要弱。分析相机采集到的图像信号的强弱变化、图像特征,便能获取相应的缺陷信息。缺陷检测的原理如图 1 所示。

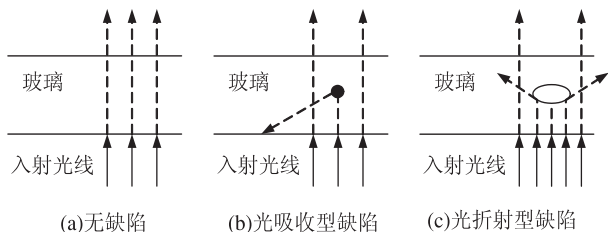


图 1 玻璃缺陷的光学检测原理

### 2.2 检测系统的基本结构

整个检测系统包含图像采集、图像处理、智能控制、机械执行等部分,其结构如图 2 所示。其中光源及被测玻璃固定,光源位于玻璃底部,通过透射进入摄像

头。摄像头以 X-Y 方式匀速扫描整块玻璃。图像采集卡接收摄像头信号,滤波后经模数转换变成 24 位的数字信号,再由计算机对其加以分析。如发现缺陷,则进行分类和统计,报告缺陷类型、尺寸、位置等,为玻璃分级打标提供信息。

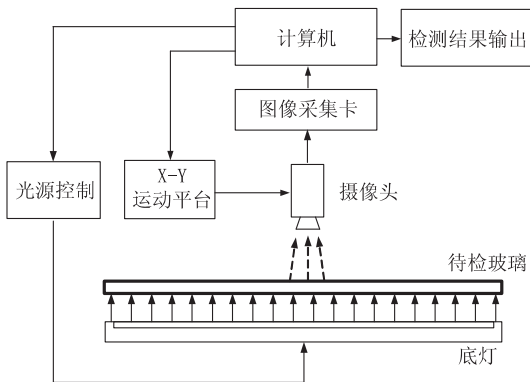


图 2 检测系统结构示意图

## 3 用机器视觉检测钢化玻璃缺陷

近年来,图像处理和模式识别等技术的快速发展,大大地推动了机器视觉的发展。机器视觉系统具有高效率、高柔性、高度自动化等特点,且具有易于实现信息集成的优点,是实现计算机集成制造的基础技术之一。因此,在对生产要求自动化越来越高的现代社会中,机器视觉系统越来越被广泛地应用在机械装配定位、产品的质量检测、产品识别、产品尺寸测量等方面。

### 3.1 光源配置

为了突出缺陷的特征,光源的配置是一个非常重要的技术环节。玻璃是由透明材料制作,其反射率比较低,故其并不适用常用的反射照明方式,因此采用透射照明的方式。为了尽可能的增大透射光线的强度,根据光的波长越长,其透射能力越强的特点,采用红光作为照明光源。此外,考虑到系统的使用寿命以及稳定性等因素,选择红色 LED 作为发光体。该光源被置于玻璃的下方,光线穿过玻璃后经镜头进入相机。这样可以获得较高的对比度,且易得到被测物体比较清晰的整体轮廓。

图 3 至图 5 是拍摄到的玻璃缺陷效果图。从图中可以看出,几种不同的缺陷在优质光源及高分辨率镜头下,缺陷明显,容易判断。

### 3.2 检测系统的关键技术

在获得图像之后,将各种有害杂质的光学特征和形态参数提取出来并进行有效的分析,包括其几何特征、灰度特征、梯度特征、纹理特征等,在此基础上,通过计算机的分析识别,判断出缺陷类型、位置及尺寸。

1) 图像预处理:由于受到非理想成像条件和采集设备自身噪声等的影响,采集到的玻璃图像不可避免

的存在噪声和干扰。如果噪声很强,很容易将噪声误认为是缺陷,所以选择有效的祛除噪声的方法,是进行缺陷分析和识别的关键。常见的方法有邻域平均法、中值滤波、维纳滤波等。邻域平均法虽然计算速度快,但是容易造成图像边缘和细节处的模糊,维纳滤波虽然保留了边缘和图像的高频成分,但花费的时间较多。中值滤波是一种非线性平滑滤波方法,在图像处理中常用于保护边缘信息,对多脉冲噪声和图像扫描噪声非常有效,并且该方法简单快速,常常被用于玻璃缺陷图像的滤波。

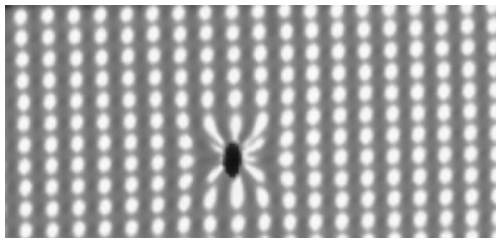


图3 采用LED背光照明的效果

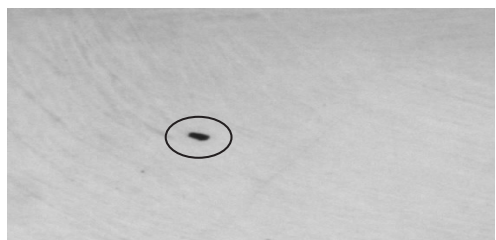


图4 含异物缺陷的样品

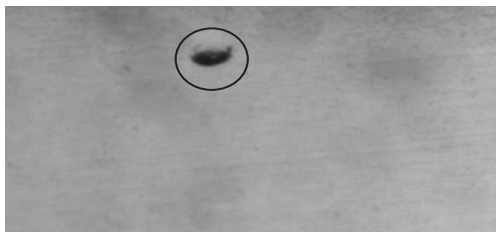


图5 含气泡缺陷样品

图像增强技术的主要目的是根据实际需要在一幅给定的图像进行适当处理,突出图像中的某些需要信息,弱化或去除尽可能多的不需要的信息,使处理后的结果比原图更合适某些特定应用。图像增强的方法一般可以分为空间域处理和频域处理两大类:空间域处理是在原图像上直接进行局部运算或者点运算;频域处理是把图像在 Fourier 等变换域上进行处理,增强感兴趣的频率分量,然后再进行 Fourier 反变换,便可得到感兴趣对象得到增强的图像。另外数学形态学和小波分析都是图像处理的强大工具,在其他图像处理中显示了其优良的特性。

2) 目标缺陷提取:对预处理后的目标图像进行二值化处理,以便提取其几何特征和梯度特征等。由日本学者大津(Nobuyuki Otsu)于1979年提出的最大类间方差法,也被称为大津法,简称为OTSU法,是一种

自适应的阈值确定的方法。该方法是基于一维直方图,在判决分析的基础推导出来的一种自动的无参数无监督的阈值分割方法。按照图像的灰度特性,图像被分成背景和目标两部分,依据背景和目标之间的类间方差来区别构成图像的两部分的差别,即方差越大差别越大。如果出现错分,即部分背景错分为目标或是部分目标错分为背景都将会导致这两部的分差变小<sup>[8,9]</sup>。

设图像 $I(x,y)$ 的大小为 $M \times N$ ,假设目标图像较暗,整幅图像总像素中像素的灰度值比阈值 $T$ 小的像素个数记作 $N_1$ ,比阈值 $T$ 大的像素的个数记作 $N_2$ ,则目标像素点数在整幅图像中所占的比例为 $\omega_1 = \frac{N_1}{M \times N}$ ,其平均灰度为 $\mu_1$ ;背景像素点数在整幅图像中所占的比例记为 $\omega_2 = \frac{N_2}{M \times N}$ ,其平均灰度为 $\mu_2$ 。其中 $N_1 + N_2 = M \times N, \omega_1 + \omega_2 = 1$ 。

则图像的总平均灰度:

$$\mu = \mu_1 \times \omega_1 + \mu_2 \times \omega_2 \quad (1)$$

类间方差:

$$g = \omega_1 \times (\mu - \mu_1)^2 + \omega_2 \times (\mu - \mu_2)^2 = \omega_1 \times \omega_2 \times (\mu_1 - \mu_2)^2 \quad (2)$$

当类间方差 $g$ 最大时,可以认为此时目标与背景差异最大,也即是灰度的最佳分割阈值,可采用遍历的方法得到使类间方差最大的阈值 $T$ 。对预处理后的图像采用最大类间方差自动阈值法进行二值化分离。

3) 缺陷特征提取:特征的提取与选择至关重要,它关系到学习算法的选择和学习的效率,关系到分类识别算法的选取与识别的正确率,在一定意义上讲,它关系到一个系统是否是有效的。特征的数量不宜过多,也不宜过少。在机器学习的实际应用中,特征个数太少容易造成特征不全,不能完全反应个体特征;特征个数太多容易造成特征冗余,训练模型需要的时间就越长,模型也越复杂,推广能力也会下降。常见的评价函数有相关性、欧式距离和信息增益等。特征的最好选取具有旋转、缩放和平移不变性的特征,如对二值分离的图像提取几何特征:缺陷的面积、周长、椭圆度等,以及灰度图像的灰度特征和HU不变矩等。经验模态分析(EMD)既具有小波变换的多分辨的优势,又克服了小波变换中人为选取小波基的困难,从信号本身的尺度特征出发对信号进行分解。它作为一种完全的数据驱动方法,具有良好的局部适应性,短短几年间,它成功地应用于故障检测、医学、地震、语音、石油勘探等领域。综上所述,文中选取的特征主要有:缺陷的面积、周长、椭圆度、HU的七个不变矩、EMD的三层分解等。



4) 缺陷分类识别:神经网络具有学习和训练能力,使得神经网络分类器能够得到更为接近于实际情况的分类结果,具有更为精确的类别处理能力和较好的容错能力。三层的 BP 网络能够形成任意复杂的特征空间的分类曲面,具有较强的分类能力,使得 BP 神经网络分类器在模式识别中广泛使用。对检测对象进行分类,采用 BP 神经网络算法,将检测到的杂质特征参数作为网络的输入,网络的输出对应了杂质类型,通过反复样本学习和改进,可以得到较高的识别率<sup>[10~12]</sup>。

## 4 结束语

引发钢化玻璃自爆的杂质颗粒尺寸大多超过了人类视力的极限,采用人工检测的方法是很难发现并剔除的。采用先进的机器视觉检测方式,可以快速、可靠、高效地将其检测出来,而且连续性好、评价标准统一,在应对钢化玻璃的自爆问题上可以发挥较大的作用。

### 参考文献:

- [1] 包亦望,万德田,刘立忠,等.钢化玻璃自爆源和自爆机理分析[J].建筑玻璃与工业玻璃,2007(11):10-14.
- [2] Jin Yong,Wang Zhaoba. Research on automatic detection technology for float glass tape[J]. Transducer and Microsystem

(上接第 210 页)

动数据发送和接收任务,在接收任务中进行数据正确性判断;在被动接收节点(节点 E)上启动数据接收任务和转发任务,为了充分制造节点 E 接收忙的极限情况,节点 E 中不进行数据正确性判断。

## 4 结束语

测试过程中动态的增加或者删减节点、修改网络的拓扑充分制造数据传输的时间不确定性和网络可能出现的故障和改变。经过长时间测试,证明了 FC-ASM 总线网络满足通信鲁棒性要求。

随着 FC 网络的不断增长,此验证软件可对网络极限情况下的吞吐量、流量控制、拥塞控制等方面进行验证。尤其多节点双数据环的测试可扩展为多节点多数据环,随机启动发送的,进一步模拟真实环境中数据传输的不确定性,对真实应用环境中的 FC 光纤通道总线网络系统的通信鲁棒性测试有一定借鉴意义。

### 参考文献:

- [1] Fibre Channel:Framing and Signaling[S]. New York; American National Standards Institute,2003.

Technology,2008,27(12):11-13.

- [3] 邴智刚.钢化玻璃自爆以及消除自爆危害的对策[J].科技资讯,2007(24):45-45.
- [4] 马 军,赵国华.钢化玻璃的应力斑的成因分析及控制[J].玻璃,2009(1):43-44.
- [5] 余文勇,周祖德,陈幼平.一种浮法玻璃全面缺陷在线检测系统[J].华中科技大学学报(自然科学版),2007,29(12):49-52.
- [6] 刘永祥,方康玲,熊 力.电子警察闯红灯前端抓拍系统的研究与设计[J].计算机技术与发展,2010,20(8):208-211.
- [7] Peng Xianqian, Chen Youping. An online defects inspection method for float glass fabrication based on machine vision[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2008,39(12):1180-1189.
- [8] 于水英,丁华福,付志超.基于遗传算法和模糊聚类的文本分类研究[J].计算机技术与发展,2009,19(4):131-133.
- [9] 陈元琰,姜颖军.基于计算机视觉的玻璃瓶裂纹在线检测系统[J].计算机应用,2001,11(11):48-49.
- [10] 刘怀广,陈幼平,谢经明,等.浮法玻璃缺陷在线识别技术的研究[J].小型微型计算机系统,2011,32(4):738-742.
- [11] Li Su,Tan Yonglong,Yang Meiyang. Study on fruit classification and surface defect detection[J]. Computer Engineering and Design,2008,29(15):3954-3957.
- [12] 赵晓芳,刘智勇.基于支持向量数据描述的高速公路事件检测[J].计算机技术与发展,2008,18(12):248-250.
- [2] 赵文波,黄士坦. Fibre Channel 协议分析[J]. 计算机技术与发展,2006,16(12):35-38.
- [3] 高 扬,杨彦明.新一代军用航空电子系统网络[J]. 航空科学技术,2004(5):35-38.
- [4] 蔡叶芳,田 泽.基于 SOPC 的 FC-2 层协议设计与实现[J]. 计算机技术与发展,2009,19(8):224-227.
- [5] 胡 辛,李红军,曹闹昌,等.航空电子总线技术研究[J]. 现代电子技术,2010(14):96-98.
- [6] 张 志,翟正军,李 想.航空电子光纤通道协议分析与接口卡设计[J]. 测控技术,2010(2):99-101.
- [7] Fibre Channel:Avionics Environment[S]. New York; American National Standards Institute,2002.
- [8] Fibre Channel Data Transfer Equipment[S]. UK Aircraft Control and Monitoring Systems,2009.
- [9] 徐亚军,张晓林,郭蔡健,等. FC 网络性能测试与研究[J]. 计算机工程与应用,2007,43(15):137-139.
- [10] 杨海波,田 泽. FC IP 软核的仿真与验证[J]. 计算机技术与发展,2009,19(9):168-172.
- [11] 颜纪迅. VxWorks 环境下的光纤通道通讯及 ASM 传输的软件设计[J]. 系统仿真学报,2010,22(Sup):187-190.
- [12] Distributed Interactive Simulation Over Fibre Channel[R]. American; American National Institute of Aeronautics and Astronautics,2002.

# 机器视觉在钢化玻璃缺陷检测中的应用研究

作者:

[杨杰](#), [卢盛林](#), [赵晓芳](#)

作者单位:

[杨杰, 赵晓芳\(东莞理工学院 电子工程学院, 广东 东莞 523808\)](#), [卢盛林\(东莞理工学院 机械工程学院, 广东 东莞 523808\)](#)

刊名:

[计算机技术与发展](#)

英文刊名:

[Computer Technology and Development](#)

年, 卷(期):

2013(3)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_wjfz201303055.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201303055.aspx)