

文章编号: 1007-2780(2013)01-0138-08

VFD 显示图像缺陷检测技术研究

李定珍, 王 萍

(南阳理工学院 电子与电气工程学院, 河南 南阳 473004, E-mail: lidingzhen136@163.com)

摘 要: 系统采用 PCI-1428 图像采集卡、CCD 图像传感器及摄像机、PC 机搭建 VFD 显示图像缺陷检测硬件平台, 采集 VFD 图像; 并用 LabVIEW 与 IMAQ-VISION 软件进行图像自动拼接、图像缺陷检测、工作台控制以及数据库等系统软件设计。为了获得较好的图像效果, 针对采集的 VFD 图像特点, 先用灰度变换、平滑滤波、灰度阈值分割、图像二值化等方法对其进行预处理, 接着完成 VFD 显示图像的图案连码、断码、缺损和疵点等多种缺陷检测。经测试和实际运行, 结果表明该检测系统具有速度快、范围宽、精度高、漏检误检率低等一系列优点, 检测结果理想, 实现了预期的检测功能和检测效果。

关 键 词: 真空荧光显示屏; 缺陷检测; 图像拼接; 模版匹配; 疵点检测

中图分类号: TP273+.5 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3788/YJYXS20132801.0138

Defects Detection Technology of VFD Display Image

LI Ding-zhen, WANG Ping

(Institute of Electronics and Electrical Engineering, Nanyang Institute of Technology,
Nanyang 473004, China, E-mail: lidingzhen136@163.com)

Abstract: The hardware platform of defects detection was composed for VFD display image by using PCI-1428 image acquisition card, CCD image sensor, camera and PC. VFD display image was acquired. Using software combination of LabVIEW and IMAQ-VISION, the system software were designed for image automatically montage, image defects detection, workstations control and database. Aiming at the characteristics of sampled VFD image, it was preprocessed by using gray-scale transformation, filtering, thresholding segmentation gray and image binarization methods to get good VFD image. Then the defects detection of VFD display image were completed, such as pictorial code, breaking codes, defects, flaws in letters' strokes. By test and actual operation, the experimental results showed that the system had a series of advantages. Detection speed and accuracy were high. Detection range was wide. Leaking inspection rate and false drop rate were lower. Detection results was ideal. It was achieved for the expected initial detection function and effect.

Key words: vacuum fluorescent display; defects detection; image mosaic; module matching; flaws detect

1 引 言

VFD 发光亮度高、显示多色容易、图案显示

灵活、视角大, 且工作稳定、可靠性高、寿命长, 能用低压驱动、与集成电路配套使用, 因此获得广泛应用^[1]。其缺陷包括 VFD 表面物理缺陷及显示

收稿日期: 2012-09-15; 修订日期: 2012-10-09

基金项目: 河南省教育厅科技攻关项目(No. 12B510024)

作者简介: 李定珍(1972—), 女, 硕士, 副教授, 主要从事图像处理、智能仪器测试及自动控制等研究。

笔段或图形线段显示缺陷两类。均属工业图像检测技术范畴。

作者通过成像系统获取 VFD 在常态和点亮显示状态下的图像,应用图像处理技术,由软件识别 VFD 表面物理缺损、划痕、显示笔段或线段中的黑点等缺陷,并判断显示笔段或线段是否发生位置偏移,由此实现显示图像缺陷的自动检测。必要时可将图像局部放大由人工补充判断检测,提高检测的准确性,降低误检率。

该检测技术的成功实现,可大大提高 VFD 显示图像缺陷检测的自动化水平,降低误检率,减轻操作人员的劳动强度,进而提高设备使用效率和产品生产检测效率。

2 系统总体方案设计

本系统是根据工业图像检测技术并结合需研制的检测系统的实际情况及技术要求进行设计的。

2.1 系统总体原理设计

VFD 显示屏缺陷检测系统的总体原理框图如图 1。主要是由成像、图像采集及拼接、图像处理、数据库等几个部分组成。成像是由工作台、工作台控制器、CCD 及镜头、计算机等组成,主要完成 CCD 图像传感器的移动定位,VFD 的图像获取。图像采集拼接由图像采集卡、图像采集程序等组成,负责对 VFD 图像采集,然后输入计算机存储,将采集到的分幅图像拼接成一幅完整图像。图像处理主要是运用数字图像处理算法,对采集的 VFD 图像进行必要的图像预处理和图像分割^[2],根据检测的目标对象,采用合适算法,检测 VFD 的缺陷。数据库管理主要是运用先进的数据库技术,对 VFD 的检测实现科学管理。

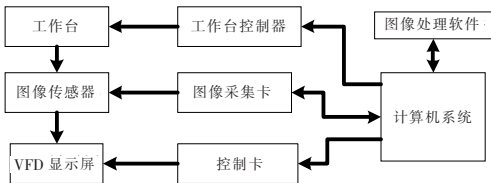


图 1 系统原理框图

Fig. 1 System principle block diagram

2.2 图像检测方案的确定

VFD 显示屏如图 2 所示。其图案非常复杂,包括数字、字母和很多不规则的字符。其显示缺

陷状况包括多笔画、缺笔画、黑点、显示偏移情况、特殊字符显示等,归结起来,可分为连码断码和疵点两大类。

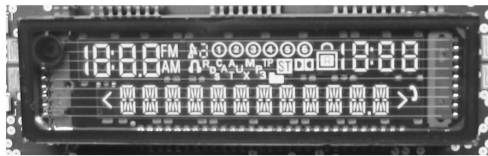


图 2 VFD 实物图

Fig. 2 VFD Photo

为了便于分析,以七段码 8 字为例说明检测这些图案的方法。一个完整七段码 8 字最上面的一横应该为 ,但是可能会产生以下 4 种缺陷:有黑点在里面 ;黑点出现在边缘,或者在边缘外面多出一些 ,或者边缘里面少掉一些 ;断码,出现比较大面积的不亮,比如只亮  或者类似比较小的一段,或者整段都不亮;连码,当只点亮一个笔段,会出现把附近的一段也点亮。第一种情况较常见,用最有效的数黑点方法进行处理。后 3 种情况,采用分次点亮加模板匹配算法进行处理。

3 系统配置及图像预处理

3.1 系统软硬件配置

VFD 显示屏被广泛应用在家用电器、办公自动化设备、工业仪器仪表及汽车等各种领域中^[3]。本检测系统选用 3.6 mm×4.8 mm 的 UNIQ UP-800CL CCD 数字摄像头,1 024×776 的分辨率,3.6 mm×4.8 mm(1/3 英寸)的芯片面积,每秒 45 帧的速率,小于 58 dB 的信噪比,正方形像素,非常适合图像处理中一些算法的运用,且能适应较为恶劣的环境,具有极佳的稳定性^[4-5]。选择 AVENIR CCTV LENS 的精工镜头,焦距为 12 mm,光圈为 F1.3-C。采用 Camera Link 接口的 NI PCI-1428 图像采集设备。图像处理软件选择 NI 公司的 LabVIEW。

3.2 图像预处理

图像处理时,输入质量低的图像,输出的是质量改善后的图像,常用的图像处理方法有图像增强、复原、编码、压缩等^[6]。如图 3 中右图是左图经过图像平滑后得到的,图像效果明显增强。

灰度阈值分割法是把图像灰度分成不同等级,然后用设置灰度阈值的方法确定有意义的区域或分割物体的边界。常用的阈值化处理是图像的二值化处理,即选择一个阈值,将图像转换为黑白二值图像,用于图像分割及边缘跟踪等预处理。如图 4,右图是左图经过灰度阈值分割后得到的。

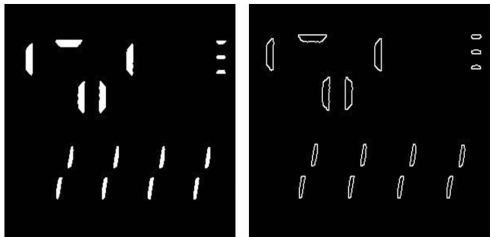


图 3 图像平滑效果图
Fig. 3 The image smooth rendering

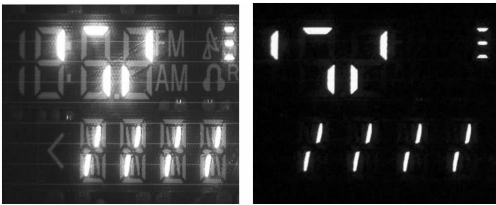


图 4 灰度阈值分割效果图
Fig. 4 Gray threshold segmentation rendering

Canny 算子边缘检测:除简单算子外,边缘检测还有多尺度滤波、边界曲线拟合等现代方法,大都运算复杂、效率低下,然而分割精确。图 5 为 Canny 算子检测图像边缘的实际效果图。

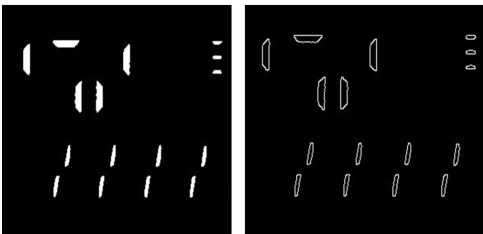


图 5 Canny 算子边缘检测效果图
Fig. 5 Canny edge detection operator rendering

图像形态处理:二值形态学的运算对象是集合,包括图像分割、特征提取、边缘检测、图像滤波、图像增强和恢复等工作^[7]。

4 VFD 图像识别

4.1 连码断码检测原理

VFD 显示屏全部段码不重复点亮需要发送

5 次命令码,5 次点亮原理一样。以七段码 8 字为例,对其 7 个段进行编码,并发送 3 次码即可不重复全部点亮,见图 6。其中点亮第一、二、三次的顺序可以颠倒。

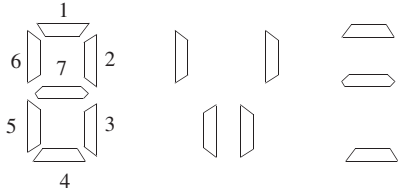


图 6 对段码 8 字编码及分三次点亮
Fig. 6 Segment code eight coding and three times light

为便于处理,取亮为 1,不亮为 0,如表 1。如果工艺过程没问题,那么 3 次点亮后每一笔段都会有且只有一个是亮的。某个笔段出现全部不亮,或者两个亮、3 个全亮都说明这个 8 字有异常情况^[8]。

表 1 七段码 8 字 3 次点亮情况

Table 1 Three times light conditions of seven segment code eight word

次 数	1	2	3	4	5	6	7
第 1 次	0	0	1	0	0	1	0
第 2 次	0	1	0	0	1	0	0
第 3 次	1	0	0	1	0	0	1

以段 1 为例,3 次点亮分别用 A、B、C 表示,结果用 M_1 表示,A、B、C、 M_1 都是布尔值。如式(1),从 M_1 的值即可看出在这个笔段上是否出现问题。

$$M_1 = (\bar{A} \wedge \bar{B} \wedge C) \vee (\bar{A} \wedge B \wedge \bar{C}) \vee (A \wedge \bar{B} \vee \bar{C}) \quad (1)$$

当 A、B、C 中有且只有一个为 1 时, $M_1=1$,否则 $M_1=0$ 。同样方法计算出 $M_1 \sim M_7$,之后再对 $M_1 \sim M_7$ 相与,得到 8 的总情况。只有 $M_1 \sim M_7$ 全为 1 时 $M=1$,有一个不为 1, $M=0$,如式(2)所示。如果最后 $M=1$,说明这个七段码正常。如果 $M \neq 1$,则说明其中某一部分出了问题,整个 VFD 按次品对待。

$$M = M_1 \wedge M_2 \wedge M_3 \wedge M_4 \wedge M_5 \wedge M_6 \wedge M_7 \quad (2)$$

4.2 模板匹配算法原理

对连码断码的缺陷检测,需用模板匹配法得到较好的检测效果。以 8 为例,正常情况下,3 次点亮后每个段码应该只出现一次匹配,如果没有

匹配,就说明有断码出现,如果有两次或三次匹配说明出现了连码。

采用 8 位灰度图像,模板 $T(m \times n$ 个像素)叠放在被搜索图 $S(W \times H$ 个像素)上平移,模板覆盖被搜索图的那块区域叫子图 S_{ij} 。 i, j 为 S 上坐标,如图 7。搜索范围用式(3)表示

$$\begin{cases} l \leq i \leq H-m \\ 1 \leq j \leq W-n \end{cases} \quad (3)$$

通过比较 T 和 S_{ij} 相似性,完成模板匹配。可用式(4)衡量 T 和 S_{ij} 的相似性。

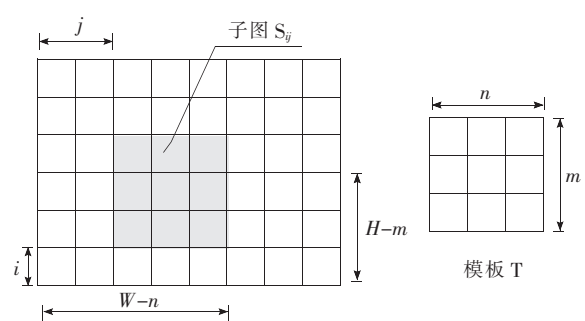


图 7 被搜索图 S
Fig. 7 Search chart S

$$\begin{aligned} D(i, j) &= \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [S_{ij}(m, n) - T(m, n)]^2 = \\ &= \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [S_{ij}(m, n)]^2 - 2 \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N S_{ij}(m, n) \times T(m, n) + \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [T(m, n)]^2 \end{aligned} \quad (4)$$

式(4)的第 1 项为子图能量,第 3 项为模板能量,均与模板匹配无关。第 2 项为模板和子图的互相关,随 (i, j) 而改变。当模板和子图完全匹

配时,该项有极大值。将其归一化,得模板匹配相关系数 $R(i, j)$ 如式(5)

$$R(i, j) = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N S_{ij}(m, n) \times T(m, n)}{\sqrt{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [S_{ij}(m, n)]^2} \sqrt{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [T(m, n)]^2}} \quad (5)$$

$R(i, j)$ 越大,说明模板和子图越接近。当模板和子图完全一样时, $R(i, j) = 1$ 。在 S 中完成全部搜索后,找出 $R_{\max}(im, jm)$ 其对应子图 S_{imjm} 即为最佳匹配目标^[9]。

4.3 疵点检测方法

由于 VFD 涂荧光粉不均匀或杂质掉落都会造成黑点存在。一旦点亮 VFD,这些缺陷就会显示出来。如果黑点足够小,人眼识别不出来或者根本不影响整个 VFD 的显示效果,则可认定为合格品。

5 系统软件设计

整个系统检测流程为:输入密码,若正确,则进入检测主界面。待 VFD 显示屏所有项目检测完毕,检测信息都将显示在检测主界面上。只要放入下一块 VFD,输入条形码,继续检测。如果不再检测,则退出系统。

5.1 检测步骤

进入检测主界面后,就真正进入检测。检测步

骤主要包括初始化、条形码扫描、步进电机控制、图像拼接、连码断码检测和疵点检测等,如图 8。程序采用 Visual C++6.0 编写,将其封装成动态链接库(DLL),供主程序在后台调用,用户界面上只需加上状态显示控件,帮助操作人员了解后台状态。

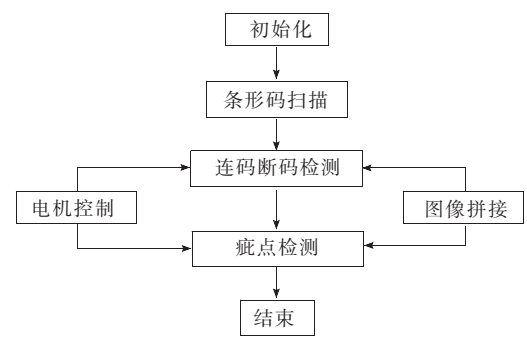


图 8 检测步骤示意图
Fig. 8 Detecting steps schematic diagram

5.1.1 系统初始化

在程序进入检测主界面前,后台有一初始化

步骤,主要完成系统控制卡的初始化:调用 ADT-850 的库函数 `adt850_initial()` 函数,确认 `adt850` 卡的安装是否正确,然后设置脉冲输出模式,位置反馈模式,限位开关工作模式,伺服信号、软件限位使用与否等,然后再调用范围设定函数 `set_range()`,根据使用的最大脉冲频率来设定。

5.1.2 条形码扫描

把条形码扫入,然后点击“开始检测”按钮,就可以把条形码号和扫条形码的时间信息存入 `Access` 数据库的相应位置,查询时可根据条形码号来找到对应 VFD 显示屏上的所有信息。

5.1.3 步进电机控制

采用北京斯达特有限公司的两相混合式 23HS001 电控平台和 SH-2H042Mb 电机驱动器。电控平台的最大误差为 $\Delta h = 5.039\ \mu\text{m}$,比系统提出工作台的定位误差(小于 $20\ \mu\text{m}$)要小。可见,如果步进电机运动不发生失步和丢步,工作台的定位精度能够达到要求。

5.1.4 图像拼接

VFD 图像的拼接:在计算机中输入第一幅图像,接着输入相邻的一幅图像,进行拼接。修改原来图像的数据结构,主要是图像的长度、宽度、像素等^[10]。拼接完后,进行下一幅图像的拼接,直到这一行所有图像都拼接完。进入到下一行的图像的横向拼接,第二行图像的横向拼接完后,进入到再下一行图像的横向拼接。

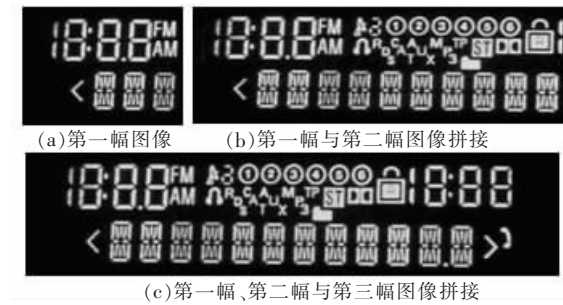


图 9 三幅图像拼接过程

Fig. 9 Three image splicing process

如此循环,直到所有行的图像都拼接完,这样一幅图像就拼接完成了。最后将图像存储起来,便于后续处理。图 9 显示了图像拼接的过程。

5.1.5 连码断码检测

固定 VFD 和摄像头(包括镜头),按照一定的时间间隔做连续 5 次拍摄,然后在 LabVIEW

中作一定的算法处理,即可在显示器上看到最后结果。

打开 LabVIEW 的 Vision Builder AI,点击“Configure Inspection”进入检测,选取“Acquire image”后即可采集,经过调节焦距、光圈和摄像头高度,就可看到需要的图像。因采集到的图像不是 8 位灰度图像,必须进行转化。从 Vision Builder AI 进入 Vision Assistant,选 Processing Function: Grayscale → Conversion 选择转到 8 位即可。

然后关闭 Vision Assistant,在 Vision Builder AI 里进入下一步的模板匹配。进入 Locate Features → Match Pattern。如图 10:先在“Create Template”下选择模板,这里取 8 字最上面一横,小红框即为选定的模板。然后选定搜索区域,一定要选得适中,红框外稍大的绿框即为搜索区域。之后在“setting”里选择“number of matches to find”为 1,也就是说在搜索区域内最多有一个被匹配。根据多次试验结果,选“Minimum”为 800(满分为 1 000 分,表示完全匹配)。在“limits”里勾上“Pass inspection if Minimum of matches 1”,表示只有出现匹配才算通过。其他段码操作都如此,整个 VFD 要进行 5 次拍摄,总共要标注 $82 \times 3 - 1 = 245$ 段,每检测一块 VFD,就要进行 $245 \times 5 = 1\ 225$ 次模板匹配。

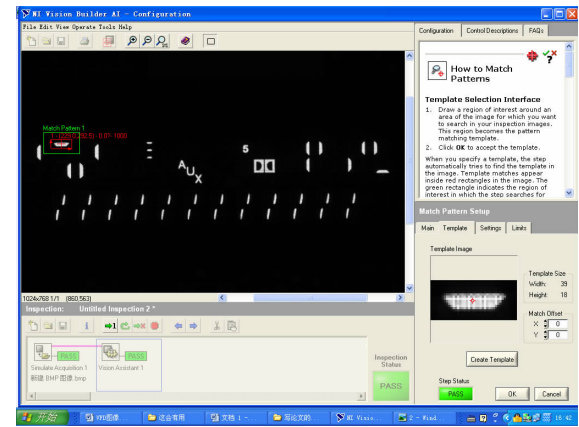


图 10 在 Vision Builder AI 下模式匹配

Fig. 10 Pattern matching in the Vision Builder AI

需要注意的是,在通过 Tools → Migrate Inspection to LabVIEW 时,245 个模板匹配是导不进去的,NI 对模板数量进行了限制^[11],因此采取分步导入的办法:每次导 60 个左右到 LabVIEW

里面,然后再到 LabVIEW 里对相关 VI 和模板进行拼接,最后可以在一个新的程序里实现全部段码的 5 次模板匹配。

5.1.6 疵点检测

先选定一个阈值,当灰度值(范围为 0~255)小于此阈值时,这些灰度值都置为 0,即作全黑处理(称为黑点),大于此阈值(称为白点)的不做处理,然后找到被白点包围的黑点,并计算黑点的像素数。

数黑点算法在 LabVIEW 中的实现过程:以 8 为例,如图 11(左),先框住一定区域,选择 Data Objects Setup→threshold 中的“Look For Dark Objects”,然后拉动域值选取条,直到图中黑点大小和形状与现实中的相仿且比较稳定,这个值就是最适合的阈值。

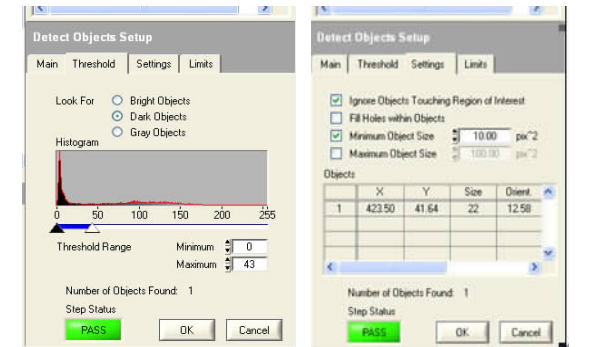


图 11 设定灰度和像素数的阈值
Fig. 11 Set value of gray scale and threshold number

在图 11(右)中,小于此阈值的灰度值都被处理成黑色,而大于的灰度值保持原来的不变,很明显,小黑点被计算机识别了出来。在“setting”中可看到这个黑点的像素数,大小为 22 个像素。在“Minimum Object Size”中填入像素数阈值大小,即大于这个像素数就认为此黑点对 VFD 造成了影响^[12],小于这个像素数就认为黑点很小,不影响图案视觉效果,可忽略不计。

5.2 检测主功能界面设计

本检测系统不仅实现了各项功能检测,而且在程序主界面上加了进度条显示、通过率显示等辅助功能,方便检测人员查看。主界面上控件及功能如表 2 所示。下面具体介绍操作步骤。

用条形码扫描器把 VFD 条形码扫入文本框内,按“开始检测”(快捷键 F2),即可进入检测。先进行程序初始化,然后按顺序自动检测。完毕

表 2 检测主界面各控件及其功能
Table 2 Each control and its functions of testing main interface

编号	控件名称	功 能
1	条形码输入	条形码扫描器扫入条形码
2	开始检测	按下开始检测流程
3	检测结果指示灯	显示码段、疵点和总检测结果
4	复检按钮	重新检测
5	检测统计显示	显示某一批次的通过数、检测数以及通过率
6	帮助按钮	打开帮助文档
7	数据库查询	按下进入数据库查询
8	进度显示	显示整个检测过程进度
9	码段异常状况显示	显示有连码断码时的图像信息
10	退出按钮	退出整个程序
11	疵点状况显示	显示含疵点的图像信息

后,所有检测结果就都显示在界面上,并提示“检测完毕”。通过查看显示结果判断此块 VFD 是否良品。如图 12,是良品,则显示图(a),否则,显示图(b)。

为了解检测进度,界面上添加“进度显示”框,很直观地看到检测进度。并设置“已通过”、“检测数”和“通过率”文本框,给出开机到现在总共检测了多少块 VFD,通过了多少和通过率状况。如果通过率太低,说明这一批次的产品在某道工序上出现了问题,可通过查询数据库了解问题出在哪里,然后采取相应对策。为避免失误触碰键盘或鼠标等强制性中断引起系统紊乱,检测过程中,“开始检测”、“数据库查询”和“退出”3 个按钮被锁定,直到检测完毕才解除锁定。

5.3 数据库系统设计

VFD 在线上检测后,区分出良品和不良品。良品直接出厂,不良品则返修。修好后,重新返回检测,通过则出厂,若出现致命缺陷导致无法修复则丢弃。为便于分析,免于人工记录,将产品详细信息存入数据库,在需要时通过查询数据库即可。

5.3.1 数据库选择

选用 Access 建立数据库,用 NI 的数据库接口工具包 LabVIEW SQL Toolkit 进行数据库访

问。首先,从“开始”菜单中打开 Access 软件,新建一个空数据库,命名为“VFD 检测系统”,然后选“使用设计器创建表”,在表中编辑字段名称和数据类型,完成后可通过 LabVIEW 程序对其进行访问。

5.3.2 进库子程序设计

进库子程序如图 13。打开数据库连接,用“DB Tools Open Connection”函数打开已生成的 UDL 文件,然后通过“DB Tools Insert Data”函数将所需入库的字符串写进库中。



图 12 检测结果

Fig. 12 Detecting results

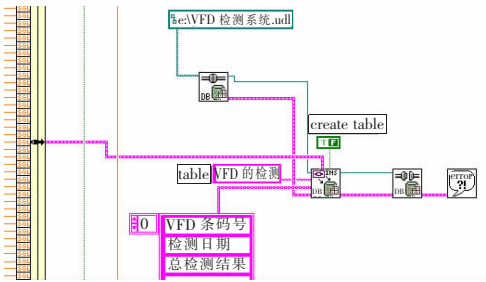


图 13 进库子程序框图

Fig. 13 Enter-library procedure block diagram

5.3.3 读库子程序设计

系统指定“VFD 条码号”为查询条件,从表中提取满足该查询条件的记录。语句为:SELECT*, FROM VFD 的检测, WHERE VFD 条码号 =

“要查询的条码号”。其中“*”表示选中表中全部列表名,“VFD 的检测”为表名,VFD 条码号 = “要查询的条码号”表示查询条件,它是一个输入控件传递过来的信息。其程序框图如图 14。

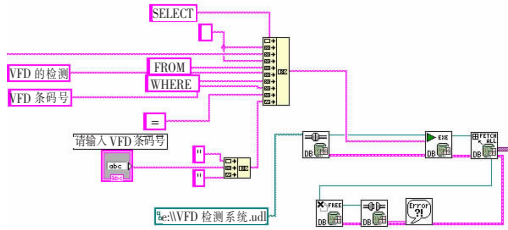


图 14 读库子程序框图

Fig. 14 Reading library procedure block diagram

从图 14 中可以看出,查询条件构成了一个字符串数组,输入到函数“DB Tools Execute Query”的一个端口,“DB Tools Execute Query”函数将输入的数据库语言翻译后启动相应的动作^[13]。接下来调用函数“DB Tools Fetch Recordset Data”,作用是以一个二维数组的形式从数据库中取出满足条件的值,然后将取出的值分解,以字符串的形式输出到查询界面上显示。

6 结 论

为了提高 VFD 产品的出厂合格率,保证产品质量,本课题开发了 VFD 缺陷检测系统。经试验测试及实际运行,主要取得以下几方面效果:

(1) 利用该系统,实现了 VFD 显示图像缺陷检测过程自动化。在较短时间内能够完成整个 VFD 的检测,并确保了每部分都符合质量要求。有效地提高了检测速度和检测精度,大幅度减少了人员的数量、操作的难度,进而有效提高了测试产品的效率。

(2) 利用 NI 公司的 LabVIEW 和图像处理软件 IMAQ Vision Builder,对 VFD 面板里的黑点、缺笔画、显示亮度、显示偏移情况、显示屏明显破损、特殊字符显示等缺陷能够准确识别,黑点识别精度可达 0.3 mm,有效提高了产品质量和性能。

(3) 测试数据可以自动存储,并实现了对数据库的快速查询,节约了时间,也方便了分析。

与现行的人工目视检测相比,本系统采用的计算机视觉检测是一种具有检测速度更快、检测范围更宽、检测精度更高、漏检误检率较低等一系

列优点的先进检测方式。实验证明:该系统较好地解决了 VFD 显示图像缺陷检测问题,从而使 VFD 检测工作客观化、规范化和智能化,弥补了

现行检测方法的不足。整个测试系统功能完善,运行稳定,方便管理,大幅度提升了产品质量,取得了较好的检测效果和经济效益。

参 考 文 献:

[1] 张建平,赵威,戴咏夏. 真空荧光显示器亮度特性的研究 [J]. 液晶与显示,2010,25(1):40-48.

[2] 苏艺菁,游玉香,胡利勤,等. 基于 CNT-Ni 丝状阴极的场发射荧光灯 [J]. 液晶与显示,2010, 25(4):585-587.

[3] 阮世平. 高性能真空荧光显示器(VFD)开发和应用 [J]. 光电子技术,2005,(4):211-217.

[4] 汪心涛. 谈镜头的选择与组合 [J]. 现代声像档案,2000,(4):42-43.

[5] 魏珏. 简谈 CCD 原理 [J]. 实用影音技术,2003,(6):70-72.

[6] 赵荣椿. 数字图像处理导论[M]. 西安:西北工业大学出版社,1995.

[7] 张猛,王瑞光,郑喜凤. 基于 AT89C52 的 VFD 显示模块应用 [J]. 液晶与显示,2012,27(1):93-97.

[8] 李定珍,牛军. 基于 LabVIEW 的 VFD 检测及实现 [J]. 微计算机信息,2008,24(8):307-309.

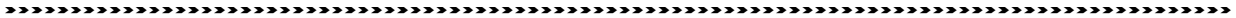
[9] 左力,王栋民. 图像处理系统在自动化设备中用作位置反馈的一种方法 [J]. 机械与电子,2004,(1):43-44.

[10] 章毓晋. 图像工程(上册)-图像处理和分折[M]. 北京:清华大学出版社,1999:105-113.

[11] 张凯,周隰,郭栋. LabVIEW 虚拟仪器工程设计与开发[M]. 北京:国防工业出版社,2004:73-78.

[12] 张建平,王睿韬. 威布尔分布下 VFD 恒定应力加速寿命试验与统计分析 [J]. 液晶与显示,2010,25(2):205-209.

[13] 邓焱,王磊,傅琦,等. LabVIEW 7. 1 测试技术与仪器应用[M]. 北京:机械工业出版社,2004:56-62.



SI 词头

代表的因素	词 头 名 称		符 号	代表的因素	词 头 名 称		符 号
	英 文	中 文			英 文	中 文	
10 ²⁴	yotta	尧[它]	Y	10 ⁻¹	deci	分	d
10 ²¹	zetta	泽[它]	Z	10 ⁻²	centi	厘	c
10 ¹⁸	exa	艾[可萨]	E	10 ⁻³	milli	毫	m
10 ¹⁵	peta	拍[它]	P	10 ⁻⁶	micro	微	μ
10 ¹²	tera	太[拉]	T	10 ⁻⁹	nano	纳[诺]	n
10 ⁹	giga	吉[咖]	G	10 ⁻¹²	pico	皮[可]	p
10 ⁶	mega	兆	M	10 ⁻¹⁵	femto	飞[母托]	f
10 ³	kilo	千	k	10 ⁻¹⁸	atto	阿[托]	a
10 ²	hecto	百	h	10 ⁻²¹	zepto	仄[普托]	z
10 ¹	deca	十	da	10 ⁻²⁴	yocto	幺[科托]	y