

# 基于 LabVIEW 和 IMAQ Vision 的三轴影像测量仪的开发与研制

## The R&D for 3-axis Vision Inspection Machine based on LabVIEW and IMAQ Vision

作者：高兴森

职务：研发部经理

公司：无锡微影图像技术有限公司

**应用领域：**汽车

**挑战：**汽车温控仪表盘的全自动分区域扫描测量需要结合机器视觉、图像处理、运动控制、自动控制等多种技术，给出各个特征的判断结果，并将所有测量数据以文件形式存储。这要求测试系统运用一个综合而强大的通用软件平台，视觉方面的软硬件能够很好地实现自定制和扩展功能。这些要求使用传统仪器无法达到目标，而虚拟仪器在这些方面优势明显。

**应用方案：**使用 NI 公司的 1394 数字图像采集卡和 Vision 图像处理软件包，以 LabVIEW 为软件开发平台，开发出一台完善的、有相当通用性和开放性的三轴影像扫描测量仪器。

**使用的产品：**

NI 1394 图像采集卡 PCI-8252

LabVIEW 7.0,

Vision7.1 Development Module,

Vision Builder AI 2.5

NI IMAQ 1394 2.0

**介绍：**汽车的温控仪表盘上有多个视觉特征需要检测，参考图 1。

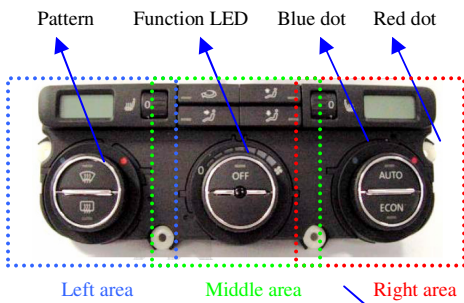


图 1 汽车温控仪表盘

在一个仪表盘上共有 13 个锚雕图

案，16 个功能 LED 透光窗口，2 个红点，2 个蓝点，4 个按钮等目标特征需要检测。检测要求在暗室内进行，需要分别模拟白天模式—Day mode 和两种夜光模式—Function LED mode 和 Night light mode，共实现对 61 个目标特征的光强 Intensity、颜色 R/G/B 分量、位置坐标 X/Y、图案质量和表面划伤测量，最后对三个全局特征进行综合比较。整个系统的开发非常具有挑战性。

**正文：**

### 一、图像采集卡的选择

仪表盘的外形尺寸为 220mm×82mm，要求测量精度不低于 0.13mm。综合检测精度、检测速度和成本要求，系统选择 NI 1394 图像采集卡，配合 SONY 1394 CCD 彩色摄像机(分辨率为 1024×768)，这样视觉系统的视场范围 FOV=118mm×88.5mm，像素精度 pixel accuracy=  $118 \div 1024 = 0.1152\text{mm/pixel}$ ，完全满足系统测量的尺寸精度要求。

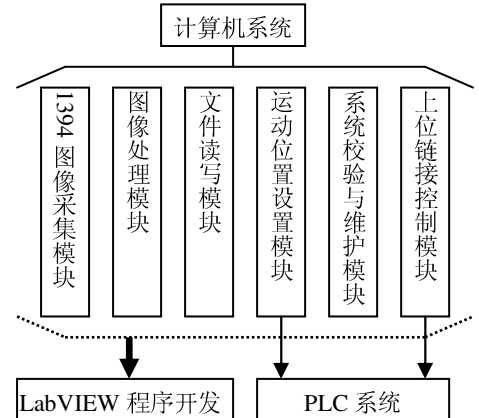
### 二、扫描区域划分

根据仪表盘的尺寸、目标特征的相关性和视觉系统 FOV 的范围，将仪表盘划分为左、中、右 3 个检测区域。加上起始位置共有 4 个位置。摄像机在 X/Z 轴上运动，被测仪表盘在 Y 轴上运动，X/Y 轴的运动完成镜头对目标的对准，Z 轴的运动完成对目标的聚焦。在每个检测位置采集的图像分别以中间的 LED 窗口即 AUTO LED、OFF LED、Defrost LED 的中心为该幅图像的坐标原点。

### 三、系统总体结构设计

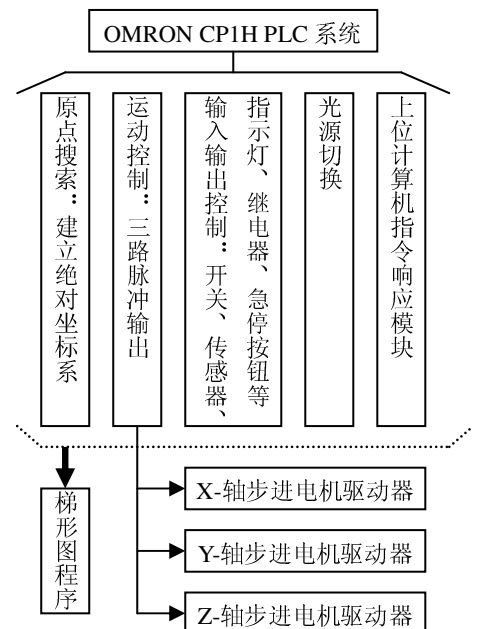
以计算机系统来完成图像的采集、处理、判断、文件 I/O 和用户界面，

同时作为上位计算机通过串口对 PLC 进行控制；以 PLC 系统来完成运动控制、I/O 控制。计算机系统的框图如下：



上位链接的参数设置：波特率：115200；7 位数据位；偶校验；2 位停止位。

PLC 的系统框图如下：



通过计算机系统与 PLC 系统协同工作，各司其职，充分发挥各自的特长，使系统的性能得以优化。

### 四、图像采集

NI 提供两种标准的图像采集 vi 程序，用户可以直接调用：

1. 单帧图像采集 1394-snap-acquire: 即每次只采集 1 帧图像。在本系统的全自动测量过程中，共有三个被测区域，每个区域又有三种照明模式，所以一共需要运行 9 次单帧图像采集程序。

2. 连续图像采集 1394-grab-acquire: 即连续实时采集图像。在本系统的运动位置设置模块里，需要实时观测镜头与被测目标的相对位置及聚焦情况，然后保存各个位置，所以使用了连续图像采集模式。

## 五、图像处理

如上所述，在全自动测量过程中，共采集 9 帧图像，每幅图像都对应一个图像处理程序，来完成对目标特征的测量和判断。步骤如下：

### 1. 开辟图像缓冲区

在图像处理中，需要对图像做多次变换，因此需开辟多个图像缓冲区来存储图像数据。本系统中共设置 100 个图像缓冲区，即 image buffer0~buffer99，其中 buffer0 为系统实时图像缓冲区；buffer1~buffer51 分别存储 9 帧图像的彩色原图、Intensity 图层、Red 图层、Green 图层、Blue 图层、Mask 图层、Overlay 图层等作为历史图像数据，可以和测量结果数据相对照；其余为临时图像缓冲区，为避免与历史图像缓冲区发生冲突，从 buffer99 开始向下使用。本系统只使用了 12 个临时 buffer，即 buffer99~buffer88，buffer52~buffer87 未使用。

### 2. 定位原点并建立坐标系

选取图像上不发生变化的特征，使用 Match Pattern 或 Detect Object 来定位原点并建立坐标系。三个检测区域分别以中间的 LED 窗口即 AUTO LED、OFF LED、Defrost LED 的中心为该幅图像的坐标原点。

### 3. 定义 ROI 区域

根据被测目标不同的形状，可以使用不同的 ROI 模型，包括圆形、环形、扇形、矩形、旋转矩形、任意多边形等。所有 ROI 区域都以坐标原点为参考点。

### 4. 测量

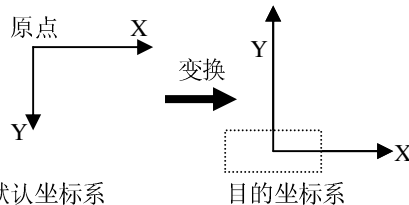
通过抽取彩色图像的 Intensity

plane、Red Plane、Green Plane、Blue Plane (均为 8 位深度的图像)，对各目标 ROI 区域分别测量光强分量 Intensity、颜色分量 R/G/B、镭雕图案模式匹配分数、位置坐标等。

其中光强 Intensity/R/G/B 的范围为 0~255，共 256 个灰阶。

图案模式匹配分数的满分为 1000 分，得分大小表示目标与标准模型的匹配程度。对三组字符除了做模式匹配测量还做了 OCR 字符识别，即需要分别识别出 AUTO、ECON、OFF。

位置坐标需要进行坐标系变换。对于一幅图像来说，默认的坐标原点位于图像的左上角，测量的直接位置数据是相对于这个原点的，和我们在步骤 2. 中定义的原点位置不同，坐标系方向也不同。参考下图：



变换后的坐标仍是以像素为单位的，需要乘以像素精度 pixel accuracy 转化为 mm 单位，这样才对产品检验有意义。

### 5. 结果输出界面

测量结果包括图像和数据，放在一个 Table 容器中。Table 的第一个 Page 用来存放图像。图像以二维数组为容器，分为 9 行 5 列，存放 45 幅图像，包含 9 幅采集的图像和抽取的 36 幅分量图层。Table 的第 2~11 共 10 个 Page 用来存放测量数据，分别以 10 张表格形式输出，分别对应 9 幅采集的图像的测量数据和重要特征的全局比较。每个 Page 上有一个布尔量显示控件，用于指示当前页面的综合判断结果。

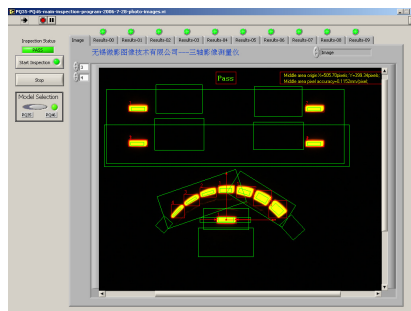


图 2 Middle area Function LED mode image

以下仅给出中部检测图像和数据，

请参考图 2~图 7

Item	Intensity	Red color	Green color	Blue color	Status
OFF LED	131.7	255.0	255.0	9.0	Pass
Measure Bar2 LED	131.7	255.0	255.0	9.0	Pass
Measure Bar1 LED	131.3	255.0	255.0	9.2	Pass
Measure Bar3 LED	130.5	255.0	255.0	7.9	Pass
Measure Bar4 LED	130.9	255.0	255.0	7.9	Pass
Measure Bar5 LED	130.8	255.0	255.0	8.0	Pass
Measure Bar6 LED	130.7	255.0	255.0	8.5	Pass
Measure Bar7 LED	130.8	255.0	255.0	8.5	Pass
Defrost LED	130.7	255.0	255.0	8.0	Pass
Distribution Bar LED	131.0	255.0	255.0	7.4	Pass
Distribution LED	130.4	255.0	255.0	8.6	Pass
Distribution down LED	130.5	255.0	255.0	8.5	Pass
OFF pattern	52.7	105.2	105.2	0.7	Pass
Measure Bar2 pattern	52.6	105.2	105.2	0.7	Pass
Measure Bar1 pattern	52.6	105.2	105.2	0.7	Pass
Measure Bar3 pattern	52.6	105.2	105.2	0.7	Pass
Measure Bar4 pattern	52.6	105.2	105.2	0.7	Pass
Measure Bar5 pattern	52.6	105.2	105.2	0.7	Pass
Measure Bar6 pattern	52.6	105.2	105.2	0.7	Pass
Measure Bar7 pattern	52.6	105.2	105.2	0.7	Pass
Distribution Bar pattern	52.6	105.2	105.2	0.7	Pass
Distribution LED pattern	52.6	105.2	105.2	0.7	Pass
Distribution down pattern	52.6	105.2	105.2	0.7	Pass
Other	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass
Local	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass

图 3 Middle area Function mode measure data

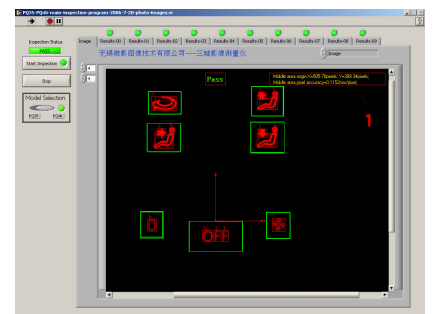


图 4 Middle area Night mode image

Item	Intensity	Red color	Green color	Blue color	Status
OFF pattern	52.7	105.2	105.2	0.7	Pass
Measure Bar2 pattern	52.6	105.2	105.2	0.7	Pass
Measure Bar1 pattern	52.6	105.2	105.2	0.7	Pass
Measure Bar3 pattern	52.6	105.2	105.2	0.7	Pass
Measure Bar4 pattern	52.6	105.2	105.2	0.7	Pass
Measure Bar5 pattern	52.6	105.2	105.2	0.7	Pass
Measure Bar6 pattern	52.6	105.2	105.2	0.7	Pass
Measure Bar7 pattern	52.6	105.2	105.2	0.7	Pass
Distribution Bar pattern	52.6	105.2	105.2	0.7	Pass
Distribution LED pattern	52.6	105.2	105.2	0.7	Pass
Distribution down pattern	52.6	105.2	105.2	0.7	Pass
Other	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass
Local	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass

图 5 Middle area Night mode measure data

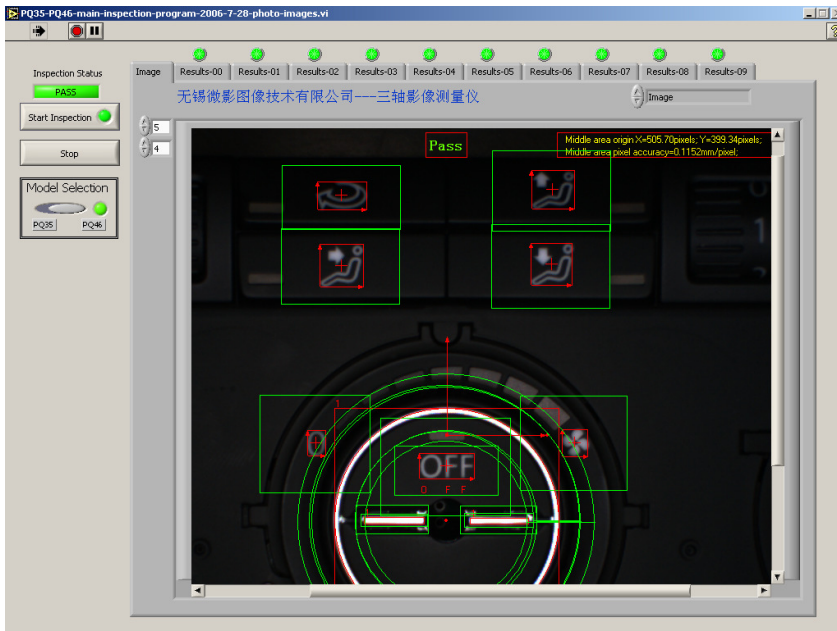
Item	X (mm)	Y (mm)	Match score	OCR string	Status
OFF pattern	10.02	4.31	985.42	OFF	Pass
Measure Bar2 pattern	29.92	1.89	986.93		Pass
Measure Bar1 pattern	48.03	1.82	986.64		Pass
Measure Bar3 pattern	74.72	1.89	986.88		Pass
Measure Bar4 pattern	111.79	1.86	987.77		Pass
Measure Bar5 pattern	143.03	24.52	986.82		Pass
Measure Bar6 pattern	174.08	24.09	985.72		Pass
Measure Bar7 pattern	214.00	11.73			Pass
Other	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass
Local	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass

图 6 Middle area Day mode measure data

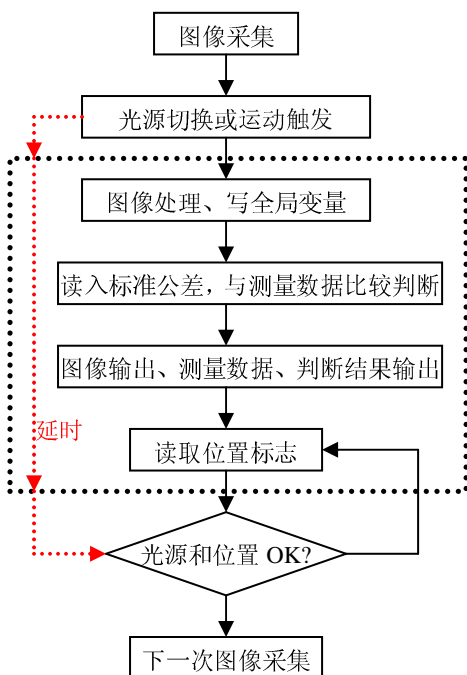
### 6. 任务顺序的优化设计

在相邻的两次图像采集之间需要完成几项任务，包括图像处理、写全局变量、图像输出、测量结果输出、光源切换、位置运动等，这些任务的执行时间是不同的。优化这些任务的编排顺序可显著提高程序的执行速度。

采集图像前要求所有运动静止、光源稳定发光。由计算机向 PLC 发送运动触发信号和光源切换触发信号的指令完成时间是以 10ms 为数量级的，而图像



处理、图像输出、测量结果输出、写全局变量的完成时间是以 100ms 为数量级的。运动是否完成可通过读取 PLC 中的标志位来确定，但光源是否稳定发光，只能依赖上电后的延迟时间。我们的经验是 LED 光源从上电到稳定发光至少需要 500ms 的延时。在一个产品的测试中需要 9 次光源切换、4 次位置运动。如果都用延时的方法，那么将大大降低检测速度。所以我们不是在图像采集后立刻对该幅图像处理，而是先为下一次图像采集做光源切换或运动触发，然后再对本次采集的图像做相对费时的图像处理等，相当于为光源切换或运动触发作了延时处理，但又不占用额外的时间开销。参考以下流程图：



## 7. Overlay 的传递

Overlay 是叠加在图像上的一个特殊的图层，用于显示 ROI 定义范围、坐标系定义和部分图像处理的信息。本系统中在同一位置采集的不同光源照明下的 3 幅图像，具有相同的坐标系和像素精度，不必每次都做同样的处理，只需将第一幅图像上的 Overlay 传递给其他两幅图像即可。利用我们编写的 Overlay 传递 vi，可以抽取任意 image buffer 的 Overlay 并传递到指定的 image buffer 中。参考图 2、图 4、图 6，每幅图像上的左上角红色方框内的原点坐标位置及像素精度的文字信息和图像中央位置的坐标系标志就是通过这种方法传递的。

## 8. ROI 与 Mask 的组合应用

利用 ROI 来定义感兴趣区域，利用 Mask 可以屏蔽掉不感兴趣或者已测量过的区域，将 ROI 与 Mask 相结合可使一些复杂的测量变得简单而高效。图 6 中需要测量产品的外露面是否有划伤，经过 ROI 和 Mask 的组合，只需两步即可完成。参考图 8、图 9。

## 9. 全局特征比较

在 9 个图像处理子程序中，部分测量数据需要进行全局比较，已评定产品整体区域的发光亮度的一致性，因此需要在每个图像处理子程序中将关心的数据写入全局变量，最后在主程序中对这些全局变量进行处理，请参考图 10。

## 六、文件 I/O

包括公差设置、读取、测量数据存储，数据较多，因此采用表格文件方式，将数据分类以二维数组的形式存取。在

图像处理程序中对测量数据判断时，只需读取公差设置相关的 sub-array 即可。测量数据存储的文件名中插入时间字符（精确到秒），以避免文件名重复。

## 七、上位链接和串口通讯

进行上位链接通讯时，计算机和 PLC 之间使用命令(command)和响应(response)进行发送和接收。一次通讯送出一组数据称作一帧，送出帧的权限称为发送权。上位计算机持有发送权，命令发送后，响应由 PLC 自动返回。由于 PLC 的响应需要时间，因此在两次命令之间必须插入延时。帧的格式如下：

@|机器号|头码|正文|FCSI终端

FCS 称为帧检查序列，把一帧的开始到 FCS 前面的数据进行逻辑异或的 8 位数据变成 2 个字符的 ASCII 码，主要用于检查数据错误。FCS 的计算采用笔者以前用 VB 开发的程序，命令的传送使用 LabVIEW 中的 Instrument I/O assistant 直接向串口发送，十分简单。Instrument I/O assistant 提供三种类型的命令，包括 Write, Query and parse, Read and parse。



图 8 Middle area Day mode mask 1

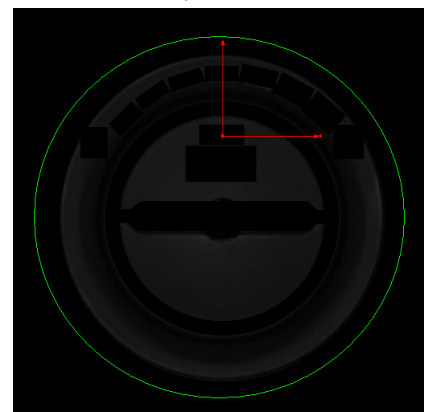


图 9 Middle area Day mode mask 2

## 八、开放性和扩展性

本系统是针对帕萨特和速腾轿车的 2 种型号的温控仪表盘视觉检测开发

的，但在软硬件的设计中都充分考虑到系统的开放性和扩展性，只需更换图像处理子程序和各区域的位置设置，即可以检查任何二维平面上图像信息。同时在 Z 轴上加装接触式测头或非接触式的激光测距传感器，即可以完成 Z 轴方向的尺寸测量。三轴的行程 X、Y、Z 为：200mm×200mm×150mm。

选择的 PLC 上有 4 路脉冲输出，选用的光学镜头可以连续变倍，这样在 Zoom 上加装一个步进电机和传动机构，即可以实现变放大倍数的检测，对尺寸精度和图像质量要求高的区域可使用高放大倍数测量。

同时系统还有 4 路 AD 输入和 2 路 DA 输出，为向更复杂、更灵活的系统扩展提供了必要的硬件资源。

图 10 Global compare parameters

## 九、结论

本项目软件预计开发时间为三个月，实际上不到两个月就完成了，目前机器运行十分稳定、高效，得到客户的赞誉。NI Vision 丰富的图像处理功能和 LabVIEW 灵活易用的编程环境是我们获得成功的主要原因之一。

笔者以前主要使用 VB 和 C++ 做程序开发，这次是第二次使用 LabVIEW 做项目。相比之下，LabVIEW 图形化编程语言使程序员不必过分关注代码和函数格式，而是把主要精力放在功能设计和结构设计上，从而节省了宝贵的开发时间。此外，LabVIEW 的帮助功能和大量的实例程序非常方便程序员的自学提高。总之，我们认为 LabVIEW 作为测试测量领域的首选开发平台是当之无愧的。