

红外热成像组件测试分析系统

Thermal Infrared Imaging Component Measurement System

作者：寇小明 沈 强
职务：高级工程师
公司：陕西海泰电子有限责任公司

应用领域：产品测试

挑战：寻求一种可以兼顾科研分析和生产过程工艺控制以及现场试验与维修检测的一体化便携式红外热成像组件测试分析系统。

应用方案：采用 National Instruments 公司 PXI 模块化仪器结构，在 LabVIEW、IMAQ Vision、Digital Multimeters 等工具软件下开发了可以实现分级测试、系统测试调试及系统性能分析功能的红外热成像组件虚拟仪器检测调试分析系统，具有良好的灵活性和扩展性。

使用的产品：LabVIEW, IMAQ Vision, Digital Multimeters, NI Scope, PXI 5112, PXI6115, PXI5411, PXI4060 等

介绍

本文论述了红外热成像组件虚拟仪器检测调试分析系统的设计思想和实现方案。通过采用 PXI 模块化仪器结构，利用虚拟技术强大的采集分析能力和机器视觉技术结合起来实现整个系统，在极大地缩减了测试仪器规模的情况下，提供了丰富的测试、调试分析功能，并提供了良好的

可灵活性与扩展性。

引言

红外热成像组件通常由红外镜头、光机扫描器、探测(制冷)器、信号处理单元、控制通讯及显示装置等组成。信号处理单元是红外热成像组件的重要组成部分，它包括探测器输出的红外视频放大电路、数字扫描转换电路、数字图像处理电路、光机扫描伺服控制指令电路和模拟/数字输出显示电路等。对红外热成像组件而言，除系统的光学性能外，传感器的响应特性如信号传递函数、图像均匀性、图像信噪比，扫描与图像时钟信号的同步精度、热图的控制性能及其通讯控制能力等也是系统的主要性能指标。由于内含复杂、精密的光学部分和电子线路，影响产品性能的因素非常之多，如传感器的响应特性曲线、处理单元的冲击响应、系统的本征电噪声和热噪声以及工艺差别等，每一个因素在不同的环境条件下的影像程度也不同，使得批生产时组件的性能一致性差别非常大，成品率很低。因此，必须针对信号处理单元的主要技术性能及为达到系统最佳性能而

进行的匹配调试工艺建立专用的性能检测与监控系统，以保证系统的质量。

为了从研制水平和生产工艺控制两个方面同时采取措施提高系统的成品率，通常需要进口专用的红外综合检测仪，这种仪器测试的参数全、精度高的，但造价非常高，且只能进行整机测试，不能进行仿真和控制，不易维护和升级。如果采用标准箱式仪器搭建这套测试系统，则需要示波器、万用表、任意波形发生器(多台)、高速同步数据记录仪(多台)、动态信号分析仪、传递函数分析仪、逻辑分析仪等设备。由于是分立测试，不能保证信号之间的同步时序，体积庞大、接线复杂，即使如此，对热图像分析来说，仍然是无能为力的，特别是对于系统的 MTR、SITF、MRTD、MDTD、NETD 等系统总体性能指标的测量，无法实现专用的算法和测试方法。

为了兼顾科研过程中的分级测试、单元仿真测试、系统性能分析和生产过程的工艺参数积累分析和工艺过程控制，并兼顾现场试验和检测维修，经过充分的调研和分析，决定采用 PXI 模块化虚拟

仪器测试系统。它可以利用计算机强大的数据处理分析能力，实现专用的红外测量算法，并具有良好的灵活性和扩展性。

系统硬件结构和工作原理

红外热成像组件测试分析系统硬件部分主要由红外温控面辐射源、红外目标测试靶、PXI 虚拟仪器模块、测试控制接口箱和装配与调试夹具等组成，如图 1 所示。

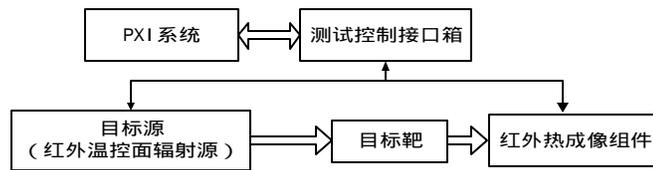


图 1 系统组成与测试示意图

软件部分主要由开发平台、应用软件、数据库管理软件等组成。目标源为目标温度发生与控制器，目标源用于为被测对象产生标准温差目标靶信号以便热像仪成像，由热目标靶、目标温度控制器和温度传感器模块组成。测试控制接口箱对光机扫描器和信号处理单元之间的连接电缆进行分接，并与采集卡的适配器/接口板进行相应的连接，在测量不同的参量时，通过程控方式进行切换。PXI 虚拟仪器的构成如图 2 所示。

PXI 机箱中插有嵌入式零槽控制器、标准虚拟仪器测试模块、系统性能测试模块、图像采集处理与分析模块和通讯模块。零槽选用 PXI8176，在系统中管理试验的进程、管理测量数据库、针对不同的测量参数配置不同的板卡、控制接线方式，并进行数据、图像的处理与分析。

红外热成像组件为光机扫描式多元并扫成像组件，视

频信号为八通道并行模拟信号、信号带宽 3MSa、8 通道驱动时钟，因此需要采用同步数据采集卡采集八路红外视频信号。系统中选用两块 PXI-6115 完成对热像仪模拟视频信号的采集。

系统需要在通道测试时输入视频模拟信号以模拟 4bar 图像信号 视频模拟信号源在对通道性能进行测试时模拟温度参考信号，系统中采用了两种模拟方式，一种是用 PXI-5411 任意波形发生器模拟高带宽的视频信号，此时 8

路信号是一致的，2 通道时带宽 3MSa，可以分析通道之间的差异以及进行通道的冲击响应测量，其 16-bit 数字模式发生器功能(输出速率 40MS)还用来产生驱动定时时钟波形。为了得到 8 路不同的模拟视频信号，还采用了 PXI-6713 专用模拟输出模块，用于通道均匀性和匹配能力测量，8 通道独立带宽 500KSa。

红外热成像组件的红外图像输出质量直接决定了系统的性能，因此对视频信号和视频图像的采集处理与分析是系统的核心功能，单元探测器的信号输出类似于线阵 CCD，而热像仪的输出格式又是 PAL 制式的标准模拟视频信号，为了对线阵和标准模拟视频信号进行采集，选用了 PXI-1409 图像采集卡，为了满足数字视频成像测试与分析的需要，还选用了 PCI-1422 数字图像采集卡。通过对热图进行采集处理，完成对系统的 MTR、SiTR、MRTD、MDTD、NETD 等总体性能指标的测量。

红外热成像组件的信号如时序指令基准、红外场同步信号、多面体指令信号 PD、图像视频等信号之间具有非常严格的时序关系，而时序逻辑的抖动会直接影响热图的质量，因此需要对它们进行仔细地测试分析。关于指令基准源，我们采用 PXI-5431 视频信号发生器模块，它不但可以提供系统需要的时序指令基准源，还可

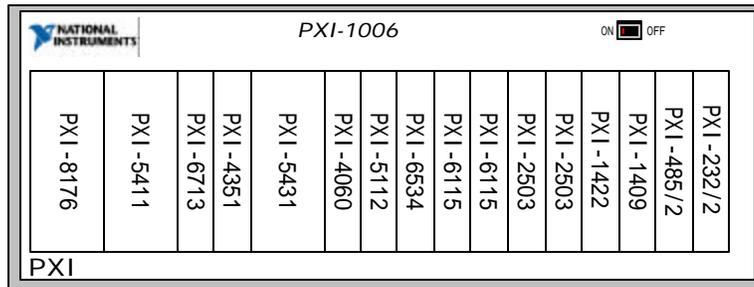


图 2 PXI 虚拟仪器结构示意图

以提供各种标准视频信号、同步信号及视频图像以检测系统的图像性能。对于系统中多路时序指令信号的逻辑分析采用了 PXI-6534 高速数字 I/O 模块,可以高质量地分析系统中信号之间的时序关系和时序误差,为系统改进提供依据。

为了分析系统中 RS-422 及 RS232 输入输出通讯接口能力与质量并通过计算机对温度控制器进行设定和控制,采用了两块通讯卡。

系统要求对电源的质量如电压、电流输出精度、稳定性、带载能力及抗干扰能力进行检测,还要测量电子部件和电缆的输入输出电阻,绝缘电阻、接地电阻等,为了实现这些功能,方案中采用了 PXI-4060 万用表模块以及数字式绝缘电阻测试仪。

系统要求对指令波形和时钟信号的幅度、频率、稳定度、信号的上升与下降时间、指令信号的时序与逻辑进行测试分析,测量信号通道的带宽和噪声,分析信号处理通道的冲击响应和图像对时钟信号同步精度、PAL 模拟视频信号行/场同步信号质量等,为了实现这些功能,系统中采用了 PXI-5112 示波器模块。

红外热成像组件测试分析系统中需要测量的信号种类非常多,信号的特性差异又比较大,而系统中只有一套万用表模块和示波器模块,为了完成系统的测试任务,选择了两块 PXI-2503 24 通道 2 线多路复用矩阵开关模块,开关容量 1A at 30VDC,它可以工作在 4 × 6 模式或 24 × 1 模式,带宽

为 10MHz。通过测试控制接口箱的转接,可以将波形检测通道数量扩展到 8 通道,将逻辑分析能力扩展到 16 通道,可以自动化地完成系统的测试任务。

对许多系统系统性能的测试需要建立专用的测试用例,并借助于多个不同组合的虚拟仪器模块及专用采集分析软件进行,系统的虚拟仪器软件模块如图 3 所示。

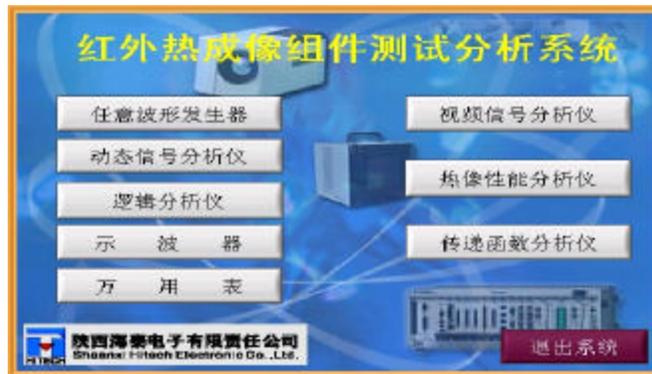


图 3 测试系统的虚拟仪器软件模块组成

对热图像的控制功能、温度响应特性、信号传递函数 (SiTF: 温差与亮度的关系) 都要借助于目标温度发生与控制器以及红外视频信号采集模块或示波器。

采用示波器和万用表共同对热成像系统(信号处理电子学的)有关电气参数如电压、频率、阻抗、噪声等进行测试分析

为了进行信号通道的带宽、噪声,通道之间的响应一致性测试需要采用示波器、红外视频采集模块共同完成

为了分析电子信号处理系统的冲击响应或传递函数分析需要采用示波器、红外视频采集模块和信号采集与分析软件共同完成。

为了进行 ADC 和 DAC 转换精度、速度和转换噪声的测试分析需要采用万用表、视频信号采集模块和信号采集与分析软件共同完成。

采用 PXI-6115 4 通道同步数据采集卡、PXI-5411 任意波形发生器、PXI-6713 专用模拟输出模块协同工作,分析信号处理单元与热成像系统的最佳设计参数和改进途径和方法。

对电子学信号通道及输出视频图像质量如均匀性、噪声和信噪比、通道的动态范围、信号频谱分布进行测试与分析,需要红外视频信号采集模块、频谱分析软件并采用专用图像处理软件进行图像合成与分析。

在红外性测试目标源的配合下,完成热成像系统综合参数性能及其他专项指标的相对比较测试与分析,能够从视频输出完成 MTF、SiTF、NETD、MRTD、MDTD 等主要性能参数的测试分析,并建立 MRTD、MDTD 等主观测试与视频分析比较测试的参考基准。

系统软件构成

开发平台选择 LabVIEW FDS图形化开发平台。数字信号处理选用 Signal Processing Suite 专用软件包。数据库管理平台是 Microsoft 公司的 SQL Server 7.0，数据库开发平台选择用 Sybase 公司的 PowerBuilder 7.0。

图像处理部分的功能与分析能力是整个系统的核心。为此我们选择了 IMAQ Vision 图像处理工具平台，IMAQ Vision 是本系统的核心软件工具，包括图像处理的一般方法和各种高级分析方法，其中的函数都是任务驱动的，使用直观、效果明显，在这些基本功能的基础上，通过适当的组合、深化与分析处理，可以设计出专用的图像处理分析模块，再和光学测量理论和图像测量技术结合起来，可以通过图像分析系统的 MTF、SiTF、MRTD、MDTD、NETD 等系统总体性能指标。

红外热成像组件测试分析系统的应用软件主要由系统管理软件、系统自检软件、模拟信号发生器软件、指令波形检测软件、视频信号采集分析软件、图像采集与处理软件、输出控制软件、通用电参数测量软件、系统综合性能分析软件、数据通讯软件、数据管理软件和在线帮助软件等组成。如图 4 所示。

系统管理软件是系统的主界面软件，除系统自检软件外的所有应用软件都以模块化的形式嵌入其中。

系统自检软件用于对系统的各个部分进行自检，以判断硬件模块和软件功能的工

作是否正常。

输出控制软件主要配合通用电参数测量和指令波形分析，通过它来控制开关矩阵模块的切换，以实现系统的自动检测功能。

模拟信号发生器软件主要用于产生模拟视频信号软件和模拟指令波形软件，提高对产生的特定波形信号的测量、分析性能。

指令波形检测软件主要用于检测系统的时序指令波形，它们的时间误差、频率抖动、稳定性等。

通用电参数测量软件对电源的质量如电压、电流输出精度、稳定性、带载能力及抗干扰能力进行检测，还要测量电子部件和电缆的输入输出阻抗等。

视频信号采集分析软件主要是采集八通道的红外视频信号，并通过对这些信号的分析为系统综合性能提供依据。

图像采集与处理软件主要完成红外热成像组件的标

度和亮度动态范围等。

系统综合性能分析软件完成对红外成像系统综合性能参数及其它专项指标的分析与测试，如 MTF、SiTF、MRTD、MDTD、NETD 等系统总体性能指标的测试以及传递函数、冲击响应的分析。

数据通讯软件进行串行数字通讯分析。

数据管理软件对得到的数据资料经过整理，按要求的格式生成数据库和输出报表。

在线帮助软件为用户使用提供操作指导。

结论

通过采用基于 PXI 模块化虚拟仪器的结构，红外热成像组件测试分析系统能够兼顾科研过程中的分级测试、单元仿真测试、系统性能分析和生产过程的工艺参数积累分析和工艺过程控制，极大地缩减了测试系统的体积，具备一定的便携能力，兼顾了现场试验和检测维修，能够充分利用

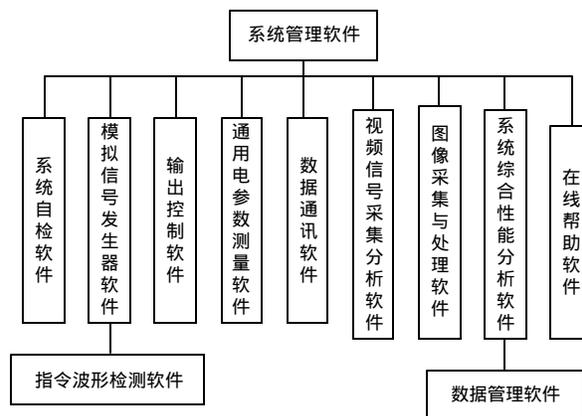


图 4 应用软件组成框图

准/非标准图像的采集与处理。重点在于图像质量分析，如均匀性、信噪比、对比

计算机强大的数据处理分析能力，实现专用的红外测量算法，并具有良好的灵活性和持

续开发能力,提高了系统的性能价格比,充分体现了虚拟仪器在测试测控领域的显著优势。

参考文献

- [1] 吴宗凡,柳美琳. 红外与微光技术[M]. 国防工业出版社. 1998
- [2] Test Thermal Imaging System (FLIR 'S) Using CI Equipment 1986
- [3] National Instruments, 《 Measurement and Automation Catalogue 》, 2003
- [4] National Instruments , 《 IMAQ Vision User's Manual 》, 1999.
- [5] A.MURAT TEKALP 著,崔之祜、江春、陈丽鑫译,数字视频处理,电子工业出版社,1998。