

文章编号: 1672-8785(2016)03-0006-06

一种高性能红外探测器模拟器的研制

刘 磊¹ 韩顺利¹ 李丰田² 仵 欣³

(1. 中国电子科技集团公司第四十一研究所, 山东青岛 266555;

2. 中国铁道科学研究院通信信号研究所, 北京 100081;

3. 山东计量检测中心, 山东济南 250014)

摘 要: 为解决红外探测器数据采集系统的测试问题, 基于红外探测器本身的工作特点, 研制出了能够模拟红外探测器输出信号的模拟装置。该装置不仅能模拟各种阵列规模的红外探测器, 输出准确的量化图像数据, 而且能为数据采集系统提供所需的帧、行、像元及相关双采样同步触发信号。利用模拟装置输出的量化图像数据实现了红外探测器数据采集系统的定性检查和定量校准, 为红外探测器数据采集系统的高效准确测量提供了有价值的参考。

关键词: 红外探测器; 数据采集系统; 模拟装置; 校准

中图分类号: TH7 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2016.03.002

Development of a High Performance Infrared Detector Simulator

LIU Lei¹, HAN Shun-li¹, LI Feng-tian², WU Xin³

(1. The 41st Research Institute of CETC, Qingdao 266555, China;

2. Signal and Communication Research Institute, China Academy of Railway Sciences, Beijing 100081, China;

3. Shandong Province Institute of Metrology, Jinan 250014, China)

Abstract: To solve the test problem of the data acquisition system of an infrared detector, a simulator which can simulate the output signals from an infrared detector is developed on the basis of the operating characteristics inherent in an infrared detector. The simulator not only can simulate the infrared detectors in different formats and output accurate quantitative image data, but also can provide frame, line, pixel and correlated double sampling synchronization trigger signals for the data acquisition system. The qualitative examination and quantitative calibration of the data acquisition system of the infrared detector are implemented by using the quantitative image data from the simulator. The results are of referential value to the effective and accurate measurement of the data acquisition systems of infrared detectors.

Key words: infrared detector; data acquisition system; simulator; calibration

0 引言

目前, 红外成像技术已广泛应用于军事、工业、农业、医疗和科学研究等各个领域^[1]。

红外成像系统主要包括红外光学系统、红外探测器及其数据采集系统, 其中红外探测器是核心部件^[2], 它被用于接收红外辐射信号, 并将接

收稿日期: 2016-02-02

基金项目: 国家重点实验室基金 (9140C120301150C12057)

作者简介: 刘磊 (1986-), 男, 山东潍坊人, 硕士, 助理工程师, 主要从事光电信号处理研究。

E-mail: stray-birds@163.com

收到的信号转化为相应的电信号。若直接使用红外探测器进行后端数据采集系统的研制、测试和校正等,一方面由于焦平面的研制、采购等原因会影响数据采集系统的研制进度,另一方面由于不可能一次性成功完成对系统的测试,而是需要通过多次插拔红外探测器来测试系统的性能,这样会对探测器性能带来风险;还由于前端光路系统功能的不确定性会导致后端红外采集系统调试的不确定性。因此,有必要通过采用模拟装置模拟红外探测器的输出信号,对数据采集系统进行调试,以验证其电路设计及硬件逻辑时序的准确性。

现有信号模拟装置的设计构架基本类似^[3],一是外接任意波形发生器作为数据源,其缺陷是会使调试过程变得不够直观,难以判断逻辑时序的准确性,且无法产生焦平面器件输出的全部信号(包括确定的图像输出信号),无法满足红外成像系统在科研和维修中的测试需求;二是用电脑主机与数据板卡连接的方式实现信号的模拟与传输,计算机可将红外场景图像输入到探测器模拟装置中,探测器模拟装置对图像进行缓存和时序整理后按照红外实时信号处理平台的需求输出,缺陷是其复杂的结构会使装置在搬运或插拔时存在不便性,而且接口及功能不具有通用性,使用方式复杂;另外,现有红外成像探测器模拟装置的设计都是单纯为了给红外信号处理平台提供图像数据源而设计的,没有考虑到探测器在成像过程中对图像的影响,以及没有模拟真实探测器接口的对外

成像信息输出,使得模拟装置的对外接口不能与真实探测器接口兼容,不具有直接连接到信号采集电路的探测器输入接口上的功能,实用性不强^[4-7]。因此,本文设计了一种高性能的红外探测器输出信号模拟装置以克服上述缺陷。

1 红外探测器模拟器的研制

1.1 硬件模块设计

图 1 为本红外探测器模拟器的硬件系统框架,该红外探测器输出信号的可编程模拟装置以 XP 系统下的工控机为平台,主要包括:

主控模块,以实现模拟器和示波器采集模块的总控制、指令和数据的发送接收;

总线接口电路,本仪器采用的是 PCIE 总线连接,实现主机与两大控制模块以及模块内部的相互通信;

信号模拟模块,通过内部总线分别与 DPLL 时钟发生及可编程时钟分配模块、同步信号产生模块、同步信号延迟模块、DAC 模块以及存储器模块进行信号逻辑通信控制,并最终产生所要模拟的红外探测器模拟信号以及数字同步信号;

高速 DAC 模块,完成对探测器接口模拟信号的精确转换输出;

存储器模块,完成转换数据处理过程中的缓存;

示波器模块,能够实时采集并验证输出模拟信号设置的准确性,信号可以通过示波器通道采集并最终显示在主机主界面上。

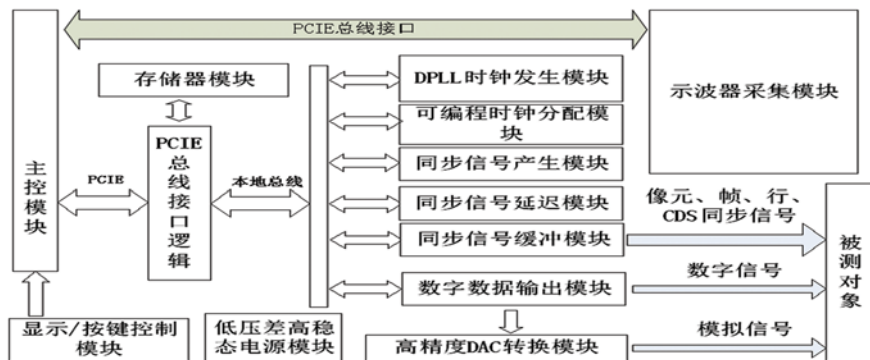


图 1 红外探测器模拟器硬件系统原理

表 1 模拟器硬件接口板的定义

接口名称	接口定义
像元同步	每一个模拟输出像元信号的同步触发信号
CDS	相关双采样同步触发信号
行同步	行积分同步触发信号
帧同步	帧积分同步触发信号
模拟输出	探测器模拟信号模拟输出通道
数字输出	32 位 LVDS 或 16 位 TTL 数字输出
信号检测	示波器检测输入通道
扩展口	根据探测器的模拟输出通道数不同进行扩展

1.2 软件设计

模拟器软件采用模块化结构设计, 根据其功能特点把整个软件分为新建波形处理模块、数据文件管理模块、位图转换波形模块、幅度和频率控制模块、同步信号延迟控制模块、帧行消隐控制模块、直流 DAC 补偿模块、交流 DAC 补偿模块、图形显示模块、波形显示参数设置模块和面板按键处理模块。每个模块都相对独立, 完成各自的功能。各模块通过主程序关联在一起, 构成一个完整的整体。模块与主程序之间、模块与模块之间通过临时性文件或注册表实现数据交换, 模拟器软件的整体设计如图 2 所示。

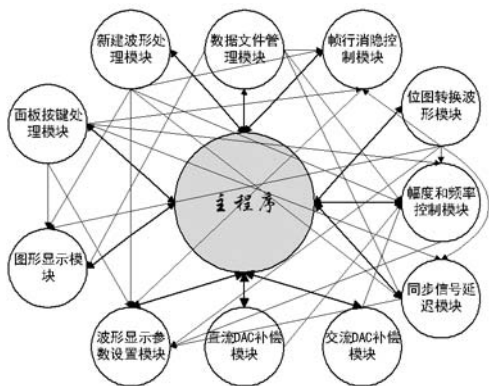


图 2 红外探测器模拟器的软件设计框图

红外焦平面器件输出信号可编程模拟装置输出的波形为串行输出的一幅图像, 每个时钟代表红外焦平面阵列的一个像元, 其高电平代表信号, 低电平代表本底。利用图像灰度等级原理, 波形的最高电压对应灰度值 255(白色), 波

形的最低电压对应灰度值 0(黑色), 波形模拟像元在高电平与低电平之间的任何一个电压值, 将按换算关系对应相应的灰度值。因此, 在控制帧、行、像元、CDS 同步信号和模拟信号之间的相位关系的基础上, 只要通过主控模块的编程来更改波形输出幅度、输出阵列和输出频率, 即可得到任意型号探测器的接口模拟信号和数字信号的输出。

模拟源具有一个图像模拟通道输出和四个同步触发信号通道输出。模拟通道可模拟任意规模(最高 2048×2048)的红外焦平面阵列输出图像, 每个模拟像元的输出电压可在 $+2\text{ V} \sim -2\text{ V}$ 之间独立更改, 因此模拟源可输出任意量化的图像数据。四个触发通道分别输出帧、行、像元和 CDS 同步信号, 它们之间的相位关系可通过可编程延迟线调整, 最大调整范围为 250 ns , 这些同步触发信号可使红外焦平面阵列数据采集系统正常工作。模拟器的实物图如图 3 所示。



图 3 红外探测器模拟器的实物图

经过实际测试, 模拟器模拟通道和数字同步通道的信号输出特性见表 2。

表 2 红外探测器模拟器的技术指标

测试类别	测试结果
像元输出频率	1 Hz~30 MHz
直流输出范围	-3.0 V~+3.0 V
直流信号精度	<0.1 mV
交流信号输出范围	-2.4 V~+2.8 V
交流信号精度	<0.5 mV
数字同步信号上升时间	<4 ns at 1 MHz
数字同步信号下降时间	<3 ns at 1 MHz
同步信号延时调节范围	0 ns~250 ns
信噪比	0.06% at $V_{pp}=1$ V, $f=1$ kHz

2 装置应用

红外探测器的模拟器与后端数据采集系统有两种连接方式,如图 4 所示。第一种是通过 BNC 接口向红外探测器采集系统提供数字同步信号以及数字或模拟信号,完成采集系统对模拟数据的采集。第二种方式是通过 BNC 接口向红外探测器模拟器提供同步触发信号,模拟器根据前者提供触发信号的同步关系输出图像的数字或模拟信号,使红外数据采集系统完成数据的采集。

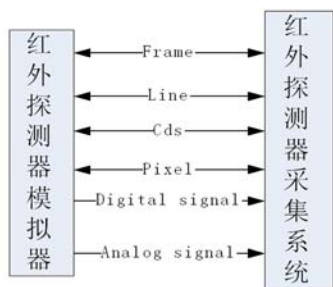


图 4 红外探测器模拟器应用示意图

2.1 红外目标库的建立

在新型红外成像系统的研制过程中,需用大量不同状态的红外图像对采集系统的性能进行评估。目前,红外图像的生成主要有外场实验测量法和计算机生成法两种途径。

外场实验测量法利用红外热像仪等设备对各种目标、干扰及背景直接进行大量的外场实验,获得目标与背景在实际情况下的温度分布、

红外辐射特征及其对比特性,然后进行归纳整理,建立不同目标的运动特性数据库^[8]。

计算机生成法根据目标和背景的理论模型生成红外图像,所生成的红外图像反映的是场景中各点的相对灰度值,与其对应的是目标和背景的红外辐射亮度^[9],以此建立红外目标库。

将以上两种方法生成的红外目标图像导入红外探测器模拟器的红外目标库,使用时根据所模拟探测器的要求进行实时调用即可,模拟器红外目标库的建立流程如图 5 所示。

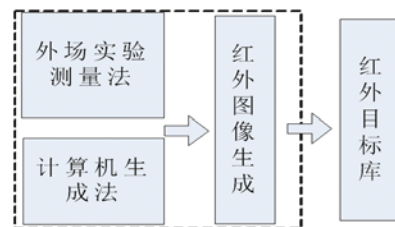


图 5 目标库导入流程

2.2 红外目标调用及输出参数设置

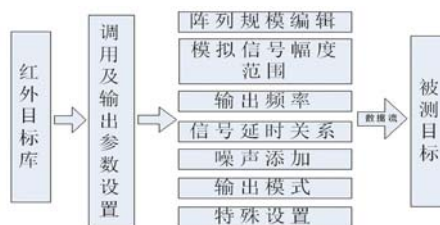


图 6 红外目标调用及参数设置输出流程

如图 6 所示,通过探测器参数模拟器调用红外目标库中的红外目标图像。输出参数时利

用模拟器软件中的参数模拟设置功能设置, 主要包括阵列规模、模拟信号输出幅度范围、信号输出频率、信号延时关系、信号的处理(如噪声添加)、输出模式(外触发还是内触发方式)及其他特殊的设置功能。设置完成后红外图像最终通过模拟器模拟或数字电信号接口将数据信号接入后端被测模块, 完成被测目标的系统测试。

2.3 应用实例

Sofradir 是世界上著名的红外焦平面阵列研制生产单位, 其产品在军用和民用方面得到了广

泛应用。UL03162 是较常用的一款器件, 其感应波段为 $8\sim 14\ \mu\text{m}$, 器件规模为 288×384 , 像元大小为 $25\ \mu\text{m}\times 25\ \mu\text{m}$, 其同步信号引脚是 RESET、INT 和 MC, 分别对应图像的帧同步信号、行同步信号和像元同步信号, UL03162 的时序如图 7 所示。

图 8 为模拟器软件的设置界面, 软件上方为数字同步信号模拟, 最下面为同步信号对应的模拟数据, 阵列规模为 288×384 , 输出频率设置为 $1\ \text{MHz}$, 模拟信号输出范围为 $1.0\ \text{V}$ 到 $3.0\ \text{V}$ 。

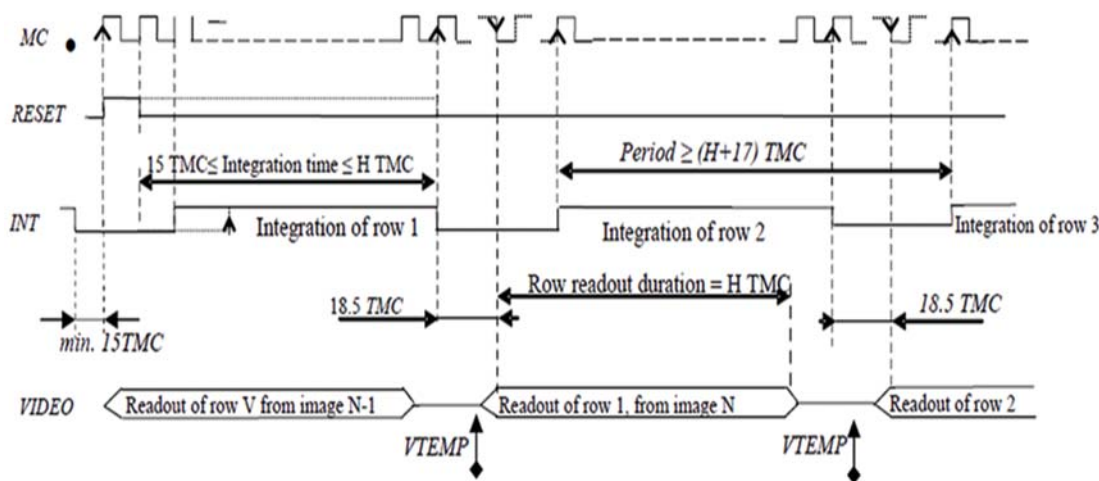


图 7 UL03162 时序图

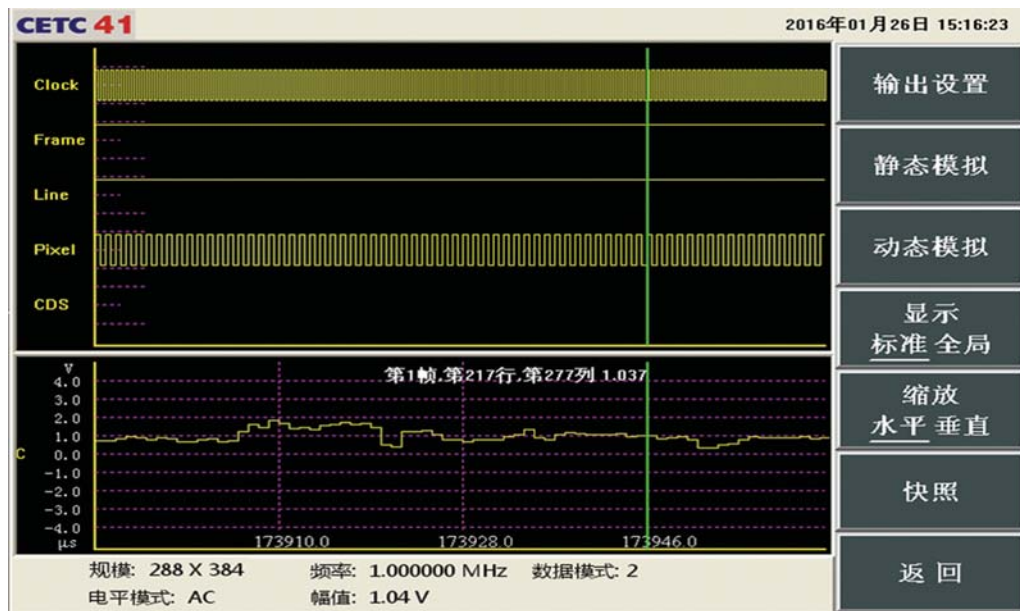


图 8 UL03162 时序参数模拟设置

为验证校准方法的可行性, 利用研制的标准校准源对美国 PI 公司生产的 PI3105 型^[10] 红外焦平面阵列专用数据采集系统进行了数据采集和现实。采集系统如图 9 所示, 左边显示器的

图像为 PI3105 实时采集显示的结果, 右边显示器的图像为红外模拟器输出的量化图像数据, 通过直观的显示对比, 验证了模拟器输出量化红外图像数据的准确性。



图 9 红外探测器模拟器模拟结果验证系统

3 结论

为了对红外探测器数据采集系统进行定性和定量验证, 在研究红外探测器信号输出模式的基础上, 研制出了能够模拟红外探测器电信号输出的标准模拟器。利用模拟器输出的量化图像数据对红外探测器数据采集系统的噪声、采集电压范围、采集准确度及线性度、最高采集速率等参数进行了定量和定性验证。红外探测器模拟器的模拟实验证明该方法切实可行, 解决了目前红外探测器数据采集系统的溯源问题, 提高了红外数据采集系统的设计效率。

参考文献

- [1] 彭城, 王玮冰, 黄卓磊, 等. 一种红外焦平面读出电路数字模块的设计 [J]. 微电子学, 2012, 42(5): 684-687.
- [2] 赵强. PZT 基陶瓷的热释电效应与性能研究 [D]. 华中科技大学硕士论文, 2011, 9-25.

- [3] 刘子骥. 非制冷红外焦平面探测器测试及验证成像技术研究 [D]. 电子科技大学博士论文, 2013, 20-55.
- [4] 屈惠明, 陈钱, 顾国华, 等. 红外焦平面阵列性能参数测试系统 [J]. 红外与激光, 2006, 36(10): 950-952.
- [5] 张天飞, 方勇华, 熊伟, 等. 基于 FPGA 的红外焦平面阵列图像采集及处理系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2011, 19(10): 2571-2574.
- [6] 于志勇. 红外焦平面阵列数据采集系统的设计 [J]. 安徽电子信息职业技术学院学报, 2011, 10(54): 1-4.
- [7] 王江辉. 红外焦平面阵列测试数据采集与评价技术研究 [D]. 西安电子科技大学硕士论文, 2011: 29-58.
- [8] 李保中, 韩邦杰, 李艳晓. 光电系统半实物仿真系统技术概述 [J]. 电光与控制, 2010, 17(4): 30-34.
- [9] 赵勋杰, 李成金. 红外半实物仿真系统的关键技术 [J]. 红外与激光工程, 2007, 36(3): 326-329.
- [10] HGH.PI-3105 Multi-Channel Data Acquisition System for Image Sensor Testing Product Description [M]. France: HGH, 2004.