

文章编号:1001-9014(2010)04-0255-04

基于 PCIE 的红外焦平面探测器测试系统

刘子骥, 蒋亚东, 祝红彬, 李伟

(电子科技大学 电子薄膜与集成器件国家重点实验室, 四川 成都 610054)

摘要:介绍了一套自制高效的红外焦平面器件性能参数测试系统,建立了包括控制模块、辐射源、UFPA 模块、信号采集模块和上位机程序在内的测试平台,分析了该系统平台的关键技术.系统可实现实时的数据采集,同时对 RMS 噪声、非均匀性、响应率、探测率、噪声等效功率和噪声等效温差等关键参数进行快速有效的计算分析,并能准确统计出盲元的数量和位置,分析、评估和存储器件每个像元的性能参数.

关键词:红外焦平面;测试系统;PCIE

中图分类号:TN216 **文献标识码:**A

TEST SYSTEM FOR INFRARED FOCAL PLANE DETECTORS BASED ON PCIE

LIU Zi-Ji, JIANG Ya-Dong, ZHU Hong-Bin, LI Wei

(State Key Laboratory of Electronic Thin Films and Integrated Devices, University of
Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

Abstract: A low-cost and efficient parameter test system for infrared focal plane arrays (IRFPA) was introduced. The test bench including control module, blackbody, UFPA module, signal acquisition module and the host computer program was established and the critical technologies of this system were analyzed. This system can realize real-time signal acquisition, and at the same time it can be used to analyze some important parameters, such as root mean square noise, nonuniformity, responsivity, detectivity, noise equivalent power (NEP) and noise equivalent temperature difference (NETD), and so on. This system also can accurately determine the number and location of bad pixels, analyze, assess, and store the performance parameters of each good pixel of devices.

Key words: infrared focal plane array (IRFPA); test system; PCIE

引言

红外焦平面阵列作为应用系统的核心器件,直接关系到应用系统的性能.建立一套精确有效的红外焦平面器件性能参数测试系统,是对红外焦平面器件进行准确评价的前提.同时,红外焦平面阵列的性能参数及数据统计特征是进行红外成像图像处理的重要依据,图像处理算法的效果,除了算法本身优劣外,还与图像的数据特征直接相关.因此,红外焦平面器件性能参数测试,不论是对于器件的设计制造者,还是应用系统的开发者来说,都有着非常重要的指导意义.

红外焦平面器件性能参数的测试显得如此重

要,但用传统意义上的通用仪器不能满足这种特殊要求,需要专门定制的测试系统,基于 PCIE 总线和 VC++ 平台开发的红外焦平面器件性能参数测试系统,其高速的接口和技术成熟的平台能够满足测试系统实时、稳定的要求.

1 测试原理

系统主要对以下参数进行测量:像元响应率 (Pixel Responsivity)、像元探测率 (Pixel Detectivity)、时间噪声 (RMS noise)、空间噪声 (Fixed pattern noise)、噪声等效功率 (Noise Equivalent Power)、噪声等效温差 (Noise Equivalent Temperature Difference)、坏点 (bad pixels)、动态范围 (Dynamic Range)

收稿日期:2009-07-09,修回日期:2010-02-01

基金项目:国家杰出青年基金项目(60425101)

作者简介:刘子骥(1981-),男,重庆人,博士生,主要从事非致冷红外焦平面测试系统技术的研究.

Received date: 2009-07-09, revised date: 2010-02-01

和非均匀性校正参数(Non uniformity correction)^[1,2].

以上参数的测试,可归结为两种辐照条件下的响应电压测试,即无光照条件下的电压测试,和光照条件下的响应电压测试.在测得无光照电压和光照响应电压后,各特性参数可根据定义^[1,2]计算得到.

具体方法是,分别在无光照条件及光照条件下,采集连续的 F 帧数据($F \geq 100$),得到两组 F 帧二维数组 $V_N(i, j, f)$, $V_R(i, j, f)$,并对这两组电压值进行平均

$$V_N(i, j) = \frac{1}{F} \sum_{f=1}^F V_N(i, j, f) \quad (1)$$

$$V_R(i, j) = \frac{1}{F} \sum_{f=1}^F V_R(i, j, f) \quad (2)$$

再对上面两组数据进行计算,可得到像元响应电压的矩阵^[1,2]

$$V_{\Delta}(i, j) = V_R(i, j) - V_N(i, j) \quad (3)$$

参数的统计计算基本都是基于 $V_{\Delta}(i, j)$,计算方法参考了多方标准,以选出适合测试本实验室研制的焦平面器件.具体的算法在此不进行详述.

2 系统设计

红外焦平面器件测试系统如图 1 所示,主要由三个模块^[4]组成.

(1) 光学平台.辐射源为面源黑体,其温度调节范围应小于或等于焦平面的动态范围,具有良好的温度稳定性、均匀性和低漂移等优点,温控精度应高于焦平面的 NETD,在串音和 MTF 测试中,黑体辐射通过红外光学系统准直后,聚焦到红外焦平面上.腔式黑体主要用于单元测试用途.

(2) 电子模块.包括偏置源、时钟驱动以及温度控制器等.偏置源是由高精度、低噪声直流信号源提供 UFPA 工作所需的直流电压偏置.时钟驱动提供 UFPA 读出电路正常工作所需要的时钟波形,逻辑控

制由现场可编程门阵列器件 FPGA 完成.同时它也提供同步信号,使 UFPA 的模拟输出、AD 转换器同步工作.而温度控制器则是 UFPA 所必需的部件,它的作用是稳定 UFPA 温度,控制精度达到 $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$.保证焦平面阵列中所有像元的自身基准温度稳定且一致,从根本上提高应用系统的探测灵敏度,抑制由外界或自身发热引起的工作波动.通过 FPGA 控制 AD 采集焦平面的模拟信号,并实施数模转换,提供给 PCIE 总线.锁相放大器主要用于单元测试中.

(3) 电脑.数字信号在 FPGA 控制下存储在 PCIE 采集系统的 buffer 中,在上位机程序的控制下通过 PCIE 总线传送到 PC 端,根据这些数据在 PC 机上按一定的算法统计出焦平面的各种参数.该系统还提供实时采集处理图像数据的功能.

完整的测试系统要对器件提供光源激励,同时由控制模块对器件提供驱动、偏压,使其正常工作,并对电信号进行采集和存储,最后将数据送到算法软件,由算法软件计算统计参数结果,并对器件的性能进行评价.

2.1 硬件

该系统自行开发的硬件部分包括偏置源、时钟发生器和温度控制器,这三个模块能够提供焦平面工作的必要条件.

直流偏置采用高精可调电位器实现,通过串口由单片机控制电位器的电压,再通过运放 AD8606 加强驱动能力.

红外焦平面阵列器件工作于电子扫描状态,微测辐射热计采用脉冲电压偏置,对红外辐射进行逐行积分放大,最终将目标的红外辐射转为电压信号逐点采样保持,由多路复用器逐行输出.

UFPA 内部的时序发生器是在外部时钟和偏置电压的条件下才能工作,时钟发生器提供读出电路工作所需的信号包括主时钟(MC)、积分信号(INT)和复位信号(RESET).

UFPA 输出数据的速率与主时钟的速度相等,主时钟可随需要的帧频来调整.为了与显示设备兼容,采用帧频 60Hz.额定的 160×120 阵列像素时钟频率为 1.67MHz,占空比为 50%.复位信号通过强制从 UFPA 的第一行开始信号积分来使读出电路复位的工作复位.积分信号为高电平时,允许对来自微测辐射热计的一行像元信号进行积分^[5].时序仿真图如图 2 所示.

AD 转换器采用 ADI 公司的 AD9240 芯片,采样率为 14bits,最大采样率达到 10MSPS,对于 $320 \times$

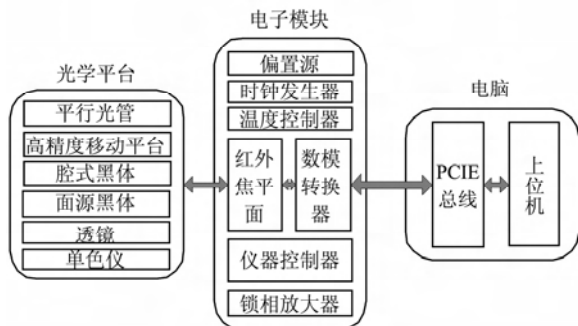


图 1 红外焦平面测试系统框图

Fig. 1 Diagram of the IRFPA test bench

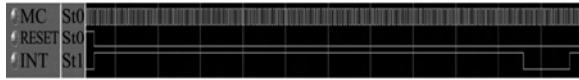


图2 时序仿真波形
Fig.2 The timing simulation waveform

240 的红外焦平面,采用 5M 左右的像元采样率即可,所以能够满足各种尺寸的焦平面.焦平面输出的串行模拟像元信号经 AD 转换器转换为数字信号.每个像素的电压值经过 AD 转换为 14bits,在 FPGA 中在高位加两个 0,补足 16bits,也就是 2bytes,以方便后续软件中的数据处理.

采集的数据量大,而系统上的 buffer 不足以存储,所以数据必须快速传输到 PC 上,因此我们采用了 PCIE 总线作为传输总线.PCIE 总线是一种全新的串行总线技术,它彻底变革了原来的 PCI 总线的并行技术,克服了 PCI 总线在系统带宽、传输速度等方面的固有缺陷.它的优越性能满足计算机和通信领域对于 I/O 数据传输高速度和可靠性的要求.与 PCI 总线相比,PCIE 总线具有以下特点.

(1) 在数据传输模式上,PCIE 总线采用双通道串行传输模式,一条 PCIE 通道由 2 对 LVDS 差分线对组成,一对负责发送,一对负责接收,目前单向的数据率为 2.5Gbps.

(2) 与 PCI 总线上所有设备共享一条总线不同,PCIE 总线采用点对点技术,能够为系统内的所有设备分配独立的通道资源,充分保障设备的带宽,提高数据传输率,同时可以实现多个设备并行工作.

(3) 具有很好的灵活性,一个 PCIE 物理连接可以根据实际需要配置成 $\times 1$ 、 $\times 2$ 、 $\times 4$ 、 $\times 8$ 、 $\times 16$ 个并行的数据通道,以满足不同设备之间通信带宽的要求.

(4) 在软件层与 PCI 总线完全兼容,原有的 PCI 总线的驱动程序可以完全移植到基于 PCIE 总线架构的系统中.

(5) 串行连接采用自时钟技术,时钟内嵌于串行数据的 8b/10b 编码中,可实现数据传输率的自适应调整.

(6) 串行数据以数据包的形式进行传输,保障了数据传输的完整性和可靠性.实验中发现焦平面输出至 AD 的模拟信号容易受到干扰,所以在制板时,焦平面与 AD 的距离尽量短,旁边不要布数字信号,以免影响其精度,最好用地线将其环绕.而 AD 芯片的控制信号相互之间也易产生干扰,严重影响了转换精度,均可采用地线环绕的方式降低干扰.良

好的接地可以大大降低噪声.

2.2 软件

信号处理和分析软件是基于 VC++2003 平台编写的,可实时得到处理结果并进行数据保存与输出.焦平面阵列中每个像元的电压都要进行采集,每次测试采集 F 帧数据,将 F 帧数据的平均值用于统计计算,以提高测试的准确度.以 160×120 像元红外焦平面阵列信号采集为例,采集 100 帧数据时,所采集的数据量就是 $160 \times 120 \times 2 \times 100 = 3840000\text{byte}$.若阵列更大或采集帧数更多,数据量还会更大.为了满足系统高效性的要求,需要提高统计算法的运行速度,对于各个参数的统计采用模块化编程.主要包括数据文件输入、数据格式转换、参数统计计算、统计结果输出、图像处理和显示及数据保存等模块.程序的基本流程如图 3 所示.

3 系统评价

用此参数测试系统来测试参数已知的红外焦平面阵列,如图 4 所示.界面上显示出部分统计结果,包括响应电压值的最大、最小值和平均值,噪声、响应率、探测率及 NETD 的统计值,各个像元的参数值可以导出保存为 xla 格式文件,以方便查看,对比测

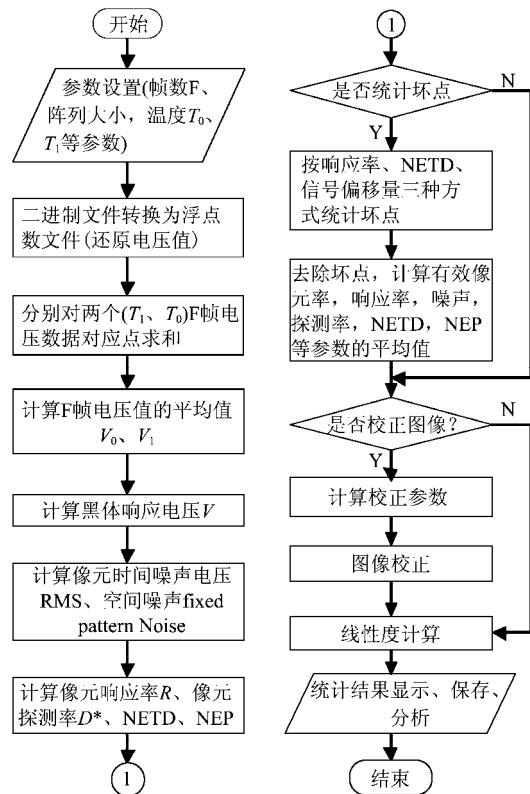


图3 参数测试算法程序流程图
Fig.3 Program flow chart of parameter testing algorithm

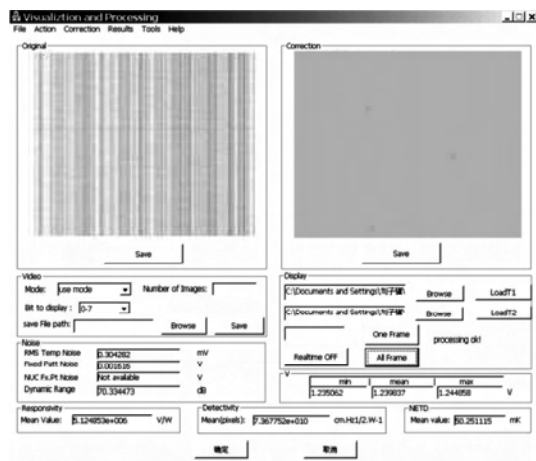


图4 测试软件界面

Fig. 4 Interface of the testing software

试结果说明该测试系统是准确有效的, NETD 参数的误差约为 2.36%, 整个测试过程从数据采集完成到得到参数结果, 时间只需要 15s, 可大大提高测试效率. 同时通过 HGH 的 BIRD210 对该器件进行测试, 测试结果与标称值之间误差约为 4%, 系统精度低于本测试系统, 其主要原因是 BIRD210 仪器构成复杂, 从而增加了系统噪声, 最后累加增加了系统误差.

同时本系统在支持红外图像预处理实际应用中也取得了不错的效果, 该界面集成了数据采集、参数统计和图像校正显示等功能. 红外焦平面阵列参数是进行焦平面阵列性能评估和红外成像图像处理的重要依据. 基于 PCIE 总线和 VC++ 平台开发的红外焦平面阵列性能参数测试系统, 可以适用于各种规模 UFPA 阵列的数据采集和测试分析, 具有通用性和使用灵活、方便等优点, 可完成盲元补偿, 非均匀性校正等图像处理算法中需要的校正参数提取. 为红外焦平面阵列性能评估、红外热像仪的设计以

及根据数据特征开发和优化图像处理算法, 提供了必要的支持.

4 结论

介绍了一套基于 PCIE 总线和 VC++ 平台开发的红外焦平面器件性能参数测试系统, 根据测试结果的对比分析, 该测试系统能够满足高效率、高精度的要求, 并且该测试系统还可以提取红外图像预处理参数, 并实时对红外图像进行预处理和显示, 因此它既可以作为红外探测器参数测试平台使用, 还可作为红外图像处理算法的实验平台.

REFERENCES

- [1] National Standardization Technical Committee. GB/T 13584-92. *Measuring methods for parameters of infrared detectors* [S]. Beijing: China Standard Press. (中华人民共和国国家技术监督局. GB/T 13584-92. 红外探测器参数测试方法. 北京: 中国标准出版社), 1992-07-15.
- [2] National Standardization Technical Committee. GB/T 17444-1998. *The technical norms for measurement and test of characteristic parameters of infrared focal plane arrays* [S]. Beijing: China Standard Press. (中华人民共和国国家技术监督局. GB/T 17444-1998. 红外焦平面阵列特性参数测试技术规范. 北京: 中国标准出版社), 1998-07-18.
- [3] XUE Lian, YUAN Xiang-Hui. IRFPA testing virtual instrument system [J]. *Chinese Journal Of Electron Devices*. (薛联, 袁祥辉. 红外焦平面阵列测试虚拟仪器系统. 电子器件), 2007, **30**(6): 2284—2287.
- [4] Qu Hui-Ming, CHEN Qian, GU Guo-Hua, et al. Test System for Measuring Characteristic Parameters of IRFPA [J]. *Laser & Infrared*. (屈惠明, 陈钱, 顾国华, 等. 红外焦平面阵列性能参数测试系统. 激光与红外), 2006, **36**(10): 950—952.
- [5] QIAN Yun-Sheng, ZHANG Jun-Ju, SUN Lian-Jun, et al. Non-uniformity measurement of uncooled infrared focal plane array [J]. *Infrared and Laser Engineering*. (钱芸生, 张俊举, 孙恋君, 等. 非制冷红外焦平面非均匀性测试技术研究. 红外与激光工程), 2007, **36**(3): 129—132.