文章编号:1001-5078(2018)04-0493-04　　·红外材料与器件·

红外焦平面探测器成像中的重影现象

李　娟,冯　帅,马　静,刘兴新
(华北光电技术研究所,北京 100015)

摘　要:在一款 256×256 中波红外探测器成像中,发现了成像重影,这种重影严重影响图像质量。特别是探测微弱目标时,对目标的识别和捕获会产生严重的干扰。本文介绍了专用红外焦平面点源实验平台,对成像重影的数据特性进行了分析,并通过机理分析和实验比较定位了引起成像重影的原因。成像重影是由于测试电路阻抗不匹配及带宽不够造成的,通过改进测试电路消除了这种重影。

关键词:红外焦平面阵列;成像重影;测试电路
中图分类号:TN214　　**文献标识码:**A　　**DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2018.04.014

Double image in the infrared imaging with focal plane array

LI Juan, FENG Shuai, MA Jing, LIU Xing-xin
(North China Research Institute of Electro-Optics, Beijing 100015, China)

Abstract: There appears the double image phenomenon in a kind of medium - wave 256×256 infrared focal plane array detector imaging, and it seriously affects the image quality. The special experiment platform of IRFPA point source was introduced, and the data characteristics of the double image were analyzed. The causes of the double image were found through mechanism analysis and experiments. The mismatch of impedance and the lack of bandwidth of the test circuit lead to the formation of double image. The double image phenomenon can be eliminated by improving the performance of the test circuit.

Key words: infrared focal plane array; double image; test circuit

1　引　言

红外焦平面阵列(infrared focal plane array, IRFPA)作为热成像系统的核心部件,已被广泛应用于监视、识别、跟踪、制导、火控、夜视、光电对抗、遥感等各个军事领域[1]。它具有抗干扰能力强,作战隐蔽性好、生存能力强等优点[2],能较全面地满足军事应用上的各种需求。

红外焦平面探测器由于制作工艺复杂、技术条件受限,还存在很多遗留问题,需要进一步攻关解决。在对一款 256×256 中波红外焦平面探测器成像系统进行实验时,发现了一种新的成像重影现象,该现象在目标较小(点源目标)时表现为连续的周期性重影,在目标较大(十字叉丝)时表现为连续的拖尾,如图 1 所示。成像重影严重影响图像的质量,特别是探测微弱目标时,对于目标的识别和捕获会产生严重的干扰。由于红外焦平面探测器结构复杂,需要对重影进行深入分析才能找到重影的成因。

作者简介:李　娟(1987-),女,硕士,研究方向为红外焦平面测试评价方法及图像处理。E-mail: lijuanbit@163.com
收稿日期:2017-08-30

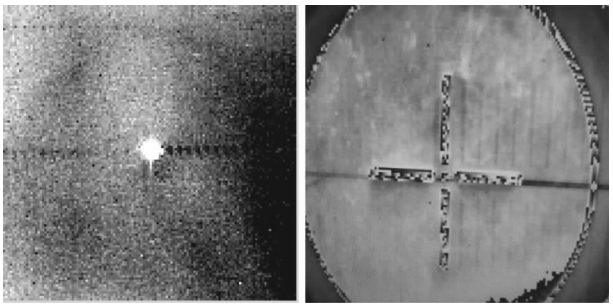


图 1 重影现象图

Fig. 1 The map of Multi - Shadow

2 实验分析

为了进一步分析成像重影的成因并确定重影的真正来源,搭建了专用红外焦平面点源实验平台,如图 2 所示。红外点源黑体发出的点光源,通过红外镜头聚焦于探测器光敏元上,调节红外点源黑体、镜头及探测器之间的距离,可使光斑最小限度地会聚于探测器光敏元上,红外点源黑体光斑能量和直径可调。红外测试系统主要包括驱动控制模块、采集模块以及计算机三个部分。驱动控制模块向探测器提供所需的偏置电压和时序脉冲信号,探测器在这些电压和信号的作用下使能,产生输出信号,并由测试系统中的采集模块进行信号采集。计算机完成对信号的成像及后续的数据处理。示波器用来检测探测器输出的电压波形信号。

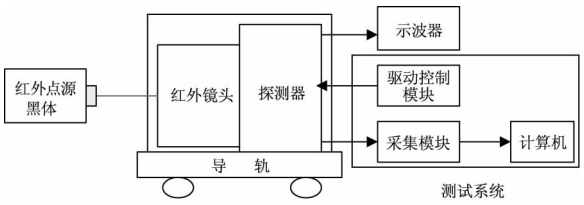
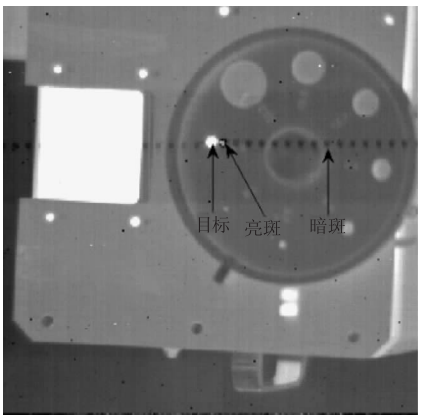


图 2 红外焦平面点源实验平台

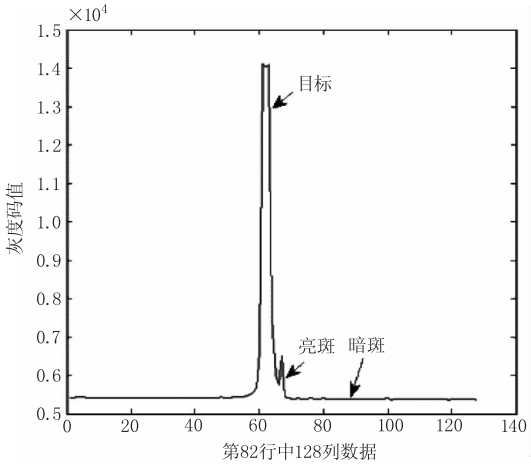
Fig. 2 The IRFPA point source experiment platform

实验中,逐渐升高点源黑体的温度,当黑体到达一定温度(目标接近饱和)后,在目标两侧出现连续周期性的重影,目标左侧重影延续于右侧重影的下一行出现,且重影有逐渐减弱的趋势,如图 3(a)所示。重影与目标相似,并逐次减弱。目标右侧第一个重影表现为亮斑,灰度值高于背景灰度,其余重影表现为暗斑,灰度值低于背景灰度。

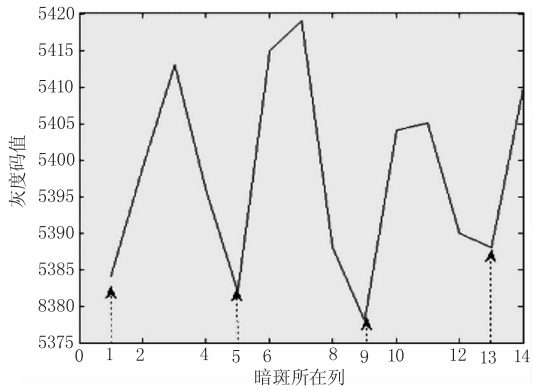
对目标信号所在的整行数据进行分析,可以看出目标、亮斑、暗斑以及背景的灰度值分布,如表 1 所示,其中图像灰度值范围为 0 ~ 16383。目标码值为 14067,接近于饱和码值,第一个重影码值为 6075,比背景码值高出大致 600 个码值,在图像中表现为亮斑。其余周期性重影码值大致在 5376,比背景低 30 个码值,在图像中表现为暗斑。目标信号所在行成像灰度曲线如图 3(b)所示。对图 3(b)中的暗斑重影数据进一步分析,发现重影相隔 4 个像元周期出现,如图 3(c)所示,图中低电平为重影码值。



(a)重影成像图



(b) 目标信号整行



(c)暗斑重影分布图

图 3 重影数据特性图

Fig. 3 The data characteristics of the Multi - Shadow

表 1　目标信号行灰度值

Tab. 1 The gray value of the target signal

名称	图像灰度值
目标	14067
第一个重影(亮斑)	6075
周期性重影(暗斑)	5376
背景	5400

3　机理分析

此款 256 ×256 中波红外探测器组件由混成芯片、微型杜瓦和斯特林制冷机三大部分组成,如图 4 所示。红外焦平面探测器是基于光电转换原理工作的,它的主要功能是把光学系统接收的目标红外辐射(热辐射)进行滤光、积分、存贮、转移、放大等光电转换处理,形成可检测的电压信号,从而实现对目标的高精度探测。

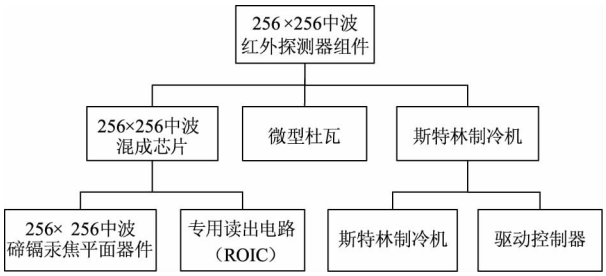


图 4　256 ×256 中波红外探测器组件构成

Fig. 4 The composition of the medium-wave IRFPA with 256 ×256 mode

整个红外成像系统包括外部光学镜头、红外焦平面探测器以及成像测试系统。从光学成像特性可知,光学畸变不可能会出现连续间隔且成双行的重影,故排除光学镜头的影响。红外焦平面探测器及成像测试系统中能够产生成像重影的可能原因有:红外焦平面探测器芯片光敏元的光串扰、电串扰、红外焦平面探测器的读出电路以及成像测试系统。光串扰是由于进入探测器中某一光敏元的光信号产生了反射、斜入射、衍射等效应导致光信号进入了相邻的光敏元而产生的。电串扰则是由于在耗尽区下方产生的电荷,在向上扩散进入耗尽区之前,有一定的几率发生横向扩散进入相邻像素区域,被相邻区域收集[3]。从光串扰和电串扰的机理来分析,二者都只是引起相邻像素产生串扰,其实际成像拖尾图如图 5 所示。从重影的成像特性来看,光串扰和电串扰造成的成像特性不可能呈现图 3 所示周期性的特性,故可排除光串扰和电串扰的影响。

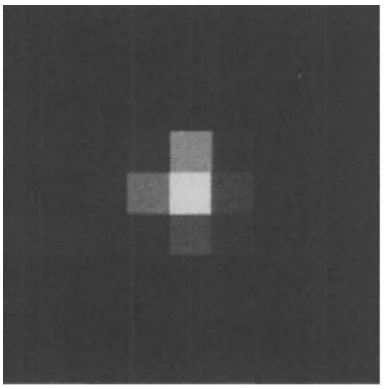


图 5　光串扰和电串扰成像拖尾图

Fig. 5 The map of optical crosstalk and electrical crosstalk

成像测试系统包括测试电路板和成像采集系统。其与探测器连接的示意图如图 6 所示。实验中将探测器直接输出信号和探测器经过测试电路板的输出信号进行采集与比对,结果如图 7 所示。

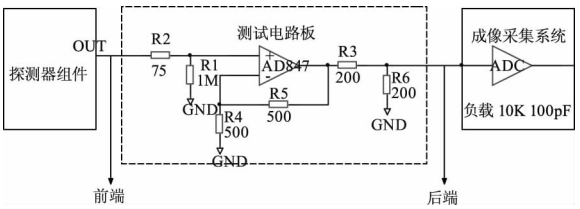


图 6　原成像测试电路与探测器连接图

Fig. 6 The connection of the original test circuit and the detector

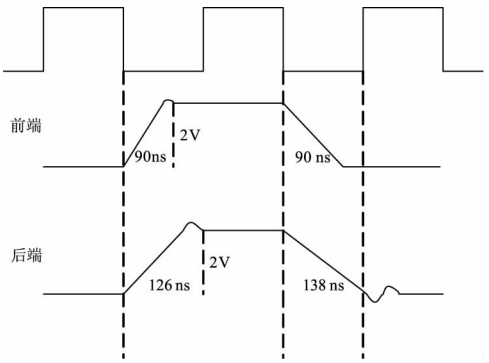


图 7　测试电路板前端和后端输出信号

Fig. 7 The output of the test circuit board front-end and backend

图 7 中,测试电路板前端的信号符合设计输出要求,信号输出正常,因此排除探测器读出电路和整个探测器的原因。而测试电路板后端的输出信号的上升和下降沿被拉长且信号出现了震荡。分析数据产生形式可知,这是由于测试电路板与成像采集系统阻抗不匹配和测试电路板带宽不够造成的。更改测试电路板设计,如图 8 所示。测试电路更改后,再次进行输出信号采集和系统成像,测试电路板后端

输出未出现图 7 所示信号被拉长和震荡的现象,输出信号符合要求,示波器输出如图 9 所示。同时,通过系统进行点源目标成像,目标后未出现重影,如图 10 所示。至此,可确定重影是由于测试电路板造成的。

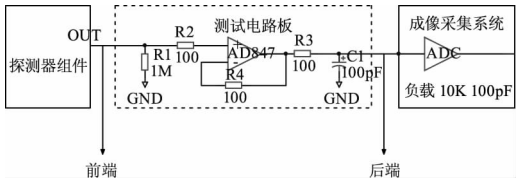


图 8 更改后的测试电路

Fig. 8 The modified test circuit

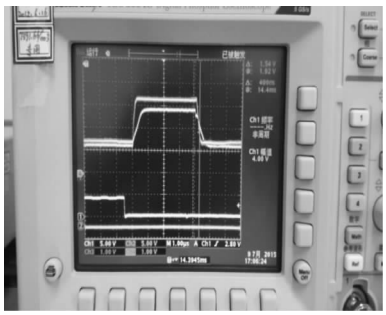


图 9 测试电路板后端输出图

Fig. 9 The output of the test circuit backend

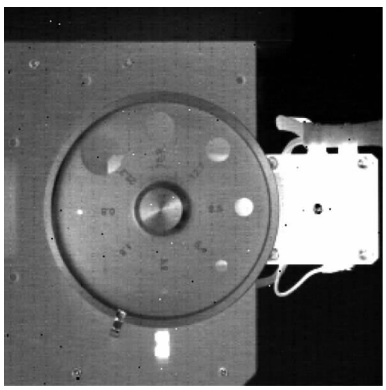


图 10 更改后的测试电路板成像效果

Fig. 10 The image of the modified test circuit

4 结 论

本文以红外热成像系统成像中出现的重影现象为基础,搭建了专用红外焦平面点源实验平台,分析了成像重影的特性,并逐一排查和推导了成像重影的成因,最终验证了重影是由于成像系统中测试电路板与成像采集系统阻抗不匹配以及测试电路板带宽不够造成的。通过更改测试电路,消除了这种重影现象。同时,由于成像重影中出现的重影与目标码值差别较大,也可在后续图像处理算法中提高算法门限来进行消除。

参考文献:

[1] YING Chengping. A study of crosstalk measurement technologies of IRFPA[J]. Metroloyy & Measurement Technology,2006,26(2):24 - 28. (in Chinese)
应承平. 红外焦平面阵列串音测试技术研究[J]. 计测技术,2006,26(2):24 - 28.

[2] LIU Jing, WANG Xia, et al. Crosstalk model based on neighboring elements for small element IRFPA[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2011, 33(9):2231 - 2235. (in Chinese)
刘敬,王霞,等. 一种基于邻域的小像元红外焦平面阵列串音测试方法[J]. 电子信息学报,2011,33(9):2231 - 2235.

[3] SU Lin, HUANG Qiyu. Crosstalk in CMOS image sensor and itssolution[J]. Transducer and Microsystem Technologies,2008,27(8):65 - 68. (in Chinese)
苏林,黄其煜. CMOS 图像传感器中的串扰与常用解决方案[J]. 传感器与微系统,2008,27(8):65 - 68.

[4] ZHANG Zhen, ZHOU Menglian, et al. Entirely saturated unilateral smear of laser spot in CCD[J]. High Power Laser and Partical Beams, 2013, 25(6): 1351 - 1353. (in Chinese)
张震,周孟莲,等. CCD 中激光光斑的全饱和单侧拖尾现象[J]. 强激光与粒子束,2013,25(6):1351 - 1353.