

文章编号: 0253-2239(2010)s100418

# 光点偏移法测量红外焦平面阵列串音

应承平<sup>1,2</sup> 刘红元<sup>1</sup> 史学舜<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 中国电子科技集团公司第四十一研究所, 山东 青岛 266555)  
<sup>2</sup> 电子测试技术重点实验室, 山东 青岛 266555)

**摘要** 受衍射效应的限制, 聚焦红外光斑的尺寸往往大于焦平面阵列像素尺寸, 串音测量遇到了极大困难。介绍了红外焦平面阵列串音测量装置。研究了红外光斑尺寸的估算方法, 在此基础上提出了“光点偏移”测量串音的新方法。最后还给出了一种确定偏移量的方法。选定焦平面阵列的某一像素, 让聚焦小光点沿行(或列)的方向扫过该像素的中心, 记录扫描过程中像素的响应输出信号及对应的光点位置坐标, 估算出光斑尺寸。将聚焦小光点对准某像素的中心, 向左作适当的偏移, 即可测量光照像素对右侧相邻像素的串音。做类似偏移可测出对其它相邻像素的串音。“光点偏移法”可较好地解决焦平面阵列像素尺寸小于光斑尺寸时的串音测量难题, 其关键是选择合适的偏移量。

**关键词** 红外焦平面阵列; 串音测量; 光点偏移法; 光斑尺寸估算

**中图分类号** TN215 **文献标识码** A **doi:** 10.3788/AOS201030.s100418

## Measuring Crosstalk of IRFPA Using Spot Shifting Method

Ying Chengping<sup>1,2</sup> Liu Hongyuan<sup>1</sup> Shi Xueshun<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> The 41st Institute of China Electronic Technology Group Corporation, Qingdao, Shandong 266555, China)  
(<sup>2</sup> Science and Technology on Electronic Test and Measurement Laboratory, Qingdao, Shandong 266555, China)

**Abstract** Limited by diffraction effect, the size of focused IR spot is usually larger than the pixel pitch of FPAs, hence the crosstalk testing is quite difficult. A crosstalk experimental setup of infrared focal plane array (IRFPA) is introduced briefly. Estimating methods of IR spot size are studied. Furthermore a new crosstalk measuring method called “spot shifting method” is presented. Finally, a determining method of spot shifting distance is given. The focused spot is controlled to scan over the center of an interested pixel along the row (or column) of the FPA. At the same time the output signal of the interested pixel and the spot position are recorded. With these, the spot size is estimated. By centering the focused spot on the interested pixel then shifting the spot to left for a proper distance, the crosstalk of the irradiated pixel to right adjacent pixel is measured. After a similar shifting, crosstalk to other adjacent pixel is also measured. It is vital to select a proper shifting distance. With this spot shifting method, crosstalk is measured even when the pixel size of FPA is smaller than the spot size.

**Key words** infrared focal plane array; crosstalk measurement; spot shifting method; spot size estimating

**OCIS codes** 040.1240; 350.4800; 120.4800; 120.5800

## 1 引 言

红外焦平面阵列(IRFPA)是新一代的红外探测器<sup>[1,2]</sup>,是现代红外成像系统的核心部件,已经被广泛应用在监视、识别、跟踪、制导、火控、夜视、光电对抗、遥感等各个军事领域。与传统的单元红外探测器相比,红外焦平面阵列具有灵敏度高、视场大、

空间分辨率高、探测识别距离远等优点,能比较全面地满足军事应用上的各种需求。

串音是红外焦平面阵列的一个非常重要的参数,美国军方将其列为红外焦平面阵列性能评价时的必测参数。在焦平面阵列成像系统中,串音会使系统的调制传递函数(MTF)降低,从而导致系统整

收稿日期: 2010-08-23; 收到修改稿日期: 2010-10-14

作者简介: 应承平(1973—),男,硕士,高级工程师,主要从事光电探测器参数测试、光电计量标准等方面的研究。

E-mail: eiqd@ei41.com

体性能的下降<sup>[3]</sup>。

目前红外焦平面阵列正在向着阵列规模越来越大、像素尺寸越来越小的方向发展<sup>[4]</sup>。受衍射效应的限制,红外聚焦光学系统得到的红外光斑尺寸不可能很小,尤其是在长波红外波段<sup>[5,6]</sup>。红外焦平面阵列像素的尺寸往往比红外光斑尺寸还小,这时串音测量遇到了困难。针对这种情况,本文提出了相应的解决方法。

## 2 串音定义及测量方法

在红外焦平面阵列中,由于像素对相邻像素的串扰,使相邻像素引起的信号( $V_{NB}$ )与本像素信号( $V_{LC}$ )之百分比,称为该像素对相邻像素的串音<sup>[7]</sup>,用  $f_{CT}$  表示。

$$f_{CT} = \frac{V_{NB}}{V_{LC}} \times 100\%,$$

串音测量时,利用聚焦光学系统得到直径非常小的小光点<sup>[8~10]</sup>,照在被测焦平面阵列某一像素的中心(如图1所示),测出小光点照射像素的响应信号以及该像素相邻上下左右四个像素的响应信号,按定义计算出四个串音值,求平均后作为结果。然后选

取另外的光照像素,将不同光照像素处测得的串音值取平均,作为被测焦平面阵列串音的总体评价。测量时应避开那些无效像素。

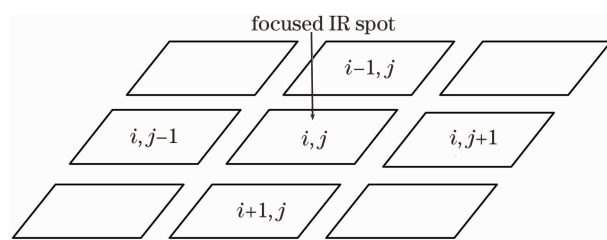


图1 串音测量示意图

Fig. 1 Schematic of crosstalk measurement

## 3 串音测量装置

图2是典型的红外焦平面阵列串音测量装置原理框图。按空间分布,整套装置可分为控制台、数字机柜、模拟机柜、采集系统、光学头等几大部分,具体由红外光源、快门、光阑孔、小光点聚焦光学系统、被测焦平面阵列、三维精密位移工件台、可编程直流偏置源、图形发生器、可编程时钟驱动、数据采集系统、主控计算机、分控机及相应测控软件等组成<sup>[5]</sup>。

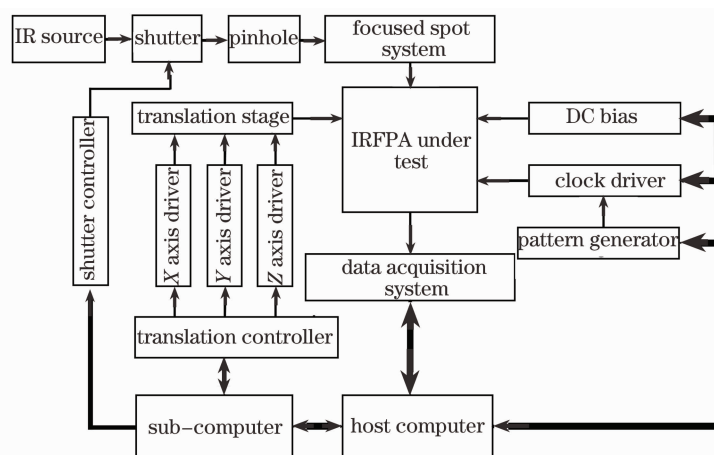


图2 红外焦平面阵列串音测量装置原理框图

Fig. 2 Schematic diagram of the crosstalk testing setup for IRFPA

装置工作原理如下,红外光源发出的红外辐射通过光阑孔后进入聚焦光学系统,得到直径很小的红外小光点,照到被测焦平面阵列上。被测焦平面阵列通过专用夹具固定于三维精密位移工件台上。给被测焦平面阵列施加合适的直流偏压和时钟驱动脉冲,使其工作于最佳工作状态,移动工件台,将被测焦平面阵列的像素平面调整到聚焦光学系统的焦面上,并将红外小光点对准某个像素的中心,数据采集系统采集当前光点照射像素及其周围像素的响应

信号,最后算出串音。光阑孔之前的快门用于背景信号的测量。整个测量过程由计算机自动控制,测量结果可打印输出。

## 4 红外光斑尺寸估算

由于红外小光点肉眼不可见,要想直接测量其光斑尺寸有一定的困难。通过实验摸索,光斑尺寸可采用“像素光点扫描法”进行估算,具体分为以下两种方法。

第一种方法,如图3(a)所示,选定焦平面阵列的某一行,将红外小光点定位在该行中心,并沿该行中心线方向上扫描。选取光点所在行上的某一像素为参考像素,采集光点扫过该像素时它的响应输出,

并记录下对应的光点位置坐标,求出扫描过程中该像素响应电压上升为峰值响应的50%和下降为峰值响应的50%位置的坐标值,两者之差即为光斑尺寸的估算值。

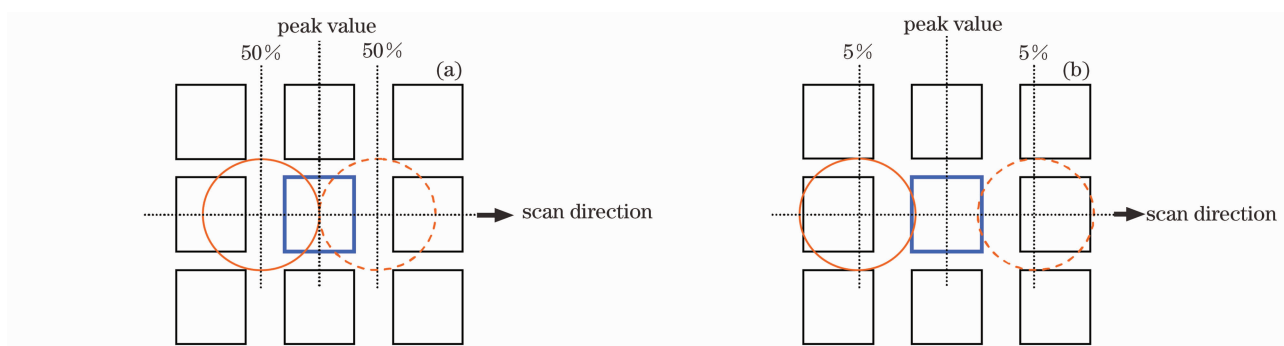


图3 光斑尺寸估算示意图

Fig. 3 Schematic of spot size estimating

这种方法适用于光斑内辐射能量分布比较均匀的情况。对于红外系统而言,衍射效应是很明显的。点源经光学系统所成的衍射像,其辐照度分布是不均匀的(如图4所示),艾里斑内分布的能量占通过光学系统总能量的84%,其余16%光能分布在周围的各级亮环中。因此用上面的方法估算光斑尺寸,所得的结果往往偏小。

的某一行,将红外小光点定位在该行中心,并沿该行中心线方向上扫描。选取光点所在行上的某一像素为参考像素,采集光点扫过该像素前后它的响应输出,并记录下对应的光点位置坐标,求出扫描过程中该像素响应上升为峰值响应的5%和下降为峰值响应的5%位置的坐标值,两者之差再减去像素横向尺寸即为光斑尺寸的估算值。

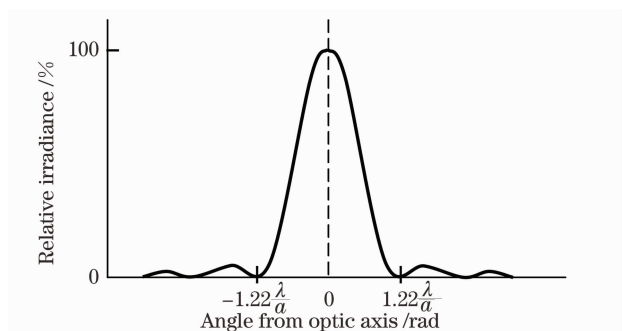


图4 衍射像中的辐射能分布

Fig. 4 Irradiance distribution of diffraction spot

第二种方法,如图3(b)所示,选定焦平面阵列

选用像素尺寸为  $45 \mu\text{m}$ 、波长响应范围为  $8 \sim 14 \mu\text{m}$  的红外焦平面阵列,让红外小光点以  $1 \mu\text{m}$  为步进间距沿某一像素中心分别作水平和垂直扫描,采集该像素的输出信号,在扫描曲线上求出像素响应上升为峰值与左侧底部差值的5%的位置,以及像素响应下降为峰值与右侧底部差值的5%的位置,这两个位置之间的距离再减去像素尺寸 ( $45 \mu\text{m}$ ) 即为光斑尺寸的估算值,水平和垂直方向分别为  $63 \mu\text{m}$  和  $78 \mu\text{m}$  (如图5所示)。

需要注意的是,所说的红外光斑尺寸是针对被测红外焦平面阵列的响应波段而言的,器件的工作波段不同,采用上述方法估算得到的光斑尺寸也不

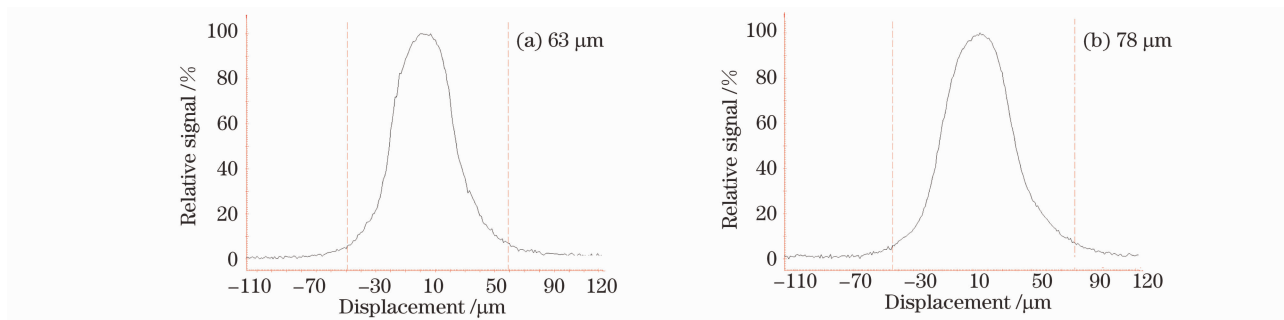


图5 (a)水平和(b)垂直方向光斑尺寸

Fig. 5 Spot size of (a) horizontal direction and (b) vertical direction

同。光斑中超出被测件响应波段的光谱成分对串音测量的影响可以忽略。

## 5 光点偏移法测量串音

红外小光点的光斑尺寸取决于几何光斑和衍射效应的共同影响。对于聚焦光学系统而言,选用较小的光阑孔径可以缩小几何光斑,得到较小的红外小光点。但如果光阑孔径选得太小,则会造成照射到焦平面阵列像素上的能量不够,导致响应信号太小而无法进行串音测量。在红外波段,衍射效应是很明显的,而且波长越长衍射效应越显著。随着材料、工艺水平的不断提高,不少红外焦平面阵列的像素尺寸已经小于  $30\ \mu\text{m}$ 。在长波红外波段,现有技术手段得到的红外小光点直径往往大于被测焦平面阵列像素的尺寸。在这种情况下,采用传统的串音测量方法,显然已经不能满足要求。

针对这种情况,提出光点偏移法进行串音测量,可以较好地解决红外焦平面阵列像素尺寸很小时的

串音测量难题。具体做法是,测量之前首先利用像素光点扫描法估算红外光斑的大小,然后根据光斑尺寸和焦平面阵列像素尺寸确定合适的偏移量,采用光点偏移法测量得到被测红外焦平面阵列的串音。光点偏移法的思路是先进行光点聚焦和对中,然后根据光斑与像素尺寸的大小关系将光点沿阵列的行或列方向偏移一段合适的距离,分四步测量光照像素对周围像素的串音。

如图 6(a)所示,光点经过调焦与对中后,沿某行中心线向左偏移,将其定位在当前像素几乎整个照射而右侧像素恰好不被照射的位置,采集当前像素及其右侧像素的响应输出,从而得到当前像素对右侧像素的串音。与此相类似,测量当前像素对左侧像素的串音时,让光点沿行中心线往右偏移;测量当前像素对上面像素的串音时,让光点沿列中心线往下偏移;测量当前像素对下面像素的串音时,让光点沿列中心线往上偏移。这样经过四次偏移、定位、采集后,就可计算得到当前像素对周围像素的串音。

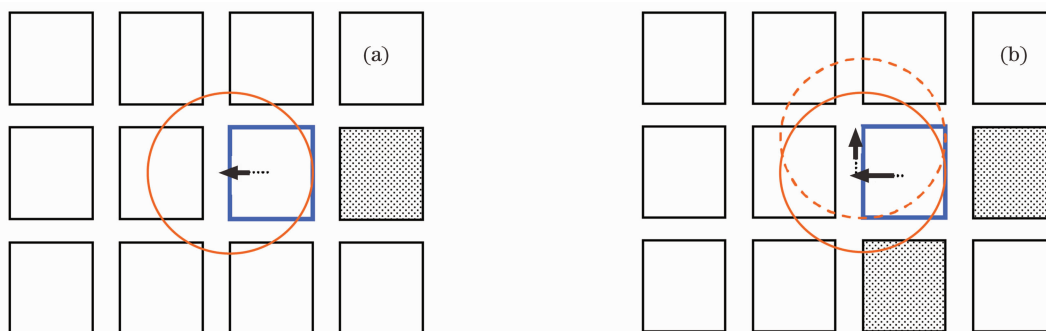


图 6 “光点偏移法”分步测量串音示意图。(a) 左移得到对右侧像素的串音,  
(b) 先左移再上移得到对周围两个像素的串音

Fig. 6 Schematic of crosstalk measurement using “spot shift method”.

(a) shift left for right crosstalk, (b) shift left then up for both right and bottom crosstalk

如果红外光点尺寸相对于像素间距而言不是特别的大,为加快测量过程,可以让光点先沿行中心线往左偏移,然后沿列方向往上偏移,最终定位在当前像素大部分被照射,而其右侧和下边的像素恰好不被照射的位置,如图 6(b)所示,这样一次定位就可以测量周围两个像素的串音。再来一次类似的定位,就可完成当前像素对周围像素串音的测量。

采用“光点偏移法”测量串音的关键是要控制好偏移量,偏移得太多或太少都不合适。通过实验找到了一种偏移量的确定方法。具体操作为,将红外焦平面阵列的行和列的方向调整到与工件台的两个扫描移动轴方向相一致,选取某个像素为红外小光点的照射像素,进行调焦和对中,然后让红外小光点

从左到右扫过该像素的中心,采集扫描过程中该像素及左右两侧相邻像素的输出信号。扫描距离可选为像素间距的  $5\sim 6$  倍,扫描步进值可选择  $1\ \mu\text{m}$ 。计算左右相邻像素响应信号与中心像素响应信号的比值,进行平滑处理后,找到这些比值为最小值时的位置,该位置离中心像素信号最大位置的距离即为水平方向上的合适偏移量。垂直方向上的合适偏移量也可通过类似的方法进行确定,只需让红外小光点从上到下扫过某一像素的中心,采集扫描过程中该像素及上下两侧相邻像素的输出信号,计算上下相邻像素响应信号与中心像素响应信号的比值,进行曲线拟合处理后,找到这些比值为最小值时的位置,该位置离中心像素信号最大位置的距离即为垂

直方向上的合适偏移量。表 1 为采用上述方法得到的最佳偏移量。从实验结果看,偏移量适合选为光斑尺寸与像素尺寸差值的一半再加上  $5\ \mu\text{m}$ 。

表 1 偏移量选取结果

Table 1 Selected result of shifting distance

FPA pitch / $\mu\text{m}$	Spot size / $\mu\text{m}$	Shifting distance / $\mu\text{m}$ (approximately)
45	63	14
45	78	20

## 6 结 论

串音是评价红外焦平面阵列整体性能的一个非常重要的参数,也是生产和使用单位都非常关心的一个参数。随着红外焦平面阵列的发展,像素的尺寸越来越小,而红外聚焦小光点由于受衍射极限的限制,光斑尺寸很可能大于像素的尺寸。研究了红外光斑尺寸的估算方法,提出了“光点偏移法”测量串音的新方法,可以较好地解决焦平面阵列像素尺寸很小时的串音测量难题。

### 参 考 文 献

- 1 A. Rogalski, K. Chrzanowski. Infrared devices and techniques [J]. *Opto-Electronics Review*, 2002, **10**(2): 111~136
- 2 J. Ziegler, M. Bruder, M. Finck *et al.*. Advanced sensor technologies for high performance infrared detectors[J]. *Infrared Physics & Technology*, 2002, **43**(3~5): 239~243
- 3 Khoa. V. Dang, Christopher L. Kauffman, Zenon I. Derzko. Infrared focal-plane array crosstalk measurement [C]. *SPIE*, 1992, **1686**: 125~135
- 4 A. Rogalski. Infrared detectors for the future[J]. *Acta Physica Polonica A*, 2009, **116**(3): 389~406
- 5 Ying Chengping. A study of crosstalk measurement technologies of IRFPA [J]. *Metrology & Measurement Technology*, 2006, **26**(2): 24~28  
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
- 6 Zhang Zhiyong, Xiang Daocai, Zhu Jinlong *et al.*. A scanning testing system of IR micron-spot [J]. *Infrared Technology*, 1997, **18**(5): 21~23  
张志勇, 项道才, 祝金龙 等. 红外小光点扫描测试系统[J]. 红外技术, 1997, **18**(5): 21~23
- 7 National Standardization Technical Committee. The technical norms for measurement and test of characteristic parameters of infrared focal plane arrays. GB/T17444-1998[S]. Beijing: China Standard Press, 1998: 3~11  
国家标准化技术委员会. 红外焦平面阵列特性参数测试技术规范. GB/T17444~1998[S]. 北京: 中国标准出版社, 1998: 3~11
- 8 Sun Yinghui, Zhang Bo, Yu Meifang *et al.* Crosstalk of HgCdTe LWIR n-on-p diode arrays[J]. *J. Semiconductors*, 2009, **30**(9): 094007
- 9 L. Karp, C. A. Musca, J. M. Dell *et al.*. Characterization of crosstalk in HgCdTe n-on-p photovoltaic infrared arrays [C]. *SPIE*, 2004, **5274**: 183~193
- 10 C. A. Musca, J. M. Dell, L. Faraone, *et al.*. Analysis of crosstalk in HgCdTe p-on-n heterojunction photovoltaic infrared sensing arrays[J]. *J. Electron Mater*, 1999, **28**(6): 617~623