

文章编号: 1001-5078 (2006) 03-0161-04

红外焦平面阵列微扫描成像方案比较

屈惠明, 陈 钱

(南京理工大学电子工程与光电技术学院, 江苏 南京 210094)

摘 要: 文章介绍了微扫描技术及其给红外焦平面阵列成像带来的好处, 分析了各种微扫描红外焦平面阵列成像方案的特点, 比较了各种微扫描成像方案的优势及不足, 指出了红外焦平面阵列微扫描成像工程化的可行方案和研究方向。

关键词: 红外成像; 微扫描; 焦平面阵列; 混淆

中图分类号: TN215 **文献标识码:** A

Comparison of Microscanning Schemes in Infrared Focal Plane Array Imaging

QU Hui-ming, CHEN Qian

(School of Electronic Engineering and Optoelectronics Technology, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: The microscanning technique is introduced in this paper. The benefits of microscanning technique in infrared focal plane array imaging is discussed. Different microscanning schemes and their property are described in details. Their advantages and drawbacks of each scheme are compared. The possible schemes for engineering application are presented. The research direction in microscanning infrared focal plane array imaging is pointed out.

Key words: infrared imaging; microscan; focal plane arrays; aliasings

1 引 言

微扫描是随着红外焦平面阵列器件的出现而引入的新技术, 是一种提高现有器件分辨率的方法, 是使焦平面阵列上的每个探测器发挥最佳性能的一种途径。微扫描概念的提出是与现有系统的缺陷和对系统的要求不断提高密不可分的; 由于制作工艺及量子效率等问题, 目前制作高密度小像素尺寸的红外焦平面器件还有一定困难, 且成本较高。红外焦平面阵列像素尺寸不能做到很小而且阵列的填充因子达不到 100%, 因此, 通常红外焦平面阵列空间采样频率不能达到系统尼奎斯特频率的二倍。红外图

像因欠采样而引起的信号混淆, 因低分辨率传感点扩散而造成的高频部分丢失, 使红外图像模糊, 不能以探测器的真正极限分辨率再现图像细节, 成像系统产生的图像并不是目标场景的完美再现。这些影响主要是信号混淆; 混淆是在对光学系统产生的信号进行采样时, 有限尺寸的单元探测器与单元探测器之间存在的间距产生的。原则上讲, 满足采样定理条件的采样得到的数据能够准确地再现场景图

作者简介: 屈惠明 (1967 -), 男, 南京理工大学光电学院博士生, 目前从事红外成像和图像处理研究, 已发表论文十余篇。

收稿日期: 2005-08-30

像。但是实际上,采样定理需要的条件并不完全能满足,就会出现混淆。减少混淆的一种方法就是采用填充因子为 100% 的探测器阵列。然而,探测器阵列的结构组织又决定了填充因子达不到 100%。另一种减少混淆的方法就是增加探测器阵列的采样频率,增加探测器阵列中探测器的数目,但是从结构构造的观点来看这种方法不易实现;人们自然就要寻求不增加探测器的数目而提高采样频率的方法,这就促成了微扫描技术的产生。

微扫描技术是以比帧频更快的速度将红外焦平面阵列与图像场景相对移动亚像素的距离,分别获取多幅图像,然后从多幅相互之间有微小位移的时间序列图像实时重构一幅包含更多信息内容的图像。

2 微扫描红外成像的优势

红外焦平面阵列器件特别是填充因子小于 100% 焦平面阵列,由于其固有的欠采样图像场景,他们将不能以探测器的真正极限分辨率再现图像细节;而微扫描技术能克服这一缺点,它以单元探测器扫描成像系统几乎同样的方式增加成像总像素数。Watson 等人证明了用微扫描技术可以减小混淆效应和伪响应^[1];他们发现了混淆能量与系统参数的关系,并且微扫描可以减小因欠采样产生的莫尔图案。Fortin 等人通过过采样信号傅里叶变换的计算得到的调制探测器传递函数 (MDTF) 曲线,理论上证明了用微扫描可以提高红外焦平面阵列成像的分辨率^[2]。Wiltse 等人提出了微扫描稳定 (MSS) 的概念^[3],将平衡架的位置误差信号通过微扫描驱动放大器叠加到微扫描驱动波形上,以此来抵消成像仪的抖动;他们用试验证明了微扫描稳定的效果。与电子稳定技术相比,微扫描稳定不仅可以稳定帧间图像抖动还可以稳定帧内图像抖动。同时,抖动的减小有利于改善调制传递函数 (MTF) 和降低最小可分辨温差 (MRTD),从而降低忙碌环境中操作员的疲劳。由于微扫描要在一帧时间内完成多幅图像的采样,每幅图像的积分时间与直接凝视成像要少得多,因此,微扫描似乎要在提高分辨率和充分发挥探测器的灵敏度上进行折衷;然而这只是对低灵敏

度的探测器阵列而言,微扫描会导致灵敏度的损失;对于高灵敏度的红外焦平面阵列来说,探测器并不需要在整个帧周期内积分,因此微扫描的施行并不会损失任何探测器灵敏度,反而能充分利用帧周期内不用积分的时间来进行微扫描。

总之,微扫描给红外焦平面阵列成像系统带来主要好处有:

- (1) 与同样红外焦平面阵列的直接凝视成像相比,分辨率提高了;
- (2) 消除直接凝视阵列取样的不足和混淆;
- (3) 改善红外焦平面阵列成像稳定性;
- (4) 减少操作员的疲劳。

微扫描红外焦平面阵列成像众多的好处激发了研究人员的热情,近年来,国外进行了大量的红外焦平面阵列微扫描成像理论和工程应用的研究,并且提出了各种各样的微扫描方案,下面分别就这些方案进行分析和比较。

3 微扫描红外成像方案比较

根据位移产生的途径不同,微扫描技术可分为可控制的微扫描和非控制的微扫描。可控制的微扫描可采用分束棱镜或控制光学元件相对焦平面器件微位移实现相邻图像在红外焦平面阵列上的亚像素 (小于一个像素) 移动;也可采用光学系统相对焦平面阵列产生微位移的方法,如透镜相对红外焦平面阵列作两方向的移动或可控制的振动反射镜产生取样图像。这种方法使用了运动部件,加工、控制有一定难度。因此,人们又利用非控制的微扫描来产生一系列相互之间有微小位移的图像,这种位移是依靠红外成像系统的载体相对于目标的运动或随机振动所产生的。非控制的微扫描技术主要有两个步骤,即图像定位和图像重建。图像定位就是相对于一幅参考图像估计出图像之间的微位移大小,有多种算法用于图像定位。基于灰度梯度的微位移估计算法比较简单实用,但这种算法只能估计出小于一个像素的位移,对于大于一个像素的位移可对此算法作叠代修正或采取其它的算法;而且,目标相对于红外成像系统不仅仅有水平、垂直方向的位移,还可能

重建算法是十分复杂的,实时实现较困难。

从实现微扫描方式来分,又有机械微扫描和非机械微扫描(既电光调节器方法的微扫描)。非机械微扫描技术目前提出的主要有基于液晶的双折射及其电光效应的^[4],理论上可以简化机械微扫描的复杂性和实现高精度控制,与电路系统的兼容性很好;但是,目前液晶的响应速度仍达不到微扫描成像的要求;另外,液晶盒对红外信号的衰减也是不容忽视的。而且根据理论计算,以普通的液晶盒的厚度产生的图像位移十分有限,而液晶盒的厚度增加响应速度会更慢,因为液晶电光效应的响应速度与盒厚的平方成正比;因此,用液晶来实现均步长的微扫描难以在工程上实现;当然,用液晶与亚微扫描插值技术相结合来实现红外焦平面阵列非机械微扫描的方案也是可行的,这就主要需要研究超分辨率重建的问题。

为了实现机械微扫描功能,需要某种运动部件来操纵图像在检测器阵列上的微位移。对微扫描装置主要性能要求是图像从一个位置到另一个位置移动所需要的时间尽可能短和定位精度要高;近年来提出了许多可能的解决方案;最直接的方法当然是移动红外焦平面阵列本身^[2],然而这绝不是一个好的解决方案;因为首先焦平面阵列有许多信号引脚,频繁的快速移动显然是不合适的,另外制冷型红外焦平面阵列常常封装在低真空杜瓦瓶内,在杜瓦瓶内安装运动的机械部件无疑将是十分复杂的;而连同杜瓦瓶本身一起移动这更不是一个好方案,因为杜瓦瓶是系统中最重的部件,这将严重限制微扫描机构的性能;

第二种机械微扫描方案是通过倾斜置于成像镜头前的摆镜^[5];将入射系统的光线由固定在二垂直轴上的摆镜反射,再通过成像透镜聚焦在焦平面上,通过摆镜的倾斜来实现焦平面上图像的二维扫描。这一方案不会产生像差但要求可折叠的光路,这在某些情况下是非常麻烦的;而且这种方案不能发挥微扫描让成像系统小型化的优势;在二维微扫描时,该方案会引入不可忽略的图像相对焦平面阵列的旋转,而且很难进行补偿;

第三种机械微扫描方案是用棱镜对置于成像镜头前^[6]。通过棱镜对之间的距离变化来实现图像相对焦平面的微扫描;这种方案容易实现,也可实现二维扫描;但他会引入与棱镜之间相对位置有关的像差,这一像差很难纠正,这对于波长范围很宽的红外成像系统是很不合适的;

第四种机械微扫描方案是基于焦平面阵列前的聚焦透镜的运动来进行微扫描的^[7]。图1所示是基于透镜的微扫描原理示意图;来自无穷远的平行光束通过透镜L聚焦于焦平面上点I,当透镜L垂直于光轴向下位移一个很小的距离d时,这时同样的平行光束通过透镜L聚焦于焦平面上点I';由几何学可算出I与I'之间的距离等于透镜L的移动距离而与其它因素无关。该方案具有前面几种方案的许多优点,也可将透镜安装在一个二维运动的平台实现二维微扫描,而且由于透镜的离轴位移量很小产生的像差很小。该方案的主要问题是扫描透镜和二轴微扫描位移台的重量可能会对系统性能产生影响;为此,光学设计需要优化,设计重量轻的单片透镜作为微扫描透镜,在扫描透镜前是望远镜,由望远镜决定整个光学系统的视场和纠正微扫描透镜的像差;该方案另一个问题是二轴微扫描位移台的设计,不仅是二轴微扫描位移台的机械性能是系统设计的瓶颈,而且驱动微扫描位移台的放大器和微扫描位移台的动作控制部分设计都是十分关键的;

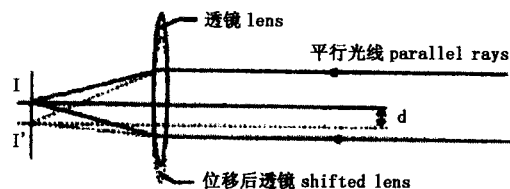


图1 基于透镜的微扫描

Fig 1 microscan base on lens shift

第五种机械微扫描方案是基于焦平面阵列前的平板折射镜的旋转来实现微扫描的^[8]。如图2所示,平板折射镜相对于光轴的垂直平面偏离一个角度;这种方案设计简洁,成像均匀性不随微扫描位置变化;但是机械上实现需要大的支撑轴架,而且扫描顺序固定不能调整;

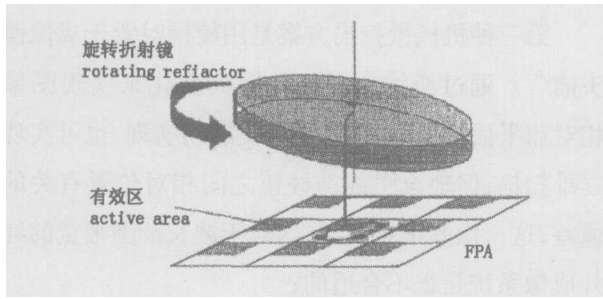


图 2 焦平面阵列前旋转折射镜进行微扫描

Fig 2 microscan base on rotating refractor

第六种机械微扫描方案也是基于焦平面阵列前的平板折射镜来实现微扫描的^[9]。如图 3 所示,它是将四块相同的平行平板折射镜均匀地安置在一个大圆盘上,每块平板折射镜相对于光轴的垂直面倾斜一定角度,四个平行平板折射镜使光路分别向四个方向偏离二分之一像素节距;随着大圆盘的匀速转动四个平行平板折射镜分别到达红外焦平面阵列前完成微扫描各帧图像的积分。这种方案机械上较容易实现,但是大圆盘面积较大,旋转的稳定性、四个平行平板折射镜的均匀一致性等将是设计中要解决的重点问题。

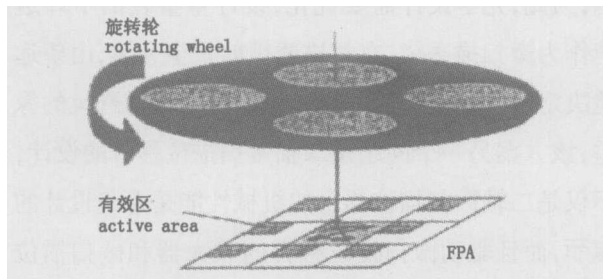


图 3 焦平面阵列前带四个平板的旋转轮进行微扫描

Fig 3 microscan base on rotating wheel

各种红外焦平面阵列微扫描方案中又可分为连续微扫描和离散微扫描方式(或分步凝视微扫描)。连续微扫描是在焦平面阵列上的图像移动过程中同时进行积分,上述的方案五、六是属于这种微扫描方式。这种微扫描方式在机械上实现比较容易,控制也较简单,但是它会造造成像调制传递函数 MTF 损失;离散微扫描是分步移动,在各扫描点停止移动进行积分,这样可以消除 MTF 损失和潜在的伪像产生,但机械上实现难度加大,定位精度和稳定性要求高,控制也很复杂。上述的方案二、三和四是属于这种微扫描方式。

4 结 论

综上所述,理论证明和试验验证了微扫描技术无疑可以改善红外焦平面阵列成像系统的性能。微扫描红外焦平面阵列成像与非微扫描的直接凝视阵列成像相比优势是明显的,如果选择高灵敏度的红外焦平面阵列,就可以避免高速微扫描对成像灵敏度的负面影响。但是在红外焦平面阵列微扫描成像的工程化研究中,优化的微扫描方案的选择和创新方案的提出是能否充分发挥微扫描红外焦平面阵列微扫描成像优势的关键。简化的硬件和能够实时实现的软件算法是红外焦平面阵列微扫描成像工程化研究的方向。

参考文献:

- [1] E Watson, R Muse, F Blomme Aliasing and blurring in microscanned imagery [A]. Proc SPIE, 1992, 1689: 242 - 250.
- [2] J Fortin, P Chevrette, R Plante Evaluation of the microscanning process [A]. SPIE, 1994, 2269: 271 - 279.
- [3] John M Wiltse, John L Miller Imagery improvements in staring infrared imagers by employing subpixel microscan [J]. Optical Engineering, 2005, 44 (5): 056401 - 1 - 056401 - 9.
- [4] K J Bamard, E A Watson, P F McManamon Nonmechanical microscanning using optical space-fed phased arrays [A]. Proceedings of SPIE, 1994, 7 (2224): 168 - 179.
- [5] F P Blommel, P N J Dennis, Bradley, et al the Effects of microscan operation on staring infrared sensor imagery [A]. Proceedings of SPIE, 1991, 12 (1540): 653 - 664.
- [6] K Awanoto, Y Ito, H Ishizaki, et al Resolution improvement for HgCdTe IRCCD [A]. SPIE, 1992, 1685: 213 - 220.
- [7] Jean Fortin, Paul Chevrette Realization of a fast microscanning device for infrared focal plane arrays [A]. SPIE, 1996, 2743: 185 - 196.
- [8] George R Armstrong, Paul D Packard CMT and PtSi FLIR Systems for EUCLID RTP 8 1 [A]. SPIE, 1996, 2774: 257 - 266.
- [9] W Cabanski, R Breiter, K-H Mauk Miniaturized High Performance Staring Thermal Imaging System [A]. Proceedings of SPIE, 2000, 4028: 208 - 219.