

文章编号:1001-5078(2007)07-0644-03

多次采样技术在红外推扫系统中的分析与应用

蔡海蛟^{1,2}, 危峻¹, 徐蒙^{1,2}

(1. 中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要:介绍了影响红外推扫系统噪声等效温差(NETD)的参数,证明了多次采样技术可以显著降低系统 NETD,提出了在驻留时间一定的情况下选择积分时间和采样次数的原则。通过短波红外相机实验表明多次采样技术可以显著提高图像质量。

关键词:红外技术;NETD;多次采样;积分时间

中图分类号:TN219

文献标识码:A

Analysis and Application of Multiple Sampling Technology in Infrared Push-broom System

CAI Hai-Jiao^{1,2}, WEI Jun¹, XU Meng^{1,2}

(1. Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China;

2. Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: In infrared, particularly long-wave infrared remote sensing system, the NETD is one of the most important performance parameters. In the infrared push-broom systems of satellites, the multiple sampling technology is widely used to improve the performance of systems. This article introduces the parameters that influence the NETD of infrared push-broom systems, proves that the multiple sampling technology can remarkably reduce the NETD, and gives a principle of choosing integrating time and sampling times when the resident time of system is fixed. By experiments of a short-wave infrared camera, it is proved that the multiple sampling technology can remarkably improve the image quality.

Key words: infrared; NETD; multiple sampling; integrating time

1 引言

遥感系统的信噪比是衡量仪器性能的最重要指标,在红外系统特别是长波红外系统中通常用噪声等效温差(NETD)代替信噪比来表示系统获取信号的能力。物体温度、比辐射率的变化都能引起辐射的变化,假设目标、背景都是黑体,两者的温差所带来的辐射能量进入系统,当系统产生的信号值等于此时的噪声时(即信噪比为1),该温差即为系统的NETD^[1]。NETD越低,则系统可以分辨的温差越低,这对许多遥感应用特别是军事应用具有重要意义。因此,努力降低NETD成为红外系统设计者和应用者的一个重要目标。

随着长行列焦平面器件的产生及应用的推广,遥感仪器开始采用另一种新的扫描方式——推扫^[2]。在推扫方式下,系统采用行列探测器,一次性扫描一行,系统的驻留时间即为卫星飞行一个地面元的时间,因此驻留时间比较长,探测器可以利用

的积分时间也比较长,有利于降低NETD。

然而,较长的驻留时间往往无法被充分利用,因为红外探测器受到材料及生产工艺的限制,容易饱和,积分时间通常较短。例如系统驻留时间达到20ms,而探测器可能在积分时间为1ms时就饱和。为了解决这二者之间的矛盾,可以采用多次采样技术^[3],即在卫星飞行期间,对同一个地面元多次采样积分,然后累加,取平均值。

本文将分析红外系统NETD的影响因素,并深入探讨对于推扫红外系统在长驻留时间下,如何选择合适的积分时间和采样次数来获取最佳的NETD。最后介绍多次采样技术在短波红外系统中的应用,并给出实验结果。

作者简介:蔡海蛟(1981-),男,在读博士,研究方向为星载推扫式红外遥感仪器信号获取与处理技术。E-mail: oceanheart99@gmail.com

收稿日期:2006-11-06; **修订日期:**2006-12-21

2 多次采样下的 NETD 分析

遥感仪器成像模型图如图 1 所示, 设: D 光学系统有效口径; Ω 瞬时视场立体角; τ_{atm} 大气传输效率; τ_{opt} 光学系统透过率; A_d 探测元光敏面积; $\frac{\partial W}{\partial T}$ 辐射功率温度变化率 ($\text{W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$); R 探测元波段平均响应率 ($\text{V} \cdot \text{W}^{-1}$); D^* 探测元波段平均探测率 ($\text{cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \cdot \text{W}^{-1}$)。

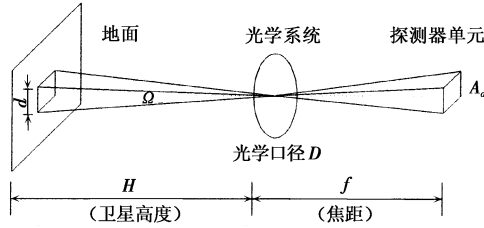


图1 遥感仪器成像模型图

单次采样下, 可以推导出输出信号为:

$$\Delta V_s = \frac{\tau_{\text{atm}} \tau_{\text{opt}} D^2 \Omega R}{4} \cdot \text{NETD} \cdot \frac{\partial W}{\partial T} \quad (1)$$

由于探测器探测率 $D^* = \frac{R \sqrt{A_d \Delta f}}{V_n}$, 因此, 噪声电压为:

$$V_n = \frac{R \sqrt{A_d \Delta f}}{D^*} \quad (2)$$

其中, Δf 为噪声等效带宽, 且^[4]

$$\Delta f = \frac{1}{2t_{\text{int}}} \quad (3)$$

令信噪比为 1, 即 $\Delta V_s = V_n$, 则:

$$\text{NETD} = \frac{4 \sqrt{A_d \Delta f}}{\tau_{\text{atm}} \tau_{\text{opt}} D^2 \Omega D^* \frac{\partial W}{\partial T}} \quad (4)$$

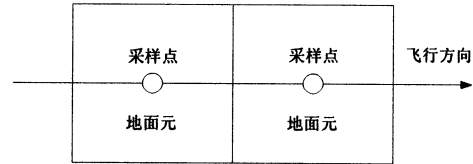
由式(4)可见, NETD 的决定因素包括: 探测元面积、积分时间、大气传输效率、光学透过率、光学口径、瞬时视场立体角、探测器探测率以及目标辐射温度变化率。在系统方案确定后, 积分时间成为唯一一个可调整的参数。因此, 在探测器不饱和的情况下, 应尽量增大积分时间^[5]。

在推扫方式下, 驻留时间大大增加, 如果将信号读出时间以外的时间都对探测器进行积分, 则探测器已严重饱和, 此时系统将失效。

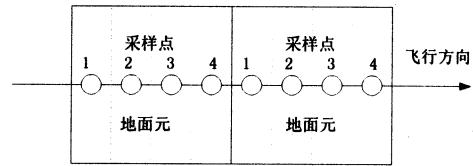
为了充分利用推扫方式的优势, 降低 NETD, 可以采用多次采样技术, 即在遥感仪器飞行过程中, 对同一地面元多次积分采样, 然后按行累加, 取平均作为其信号值。采样方式示意图如图 2 所示。

为了简化分析, 这里忽略飞行对采样的影响, 即假设在同一地面元内各采样点在同一位置。对同一目标采样 N 次, 累加平均后:

$$\overline{\Delta V_s} = \frac{\Delta V_{s1} + \Delta V_{s2} + \cdots + \Delta V_{sn}}{N} \approx \frac{\tau_{\text{atm}} \tau_{\text{opt}} D^2 \Omega}{4} \cdot \text{NETD} \cdot \frac{\partial W}{\partial T} \quad (5)$$



(a) 单次采样



(b) 多次采样 (图中为 4 次)

图2 采样方式示意图

假设各种噪声都具有不相关性, 则噪声按统计规律增长, 根据式(2), 噪声经过多次采样, 累加平均后为^[5]:

$$\overline{V_n} = \frac{\sqrt{V_{n1}^2 + V_{n2}^2 + \cdots + V_{nn}^2}}{N} \approx \frac{R \sqrt{A_d \Delta f}}{\sqrt{N} D^*} \quad (6)$$

再令 $\overline{\Delta V_s} = \overline{V_n}$, 则有:

$$\overline{\text{NETD}} = \frac{4 \sqrt{A_d \Delta f}}{\sqrt{N} \tau_{\text{atm}} \tau_{\text{opt}} D^2 \Omega D^* \frac{\partial W}{\partial T}} \quad (7)$$

由以上推导过程可见, 多次采样降低 NETD 的根本原因在于通过累加平均后信号线性增长, 而噪声则按统计规律增长。

3 长驻留时间下采样次数与积分时间的选择

将式(3)代入式(7), 则有:

$$\overline{\text{NETD}} = \frac{\sqrt{8 A_d}}{\tau_{\text{atm}} \tau_{\text{opt}} D^2 \Omega D^* \frac{\partial W}{\partial T} \sqrt{N t_{\text{int}}}} \quad (8)$$

由式(8)可见, 在采用多次采样技术后, 在系统方案确定的情况下, 有采样次数和积分时间两个可调参数。系统应用者可以通过调整这两个参数来获取最佳的 NETD, 增大这两个参数中的任何一个都可以降低 NETD。然而, 在驻留时间一定的情况下, 这两个参数是互相制约的, 不可能同时增大。

光电探测器在积分获取信号后, 需要一定时间将其读出, 称为信号读出时间。对于红外射线探测器, 通常没有专门的存储区, 所以, 信号在积分结束后, 需要在读出时钟下读出信号, 读完整个线列的信号后, 才能开始下一次的积分。

假设探测器读出时钟周期是 T , 线列中探测元数目为 n , 读出通道为 m , 则探测器信号读出时间为:

$$t_{\text{out}} = \frac{nT}{m} \quad (9)$$

由于红外探测器的时钟通常较低(一般在5MHz以下),线列的长度可以达到几千元,读出通道数通常小于5,因此,读出时间是一个不可忽略的因素。下面分析在读出时间不可忽略的情况下,如何选择采样次数与积分时间。

假设遥感仪器驻留时间为 t_{set} ,信号未饱和的最大积分时间为 t_{full} ,则必须有:

$$N(t_{\text{int}} + t_{\text{out}}) \leq t_{\text{set}} \quad (10)$$

$$t_{\text{int}} \leq t_{\text{full}} \quad (11)$$

为了获得 NETD 的最小值,需要在满足式(10),(11)的约束下,取得 Nt_{int} 的最大值。整理式(10),得:

$$Nt_{\text{int}} \leq \frac{t_{\text{set}}}{(1 + \frac{t_{\text{out}}}{t_{\text{int}}})} \leq \frac{t_{\text{set}}}{(1 + \frac{t_{\text{out}}}{t_{\text{full}}})} \quad (12)$$

因此,当 $t_{\text{int}} = t_{\text{full}}$ 时, Nt_{int} 取得最大值,此时:

$$N = \frac{t_{\text{set}}}{t_{\text{full}} + t_{\text{out}}} \quad (13)$$

这说明,为了获得最优的 NETD,在选择积分时间与采样次数这两个参数时,应在探测器不饱和的情况下,首先选择最长的积分时间然后再根据总的驻留时间来确定最大采样次数。

4 实际应用

实验系统采用256元短波红外探测器,波段为0.8~1.7 μm ,结构如图3所示。

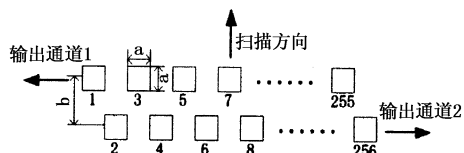


图3 短波红外元探测器结构图

系统驻留时间为 $t_{\text{set}} = 120\text{ms}$,探测器双路输出,信号读出时钟为625kHz,未饱和最大积分时间 $t_{\text{full}} = 2\text{ms}$,根据式(9),读出时间为:

$$t_{\text{out}} = \frac{256}{2 \times 625 \times 10^3} = 0.2\text{ms}$$

根据本文结论,为了取得 NETD 最小值, $t_{\text{int}} = t_{\text{full}} = 2\text{ms}$,由式(13)可得:

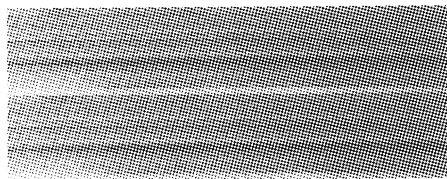
$$N = \frac{t_{\text{set}}}{t_{\text{full}} + t_{\text{out}}} = 54.5$$

取整后,采样次数 $N = 54$ 次。

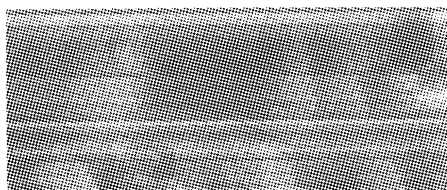
根据以上准则设计数据采集系统并进行实验,多次采样技术应用前后获取的图像如图4所示。

从图4可以看出,未采用多次采样技术时,图像几乎无法获取任何信息。采用多次采用技术后,信

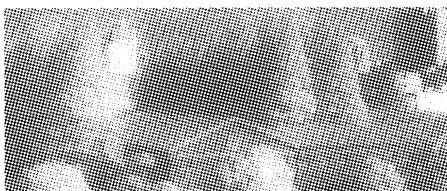
噪比显著提高,获取了比较清晰的红外图像。



(a) 未采用多次采样技术获取的图像



(b) 采用多次采样技术获取的图像



(c) 采用多次采样技术并非均匀性校正后的图像

图4 短波红外实验图像

5 结束语

噪声等效温差 NETD 反映了红外系统的信噪比^[6],系统设计者为了降低 NETD,需要选择好的探测器,并且不断优化设计方案。对于推扫红外系统,为了充分利用驻留时间,系统应用者还需要选择两个合适的工作参数:采样次数与积分时间。本文通过理论分析和实验,证明了多次采样技术的重要意义,并给设计者提供了选择采样次数与积分时间这两个参数的方法,使得 NETD 达到最优值。

参考文献:

- [1] 红外光电系统手册(第5卷)——被动光电系统[M]. 天津:航天工业总公司第三研究院八三五八所,1997: 39-40.
- [2] HANG Xin-zhi. CCD Push-broom Imaging System in Space Remote Sensing[M]. Harbing: Harbing Industry University Press,1990: 29-33.
- [3] ZHANG Yin-qing. Analysis of oversampling-superposition pixel transfer function with long wave IR camera[J]. Infrared and Laser Engineering,2003,32(3):309-312.
- [4] National Technology Supervision Office. Infrared focal plane parameter test technology standard [R]. GBT 17444 1998,2005.
- [5] Kai M Hock. Effect of oversampling in pixel arrays[J]. Optical Engineering,1995,34(5):1281-1288.
- [6] Terrence S L, Erich D H. Translation of spectral radiance levels, band choices, and signal-to-noise requirements to focal plane specifications and design constraints [C]// Proceedings of SPIE,2002,4486:263-306.