

文章编号 1004-924X(2007)01-0045-05

基于模板的 FY-2 一级杂散光模拟

原育凯^{1,2}, 李欣耀^{1,2}, 裴云天¹

(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:对 FY-2 扫描辐射计的光机结构进行了简化, 确定出在其南北步进中对杂散光模板变化产生影响的仅仅是折镜边缘, 据此结论对产生一级杂散光的相关机械边框建立空间坐标, 通过投影方法得出在任意步进位置的杂散光进入区域, 并通过对杂散光区域的像元数计数和制作视频文件的方式检查其变化的连续性。从信号光分布最小的世界时 19 时图像出发, 使用快速卷积的方法, 进行了点光源、月牙状亮边和地球全图的模拟杂散光形成的计算, 得出的结果与实际杂散光的现象较为接近, 成为进一步以图像处理方式消除杂散光的基础。

关键词:扫描辐射计; 风云二号; 杂散光; 模拟; 模板

中图分类号: TH703 **文献标识码:** A

Simulating first order stray light of FY-2 VISSR using templates

YUAN Yu-kai^{1,2}, LI Xin-yao^{1,2}, PEI Yun-tian¹

(1. *Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China;*
2. *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*)

Abstract: By simplifying the framework of FY-2 VISSR, it was found that the influence on the transform of first order stray light templates was the rotation of folding mirror edge. Based on the structural parameter of this instrument, those frameworks related to the stray light were discretely sampled, then those sampled points were projected to a plane to be observed by sensors, so the templates of the first order stray light at any angle of the folding mirror in this instrument were established. The continuity of those templates was examined. The forming of first order stray light was simulated with Gaussian point source, crescent-like edge and full disk of earth by convolution with the template, those outputs show the results are relatively close to the phenomenon of real images, and further quantitative suppressing of stray light will be on the way.

Key words: scanning radiometer; FY-2; stray light; simulation; template

1 引言

杂散光是指在光学系统中, 光线以某种非预

期的成像方式到达探测器而干扰探测数据。当前国内外的许多空间遥感仪器, 都不同程度地受到了杂散光的干扰^[1-3]。我国 FY-2 气象卫星的扫描辐射计由于光机设计的不完善, 其获取的可见

光和红外个别通道都存在有大范围的杂散光分布,明显地影响了定标精度,量化应用水平受到限制^[4]。

消除杂散光首先要对光机结构进行杂散光来源的分析,然后在恰当的位置放置遮光罩、挡光环等^[5]。一些杂散光具备明确的传播路径,可以精确定位其分布和强度,因而可以按照确定性叠加过程来处理;更多的情况下,杂散光是由于光学镜面和光机筒壁表面的非理想性而不能完全吸收微弱的散射光,当这种微弱的散射积累到了一定程度,就会对信号产生可以察觉的影响,这类杂散光是一种随机噪声,通常采用信号的统计特征来处理^[6]。

2 杂散光的形成过程

通过对 FY-2 扫描辐射计光机结构的杂散光来源分析,发现对图像影响最为严重的是 R-C 光学系统特有的明显的一级漏光,这是因为采用视场方式的分光在提高光学效率的同时,带来了折镜处视场扩大而引入杂散光。辐射计对地球自西向东扫描成像时,领先主光轴 $5.3 \sim 6.2^\circ$ 的位置会有地球的漫射光由折镜边缘发生镜面反射进入主光路,叠加到当前信号中。

一级杂散光未曾经过任何表面的衰减因而非常强烈,要求优先考虑消除。这里需要对一级杂散光的进入途径进行准确建模确定其分布和强度,然后通过图像复原方法消除。假定光学系统满足线性移不变条件,且地物目标在扫描成像过程中保持不变,则其获取图像的退化过程在空间域表示为^[7]:

$$g(x, y) = h(x, y) * f(x, y) + \eta(x, y), \quad (1)$$

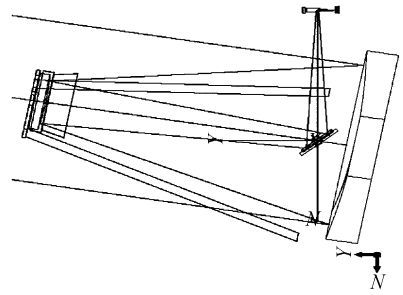
其中, $g(x, y)$ 为可以获得的图像, $h(x, y)$ 为退化函数的空间描述, $f(x, y)$ 为真实图像, $\eta(x, y)$ 为随机噪声。等价到频域表述为:

$$G(u, v) = H(u, v)F(u, v) + N(u, v), \quad (2)$$

式中的大写代表(1)式中各项的傅里叶变换。退化函数(称为模板)的确定,需要对光学系统的光路进行分析以得出量化描述。

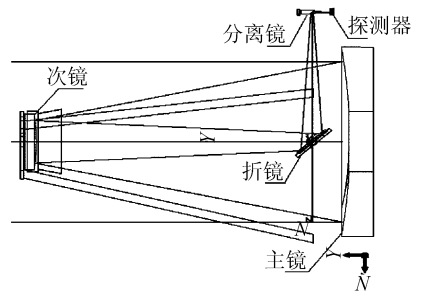
3 漏光模板的生成

由于扫描辐射计的特殊设计,其每次完成一



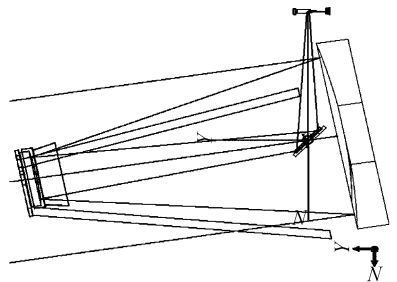
(a) 指向北极限时的光路图

(a) When the axis points to the north limit



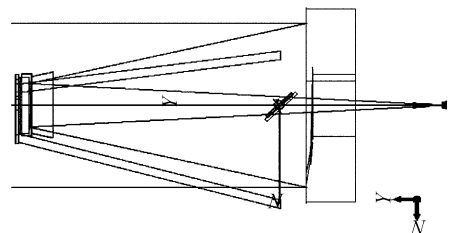
(b) 指向星下点时的光路图

(b) When the axis points to the central scan line



(c) 指向南极限时的光路图

(c) When the axis points to the south limit



(d) 光轴作为参照系的展开光路图

(d) Spread diagram when takes the axis as the reference

图 1 扫描辐射计的光路图

Fig. 1 Diagram of VISSR

条扫描线就会运动主镜、次镜和折镜,使光轴步进到下一条扫描线,漏光区域因而发生变化,所以需要这一过程进行简化以利于建模。图 1(a)、(b)、(c)为扫描辐射计在北极限、星下点和南极限的光路图,折镜位于卫星坐标系原点处,其步进角度为次镜框架的一半,以保证任意时刻的折镜出射光线与后光路保持连贯。

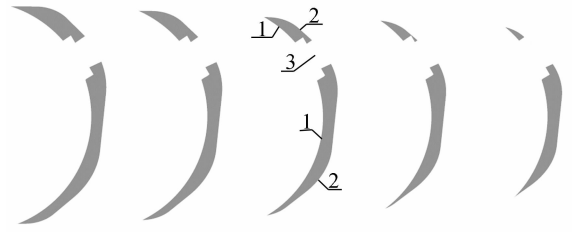
在此光路中,若以主次镜框架为参照系不动,那么折镜以后的光路必然也不会变动,否则将会偏离光轴,于是折镜便成为扫描辐射计南北步进中对光路产生影响的唯一的变化因素,据此将系统光路展开成图 1(d)的结构。通过这一结论可以在模板建模中简化设计。

根据上述相关结构件的空间坐标进行密集的离散采样,相邻的采样点间用线段连接,如此就可以用折线的方式得到杂散光区域相关的机械结构边框的轮廓,并且这样的连接次序不会因投影而改变。不难发现,根据光路的轴对称特性,采用极坐标方式记录各点最为简便。从可见光探测器中心出发,以指向入瞳中心为法向,以卫星坐标系 $-Z$ 为上方向,对上述离散点建立齐次坐标,通过投影变换矩阵,进行空间到平面的投影。观察投影结果,发现折镜边框在 $-X$ 方向超出次镜罩边框,成为杂散光直射的入侵途径,于是依据图形学方法将以这些有序离散点包围的区域进行填充,便得到了如图 2 所示的结果,其中的中断部分是由于次镜座和连接杆造成的,模板面积随光轴指向的由北到南步进而逐渐减小,在图像上表现为地球圆盘外西北部杂散光的计数值最大,而西南部弱得多。

随后对各个角度的模板面积进行统计,检查其连续性,得出了较为平滑的曲线,将各个角度的漏光区域制作成视频文件,以便更直接观察其变化的连续性。

4 杂散光图像的模拟

观察全天的可见光图像,发现在世界时 19 点、20 点时段的图像中,杂散光与地球漫射光有明显的界线,当时的地球图像仅仅在东侧有一个类似新月牙的亮边,在圆弧亮边的内部,有显著的

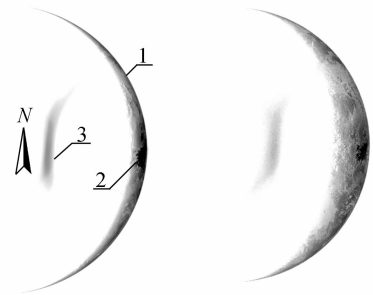


1. 次镜罩投影, 2. 折镜光阑投影, 3. 连接件造成中断部分

图 2 从北极限到南极限的漏光模板变化

Fig. 2 Shrinkage of stray light templates from the north limit to the south limit

长条状杂散光分布,而且与信号光不交迭或交迭很少,注意到此时太阳反射点的能量很强,杂散光似乎都以它为中心,如图 3。这样的图像中,信号光分布范围非常小,对于研究杂散光形成过程非常有利,也可以作为杂散光模拟的着手点。



05-09-23 19:00 05-09-23 20:00

1. 月牙状信号光, 2. 太阳镜面反射点, 3. 杂散光分布

图 3 FY-2 在上述世界时时刻的可见光图像(反色)

Fig. 3 Visible image (negative) of FY-2 at those hours (UTC)

4.1 模板的冲激响应

在一级杂散光来源即退化函数明确的基础上,暂时忽略噪声的影响,可以直接对得到的图像利用漏光的模板进行杂散光的模拟。试验的第一幅图像为位于中心处的高斯特性点光源,将其与前述建模中得到的一级杂散光模板进行快速卷积后,得出图 4(a)的结果。这一过程相当于对模板的冲激响应进行检验。从结果可以看出,形状与世界时 19 点的杂散光分布较为接近,模板在由南到北的变化中,月牙的两个尖角逐渐退缩,造成了模拟图像与实际的差异。

4.2 月牙状的杂散光分布

保留世界时 19 点图像的月牙状亮边,将亮边

以外的区域全部涂黑置零,即手工消除全部杂散光,然后与模板进行快速卷积计算,得出了此时的杂散光模拟结果,经过选取适当阈值,杂散光的分布位置与实际结果很接近,结果见图 4(b)。其中由于太阳反射点处的探测器响应出现饱和而无法对由该处引入的杂散光进行模拟,带来了与实际现象的差异。

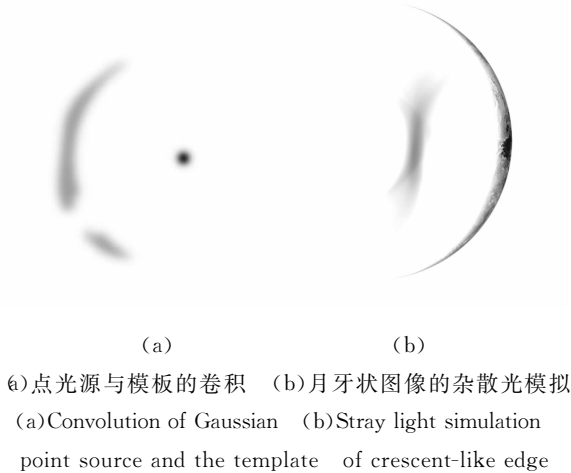


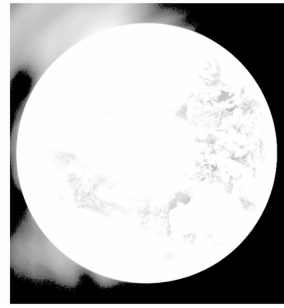
图 4 与模板卷积的杂散光模拟结果
Fig. 4 Image of convolution with the stray light template

4.3 全视场杂散光的分布趋势

值得一提的是, FY-2 的实际图像高达 $10\,000 \times 9\,164$ 像素点,若在此数据量上进行 FFT 将是非常繁重的任务,因为图中杂散光的分布呈现明显的低频特性,将实际图像降低分辨率进行处理顺理成章。

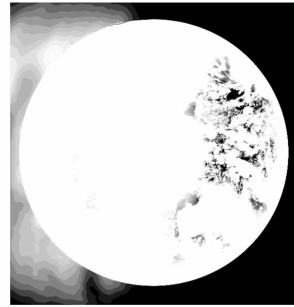
缩小世界时 4 点即正午时刻的实际云图,然后采用边缘提取方法,将地球圆盘和冷空间背景进行分离。根据冷空间为零的先验知识,将冷空间置零,即消除地球圆盘外的杂散光,然后对此图像进行快速卷积运算,得出了当时可能的杂散光分布,模拟结果显示杂散光的分布范围较实际数据偏大。这是由于获得的云图在地球圆盘内部本身就含有一定的杂散光分布,以此进行模拟,相当于对真实图像的二次卷积,杂散光的分布范围和强度必然增大(见图 5)。

模拟结果表明,对杂散光的模拟仍存在一定误差,主要原因在于, FY-2 扫描辐射计完成一幅地球圆盘的图像需要 25 min 的步进和扫描,而这



(a)原始图像杂散光的增强效果

(a)Enhanced distribution of stray light of raw image



(b)对地球圆盘外杂散光的模拟结果

(b)Simulation of stray light outside the Earth

图 5 真实杂散光与模拟结果的冷空间分布

Fig. 5 Stray light distribution in cold space of raw-image and the simulation

期间地物目标的变动和太阳高度角的变化不可以忽略,因此这些变动将使得杂散光的消除复杂化。前面进行的所有 FFT 运算,使用的都是固定的模板,即主光轴指向星下点时的分布。这是考虑到改变一次模板就必须进行一次 FFT,非常耗时,现阶段作定性分析,使用固定模板是足够的。

5 结 论

通过上述的模拟,验证了漏光模板的正确性,从分布上看,模拟结果与实际数据大体一致。需要注意的是在对探测器的前端处理中,设计人员采用了一些技术手段来改善图像在强杂散光背景下的图像质量,其中包括抬高 ADC 输出计数值 0 的电平,而考虑到消除杂散光的目的在于提高定量化应用的精度,因此需要在对图像进行定量化处理前对此作相应的校正,然后对杂散光进行定量化的模拟及分析,从而逐步从原始图像中消除。

参考文献:

- [1] 魏彩英,张晓虎,邱康睦. 风云二号静止气象卫星图像杂散信号分析[J]. 应用气象学报,2004,15(5):564-571.
WEI C Y, ZHANG X H, QIU K M, Analysis of scattered signal in geostationary meteorological satellite image[J].
J. Appl. Meteorol. Sci., 2004, 15(5):564-571. (in Chinese)
- [2] 丁延卫,刘剑,卢铿. 空间环境对光学成像遥感尺寸稳定性的影响[J]. 光学精密工程,2002,10(1):106-109.
DING Y W, LIU J, LU E. Effect of space environment on the dimension stability of optical remote sensor[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2002, 10(1):106-109. (in Chinese)
- [3] 崔敦杰. 关于红外探测器与红外焦平面阵列探测器性能参数描述方法的商榷[J]. 光学精密工程,2003,11(3):265-268.
CUI D J. How to define noise and associate performance parameters for infrared detector and infrared focal plane array detectors[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2003, 11(3):265-268. (in Chinese)
- [4] 戎志国,张玉香,邱康睦,等. 利用敦煌辐射校正场对FY-2B静止气象卫星进行可见光通道的在轨辐射定标[J]. 应用气象学报,2004,15(3):266-272.
RONG Z G, ZHANG Y X, QIU K M, *et al.*. Radiometric calibration on orbit for FY-2B meteorological satellite's visible channels with the radiometric calibration site of Dunhuang[J]. *J. Appl. Meteorol. Sci.*, 2004, 15(3):266-272. (in Chinese)
- [5] 王骞,张景旭,郭劲. 红外系统中杂散辐射的抑制方法[J]. 光机电信息,2002,(12):21-24.
WANG Q, ZHANG J X, GUO J. The suppressing of stray radiation in infrared system [J]. *Opt. Mech. Electron. Inform.*, 2002, (12):21-24. (in Chinese)
- [6] GUO Q, XU J M, ZHANG W J. Stray light modeling and analysis for the FY-2 meteorological satellite[J]. *Int. J. Remote Sens.*, 2005, 26(13):2817-2830.
- [7] GONZALEZ R C, WOODS R E. 阮秋琦,等译. 数字图像处理 [M]. 第二版 175207 北京:电子工业出版社,2003.
GONZALEZ R C, WOODS R E. TRANSLATED, *et al.*. *Digital image processing* [M]. Beijing: Electronic Industry Press, Second Edition, 2003. (in Chinese)

作者简介:原育凯(1979—),男,山西晋城人,中国科学院上海技术物理研究所博士研究生,研究方向为遥感图像分析与处理。E-Mail: ykyuan@ustc.edu