

文章编号:1001-9014(2011)02-0189-04

提高 FY-2 VISSR 可见光通道均匀性的方法研究

魏彩英, 张晓虎, 韩琦, 林维夏

(国家卫星气象中心, 北京 100081)

摘要:风云二号(简称 FY-2)系列静止气象卫星目前已成功发射多颗,其搭载的主要探测仪器是“可见光红外自旋扫描辐射计(简称 VISSR)”,该仪器的可见光通道是采用多元并扫获取图像的,以提高图像的分辨率,但是由于卫星探测器件和放大电路的固有差异及地面标定的局限性,输出的可见光图像信号仍存在一定的不均匀性.本文从几种角度对此类不均匀性进行了定量分析,并且提出了通过地面遥控卫星和遥感图像处理相结合的方法,提高探测资料的一致性.经过分析和实际应用,取得非常好的效果,为卫星的长期业务运行和应用提供了重要依据.

关键词:扫描辐射计;增益;均匀性;条纹

中图分类号:P412.27 **文献标识码:**A

Uniformity improvement of visible multi-sensor images obtained by FY-2 satellite

WEI Cai-Ying, ZHANG Xiao-Hu, HAN Qi, LIN Wei-Xia

(National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081, China)

Abstract: The visible image of FY-2 Geostationary Meteorological Satellite is produced by multiple sensors in the same time, so image has higher resolution. The images produced by multiple sensors are not exactly the same because of the sensors' differences. This paper introduced several methods to calculate the difference and to adjust the satellite by remote commands and decrease stripes of multi-sensor imagery. The results show that it is correct and the image quality is greatly improved after the adjustment. These methods are also useful to decide when and how to adjust the VISSR while the satellite is on orbit.

Key words: visible infrared spin scan radiometer; gain; uniformity; stripe

PACS: 93.85.Bc

引言

FY-2 系列气象卫星是我国第一代静止气象卫星,星上搭载的仪器为可见光红外自旋扫描辐射计(VISSR),简称为扫描辐射计,具有可见光、红外及水汽等多通道对地球探测成像的能力,所获取的实时观测资料成为天气预报特别是短临天气预报等不可或缺的宝贵资料.该仪器作为 FY-2 卫星的主要载荷,其在轨运行状况直接影响所获取的图像质量及实际应用效果,因此卫星成功发射后,需要通过地面发射遥控指令,对仪器工作状态进行最佳调整,同时对扫描辐射计获取的多元可见光图像数据进行均匀性分析和调整,为用户提供高质量的图像数据.

在 FY-2 卫星发射之前,将扫描辐射计四个可见光探测器通道设定在相同的增益状态,但由于各敏

感器件的物理及光学特性的差异,并且由于经过卫星发射、定轨等环节及长期运行中各敏感器件的性能可能会发生一定的变化(如衰减)等,因而将引起多通道数据的不均匀性,表现为遥感图像中的条纹,这不仅影响了遥感图像的可视性,更重要的是用户接收后再做的事后处理必然会影响遥感的定量应用,因此每一颗卫星发射后的在轨测试及长期运行过程中,地面应用系统必须从根本上对图像的不均匀性进行定量分析和监测,实施统一的调整和处理,并对辐射定标表进行相应的修正,确保在提高图像均匀性的同时,又不影响遥感定量应用的准确性.在定量分析和监测的基础上,通过遥控卫星和遥感图像数据处理两种手段对提高 FY-2 在轨气象卫星可见光通道图像均匀性的方法进行了研究,取得很好的效果.

收稿日期:2009-03-16,修回日期:2010-08-09

Received date: 2009-03-16, revised date: 2010-08-09

作者简介:魏彩英(1963-),女,河北邯郸人,工学硕士,正研级高工,主要从事图像处理与测控研究, E-mail: weicy@ cma. gov. cn.

1 非均匀性成因分析及对策

多通道扫描辐射计具有可见光、水汽和红外等多波段,同在东西方向一行扫描线上,可见光波段四个探测器件排列和瞬时视场的分布见图 1,其中 A 为主探测器, B 为备份的探测器件. 当使用 A 组时,四个可见光 A1、A2、A3、A4 探测器件南北排列在四个位置,不同探测器件之间距离(如 $35\mu\text{r}$)为辐射计瞬时视场角度差. 当卫星扫描时,四个探测器件同时得到四条扫描线,即四元并扫技术,以提高扫描时效及图像的分辨率. 尽管在探测仪器的研制过程中,经过了严格的筛选和精密的测试,将多元器件的不均匀性降低到最小,但是多元探测器件性能仍然存在一定的差异,有关固体探测器件的非均匀性,许多研究人员开展过多种订正方法的研究^[1,2]. 不同探测器件性能的差异,在对地观测相同目标时会得到不同的计数值,反映在遥感图像中将出现亮暗不同的条纹. 卫星发射后在轨测试时必须对多元探测器件的差异进行定量分析并通过卫星遥控及数据处理等手段进行均匀性调整,还需要长期对在轨运行卫星进行性能监视,必要时进行相应调整.

当仪器对地进行观测时,由于探测器件在瞬时视场中的位置不同,因此每一瞬间探测器件的视场是不同的,因而得到的辐射值是不一样的,但是对于地面中大面积的目标,如云区、沙漠、海洋等,每一个探测器件应得到均匀一致的探测值,而在实际的观测中发现,不同的探测通道得到的观测计数值会出现一定的差异,可以通过对遥感图像中典型目标物如云区、沙漠区及海洋区的计数值差异来评价图像即探测器件的不均匀性. FY-2B 卫星定点初期,辐射计增益为 8 级(最高 15 级)时可见光图像计数值检测结果见表 1.

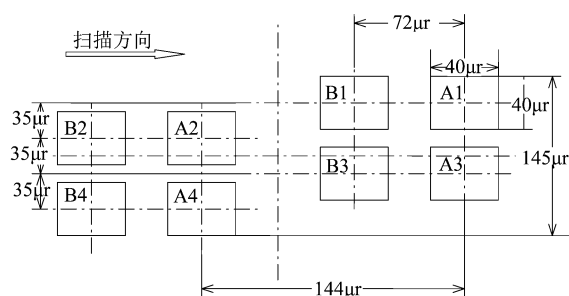


图 1 多通道扫描辐射计可见光瞬时视场分布图
Fig. 1 Instantaneous view of visible sensors of VISSR

表 1 增益 8 级状态可见光图像特征计数值
Table 1 Gain eight state of the visible image feature counts

图像观测时间	通道号	图像最高计数值	云区计数值	沙漠区计数值	海洋区计数值
2000 年 7 月 9 日 11:30	V1	42	40	13	4
	V2	45	42	14	5
	V3	43	40	13	5
	V4	45	42	14	5
FY-2B	最大不均匀性	7%	5%	7.7%	25%

由表 1 可知,图像中最高计数值均在 42 ~ 45 之间,而可见光探测的量化等级为 6bits,即最大计数值(动态范围)可以为 63,相差较大,图像整体偏暗,同时可以看出四个可见光探测器件中 V2、V4 和 V1、V3 计数值存在一定的不均匀性,在高端大约差 2 到 3 计数值,图像中有较明显的条纹.

改善图像均匀性的算法有很多,主要是针对已获取的遥感图像,通过图像处理手段对数据进行一定的修正,但影响了定标处理结果,因此为从源头真正提高遥感数据均匀性,保证定量应用,就必须对卫星进行控制、处理、定标等协调一致.

首先,了解卫星仪器的在轨运行特征,通过定量分析手段,找到经过卫星多元探测器件、探测通道等环节下传到地面的探测数据的不均匀性,并通过对卫星仪器进行遥控,获取均匀化的多元图像数据,因此控制卫星是提高图像均匀性的重要手段. 在风云二号卫星实际应用中,通过该方法,找到并提出控制仪器工作状态的调整参数,通过地面遥控指令进行调整,以提高图像的亮度和改进四个可见光通道的均匀性,即下文中调整遥感仪器提高图像均匀性.

其次,在调整卫星仪器状况的基础上,可以看出图像均匀性得到很大提高,对于剩余的细微差异,可以通过图像处理手段进一步处理,处理的结果加入卫星图像实时处理业务中,确保通过卫星再次广播给用户的数据同时具有很好的均匀性和定量应用价值. 根据 FY-2 卫星可见光图像的特点,提出了图像归一化处理与直方图匹配相结合的处理方法,即下文中资料处理提高图像均匀性方法,该方法具有兼顾大范围图像快速处理与小范围精细化处理的优点.

2 数据处理与实际效果分析

2.1 调整遥感仪器提高图像均匀性

卫星发射在轨之后,我们地面接收到的卫星探测资料实际上是卫星上电信号经过数字化后的计数值,为调整卫星探测资料的计数值的大小,地面设定了专门的遥控指令来控制扫描辐射计的输出结果,如扫描辐射计多通道的增益调整就是其中手段之一.

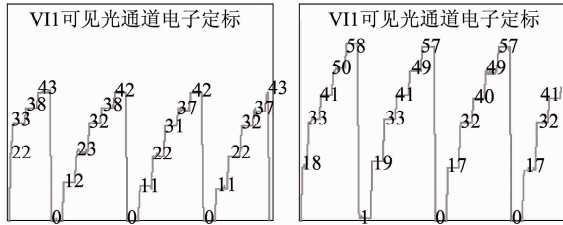


图 2 增益调整前后电子定标数据的改变
Fig. 2 Electrical calibration data before and after adjustments

增益调整可以依据卫星上探测仪器的电子定标数据和直方图分析两种方法实施. 其中电子学定标数据是指卫星下发的用于指示星上仪器电路的标准计数值, 如图 2 中左图为卫星上天后可见光 1 通道在增益 8 级状态时输出的电子学定标结果; 右图为增益调整为 13 级时的电子学定标输出结果. 由此可见增益调整后卫星输出信号加大, 分布更加合理.

直方图分析方法是通过对图像中全部数据进行统计, 进行直观的灰度分布分析, 是图像处理中常用的描述方法之一, 利用直方图分析方法对扫描辐射计各通道图像的动态范围进行检测分析. 尽管随着观测时间不同, 太阳光照角度发生变化、不同的地球目标物等都会引起图像直方图分布上的细微变化, 但是对于整幅图像的动态范围仍能从直方图分析中得到准确反映.

不同探测器件得到的图像不一致性可以通过图像的灰级均值和方差表现出来, 计算公式如下:

$$\mu_n = \frac{\sum_{k=0}^{63} (\rho_k * k)}{N^2}, \quad (1)$$

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{\sum_{k=0}^{63} (k - \mu_n)^2 * \rho_k}{N^2}}, \quad (2)$$

$$v_n = abs((\mu_n - \mu_m) / \mu_m), n = 1, 2, 3, 4; \quad (3)$$

$$m = 1, 2, 3, 4; m \neq n,$$

其中 ρ_k 为灰度为 k 的像元个数; N 为行、列像元总数; μ_n 为某一探测器的灰度均值, σ_n 为分布方差, v_n 通道间差异所占的比例.

直方图及电子定标数据看出, 在增益 8 级时图像的动态范围为 0 ~ 42, 但四个探测通道不完全相同, 参见增益调整前后统计出的直方图(图 3)和增益调整前后不一致性分析结果(表 2). 表 2 中以 V1 为基准时, 最大的不一致性为 7.955%, 并且 V1、V3 均值及方差接近; V2、V4 通道接近, 相对差别较大, 根据差异的不同对可见光四个通道增益进行不同调

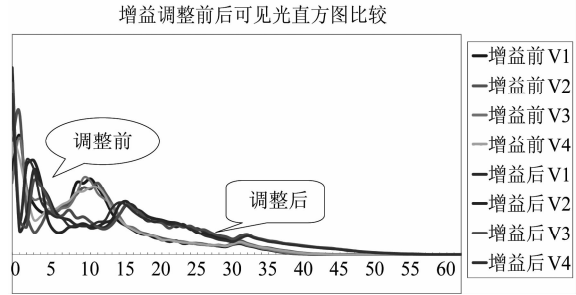


图 3 增益调整前后直方图的变化
Fig. 3 Histogram changes before and after adjustment

整. 如 V1、V3 调整为 14 级; V2、V4 增益调整为 13 级. 调整之后各通道的动态范围基本均在 0 ~ 57, 四个探测通道的图像均值发生了很大变化, 灰度增大、图像变亮, 图像的不一致性降为最大 2.546%, 调整后经多个时次实际图像分析表明, 图像一致性明显好转.

表 2 增益调整前后四个可见光通道图像的均匀性比较
Table 2 Image uniformity before and after adjustment

增益调整前				
通道/增益	均值(μ)	方差(σ)	动态范围	不一致性
V1/8	8.839284	8.969943	0 ~ 42	0
V2/8	9.542422	10.907961	0 ~ 45	7.955%
V3/8	9.172139	8.995548	0 ~ 42	3.766%
V4/8	9.313224	10.754431	0 ~ 45	5.362%
增益调整后				
通道/增益	均值(μ)	方差(σ)	动态范围	不一致性
V1/14	13.568105	12.668685	0 ~ 57	0
V2/13	13.594419	13.617059	0 ~ 57	1.939%
V3/14	13.913533	12.635292	0 ~ 57	2.546%
V4/13	13.326432	13.410164	0 ~ 56	1.781%

为进一步达到多通道扫描辐射计初始状态即增益设定在 8 级(最高 15 级)时, 图像的动态范围尽可能满足 0 ~ 63, 在后续发射的 FY-2C、FY-2D、FY-2E 卫星中对可见光通道放大电路进行了重新订正, 相应的特征目标区的探测结果如表 3 所示. 卫星发射后在轨测试期间, 不需要进行可见光通道的增益调整, 但对于图像中的细微条纹需要通过数据处理手段进行校正.

表 3 FY-2C/2D/2E 增益 8 级状态可见光图像特征计数值
Table 3 Gain eight state of the FY-2C/2D/2E visible image feature counts

卫星	通道号	云区	沙漠	海洋	卫星	云区	沙漠	海洋	卫星	云区	沙漠	海洋
FY-2C	V1	51	25	9	FY-2D	49	25	6	FY-2E	52	27	6
	V2	53	25	12		49	24	5		52	27	7
	V3	52	27	9		50	24	5		53	29	6
	V4	52	27	10		50	25	4		53	28	5

2.2 数据处理提高图像均匀性

在经过增益调整之后四个通道的均匀性得到了很大改善,为进一步更好地改善图像的均匀性,可以对图像中的细微条纹进一步处理.在过去的二三十年中,有关图像条纹的消除方法已经有了许多研究,主要分为频率域滤波法和空间域直方图修正法两类,频域法主要用于提取图像中特定目标信息或去除特定频率的噪声;空间域处理法如修正图像直方图方法^[3]、改进直方图配正方法^[4]、平滑直方图修正^[5]等对多元扫描图像进行条纹去除.本文是在各通道进行归一化处理基础上,采用直方图匹配法进行进一步订正,具有兼顾大范围图像快速处理与小范围精细化处理的优点.

首先采用比值修正法.以某一通道为基准的情况,其他通道根据通道间的相对差值,进行归一化处理,如以可见光 V1 为例,其他通道的计算公式如下:

$$V_2(i, j) = W_2(i, j) \cdot \mu_1 / \mu_2, \quad (4)$$

$$V_3(i, j) = W_3(i, j) \cdot \mu_1 / \mu_3, \quad (5)$$

$$V_4(i, j) = W_4(i, j) \cdot \mu_1 / \mu_4, \quad (6)$$

其中 μ_n 为第 n 通道的均值, $W_n(i, j)$ 、 $V_n(i, j)$ 分别为可见光第 n 探测器第 i 行 j 列的处理前后图像像素灰度, $i = 0, 1, \dots, N-1$; $j = 0, 1, \dots, N-1$, 图象大小为 $N * N$.

在此基础上,图像的明暗一致性得到很大改善,为进一步减少图像中的细微条纹,可以利用直方图匹配法对剩余不均匀性进行处理.对所有探测通道进行不同灰度等级的归一化概率统计,然后以其中某一探测元的分布为基准,将其他探测元的归一化的概率分布分别进行差值比较,为确保不同探测通道具有相同的分布关系,因此对于同一概率值的前提下,将两条概率分布曲线分别对应的灰度得出换算关系,进而对所该通道的图像数据进行转换处理,得出处理后的均匀化图像.

利用此方法对风云二号可见光图像进行了图像归一化及直方图匹配处理,如图 4 所示为处理前后的四元可见光探测图像的对比,从图中可以看出,当经过扫描辐射计增益调整之后,图像的亮暗等一致性已很好,但对图像进行局部放大之后(右下角所示)仍有细微的横向条纹,通过图像归一化及直方图匹配相结合的算法处理之后(右图所示),可以明显看出图像的细微条纹得到修正.

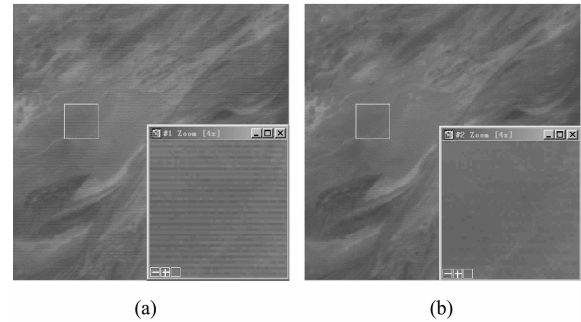


图 4 直方图匹配方法处理前后比较 (a)处理前 (b)处理后
Fig. 4 Image results processed by histogram matching (a) before (b) after processed

3 结论

FY-2 系列静止气象的可见光多探测器的不一致性直接影响探测资料的质量和可视效果,如不从系统上统一实施处理,将影响卫星遥感图像的定量应用和效益发挥.本文通过对几颗 FY-2 气象卫星管理和数据处理经验,提出了定量分析和计算方法,对在轨卫星遥感图像的不一致进行量化计算和监测,从而监视卫星各探测器性能的变化,必要时对卫星搭载仪器的相关探测器进行准确的增益调整,使图像的动态范围和不均匀性得到了极大的改善.在此基础上,结合 FY-2 气象卫星图像的特点,提出了归一化处理及直方图匹配相结合的遥感图像算法,该算法具有速度快、效果佳的特点,实际处理后图像的均匀性得到明显提高.该方法具有很好的推广价值,可以广泛应用于各种遥感卫星的多元探测图像的处理.

REFERENCES

- [1] LI Bing, PAN Yin-Song, YUAN Xiang-Hui, et al. Study on real time correcting the nonuniformity of solid state image sensor[J]. *Infrared Technology* (李兵,潘银松,袁祥辉,等. 固体图像传感器非均匀性实时校正研究. *红外技术*), 2002, 22(4): 30—33.
- [2] Tanaka S C. A need and method for nonunity correction in solid state image sensor[J]. *SPIE*, 1982, 350.
- [3] Horn B K P, Woodham R J. Destriping landsat MSS images by histogram modification [J]. *Comput. Graph & Image Process*, 1970, 10(1): 69—83.
- [4] Wegener M. Destriping multiple sensor imagery by improved histogram matching [J]. *Int. J. Remote sensing*, 1990, 11(5): 859—875.
- [5] Kautsky J, Nichols N K, Jupp D L B. Smoothed histogram modification for image processing [J]. *Comput. Vis. & Image Process*, 1984, 26(3): 271—291.