

文章编号:1001-9014(2004)05-0451-04

《神舟三号》成像光谱仪图像条带消除的一种方法

朱小祥^{1,2}, 范天锡², 黄 签²

(1. 北京大学 物理学院大气科学系, 北京 100871; 2. 国家卫星气象中心, 北京 100081)

摘要: 图像条带是成像光谱仪采用多元并扫方式获取遥感数据而引起的新问题之一. 本文对图像条带的成因进行了初步阐述, 并简要介绍了国内外现有图像条带处理的方法, 着重介绍了归一化经验分布函数匹配方法工作原理, 并用该方法对《神舟三号》成像光谱仪图像条带消除进行了试验. 结果表明: 归一化经验分布函数匹配方法对《神舟三号》中分辨率成像光谱仪图像条带消除是非常有效的, 图像质量明显得到改善, 对以后同类仪器的资料处理具有很好的借鉴作用.

关键词: 成像光谱仪; 敏感元; 条带; 经验分布函数

中图分类号: TP751.1 **文献标识码:** A

METHOD TO DESTRIPE IMAGING SPECTRORADIOMETER DATA OF SZ-3

ZHU Xiao-Xiang^{1,2}, FAN Tian-Xi², HUANG Qian²

(1. Department of Atmospheric Science, School of Physics, Peking University, Beijing 100871, China;

2. National Satellite Meteorological Center, CMA, Beijing 100081, China)

Abstract: Striping is new problem for imaging spectroradiometer data, which is obtained by multi-sensor scanning on spacecraft. The reason causing stripes and the development of striping removal methods were described, and the principle of matching empirical distribution functions was introduced in detail. By using this method, some experiments were done to destripe imaging spectroradiometer data of SZ-3. The result shows that the method of matching empirical distribution functions is available for destriping imaging spectroradiometer data of SZ-3, and the quality of image is improved obviously. This will help to process the future similar instruments data.

Key words: imaging spectroradiometer; sensor; stripe; empirical distribution functions

引言

随着航天遥感技术的不断完善和发展, 对遥感仪器的观测频率、扫描范围和数据空间分辨率的需求也越来越高. 为满足这一需求, 目前卫星平台上的许多遥感仪器通过采用多元敏感器并列扫描方式(简称多元并扫)对地进行观测来实现. 如我国的《风云二号》静止气象卫星和资源一号卫星, 美国的GOES 静止气象卫星和地球观测系统(EOS)系列卫星等. 但在资料加工处理时都遇到了一个严重问题, 主要表现在遥感图像出现有规律的条带分布, 条带宽度与传感器多元敏感元个数的扫描线宽度一致,

而且随着时间的推移, 条带现象日趋严重, 与单敏感元扫描图像中的噪声相比有明显差异, 该现象称作图像资料的不均匀性. 形成这一现象的主要原因是由于各敏感元的物理和光学性能不一样造成的. 由于在实验室很难对敏感元实现精确的定标处理, 加之经过发射、飞行等环节和一段时间的运行后, 各敏感元的变化(如衰减等)不一样. 因此, 用每敏感元的实验定标系数来订正图像条带是十分困难的, 实际情况也是如此. 从某种意义上讲, 对于多元并扫成像光谱仪而言, 条带是其图像的一个主要特征.

数据条带的存在不仅影响了遥感图像质量和可视性, 而且给遥感资料的定标处理造成了极大困难,

收稿日期: 2003-06-30, 修回日期: 2004-04-12

Received date: 2003-06-30, revised date: 2004-04-12

基金项目: 载人航天工程资助项目

作者简介: 朱小祥(1967-), 男, 浙江富阳人, 教授级高级工程师, 北京大学在读博士. 主要从事卫星资料处理和应用研究以及卫星地面应用系统工程的建设.

进而影响了大气和地表物理参数的定量计算. 因此, 开展图像条带消除(又称均匀性处理)有效方法的研究是非常必要的.

1 方法介绍

众多学者已就图像条带成因及消除方法进行了研究. 如 1979 年 Horn^[1] 等人通过直方图修正对陆地资源卫星 MSS 图像进行去条带; 1984 年, Kautsky^[2] 等人采用平滑直方图修正进行图像处理; Weinreb^[3] 等人在 1989 年通过经验分布函数匹配方法对 GOES 图像进行条带处理; 同年, Robert E. Crippen^[4] 采用单一空间滤波程度对陆地资源卫星 TM P 记录的图像进行扫描线噪声消除; Michael^[5] 在 1990 年提出用改进的直方图配正方法对多元扫描图像进行去条带; 1998 年 Srinivassan^[6] 等人提出用强滤波方法对陆地资源卫星数据进行去条带; 2000 年 Gadallah F L^[7] 等人提出用矩匹配方法消除多元扫描图像的条带. 我国部分科研工作者针对中分辨率成像光谱仪资料的特点, 开展了部分试验性的研究工作, 如采用小波变换方法^[8]、改进矩匹配方法^[9], 取得了一定的成果.

上述用于去除图像条带的方法归纳起来可以分为两类. 一类是通过傅里叶变换在频率域通过滤波算子去除周期性噪声的频率成份, 然后反变换回空域获得去噪后图像, 其缺点是不容易选择正确的频率成份. 另一类是针对图像灰度值特征而进行的归一化和匹配方法, 典型的有直方图匹配, 矩匹配方法.

本文以 Weinreb 等人在 1989 年利用经验分布函数匹配方法对 GOES 图像条带处理方法为基础, 开展对神舟三号成像光谱仪数据条带消除试验研究. 其理论基础简述如下.

从理论上讲, 对于不同敏感元而言, 当它们对同一视场进行观测时, 其得到的辐射值应该是相同的, 而实际上由于每个敏感元性能的不一样, 其测量得到的视场辐射值会有一定的偏差, 这一偏差在图像上则表现为条带, 是造成图像条带的主要根源. 与此同时, 遥感仪器在对地观测时, 每敏感元的观测视场是不同的, 因此其得到的辐射值是不一样的. 但当观测大范围下垫面时, 每敏感元观测得到的不同地物辐射值的密度分布几乎是相同的. 因此, 当知道某一敏感元观测值的密度分布时, 其它敏感元密度分布也就知道了.

在实际应用中, 通常选择一个相对稳定、低噪声、输出值动态范围大的敏感元作为标准, 其它敏感

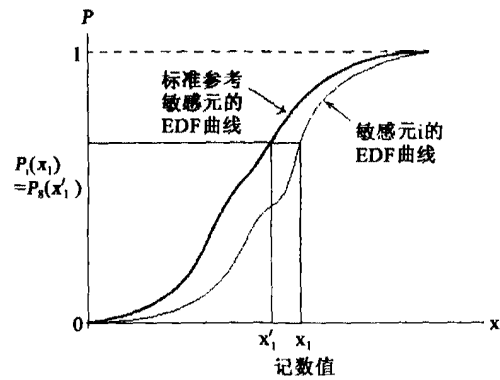


图 1 利用经验分布函数(EDF)得到归一化查找表示意图
Fig. 1 Illustration of procedure to generate normalization look-up table

元以此为标准进行调整, 从而实现图像条带消除.

统计每个敏感元观测值的密度分布, 一种有效的方法是将敏感元观测得到的不同辐射值概率进行卷积, 数学上可用经验分布函数(EDF)来表示. 即

$$P_i(x) = \sum_{y=0}^x p_i(y), \quad (1)$$

式中, 下标 i 为敏感元编号, $p_i(y)$ 为敏感元观测值为 x 时的分布概率, $P_i(x)$ 则是敏感元观测值从 0 到 x 的卷积, 这里即为 0 到 x 的概率和.

由此可见, $P_i(x)$ 是随 x 增加而增加, 近似为单调递增函数, 当 x 达到最大值 X 时, 则有

$$P_i(X) = 1. \quad (2)$$

当确定某一敏感元作标准参考敏感元时, 其归一化值 x 和其它敏感元的输出值 x' 必须满足

$$P_s(x') = P_i(x), \quad (3)$$

这里, 下标 s 是指标准参考敏感元. 在实际计算中, P_s 是 x' 的单调递增函数, 因此有

$$x' = P_s^{-1} [(P_i(x))]. \quad (4)$$

式(4)给出了每个 x 与 x' 的对应关系, 由此可生成相应的查找表. 图 1 是利用经验分布函数生成查找表示意图, 它是标准参考敏感元与敏感元 i 的经验函数分布. 图中各敏感元的经验分布函数是连续的, 而实际上是离散的, 因为自变量 x 为整数.

为得到观测记数值 x_1 所对应的归一化记数值 x'_1 , 须进行以下处理: 首先确定敏感元 i 在观测记数值 x_1 处的概率和, 图中即为 $P_i(x_1)$. 其次, 在标准参考敏感元的经验分布函数曲线中找到相对应的值, 由方程(3)可知, 该值可表示为 $P_s(x'_1)$. 最后, 利用标准参考敏感元的经验分布函数确定归一化记数值 x'_1 . 由于遥感数据实际上是不连续的, 因此 x'_1 须通过标准参考敏感元的经验分布函数值内插来得到.



图2 《神舟三号》中分辨率成像光谱仪通道3的部分原始图像

Fig. 2 Raw image at channel 3 of imaging spectroradiometer data of AZ-3

2 资料处理和分析

《神舟三号》中分辨率成像光谱仪是由中国科学院上海技术物理研究所设计研制的一种高光谱敏感元,共有34个通道。其中,30个通道分布在可见光和近红外区,从401nm至1018nm,各通道间的波长间隔和宽度都为20nm左右;其它4个通道则分布在中红外和远红外区,分别为2.15~2.25 μm 、8.4~8.9 μm 、10.3~11.3 μm 和11.5~12.5 μm 。每个通道的空间分辨率均为500m,图像数据由22个敏感元并列扫描获取,其动态范围为12bit,即0至4095。

图2是《神舟三号》中分辨率成像光谱仪第76条轨道通道3(440~460nm)的部分原始图像。图中条带清晰可见,而且有一定的分布规律。经分析计算,条带规律性定长宽度为22条扫描线,与通道敏感元个数相一致。同时对其它通道原始数据进行图像显示分析,结果表明:每个通道的图像均有条带出现,与通道3的情况基本一致,有些通道条带现象严重一些,有些通道则稍好些。

为消除遥感资料中出现的条带现象,本文利用经验分布函数匹配方法,对各通道数据进行校正处理,处理过程如下:

1)根据某一轨道的资料情况,分别提取34个通道每个敏感元的原始数据,计算每个记数值的概率,利用方程(1)统计敏感元的经验分布函数;

2)分析、比较每个通道22个敏感元的原始数据质量和概率经验分布函数曲线,选择一个数据噪声低、动态范围大以及有合理概率经验分布函数曲线的敏感元作为标准参考敏感元。以通道15为例,经对其22个敏感元的原始资料和各自的概率经验

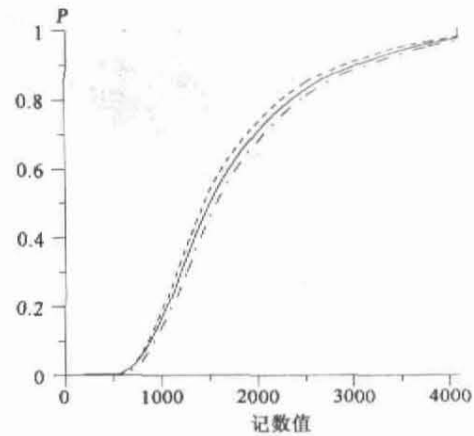


图3 《神舟三号》中分辨率成像光谱仪76轨第15通道部分敏感元概率经验分布函数曲线分布。其中,虚线、实线和点划线分别代表第1、3、22敏感元。

Fig. 3 Empirical distribution function at channel 15 data unnormalized parts of sensors for SZ-3 76th orbit, (---) Sensor 1, (—) sensor 3, (- · - ·) sensor 22

分布函数比较分析,发现第3个敏感元的性能相对较好,故选择该敏感元作为标准参考敏感元。各通道所选择的标准参考敏感元序号见表1所列。通道15部分敏感元概率经验分布函数曲线见图3。

3)利用式(4)和概率经验分布函数,通过与标准参考敏感元比对,确定其它21个敏感元各个记数值的查找表:

4)利用每个通道的查找表,对各通道数据进行修正,形成新的数据文件。

图4是图2经条带订正处理后的图像。由图可见,图像条带已基本消除,图像质量得到明显改善。图5是利用多通道合成的彩色图像,图像条带订正前后的视觉效果更加显著。

由于采用了经验分布函数匹配方法,对于相对稳定的敏感元而言,其原始数据修正往往呈一定的方向性,即订正量为正或负。如图3所示,当某一敏

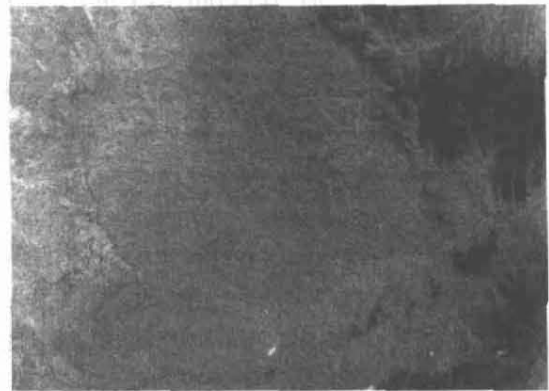


图4 经条带订正处理后的图像,地理范围和日期同图2。

Fig. 4 Destriping image, others are the same as Fig. 2

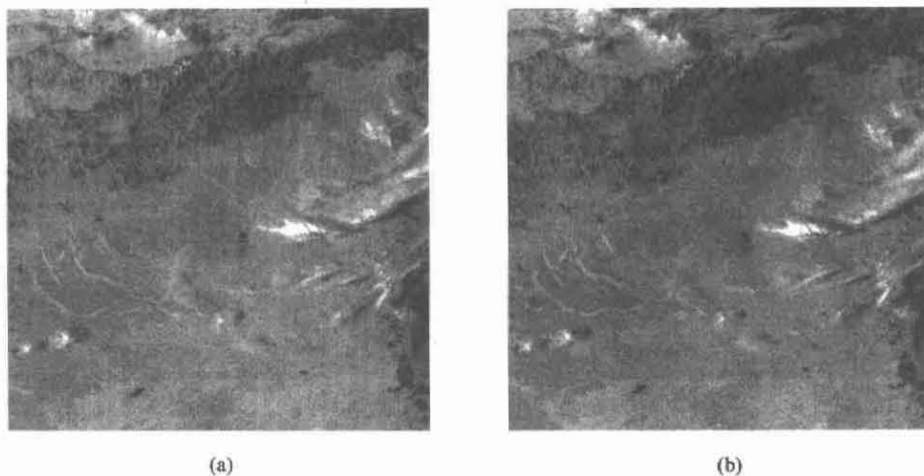


图5 《神舟三号》中分辨率成像光谱仪部分通道条带订正前后彩色合成图像比较(图像由通道15、20和3记数值(RGB)进行合成)(a)原始三通道合成图像(b)去条带后三通道合成图像

Fig.5 Comparison between a) raw composite image and b) destriping composite image of SZ-3 imaging spectroradiometer (channel 15, 20, 3(RGB)) (a) raw composite image (b) destriping composite image

感元的概率经验分布函数曲线位于标准参考敏感元曲线的上方时,该敏感元数据在图像上表现为“暗线”,反之,则为“亮线”。因此,各敏感元记数值的订正具有系统性,基本保留了原始资料的信息。同时由于使用了查找表方式,经过条带处理的资料与原始资料可以相互转换,确保资料的原始特征。由于每个通道都选择了某一标准参考敏感元,因此,通道数据在定标处理时,该标准参考敏感元的定标系数可适用于整个通道数据,大大方便了数据的定标处理。

通过对不同轨道资料处理研究结果表明,由于资料覆盖范围及扫描仪观测角等的不同,各敏感元得到的记数值动态范围也随之发生变化,各记数值的概率分布密度也由此发生变化。同时,为了消除敏感元之间的相对变化,在实际处理每条轨道数据时,都重新计算查找表,而后进行订正处理。另外,由于经验分布函数匹配方法是建立在统计基础之上的,因此当图像足够大,地物分布相对均匀时,其得到的结果更好。对于小幅图像,由于受到统计样本的限制,其结果要稍差一些。此外,低端数据受敏感元灵敏度的影响很大,如洋面上的可见光数据,条带处理效果不是十分理想。

3 结语

通过大量轨道数据试验,研究表明:利用经验分布函数匹配方法对《神舟三号》中分辨率成像光谱仪数据进行归一化处理是非常有效的,数据图像条带得到有效处理,图像质量明显得到改善,为数据定标和定量处理提供了极大方便,具有较好的应用前景。我国新一代极轨业务气象卫星《风云三号》将搭

载中分辨率成像光谱仪,其工作方式类同于《神舟三号》中分辨率成像光谱仪,届时本方法将对卫星遥感资料的处理会有极大的帮助。

REFERENCES

- [1] Horn B K P, Woodham R J. Destriping Landsat MSS images by histogram modification[J]. *Comput. Graph. & Image Process.*, 1979, **10**(1): 69—83.
- [2] 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.
- [3] Weinreb M P, Xie R, Lienesch, et al. Destriping GEOS images by matching empirical distribution functions[J]. *Remote Sens. Environ.* 1989, **29**(2): 185—195.
- [4] Robert E. Crippen. Simple spatial filtering routine for the cosmetic removal of scan-line noise from landsat TM P-tape imagery [J]. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 1989, **55**(3): 327—331.
- [5] Michael Wegener. Destriping multiple sensor imagery by improved histogram matching[J]. *Int. J. Remote sensing*, 1990, **11**(5): 5859—5875.
- [6] Srinivasan R, Cannon M, White J. Landsat data destriping using power filtering [J]. *Optical Engineering*, 1988, **27**(7): 939—943.
- [7] Gadallah F L, Csillag F, Smith E J M. Destriping multisensor imagery with moment matching[J]. *Int. J. Remote Sensing*, 2000, **21**(12): 2505—2511.
- [8] YANG Zhong-Dong, ZHANG Wen-Jan, LI Jun, et al. Destriping for MODIS infrared band data via wavelet shrinkage [J]. *Journal of Remote Sensing* (杨忠东, 张文建, 李俊, 等. 应用小波收缩方法剔除热红外波段数据条带噪声. *遥感学报*), 2004, **8**(1): 23—30.
- [9] LIU Zheng-Jun, WANG Chang-Yao, WANG Chen. Destriping imaging spectroradiometer data by an improved moment matching method [J]. *Journal of Remote Sensing* (刘正军, 王长耀, 王成. 成像光谱仪图像条带噪声去除的改进矩匹配方法. *遥感学报*), 2002, **6**(4): 279—284.