

文章编号:1001-9014(2007)02-0153-04

大气红外探测仪的探测器序列定位误差

官莉¹, Huang Hung-Lung²

(1. 南京信息工程大学 遥感学院, 江苏 南京 210044; 2. University of Wisconsin, Madison WI, 53705, USA)

摘要:大气红外探测仪 AIRS 的核心是一个光栅光谱仪序列, 2378 个红外探测器分装在 17 个探测器序列上, 本文以实例说明了由于探测器序列在视轴方向有偏移, 即空间错误定位误差给 AIRS 的观测值带来的影响及其光谱分布特征, 以及观测值误差对后继红外晴空订正和大气廓线反演的影响. 建议以后在设计同类仪器时要避免探测器序列错误定位问题, 或选用干涉式分光系统.

关键词:红外; 高光谱; 大气红外探测仪; 定位误差

中图分类号:P407.6 **文献标识码:**A

ARRAY CO-REGISTRATION ERROR OF AIRS

GUAN Li¹, HUANG Hung-Lung²

(1. Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China;

2. University of Wisconsin, Madison WI 53705, USA)

Abstract: The heart of atmospheric infrared sounder (AIRS) instrument is a cooled array grating spectrometer operating over the range of 3.7 ~ 15.4 μm . The assembly consists of 17 arrays. Within these 17 detector arrays, there are 2378 individual detectors. Spatial centroid offsets, or imperfect alignments (spatial co-misregistration), of these 17 arrays, indicate large discontinuities between most of both the longwave and shortwave arrays. We demonstrate that the co-misregistration error of AIRS might significantly handicap the optimal utilities of the AIRS data in cloud-clearing radiances for sounding retrieval and other future utilizations such as data assimilation.

Key words: infrared; hyperspectra; atmospheric infrared sounder (AIRS); co-misregistration error

引言

大气红外探测仪 AIRS 与先进的微波探测器 AMSU 及水汽探测器 HSB 一起载在 2002 年 5 月 4 日发射的地球观测系统 EOS Aqua 卫星平台上. 光栅式大气红外探测仪 AIRS 采用红外光栅阵分光技术, 光谱覆盖 3.7 μm ~ 15.4 μm (650cm^{-1} ~ 2700cm^{-1}) 范围内共有 2378 个红外通道, 高光谱分辨率平均为 $1200(\lambda/\Delta\lambda)$ ^[1]. AIRS 跨轨迹横扫描宽度约为 1650km, 星下点水平分辨率为 13.5km, 垂直分辨率为 1km, 能提供从地面到 40km 高度的大气信息, 具有高测量精度和高光谱分辨率的特性^[2], 第一次在卫星上实现了真正意义上的对大气、海洋环境的高光谱分辨率大气红外探测. 卫星红外高光谱遥感探测将是新一代卫星大气遥感探测的发展方向, 是大气卫星遥感的新领域, 如何正确、有效、最佳

地使用如此多通道的资料, 对资料的处理和应用提出了前所未有的挑战, 目前国内外都还处在探索、研究阶段.

1 AIRS 探测器序列定位误差对其观测值的影响

AIRS 仪器的核心是一个光栅光谱仪序列, 光谱分辨率 650 ~ 1150 cm^{-1} 为 0.5 cm^{-1} , 1200 ~ 1620 cm^{-1} 为 1 cm^{-1} , 而 2150 ~ 2700 cm^{-1} 为 2 cm^{-1} , 共有 2378 个红外探测器分装在 17 个探测器序列上, 每个探测器序列上约有 94 ~ 192 个探测器, 使得 AIRS 能同时观测 2378 个光谱取样. 这 17 个探测器序列在视轴方向有偏移, 即不是排在一条线上、空间错误定位, 探测器在视轴方向的偏移量在仪器发射前由 AIRS 通道特性文件定量给出, 因此每个探测器序列同时观测的从严格意义上讲不是相同的视

收稿日期: 2006-07-10, 修回日期: 2006-09-30

基金项目: 国家自然科学基金(40605009)资助项目

作者简介: 官莉(1973-), 女, 新疆库尔勒人, 副教授, 主要从事大气遥感科学与技术的研究.

Received date: 2006-07-10, revised date: 2006-09-30

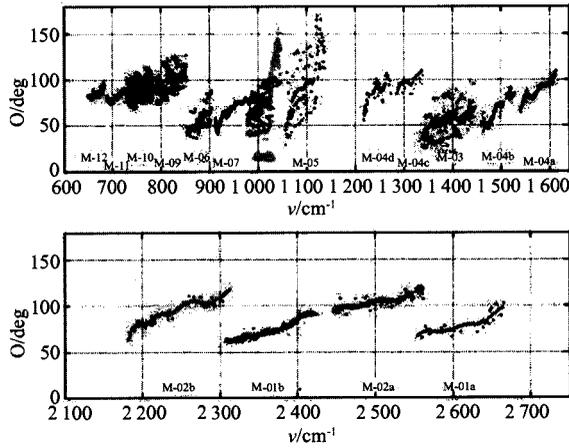


图1 AIRS 探测器相对视轴中心的偏移量(单位:度 × 1000)
Fig.1 The AIRS spatial centroid offsets from boresight in millidegrees

场,图1显示了发射前测量的2378个探测器相对视轴中心在x和y方向偏移量O的合成(单位:度 × 1000),横坐标是波数,从图中可看出,无论是在长波红外还是短波红外波段各探测器序列间都存在明显的偏移,尤其是在序列M-08和M-09、M-07和M-08、M-02a和M-01a之间偏移量较大,长波较大偏移发生在序列M-08和M-09间的850cm⁻¹附近(偏移量近100微度)、M-08和M-07间的905cm⁻¹光谱位置,短波较大跳变发生在序列M-02a和M-01a间的2560cm⁻¹。

下面我们就看看这些探测器序列定位误差会对AIRS的观测值带来怎样的影响?先举一个具体的例子,取AIRS在2003年9月2日观测的场景192为例,图2显示了该场景在窗区通道899.96cm⁻¹观测的亮度温度图(左),亮温较低的冷云由蓝色(冷色调)来表示,比较暖的亮温值(暖色调)意味着中低云或地表,取4个测试象素,右图分别给出了它们在长波段的亮温谱分布,从图中(右)看到这4个AIRS观测的云亮温谱中有3个(象素1、2和3)在探测器序列M-07/M-08和M-08/M-09的重叠段出现了明显的亮温值突变现象,亮温跳变能达到5K或更高,这些突变发生在AIRS不同的探测器序列变更的光谱位置上,主要就是由于探测器序列定位误差造成的。

接下来用2个安装在不同的探测器序列但光谱非常接近的探测通道来测试空间错误定位的存在,取分别安装在探测器序列M08和M09上,但光谱邻近的2个通道851.490cm⁻¹和851.607cm⁻¹的模拟亮温为例进行比较,计算亮度温度采用的是SARTA

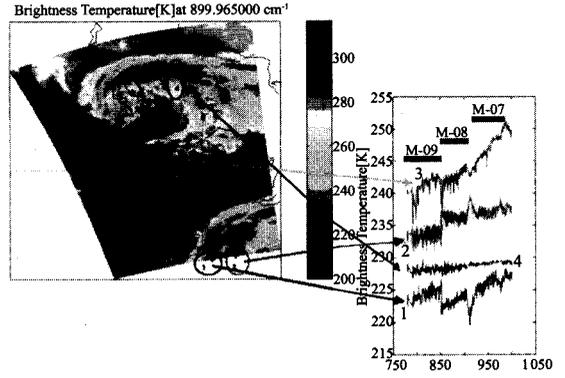


图2 举例 AIRS 错误定位误差对观测亮温谱的影响
Fig.2 Example of focal plane mis-registration effect on AIRS brightness temperature spectra

(Stand-Alone Radiative Transfer Algorithm)辐射传输模式,先分不同大气状态时(热带大气、中纬度夏季、中纬度冬季、副极带夏季、副极带冬季和美国标准大气)定量统计了这2个通道的自然亮温差,平均值为0.22K,在分析AIRS观测错误定位误差时应参考这个差值(即表2中的参考值)。另一个可能引起2个通道观测值有明显差异的原因来自于仪器随机观测噪音,为减小噪音影响,先对AIRS的观测资料用主特征法进行重构,去除由于探测器观测或定标误差等带来的随机噪音,达到减小噪音的目的^[3],然后再计算这2个通道亮温的差值,这样两通道的差值主要就是由定位误差引起的。我们选取了3个飓风Charley、Frances和Ivan为例,统计前先用前30个特征向量来重构观测辐射值,减小噪音影响,以便客观确定2个探测器序列的错误定位误差到底有多大,在此仅给出飓风Ivan(2004年9月14日)的结果,图3显示了飓风Ivan在长波窗区1000cm⁻¹的亮温(图3(a))及由空间匹配的MODIS云检测信息确定的AIRS单视场的云检测结果(图3(b)),右图中红色以外的区域代表非晴空区,可以看出在这个AIRS场景中视场多是有云影响的。Ivan由2个AIRS场景组成,每个场景有12150个象素(135条扫描线 × 90象素),图4的直方图显示了这2个选择通道的亮温差值及其分布频率,统计时分成了三类视场情况,晴空(图4(a))、部分云(图4(b))和全部云覆盖(图4(c)),横坐标是亮温差,纵坐标是亮温差对应的象素数,可看出晴空视场点上两通道的亮温差明显小于有云影响的,而且部分云影响和全部被云覆盖时,差值不仅增大而且出现频率明显增高,说明晴空或非晴空视场时AIRS的错误定位误差会不同,有云影响时错误定位误差明显增大。

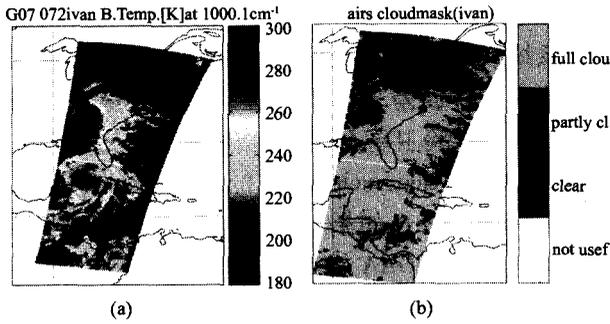


图 3 飓风 Ivan 在窗区的亮温(a)和云检测(b)
Fig.3 The brightness temperature at window channel (a) and cloud mask (b) of hurricane Ivan

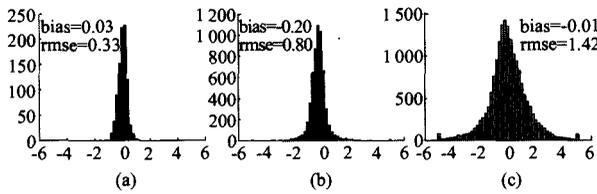


图 4 2 个通道亮温差的分布直方图 (a)晴空 (b)部分云影响 (c)全部云覆盖象素
Fig.4 The brightness temperature difference histogram of two AIRS channels (a) over clear pixels (b) partly cloudy pixels (c) overcast pixels

表 2 进一步演示了 AIRS 错位定位误差的存在性及其程度,表中给出飓风 Ivan 中两通道的亮温差分别大于 NeDT、1K、2K、3K 和 5K 的象素所占比例, NeDT 定义为通道观测亮温与重构亮温间差,代表仪器的辐射测量噪音,仍然分晴空、部分云和全云覆盖时进行统计,并计算了亮温差的平均值及均方根误差,从表中可分析:

- (1) 超过 59% 的 AIRS 视场 M-08 和 M-09 间的错误定位误差超过了估计的观测噪音;
- (2) 约有 28% 的 AIRS 视场的错误定位误差大于 1K;
- (3) 在全部被云覆盖的情况下,错误定位误差最大且出现频率最高。

表 2 飓风 Ivan 的 AIRS 错位定位误差统计(探测器序列 M-08 和 M-09 间的亮温差 K)
Table 2 AIRS co-misregistration error statistics of hurricane Ivan granules

飓风 Ivan		晴空	部分云	全云覆盖	总计
占百分比 (%)	> NeDT	1.15	12.05	46.25	59.45
	> 1K	0	2.5	26.4	28.90
	> 2K	0	0.7	9.35	10.05
	> 3K	0	0.3	3.5	3.8
	> 5K	0	0.1	0.6	0.7
亮温差 (K)	平均	-0.26	-0.105	-0.03	参考值
	均方根误差	0.45	0.78	1.425	约为 0.22K

为了概括 AIRS 错位定位误差的大小,我们用一天的 AIRS 全球观测资料(2004 年 10 月 26 日)进行了统计,分陆地/夜晚、陆地/白天、海洋/夜晚和海洋/白天四类,统计结果由表 3 给出,同样可以看到 AIRS 的观测值展示了很明显的错误定位误差,至少有 26% 的视场中选择的这两通道的亮温差大于 1K,均方根误差均大于 1K. 因此需要使用 AIRS 资料时要注意这个问题,小心使用资料,尽量不要选择错误定位误差较大的通道。

已经分白天和夜晚、海洋和陆地,晴空、部分云 and 完全云覆盖分析了探测器错误定位时给观测值带来的误差大小、具有怎样的光谱特征,其存在又会影响后继的晴空订正和云特性反演,我们需进一步研究 AIRS 错位定位引起的观测值的误差对其后的晴空订正将带来什么样的影响?

2 AIRS 的错位定位误差对红外晴空辐射订正的影响

AIRS 的错位定位误差会对晴空订正的质量产生负面影响,进而影响大气廓线反演和资料同化质量等. 我们选择了 2002 年 9 月 6 日场景 193 来探索错位定位误差对 AIRS 业务 AIRS/AMSU 晴空订正产品的影响^[4],分三类(错位定位误差小于 0.5K, 在 0.5 ~ 1.0K 间,大于 1.0K,同样错位定位误差定义为 851.61 和 851.49cm⁻¹两通道的亮温差)统计了卷积到 MODIS 相应通道上的 AIRS/AMSU 晴空订正亮温与空间匹配的 MODIS 晴空观测亮温之间的偏差和均方根误差^[5],以 MODIS 红外通道晴空观测亮温为真值,结果如图 5 所示,横坐标是 MODIS 的红外通道,随着错位定位误差的增大(从蓝色:错位定位误差小于 0.5K 到红色:错位定位误差大于 1K),不论是晴空订正的误差偏差(图 5(a))还是均方根误差(图 5(b))都明显增大(除了个别 MODIS

表 3 由 2004 年 10 月 26 日全球 AIRS 观测资料统计的错位定位误差(亮温差 K)
Table 3 Statistics of AIRS co-misregistration error derived from the global AIRS measurements of 26 October 2004 (The difference of brightness temperature K)

全球 2004 年 10 月 26 日		陆地/夜晚	陆地/白天	海洋/夜晚	海洋/白天
百分比 (%)	> NeDT	59	62	56	55
	> 1K	30	33	26	26
BT _{851.49} - BT _{851.61} (亮温差 K)	最小值	-7.12	-11.64	-10.69	-11.32
	最大值	5.95	13.50	11.53	9.86
	平均	0.196	0.04	0.024	-0.01
均方根误差		1.07	1.28	1.09	1.10

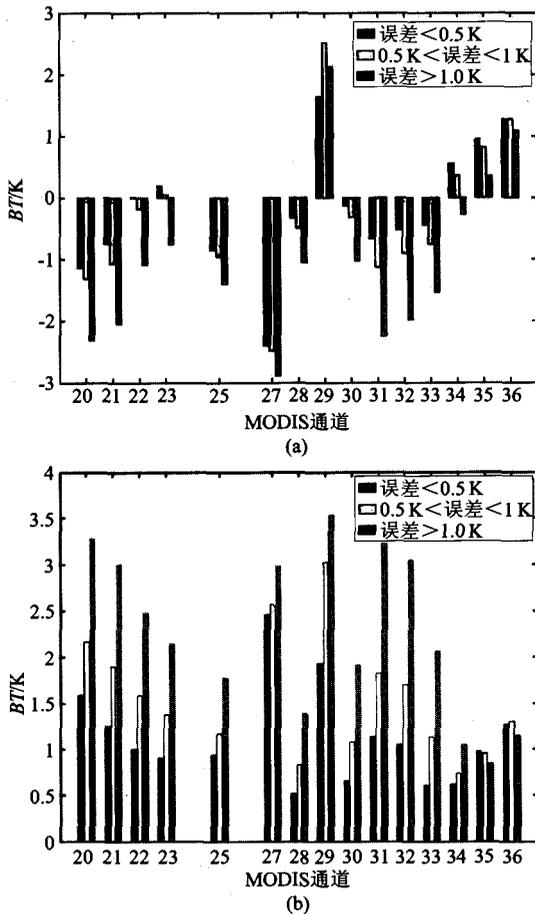


图5 AIRS 错误定位误差对业务 AIRS/AMSU 晴空订正效果的影响(a:偏差,b:均方根误差)

Fig. 5 The impact of AIRS co-misregistration error on the official AIRS/AMSU cloud-clearing performance (a is bias and b is root-mean-square error)

通道外),说明晴空订正辐射值与 MODIS 的晴空观测值间相差较大,错位定位误差使 AIRS 的晴空订正误差增大,影响了晴空订正的质量,如不能及时、客观的滤掉,就可能对晴空订正及后续产品带来不可弥补的影响。

3 结语

AIRS 观测资料中存在的错误定位误差明显影响了 AIRS 资料在晴空订正、大气廓线反演和云特性反演中的应用,以后在设计同类仪器时要注意探测器序列错误定位问题,尽可能避免,使用 AIRS 资料时尽量不要选用在探测器序列变更处的通道。

AIRS 以后的高光谱探测仪器大都采用干涉式分光系统,可避免由光栅阵分光技术带来的探测器序列错误定位误差.继 AIRS 上天后,NASA 计划在其静止科学试验卫星 EO-3 上搭载干涉式红外大气探测仪 GIFTS (Geosynchronous Imaging Fourier Transform Spectrometer),如果 GIFTS 探测数据能够成功应用于各领域,NOAA 将其技术应用在搭载于静止环境卫星 GOES-R 的高分辨率大气探测仪器 ABS (Advanced Baseline Sounder)/HES (Hyperspectral Environmental Sensor) 上,计划 2012 年发射.此外,美国计划在下一代极轨业务卫星 NPP 和 NPOESS 系列上装载干涉式跨轨红外探测仪 CrIS.欧洲气象卫星组织 EUMETSAT 计划 2006 年发射欧洲的新一代极轨业务卫星 METOP,装载红外大气干涉仪 IASI (Infrared Atmospheric Sounding Interferometer)^[6].我国新一代极轨气象卫星 FY-3 号 02 批星上也将搭载干涉式红外高光谱探测仪器。

REFERENCES

- [1] ZHANG Peng, Pascal Brunel, DONG Chao-Hua, *et al.* Study of hyperspectral IR atmospheric sounding with an accurate forward simulation [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (张鹏, Pascal Brunel, 董超华, 等. 卫星高光谱红外大气探测的正演模拟研究. *红外与毫米波学报*), 2005, **24** (6): 414—418.
- [2] Aumann H H. AIRS/AMSU/HSB on the Aqua mission: design, science objectives, data products, and processing systems [J]. *IEEE Trans Geosci Remote Sens*, 2003, **41**: 253—264.
- [3] Hunag H L, Antonelli P. Application of principal component analysis to high-resolution infrared measurement compression and retrieval [J]. *J. Appl. Meteor.*, 2002, **40**: 365—388.
- [4] Susskind J, Barnet C D, Blaisdell J M. Retrieval of atmospheric and surface parameters from AIRS/AMSU/HSB data in the presence of clouds [J]. *IEEE Trans Geosci and Remote Sens.*, 2003, **41**: 390—409.
- [5] Li J, Liu C-Y, Huang H L, *et al.* Optimal cloud-clearing for AIRS radiances using MODIS [J], *IEEE Trans Geosci and Remote Sens.*, 2005, **43** (6): 1266—1278.
- [6] WU Xue-Bao, ZHANG Feng-Ying, ZHU Yuan-Jing. Retrieval of thermodynamic parameters using high spectral resolution infrared measurements from satellites and aircraft [J]. *Meteorological Science and Technology* (吴雪宝, 张凤英, 朱元竞. 利用高光谱红外探测资料反演大气参数. *气象科技*), 2003, **31** (4): 201—205.