

FY-1C CAVHRR 归一化植被指数 (NDVI) 衰减订正方法研究*

谷松岩^{1),2)} 范天锡²⁾ 张文建²⁾ 闫静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

利用 FY-1C 连续 3 年的 CAVHRR 资料,以敦煌辐射校正场为分析区,分析了 CAVHRR 可见光、近红外通道的通道衰减特征,开展了归一化植被指数(NDVI)衰减订正方法研究及衰减订正试验。分析结果表明,FY-1C 可见光通道 1 的衰减使 FY-1C 全球及区域 NDVI 的分布特征出现不合理。以敦煌辐射校正场为参考目标,借助敦煌目标区通道反射率长时间变化特征分析,可以建立 NDVI 的时变订正模型,有效订正通道衰减引起的 NDVI 的不合理性。利用敦煌 NDVI 值稳定不变的特性得到的 FY-1C 扫描辐射计通道 1 更新定标系数,与 2000 年 9 月中国辐射校正场外定标试验结果一致。研究结果有助于提高 FY-1C 可见光、近红外通道遥感资料在环境遥感监测方面的定量应用精度。

关键词:通道衰减 NDVI 订正

引 言

FY-1C 已经在轨运行 3 年多,有效载荷扫描辐射计(CAVHRR)可见光、近红外通道仪器性能上出现了不同程度衰减。长时间动态监测分析结果表明^[1],FY-1C 扫描辐射计通道 1 从 1999 年 5 月发射到 2000 年 8 月的 1 年多时间内,平均月衰减率为 0.07%;2000 年 8 月下旬通道 1 的仪器性能发生衰变,到 2001 年 1 月期间仪器的平均月衰减率达到 1.02%;其它通道仪器性能未见明显突变,月平均衰减率大多在 0.17%到 0.38%之间。FY-1C 可见光、近红外通道不具备星上定标功能,仪器上星后,沿用地面的试验室定标结果,仪器的衰减使得试验室定标系数逐渐偏离真实情况,产生定标误差,给遥感信息的定量应用带来不便。科学分析、客观评价遥感仪器在轨衰减特性,有效订正仪器衰减带来的遥感数据定量使用中产生的误差,有助于保证 FY-1C 遥感资料进一步定量应用的精度^[2]。

FY-1C 归一化植被指数(NDVI)是 FY-1C 遥感资料 CAVHRR 和 GDPT 局地及全球环境监测应用中经常使用的重要遥感参数。通道衰减给 NDVI 的定量分析带来困难,本文选择 NDVI 低值特征区敦煌戈壁为目标,分析 NDVI 异常变化的特征并进行订正补偿

* 本文在国家自然科学基金项目(90102010)资助下完成。

2002-08-08 收到,2002-10-16 收到修改稿。

试验。最后给出了 NDVI 的时变订正补偿系数。

1 资料说明

FY-1C 扫描辐射计(CAVHRR)7 个可见光、近红外通道不仅涵盖了 NOAA 系列卫星的 AVHRR 两个相关通道,同时也包含了 LANDSAT 卫星的主题绘图仪(TM)以及海岸带水色扫描仪(CZCS)在可见光、近红外波段的相应通道,具有同时对陆地和海洋表面进行多光谱探测的功能。其通道光谱参数参见表 1。

表 1 FY-1C 可见光、近红外通道光谱参数

通道号	1	2	6	7	8	9	10
通道宽度(μm)	0.58~0.68	0.84~0.89	1.58~1.64	0.43~0.48	0.48~0.53	0.53~0.58	0.90~0.965

FY-1C 通道 1、2 的探测波段分别位于植被反射率的低谷和高峰区。二者的归一化差值形式构成归一化植被指数(NDVI),可以有效反映作物的生长状况。长时间以来被广泛用于地表环境监测。一般 NDVI 定义为:

$$I_{NDV} = [R_{CH2} - R_{CH1}] / [R_{CH2} + R_{CH1}] \times 100\%$$

其中 R_{CH2} 为通道 2 的反射率, R_{CH1} 为通道 1 的反射率。 I_{NDV} (NDVI)定义式中的比值形式,削弱了各种角度变化对 I_{NDV} 的影响。对敦煌戈壁地表而言, FY-1C 的 I_{NDV} 一般稳定在 0 值附近。因此通过分析敦煌 I_{NDV} 随时间的变化特征,可以监测到星载遥感仪器性能的变化情况。

敦煌戈壁目标区的分析资料从 FY-1C 1A5 数据中提取。分析数据包括 FY-1C 扫描辐射计的 7 个可见光和近红外通道(1、2、6、7、8、9 和 10)的计数值、反射率和 3 个基本角度量;资料时间从 2000 年 1 月到 2001 年 3 月。

敦煌辐射校正场场区下垫面均匀平坦,从国家卫星气象中心近年组织的多次外定标观测结果来看,场区物理特性稳定,适合于做通道衰减的定量分析目标。对戈壁下垫面而言, FY-1C 可见光通道 1 和通道 2 的通道反射率值接近。图 1 为敦煌戈壁归一化植被指数随时间的变化情况。从图 1 中可以看到 FY-1C 通道 1 的衰减引起了敦煌辐射校正场归一化植被指数发生异常变化,偏离了正常值。

在图 1 中, FY-1C 通道 1 衰减后,植被指数出现异常上升。到 2000 年底,已经接近 50。同时,从植被指数的变化曲线上可以看出 FY-1C 通道 1 发生第一次衰减以后,还陆续发生过多次衰减突变。

2 植被指数衰减订正试验

FY-1C 可见光通道 1 和 2 是环境遥感应应用研究的主要通道,通道 1 的严重衰减直接影响了 FY-1C 资料在环境遥感方面的应用。为了能继续利用 FY-1C 的在轨遥感信息,我们进行了 FY-1C 植被指数衰减订正试验。利用从 2000 年 1 月 1 日开始到 2001 年 3 月底 FY-1C 植被指数随时间变化的时间序列分析数据,对植被指数进行衰减订正。订正时利

用统计分析方法,分段进行线性回归,订正平均量,保留脉动量。订正系数按衰减的跳变情况分时段来确定。

FY-1C 扫描辐射计在轨动态监测分析结果表明,通道 2 仪器性能稳定,衰减缓慢,从 2000 年 1 月到 2001 年 3 月,平均月衰减率约为 0.17%。将通道 2 的衰减量考虑进去后,可以从订正后的 I'_{NDV} 值中反推出通道 1 应该具有的合理反射率值 R'_{CHI} 。进一步可得到通道 1 更新的定标系数^[3]。

$$I'_{NDV} = (R'_{CH2} - R'_{CHI}) / (R'_{CH2} + R'_{CHI}) \times 100\%$$

I'_{NDV} 和 R'_{CH2} 为衰减订正后的归一化植被指数和通道 2 的反射率值; R'_{CHI} 为通道 1 应该具有的合理反射率值。

$$I'_{NDV} = I_{NDV} - \Delta N_a - \Delta N + N_0$$

I_{NDV} 为 2000 年 1 月到 2001 年 3 月期间 FY-1C 实测的 I_{NDV} 值; ΔN_a 为 I_{NDV} 平均量的订正量; ΔN 为 I_{NDV} 实测量的订正量; N_0 为敦煌戈壁 I_{NDV} 的稳定常值,订正试验中取为 0。

$$\Delta N = A \times N_d + B$$

N_d 为日记数时间变量, A 、 B 值利

用最小二乘法确定,在不同时间段取不同值(见表 2)。

$$\Delta N_a = C \times N_d + D$$

C 、 D 为订正系数,利用最小二乘法得到: $C = -0.00967009$, $D = -1.97502$ 。

$$R'_{CH2} = g_2 \times N_c + I_2$$

g_2 、 I_2 为订正后定标系数的斜率和截距;计数值 N_c 直接从 FY-1C 的 1A5 轨道数据中读取; g_2 和 I_2 在不同时段取不同值,计算如下:

$$g_2 = g_0 + \delta g(\Delta t) \quad I_2 = I_0 + \delta I(\Delta t)$$

其中 g_2 为通道 2 新定标系数的斜率; g_0 为 1999 年 7 月 7 日外定标得到的通道 2 参考定标系数中的斜率,是斜率衰减变化的参考值; $\delta g(\Delta t)$ 为各通道随时间变化的斜率订正量。 I_2 为通道 2 新定标系数的截距; I_0 为各通道 1999 年外定标得到的参考定标系数中的截距,是截距衰减变化的参考值; $\delta I(\Delta t)$ 为各通道随时间变化的截距订正量。 $\delta g = 0.00122757 \Delta t$, $\delta I = -0.0135196 \Delta t$ 。 Δt 为时间变量,是从 1999 年 7 月为起算点的月累积计数或日累积计数两个变量的函数^[1]。

$$R'_{CHI} = R'_{CH2}(1 + I'_{NDV}) / (1 - I'_{NDV})$$

这样得到通道 1 衰减订正后的反射率 R'_{CHI} 。将 R'_{CHI} 和直接从卫星轨道数据中读取的通道 1 的计数值匹配,并以外空观测值为定标低值参考点,可以得到定标系数。

此时,利用敦煌和外空两个定标参考点,可以得到方程组:

$$\begin{cases} R_{敦} = g_1 \times N_{敦} + I_1 \\ R_{外} = g_1 \times N_{外} + I_1 \end{cases}$$

其中, $R_{敦}$ 为敦煌反射率; $N_{敦}$ 为敦煌计数值; $R_{外}$ 为扫描辐射计对外空观测得到的反射

表 2 A、B 系数表

时间段(日记数)	A	B
235 ~ 278	0.183658	- 37.3907
278 ~ 327	0.2584	- 53.1175
327 ~ 434	0.141846	- 11.7367

* 日记数:从 2000 年 1 月 1 日记起,2000 年内日数与日计数相同。2001 年的日数为 2000 年全年日数加上 2001 年的真实日计数。

率, $R_{外} = 0$; $N_{外}$ 为扫描辐射计对外空观测得到的计数值。 g_1 和 I_1 为待确定的 FY-1C 扫描辐射计通道 1 的定标系数。求解方程组得到定标系数如下:

$$\begin{cases} g_1 = R_{敦} / (N_{敦} - N_{外}) \\ I_1 = -g_1 \times N_{外} \end{cases}$$

表 3 是根据订正后的植被指数,推算得到的各不同时间段 FY-1C 通道 1 更新后的定标系数^[4]。

表 3 FY-1C 通道 1 不同时段更新后的定标系数

	g_1	I_1
定标线 1 (2000.1.1 ~ 8.22)	0.0980358	- 1.53107
定标线 2 (8.23 ~ 9.14)	0.122644	- 1.61595
定标线 3 (9.15 ~ 10.4)	0.147397	- 4.24476
定标线 4 (10.5 ~ 10.20)	0.136221	1.5766
定标线 5 (10.21 ~ 11.22)	0.173508	- 0.510996
定标线 6 (11.23 ~ 2001.1.16)	0.0968966	14.7086
定标线 7 (2001.1.17 ~ 2001.3)	0.229439	- 2.53936

图 2 中曲线 a 为衰减订正前植被指数随时间的变化曲线,曲线 b 为衰减订正后 FY-1C 植被指数随时间的变化曲线,兰色直线为归一化植被指数平均量的变化。从图 2 可以看到,订正以后, FY-1C 敦煌辐射校正场归一化植被指数随时间的变化保留了脉动量的变化特征,同时订正了平均量的不合理性。

3 植被指数衰减订正效果检验

图 3a 为衰减订正前 2000 年 9 月下旬 FY-1C 全球植被指数图;图 3b 为利用上面 I_{NDV} 的订正结果进行订正后得到的相同时段的植被指数图。对比分析两幅图可以直观地看到植被指数衰减订正的效果。在图 3a 中,非洲和澳大利亚中部的沙漠区,都变为高植被指数区,无法进行进一步的定量分析。图 3b 订正后的植被指数图像中,沙漠和植被区的分布趋于合理。

利用 I_{NDV} 的订正结果进一步推算 FY-1C 扫描辐射计衰减比较大的通道 1 的定标系数,可以有效订正通道衰减带来的误差。从图 4 中可以看到订正后 FY-1C 的 I_{NDV} 变化趋于合理;同时,对通道 1 的反射率值也做到了合理有效的订正。表 4 中利用 2000 年 9 月

表 4 2000 年外定标结果与 I_{NDV} 衰减订正结果的对比分析

	通道 1	
	斜率	截距
2000 年 9 月 外定标结果(A)	0.1443	- 1.7321
2000 年 9 月 NDVI 方法衰减订正结果(B)	0.1451	- 1.7409
误差偏差量 (B - A)	0.0007	- 0.0088
相对误差 (B - A) / A (%)	0.49	0.5

敦煌辐射校正场外定标结果与在轨数据分析衰减订正结果的对比分析结果表明,以在轨观测数据为基础,利用敦煌特征分析区 I_{NDV} 稳定不变的特点,可以有效分析仪器衰减特征,得到与外定标结果比较一致的订正效果。

4 小 结

本文通过 FY-1C 归一化植被指数的订正试验,得到了 I_{NDV} 及通道 1 反射率衰减订正系数,通过定标系数的订正补偿,取得了一定的订正效果。在轨卫星可见光、近红外通道的衰减分析及衰减订正试验,为 FY-1C 扫描辐射计可见光、近红外通道定标系数的在轨更新,积累了经验。上述分析方法可以进一步推广到风云卫星其它辐射计的衰减分析和订正试验工作中。如果遥感仪器的在轨衰减特性稳定,分析结果可以外推到其它时段,但对于变化比较大的通道(如 FY-1C 扫描辐射计通道 1),分析结果在分析时段内有效。外推到其它时段时,星载遥感仪器衰减的非线性特性,会给我们得到的定标订正结果的外推使用带来误差。同时,利用敦煌辐射校正场 I_{NDV} 的变化特点来订正衰减严重的 FY-1C 扫描辐射计通道 1 的衰减时,由于敦煌的 I_{NDV} 值比较低,低值点 I_{NDV} 的订正规律对 I_{NDV} 其它值域的可用性会依下垫面的不同而产生误差。总之,星载遥感仪器的衰减分析及订正,应该逐步成为业务实时监测内容。有效跟踪分析,会保证实时订正的效果,保证遥感资料的定量应用精度。

致谢:文中直接引用了国家卫星气象中心辐射校正场提供的 FY-1C 外定标结果,在此致谢!

参 考 文 献

- 1 谷松岩,邱红,刘玉洁,等. FY-1C 可见光通道衰减分析及订正试验. 应用气象学报, 2002, 13(6): 734 ~ 740.
- 2 Rao C R N, Chen J. Inter-satellite calibration linkage for the visible and near infrared channels of the Advanced Very High Resolution Radiometer on the NOAA-7, 9, and 11 spacecraft. *Int. J. Remote Sensing*, 1995, 16: 1931 ~ 1942.
- 3 Rao C R N, Chen J. Post-launch calibration of the visible and near infrared channels of the Advanced Very High Resolution Radiometer on the NOAA-14 spacecraft. *Int. J. Remote Sensing*, 1996, 17: 2743 ~ 2747.
- 4 Tahnk W R, Coakley J A. Improved calibration coefficients for NOAA-14 AVHRR visible and near infrared channels. *Int. J. Remote Sensing*, 2001, 22(7): 1269 ~ 1283.

IMPROVED NDVI of FY-1C CAVHRR

Gu Songyan^{1),2)} Fan Tianxi²⁾ Zhang Wenjian²⁾ Yan Jing²⁾

¹⁾ (*Atmospheric Department of Peking University, Beijing, 100871*)

²⁾ (*National Satellite Meteorology Center, Beijing, 100081*)

Abstract

An analysis of the NDVI and the calibration coefficients used to describe sensor degradation in Channel 1 of the Chinese Advanced Very High Resolution Radiometer (CAVHRR) boarding on the FY-1C spacecraft are presented. The radiometrically stable permanent sand of Dunhuang is used as a target to characterize sensor performance, and remote sensing data of CAVHRR over Dunhuang during 3 years was used. The analysis results show that the degradation in Channel 1 of FY-1C made the distribution of FY-1C NDVI all over the world fuzzy and cannot show the situation of canopy growing. Corrected model for NDVI and calibration formulae for Channel 1 of FY-1C CAVHRR constructed from Dunhuang reflectivity and NDVI database can improve the FY-1C global NDVI distribution. The relationship improving with time for NDVI and calibration coefficients for Channel 1 of FY-1C was derived from this researching work. The improved new calibration coefficients for CAVHRR Channel 1 have a great correspondence with the results of CRCS in 2000. It is recommended that the derived model and coefficients are helpful to improve the quantity application of FY-1C global remote sensing data.

Key words: Sensor degradation NDVI Improved calibration coefficients