

基于 NOAA/AVHRR 数据信息的海陆边界大气校正方法探索

李金萍, 徐 玮

(东华理工大学软件学院, 江西 南昌 330013)

摘 要:考虑到同一幅 NOAA 卫星图像形成的条件和时间相同,本文尝试了选取临近海域大气辐射对海陆边界进行大气校正的方法,校正过程中,4 和 5 通道辐射率分别采用海域水体值 0.990 和 0.985,大气透过率采用两个经验公式并结合海陆边界实测大气水汽压计算得出,并选取 NOAA 卫星图像中台海边界区域对该方法进行反演试验,使用 MODTRAN 大气辐射传输模型软件进行了算法间的对比分析,得出试验结果与理论分析相符。

关键词:温度反演;辐射亮度;辐射率;水汽压

中图分类号:TP721 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2020.01.012

Exploration of atmospheric correction method for sea-land boundary based on NOAA/AVHRR data information

LI Jin-ping, XU Wei

(Software Academy, East China University of Technology, Nanchang 330013, China)

Abstract: Considering that the same NOAA satellite image is formed under the same conditions and time, this paper attempts to select atmospheric radiation from the adjacent sea area to conduct atmospheric correction on the sea-land boundary. In the inversion process, the radiance of channels 4 and 5 was calculated by using the sea water values of 0.990 and 0.985 respectively, and the atmospheric transmittance was calculated by using two empirical formulas and combining with the measured atmospheric vapor pressure at the sea-land boundaries. In addition, NOAA satellite images of the Taiwan strait boundary area were selected to inverse the method. MODTRAN atmospheric radiative transfer model software was used to compare and analyze the algorithms, and the experimental results were consistent with the theoretical analysis.

Keywords: temperature inversion; radiant brightness; radiation rate; vapor pressure

1 引 言

地表温度是表征地表过程变化的重要特征物理量,是反映地球表面能量流和物质流时空变化最敏感的综合指标^[1]。地表温度在很多基础学科和相应领域都是一个重要参数,在数值预报及区域气候模式研究等领域得到广泛应用^[2]。地表温度在军事、气象预报、农情估产、气候变化、生态环境评估等

方面具有重大应用需求。目前,NOAA 卫星的热红外通道被广泛的应用到陆面温度反演领域,对于海面温度而言,辐射率变化很小,可以近似看作黑体,温度反演理论和实践方面都比较成熟^[3];陆地情形和海面差别很大,反演方法也很多,如今实用性很强的是分窗口算法^[4]。对于海陆边界地形情况复杂,到目前为止还没有公认的解决方法。本文针对海陆

基金项目:江西省数字国土重点实验室开放基金研究项目(No. DLLJ201610)资助。

作者简介:李金萍(1972-),女,副教授,硕士,主要从事卫星图像遥感,目标特征的提取与识别,数字图像处理,计算机技术等研究。E-mail:379896761@qq.com

收稿日期:2019-05-07

边界,利用 NOAA/AVHRR 数据临近海域信息进行了大气校正,理论推导和试验验证结果都比较理想。

2 反演理论基础

根据普朗克定律,黑体辐射强度 $B(\lambda, T)$ 的公式为:

$$B(\lambda, T) = \frac{2hc}{\lambda^3} \frac{1}{\exp[hc/(kT\lambda)] - 1} \times 10^{-6} \text{Wm}^{-2}\lambda^{-1} \quad (1)$$

式中, λ 为波长; h 为普朗克常数; c 为光速; T 为温度; k 为波尔兹曼常数^[5]。由于海面不是黑体,其辐射率 $\varepsilon(\lambda)$ 应为:

$$\varepsilon(\lambda) = \frac{B(\lambda, T)_{\text{灰体}}}{B(\lambda, T)_{\text{黑体}}} \quad (2)$$

对于黑体,实际温度 T 等于亮度温度 T_B ; 对于灰体,二者不同,存在一定的比例关系。这样,等效黑体辐射强度 $B(\lambda, T)$ 可写成:

$$B(\lambda, T) = \frac{2hC}{\lambda^3} \frac{1}{\exp[hc/(kT_B\lambda)] - 1} \quad (3)$$

传感器接收的辐射能量 R 主要有以两部分组成:

(1) 经大气等因素干扰后目标本身辐射到达传感器的能量 $\varepsilon B(\lambda, T)\tau$ 。

(2) 环境大气辐射的能量 R_{atm} 。

辐射传输方程可以简写成:

$$R = \varepsilon B(\lambda, T)\tau + R_{\text{atm}} \quad (4)$$

R 与 L 之间存在如下换算关系:

$$L = R/\pi \quad (5)$$

根据 NOAA/AVHRR 数据信息,计算 L 的线性公式如下:

$$L = S \cdot D + I \quad (6)$$

式中: R 为辐射量; L 为辐射亮度; ε 为辐射率; τ_0 为大气透过率; D 为像元灰度值; I 和 S 为卫星传感器标定系数。

从传感器获取的 L 以及公式(1),推出反演亮温 T :

$$L = \frac{c_1 \times v^3}{e^{c_2 \times v/T} - 1} \quad (7)$$

$$T = \frac{c_2 \times v}{\ln(1 + \frac{c_1 \times v^3}{L})} \quad (8)$$

其中 $c_1 = 1.190659 \times 10^{-5} (\text{W} \cdot \text{cm})$, $c_2 = 1.438833 (\text{cm} \cdot \text{K})$ 为常数; v 为波数 (cm^{-1})。

3 大气校正方法

在没有真实探空资料比较的前提下,我们分析由于同一幅 NOAA 卫星图像形成的时间相同,大气对于图像中的海面以及海陆边界的大气影响应该相近,虽然地理位置不同,大气影响不可能完全相同,但地域临近大气影响误差不会很大,由此我们采用图像中海陆边界临近的海域大气辐射量,将其附加到所要反演的海陆边界区域来进行大气校正。

我们拟采用校正思路如下,选取预研究的海陆边界临一部分海域:从公式(4)出发,把 T 作为已知的温度,反过来求大气辐射量 R_{atm} ,求得红外通道 4 和 5 的大气辐射值 $R_{\text{atm}4}$ 和 $R_{\text{atm}5}$,各大气辐射值分别和图像像素点的辐射量相对应。为使求计算出的数据更具应用意义,我们对 $R_{\text{atm}4}$ 和 $R_{\text{atm}5}$ 分别取平均值,再附加到海陆边界辐射量 R 上,进行大气校正。此方法关键因素是如何解决大气透过率 τ_0 和目标辐射率 ε 的数值。

3.1 大气透过率 τ_0

在 NOAA 卫星传感器 CH4 和 CH5 接收的红外窗区部分,主要吸收成分是水汽^[6],而具有一定带宽的窗区通道中的整层大气垂直透过率 τ_0 与大气水汽等效含量 W 服从指数关系,由此,本文应用文献[7]中得出的两个经验公式计算大气透过率。

$$W = 0.0502 + 0.6115 \times e_D \quad (9)$$

$$\tau_0 = \exp(A_0 + A_1 W + A_2 W^2) \quad (10)$$

对于 CH4 $A_0 = -0.011$, $A_1 = -0.043$, $A_2 = -0.0222$; 对于 CH5 $A_0 = -0.011$, $A_1 = -0.031$, $A_2 = -0.0388$; e_D 为反演区域表面大气水汽压。

3.2 辐射率 ε

CH4(10.5 ~ 11.5 μm)和 CH5(11.5 ~ 12.5 μm)海面辐射率取自柳钦火等人计算并总结的数据^[8],如表 1 表示。

表 1 辐射率计算的有关参数

Tab. 1 Parameters of radiance calculation

	水体	植被	屋顶	岩石	土壤
CH4 辐射率	0.990	0.957	0.968	0.947	0.968
CH5 辐射率	0.985	0.960	0.972	0.962	0.973

4 结果与讨论

我们截取 NOAA/AVHRR 卫星数据生成的图像中台海边界一块区域,进行该方法试验检验,其检验

程序主要流程如图 1 所示。

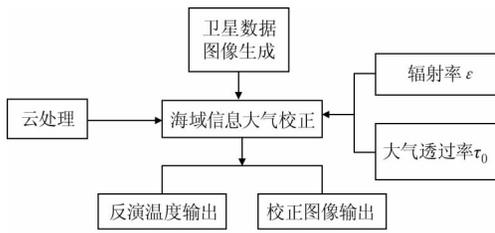


图 1 海域信息大气校正流程图

Fig. 1 Ocean information atmospheric correction flow chart

截取台海边界 61 像素 × 63 像素区域 3843 个像素点尝试反演试验,结果如表 2 所示。

表 2 数据结果

Tab. 2 The data result

方法	亮温			
	CH4 亮温 平均值/K	CH5 亮温 平均值/K	方差	均方差
台海边界区域原图	296. 21	293. 15		
除云后目标结果	296. 30	293. 24	3. 70	1. 91
海域信息大气校正结果	296. 94	294. 45	3. 64	1. 90

两通道海域信息大气校正后的亮温值比除云和原图像亮温值都有所提高,热红外卫星传感器测量的是经大气作用后到达其高度的地表辐射能,由于大气对热红外辐射既有吸收和散射作用,又有自身发射作用,除云以及大气校正消除了一些因素的干扰,使得反演亮温有所提高;在很多实际问题中,方差对研究偏离程度有重要意义,均方差则用来反映数据与真值之间的关系,从方差和均方差均数据来看,海域信息大气校正结果有所减小。

输出数据的同时分别输出校正前后的图像加以对比。如图 2 和图 3 所示。



图 2 CH4 各效果图

Fig. 2 The correction result of channel 4



图 3 CH5 各效果图

Fig. 3 The correction result of channel 5

用该方法校正后的图像较除云以及原图像的清晰度明显提高,校正效果很直观。

5 方法间比较

由于海陆边界的复杂性导致了大气纠正的不确定性、地表辐射率未等因素制约了它在实际中的应用。各种实际数据获得比较困难,经我国国家标准总局批准,在建立我国自己的标准大气前,可以使用 1976 年美国标准大气作为国家标准^[9],为了得到一个间接评价,我们利用大气辐射传输模型 MODTRAN 程序,选定相同的台海边界,分别应用美国标准模式和我们推理的海域信息大气校正法进行温度反演,以期得到间接评价结果。数据如表 3 所示。

表 3 程数据比较表

Tab. 3 The running program data comparison

方法	亮温			
	CH4 亮温 平均值/K	CH5 亮温 平均值/K	方差	均方差
台海边界区域原图	296. 21	293. 15		
美国标准模式校正结果	297. 18	294. 18	3. 65	1. 91
海域信息大气校正结果	296. 94	294. 45	3. 64	1. 90

从图中数据统计看出:海域信息大气校正各项结果与美国标准标准模式相比结果相近并且相差很小,由此可推知,利用 NOAA/AVHRR 数据信息进行海陆边界区域温度时,海域信息大气校正方法是借鉴使用的。

输出数据的同时分别输出校正前后的对比图像如图 4 和图 5 所示。



图 4 CH4 效果比较图

Fig. 4 Result of every correction method of channel 4



图 5 CH5 效果比较图

Fig. 5 Result of every correction method of channel 5

干扰越弱图像清晰度越高,从图中我们看出各

种两种大气校正方法较原图像清晰度均提高,海域信息大气校正方法和美国标准大气模式方法清晰度相近。

6 结 论

本文对海陆边界地表温度反演进行了探讨,在同一幅 NOAA 卫星图像上,选取海陆边界临近的海域,利用海域大气辐射信息对海陆边界区域进行大气辐射校正,并选取 NOAA 卫星 CH4 和 CH5 遥感数据,在台海边界进行了试验。同一幅图像形成时刻相同,理论上临近区大气影响值应该相近,我们试验验证的数据以及图像输出的结果均证明了这一点。为了更有效验证这一推理,我们利用大气辐射传输模型 MODTRAN 程序,选择美国标准大气模型,进行了方法间的比对分析,结果表明在误差允许范围内,海域信息大气校正方法是有效可行的。

参考文献:

- [1] LI Zhaoliang, TANG Bohui. Theory and method of thermal infrared remote sensing inversion of surface temperature [J]. Scientific Observation, 2017, 12(6): 57. (in Chinese)
李召良,唐伯惠. 地表温度热红外遥感反演理论与方法[J]. 科学观察, 2017, 12(6): 57.
- [2] LI Wei, ZHANG Kun, XU Songli. Annual observation and analysis of aerosol optical properties in Tianjin coastland [J]. Marine Science Bulletin, 2016, 18(2): 31-43. (in Chinese)
李伟,张锟,徐松立. 天津近岸气溶胶光学性质周年观测与分析[J]. Marine Science Bulletin, 2016, 18(2): 31-43.
- [3] SHI Peng. The ship detection based on optical remote sensing images [D]. Heifei: University of Science and Technology of China, 2010. (in Chinese)
施鹏. 基于光学遥感图像的舰船目标自动检测技术[D]. 合肥:中国科学技术大学, 2010.
- [4] Arnfield A J. Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island [J]. International Journal of Climatology, 2003, 23(1): 1-26.
- [5] XU Xiru. Remote sensing physics [M]. Beijing: Peking University Press, 2005. (in Chinese)
徐希孺. 遥感物理[M]. 北京:北京大学出版社, 2005.
- [6] BI Shun, LI Yunmei. Estimation of chlorophyll-a concentration in lake erhai based on OLCI data [J]. Lake Science, 2018, 30(3): 123-134. (in Chinese)
毕顺,李云梅,吕恒. 基于 OLCI 数据的洱海叶绿素 a 浓度估算[J]. 湖泊科学, 2018, 30(3): 123-134.
- [7] MO Qinsheng. Direct calculation of atmospheric window transmissivity by sea surface atmospheric parameters [J]. Infrared Research, 1987, (2): 27-33. (in Chinese)
莫秦生. 由海面大气参数直接计算大气红外窗区透过率[J]. 红外研究, 1987, (2): 27-33.
- [8] LIU Qinhua, XU Xiru. Iterative inversion method for remote sensing of surface temperature and specific emissivity [J]. Journal of Remote Sensing, 1998, 2(1): 1-9. (in Chinese)
柳钦火,徐希孺. 遥测地表温度与比辐射率的迭代反演方法[J]. 遥感学报, 1998, 2(1): 1-9.
- [9] DAI Jicui, SONG Jinming, ZHENG Guoxia. Analysis of the evolution of the sedimentary environment in jiaozhou bay [J]. Progress in Marine Science, 2006, (3): 127-136. (in Chinese)
戴纪翠,宋金明,郑国侠. 胶州湾沉积环境演变的分析[J]. 海洋科学进展, 2006, (3): 127-136.