

NPP VIIRS 数据反演气溶胶光学厚度

苏城林^{1,2}, 苏林¹, 陈良富¹, 贾松林³, 刘聪^{1,2}, 余超¹

1. 中国科学院遥感与数字地球研究所 遥感科学国家重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院大学, 北京 100049;

3. 国家气象信息中心, 北京 100081

摘要: 利用 NPP 卫星的 VIIRS 传感器数据, 基于暗像元法反演陆地气溶胶光学厚度 AOD。首先, 根据红外波段的归一化植被指数 NDVI 来对暗像元进行识别; 然后, 利用 6S 软件进行辐射传输计算构建查找表; 最后, 根据 VIIRS 数据从查找表插值得到 AOD, 并对其进行海拔校正。选取华北地区作为反演实验区, 获得了 2013 年 9 月 1 日的气溶胶分布。利用 AERONET 北京站太阳光度计地基观测结果对反演结果对比验证, 发现二者具有显著的相关性, 相关系数达到 0.7920。将 2013 年 9 月 1 日的 MODIS AOD 产品与本研究反演的 AOD 进行对比, 发现二者分布趋势一致, 相关系数为 0.7059, 相关性显著。反演结果表明, 本文算法反演陆地 AOD 效果较好, 为大气颗粒物环境监测提供了良好方法手段和数据源。

关键词: NPP VIIRS, 陆地气溶胶, 光学厚度, 暗像元法, 遥感反演

中图分类号: P407

文献标志码: A

引用格式: 苏城林, 苏林, 陈良富, 贾松林, 刘聪, 余超. 2015. NPP VIIRS 数据反演气溶胶光学厚度. 遥感学报, 19(6): 977-989

Su C L, Su L, Chen L F, Jia S L, Liu C and Yu C. 2015. Retrieval of aerosol optical depth using NPP VIIRS data. Journal of Remote Sensing, 19(6): 977-989 [DOI: 10.11834/jrs.20155051]

1 引言

大气气溶胶是悬浮在大气中的固体和液体微粒与气体载体共同组成的多相体系, 广泛地影响着地球的气候和生态系统。气溶胶是陆地—大气—海洋系统的重要组成部分, 主要通过 3 个机制影响着气候: (1) 气溶胶对太阳的短波辐射具有较强的吸收和散射作用, 影响着地—气系统的辐射收支平衡, 即直接辐射强迫; (2) 气溶胶粒子浓度决定着云的微物理特性, 进而改变地—气系统的辐射过程, 即间接辐射强迫; (3) 气溶胶可以改变大气化学过程, 进而影响温室气体的浓度和分布 (Kaufman 等, 2001)。同时, 大气气溶胶也对人类健康有着重要的影响, 气溶胶粒子能够随着人的呼吸活动进入呼吸道, 部分沉积在肺中造成病变。因此, 对大气气溶胶的时空变化进行立体监测, 对于全球气候变化

的研究以及人类健康有着重要的意义。

卫星遥感是大气气溶胶监测的主要手段之一, 它具有立体监测、覆盖范围广、准实时获取和成本低廉等特点, 对大范围的大气气溶胶可以进行快速准确的监测, 是大气气溶胶地面监测有效的补充手段。目前, 全球可以用来监测大气气溶胶的传感器主要有 AVHRR (Holben 等, 1992; Soufflet 等, 1997)、POLDER (Deuzé 等, 2001)、MODIS (Kaufman 等, 1997; 王新强 等, 2003; 李晓静 等, 2003)、MISR (Martonchik 等, 2004) 和 HJ 小卫星 CCD (李莘莘 等, 2010; 王中挺 等, 2012), 其中 MODIS 是应用最多最广的传感器之一, 自从其在 NASA 的 Terra 和 Aqua 卫星平台上运行以来, 已经为全球的气溶胶时空分布提供了大量的数据和产品。然而, MODIS 已经超过了其服役期, NASA 又发射了新型的传感器作为对之前对地观测传感器的继承和发展。

收稿日期: 2015-03-03; 修订日期: 2015-05-19; 优先数字出版日期: 2015-05-26

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (编号: 41130528); 高分辨率对地观测系统重大专项 (编号: 05-Y30B02-9001-13/15-8)

第一作者简介: 苏城林 (1990—) 男, 硕士研究生, 主要从事大气遥感方面的研究。E-mail: cherry_sudong@163.com

通信作者简介: 苏林 (1959—) 男, 研究员, 主要从事大气、光学遥感相关研究。E-mail: sulin@radi.ac.cn

2011年10月28日发射升空的 Suomi NPP (National Polar-orbiting Partnership) 卫星为美国新一代极轨运行环境卫星系统预备项目(National Polar-orbiting Operational Environmental Satellite System Preparatory Project)的首颗卫星,NPP同时也是美国下一代对地观测卫星,用来接替服役超期的 Terra、Aqua 等,其携带包含 VIIRS(Visible Infrared Imaging Radiometer Suite)在内的5个对地观测仪器(Miller等2006)。VIIRS 继承、发展和集成了3个已经存在的遥感器的功能,即美国国防气象卫星上的线性扫描业务系统(DMSP/OLS)、NOAA 系列卫星上改进的甚高分辨率辐射计(NOAA/AVHRR)、地球观测系统中的中分辨率光谱仪(EOS/MODIS)(Schueler等2013)。VIIRS 主要用于陆地、海洋、大气参数的全球性观测。VIIRS 是一个由 SeaWiFS 前光学仪和全反射修正的 MODIS/THEMIS 后光学仪组合组成的光学系统。空间分辨率在星下点优于400 m,在扫描边缘优于800 m。VIIRS 共22个通道(Schueler等2013),其中9个通道位于可见光近红外(0.4—0.9 μm)、8个通道位于短/中波红外(1—4 μm)、4个通道位于热红外(8—12 μm)、1个低照度条件下可见光通道。用于 AOD 反演的通道为4通道(0.488 μm)、11通道(1.240 μm)和15通道(2.250 μm),这3个通道都继承自 EOS/MODIS 传感器。中国对于这一新型传感器数据还没有开展相应的气溶胶反演研究;此外,VIIRS 发布的气溶胶产品分辨率比较粗,为7.5 km,而且精度也有待进一步验证,难以满足大气环境污染监测的需求。基于此,本研究主要针对 VIIRS 这一新型传感器数据开展大气 AOD 的反演研究,介绍了大气气溶胶反演的技术方法,实现了 VIIRS 数据反演高分辨率(750 m) AOD 的算法,给出了反演结果,并和地基 AERONET 站点实测 AOD 以及 MODIS 的气溶胶产品进行了对比分析。

2 反演原理与方法

2.1 反演原理

大气气溶胶遥感是通过观测到的大气顶辐亮度和地表双向反射率特性之间的关系来反演的,假设卫星观测的目标表面为均匀朗伯表面,不考虑气体的吸收,卫星接收到的辐射 $L(\mu_v)$ 可以表达为(Vermote等,1997):

$$L(\mu_v) = L_0(\mu_v) + \frac{\rho_s}{1 - \rho_s S} \mu_s F_0 T(\mu_s) \cdot T(\mu_v) \quad (1)$$

式中 $\mu_s = \cos\theta_s$, $\mu_v = \cos\theta_v$, θ_s 与 θ_v 分别为太阳天顶角与观测天顶角, $L_0(\mu_v)$ 为观测方向的路径辐射项, ρ_s 为朗伯体地表反射率, S 为大气下界的半球反射率, T 为大气透过率, $\mu_s F_0$ 为大气层顶与太阳光垂直方向的辐射通量密度。

利用入射太阳辐射项 $\mu_s F_0$ 对式(1)进行归一化可得大气顶反射率 ρ_{TOA} :

$$\rho_{\text{TOA}}(\mu_s, \mu_v, \phi) = \rho_0(\mu_s, \mu_v, \phi) + \frac{T(\mu_s) T(\mu_v) \rho_s(\mu_s, \mu_v, \phi)}{1 - \rho_s(\mu_s, \mu_v, \phi) S} \quad (2)$$

式中 ρ_0 是大气的路径辐射项等效反射率, ρ_s 为朗伯体地表反射率, ϕ 为相对方位角。将式(2)转换为如下形式:

$$\rho_s(\mu_s, \mu_v, \phi) = \frac{\rho_{\text{TOA}}(\mu_s, \mu_v, \phi) - \rho_0(\mu_s, \mu_v, \phi)}{T(\mu_s) T(\mu_v) + \rho_{\text{TOA}}(\mu_s, \mu_v, \phi) S - \rho_0(\mu_s, \mu_v, \phi) S} \quad (3)$$

表观反射率 ρ_{TOA} 既是 AOD 的函数,又是下垫面地表反射率的函数,如果知道了下垫面地表朗伯反射率 ρ_s , 就可以得到 AOD; 反之,如果已知 AOD 和相应的大气参数,就可以确定下垫面地表反射率。由于 $T(\mu_s)$ 、 $T(\mu_v)$ 在式子中总是以乘积形式出现,因此将 $T(\mu_s) T(\mu_v)$ 作为一个参数考虑。实际反演中是用辐射传输模型计算假设的不同大气气溶胶模式和观测几何时, AOD 和 S 、 ρ_0 、 $T(\mu_s) T(\mu_v)$ 3个参数之间的对应关系,据此建立查找表,通过查找表获取 AOD。

2.2 反演方法以及处理流程

本研究采用的反演方法为暗像元法,该方法是目前大气气溶胶遥感应应用最为广泛的算法,它是由 Kaufman 等人(1997)在反演浓密植被上空 AOD 时建立并提出的,他们认为地表反射率较低的暗像元区域 2.1 μm 的中红外波段由于受大气气溶胶的影响较小,可以忽略不计,使得其表观反射率和地表反射率近似相等。并且, Kaufman 等人通过大量的飞机观测实验发现红、蓝和中红外通道的地表反射率具有很好的线性关系。因此,可以从短波红外波段的表观反射率获得红蓝波段的地表反射率,然后从红蓝波段的表观反射率去除地表贡献,获得大气参数 S 、 ρ_0 、 $T(\mu_s) T(\mu_v)$,进而得到 AOD。具体反演步骤如下:

(1) 数据预处理

从 VIIRS 750 m 表观反射率产品中读取 0.488 μm 、1.240 μm 和 2.250 μm 3 个波段的表观反射率数据,以及相应的偏移量;读取观测几何参数,包括各个像元点的太阳观测天顶角、方位角,传感器的观测天顶角、方位角以及观测点的经度、纬度和海拔高度;根据偏移量将表观反射率数据转换为真实物理值;利用 VIIRS 云掩中间产品数据进行海陆分离和云去除(Hutchison 等 2012)。

(2) 地表反射率函数的确定

如何确定暗像元以及暗像元红蓝波段与短波红外波段地表反射率的关系是陆地 AOD 反演的一个重要技术环节。植被的茂密程度通常情况下用归一化植被指数 NDVI 表示,但采用红外和近红外波段计算的归一化植被指数受到气溶胶影响很大。中红外波段受大气气溶胶的影响较小,可以用来计算归一化植被指数 $\text{NDVI}_{\text{SWIR}}$:

$$\text{NDVI}_{\text{SWIR}} = (\rho_{1.24}^m - \rho_{2.25}^m) / (\rho_{1.24}^m + \rho_{2.25}^m) \quad (4)$$

式中 $\rho_{1.24}^m$ 、 $\rho_{2.25}^m$ 为 1.24 μm 、2.25 μm 的表观反射率。如果 $\text{NDVI}_{\text{SWIR}} < 0.05$ 且 $\rho_{2.25}^m > 0.30$, 则认为是亮目标,否则为暗目标(Levy 等 2007)。

Remer 等人(2001)研究表明,浓密植被 2.1 μm 波长处的反射率和 0.47 μm 、0.66 μm 波长处的反射率之间的关系,不仅与散射角相关,而且与植被的茂密程度有关。其中散射角可以由观测几何参数获得:

$$\Theta = \cos^{-1}(-\cos\theta_s \cos\theta_v + \sin\theta_s \sin\theta_v \cos\phi) \quad (5)$$

式中 θ_s 为太阳天顶角, θ_v 为观测天顶角, ϕ 为相对方位角。

根据浓密植被 2.1 μm 波段反射率和 0.47 μm 与 0.66 μm 波段反射率与植被指数、散射角之间函数关系,可以通过 2.1 μm 波段的反射率来获得 0.47 μm 和 0.66 μm 波段地表反射率(Remer 等, 2001):

$$\begin{aligned} \rho_{0.66}^s &= \rho_{2.12}^s \cdot \text{slope}_{0.66/2.12} + \text{yint}_{0.66/2.12} \\ \rho_{0.47}^s &= \rho_{0.66}^s \cdot \text{slope}_{0.47/0.66} + \text{yint}_{0.47/0.66} \end{aligned} \quad (6)$$

式中, $\text{slope}_{0.66/2.12} = \text{slope}_{\text{NDVI}_{\text{SWIR}} \text{NDVI}_{\text{SWIR}} \text{NDVI}_{\text{SWIR}}}^{0.66/2.12} + 0.002\Theta - 0.27$, $\text{yint}_{0.66/2.12} = 0.00025\Theta + 0.033$, $\text{slope}_{0.47/0.66} = 0.49$, $\text{yint}_{0.47/0.66} = 0.005$ 其中 $\text{NDVI}_{\text{SWIR}} < 0.25$, $\text{slope}_{\text{NDVI}_{\text{SWIR}} \text{NDVI}_{\text{SWIR}} \text{NDVI}_{\text{SWIR}}}^{0.66/2.12} = 0.48$; $\text{NDVI}_{\text{SWIR}} > 0.75$, $\text{slope}_{\text{NDVI}_{\text{SWIR}} \text{NDVI}_{\text{SWIR}} \text{NDVI}_{\text{SWIR}}}^{0.66/2.12} = 0.85$; $0.25 \leq \text{NDVI}_{\text{SWIR}} \leq 0.75$, $\text{slope}_{\text{NDVI}_{\text{SWIR}} \text{NDVI}_{\text{SWIR}} \text{NDVI}_{\text{SWIR}}}^{0.66/2.12} = 0.48 + 0.2(\text{NDVI}_{\text{SWIR}} - 0.25)$ 。将式(6)应用在 VIIRS 的 M3(0.488 μm)、M11(2.25 μm) 波段得到 M3 和 M11 波段地表反射

率间的关系为:

$$\rho_{M3}^s = \rho_{M11}^s \cdot (\text{slope}_{0.47/0.66} \cdot \text{slope}_{0.66/2.12}) + \text{slope}_{0.47/0.66} \cdot \text{yint}_{0.66/2.12} + \text{yint}_{0.47/0.66} \quad (7)$$

(3) 查找表的构建

查找表的构建使用 6S(Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum) 软件进行辐射传输计算得到。6S 是一个被广泛接受和使用的大气辐射传输模型,用来模拟地气系统中太阳辐射的传输过程(Vermote 等,1997),其输入参数包括太阳和卫星路径参数、大气模式、气溶胶模式、光谱条件和地表反射率类型。其中观测几何参数包括:20 个观测天顶角为 0.0,2.84090,6.52107,10.22295,13.92975,17.63841,21.34798,25.05805,28.76843,32.47901,36.18973,39.90054,43.61144,47.32240,51.03339,54.744420,58.45547,62.16656,65.87766,69.58876;21 个太阳天顶角为 0—80°,间隔为 4°;16 个太阳与卫星之间的相对方位角为 0—180°,每个方位角相隔 12°。本研究反演大气 AOD 时采用的气溶胶类型为大陆型气溶胶,并设立 15 个大气 AOD 值(在波长 0.55 μm 处):即 0.01,0.05,0.10,0.15,0.20,0.30,0.40,0.60,0.80,1.00,1.20,1.40,1.60,1.80,1.95;波段的中心波长取 0.488,2.250 μm ;地表参数包括海拔高度为 0 m,地表覆盖类型为植被。这样就组成了 $21 \times 20 \times 16 \times 15 \times 2 = 201600$ 组不同 S 、 ρ_0 和 $T(\mu_s)$ 、 $T(\mu_v)$ 参数组合而成的查找表。

(4) AOD 的计算

根据读取的太阳天顶角、太阳方位角、观测天顶角、观测方位角,在查找表选取相应的数据,进行线性插值,计算得到蓝波段、红波段、短波红外波段的不同 AOD 值所对应的 S 、 ρ_0 和 $T(\mu_s)$ 、 $T(\mu_v)$ 参数。由于短波红外波段受大气影响较小,可以忽略不计,所以卫星观测的短波红外波段的表观反射率可以近似为这一波段的地表反射率。根据暗像元蓝波段与短波红外波段地表反射率之间的关系,如公式(7)所示,可以由短波红外波段地表反射率计算出蓝波段的地表反射率,并按不同的光学厚度值内插获得蓝波段对应的 S 、 ρ_0 和 $T(\mu_s)$ 、 $T(\mu_v)$ 等参数值,对真实的蓝波段表观反射率进行线性插值获得大气 AOD。

在查找表构建过程中,假定像元的海拔高度为 0。为获得实际高度对应的 AOD,根据海拔高度,按照下式对前面计算得出的 AOD 进行海拔校正:

$$\tau_z = 0.00877 \times 0.55^{-4.05} \left(1 - \exp\left(\frac{-Z}{8.5}\right) \right) + \tau_0 \quad (8)$$

式中 τ_z 为经过海拔校正的 AOD, τ_0 为未经过海拔校正的 AOD, Z 为海拔。

3 反演结果与对比验证

3.1 反演结果

根据上述反演算法处理流程,对华北地区(110°E—122.8°E, 32.2°N—43.2°N) 2013 年 9 月 1 日 VIIRS 数据进行反演实验,其结果如图 1(b) 所示。对反演结果进行分析可以看出,山西南部、河南西北和西南部的 AOD 值比较大,而河北、山东以

及北京、天津的 AOD 值都很小。

3.2 本研究反演 AOD 与 MODIS AOD 产品对比

MODIS AOD (0.55 μm) 产品的分辨率为 10 km,而本研究反演的 AOD 为 750 m 分辨率,为便于两者比较,将本研究反演的 VIIRS AOD 结果利用三次卷积插值法重采样到了 10 km 分辨率。以华北地区 2013 年 9 月 1 日的数据为例进行了比较分析,其结果如图 1 所示。可以看出,本研究反演 AOD 与 MODIS 产品 AOD 分布趋势基本一致。由图 2 的散点对比图可以看出:2013 年 9 月 1 日 MODIS 产品 AOD 和本研究反演 AOD 的相关系数 R 为 0.7059,说明二者具有非常显著的相关性。

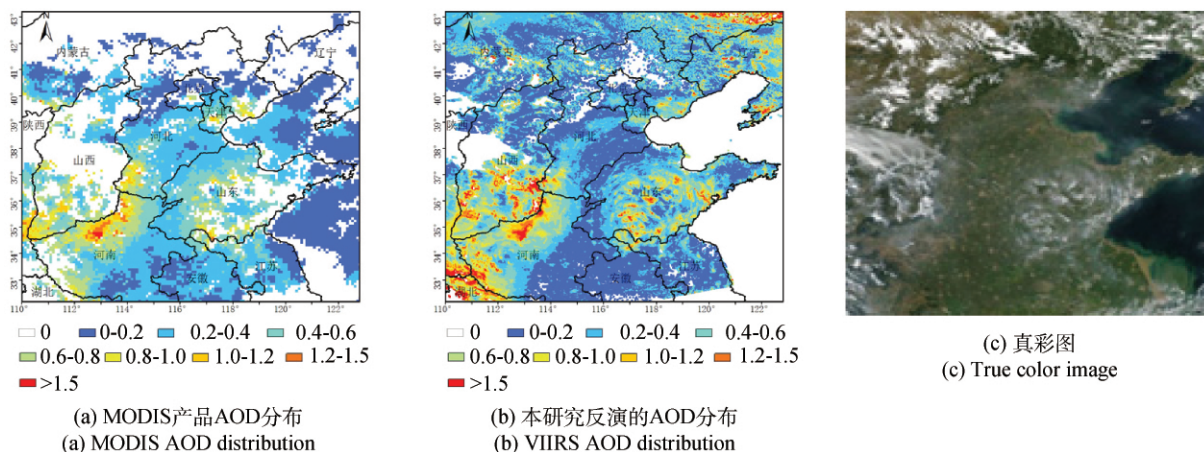


图 1 2013 年 9 月 1 日 MODIS 产品 AOD、本研究反演的 AOD 分布图和真彩图

Fig. 1 MODIS AOD, VIIRS AOD and True color images on 2013-09-01

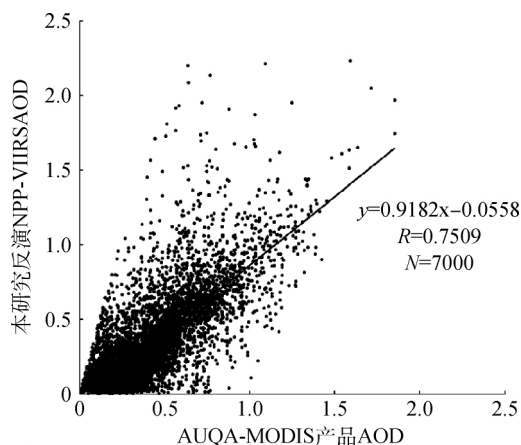


图 2 2013 年 9 月 1 日 MODIS 产品 AOD 和本研究反演 AOD 对比散点图

Fig. 2 AOD comparison between VIIRS and MODIS on 2013-09-01

3.3 AERONET 站点验证

利用 AERONET 北京站 AOD 数据对本研究利用 VIIRS 数据反演 AOD 进行了对比验证。首先下载 VIIRS 数据利用本研究算法反演了 AOD,然后下载相应的 AERONET 站点 AOD 将其插值到 0.55 μm ,并对 12:00—14:00 的数据进行平均,之后提取反演 VIIRS AOD 对应 AERONET 站点 3×3 网格非零均值与之匹配,最后得匹配样点 16 个,14 个分布在 8 月 2 个分布在 9 月。

图 3 为本研究反演 AOD 与 AERONET 站点实测 AOD 对比散点图。可以看出,相关系数 R 为 0.7920,说明本研究反演 VIIRS AOD 与 AERONET 站点实测结果存在着非常显著的相关性。

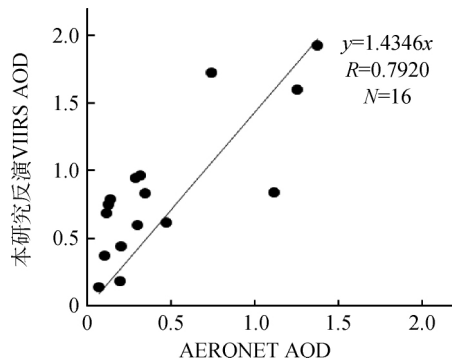


图3 本研究反演 AOD 与 AERONET 站点 AOD 对比散点图

Fig. 3 AOD comparison between VIIRS/NPP and AERONET

4 结 论

利用暗像元方法从 VIIRS 传感器数据实现了 750 m 分辨率陆地 AOD 的遥感反演,主要完成了以下工作:读取了 VIIRS 750 m 的 0.488 μm 、1.240 μm 和 2.250 μm 三个波段的表现反射率数据,利用 6S 辐射传输软件计算建立了在 0.488 μm 和 2.250 μm 两个波段处由 20 个观测天顶角、21 个太阳天顶角、16 个太阳与卫星相对方位角、气溶胶类型为大陆型气溶胶的 15 个 AOD 值所构成的 201600 组不同大气三参数组成的查找表;确定了暗像元以及暗像元红、蓝波段与短波红外波段的地表反射率之间的关系,以去除地表反射的贡献;利用暗像元方法计算得到了 AOD,并对其进行了海拔校正,获得了实际高度所对应的 AOD。获得了相应的结论:

(1) 本研究利用 NPP-VIIRS 数据采用暗像元方法实现了 750 m 高分辨率 AOD 的遥感反演的算法。

(2) 将本研究反演的 AOD 与 AERONET 站点地基观测 AOD 比对,发现二者具有显著的相关性。

(3) 将本研究反演的 AOD 与 MODIS AOD 产品进行对比分析,发现本研究中反演的 AOD 与 MODIS AOD 产品分布趋势一致,具有显著的相关性。

(4) 本研究成果为研究大气气溶胶对气候变化、环境监测、卫星遥感定量化的影响提供了重要支持,为进一步研究利用 NPP-VIIRS 数据反演大气颗粒物质量浓度(PM)提供了重要数据源。

志 谢 本研究使用了 NASA LAADS 的 MODIS 数据、NOAA CLASS 的 VIIRS 数据以及 6S 辐射传输模型,结果验证采用了 Chen H B 教授和

Goloub P 教授提供的 AERONET 北京站点的地基数据,在此一并表示感谢。

参考文献(References)

- Deuzé J L, Bréon F M, Devaux C, Goloub P, Herman M, Lafrance B, Maignan F, Marchand A, Nadal F, Perry G and Tanré D. 2001. Remote sensing of aerosols over land surfaces from POLDER-ADEOS-I polarized measurements. *Journal of Geophysical Research*, 106(5): 4913–4926 [DOI: 10.1029/2000JD900364]
- Holben B, Vermote E, Kaufman Y J, Tanré D and Kalb V. 1992. Aerosol retrieval over land from AVHRR data—Application for atmospheric correction. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 30(2): 212–222 [DOI: 10.1109/36.134072]
- Hutchison K D, Lisager B D and Hauss B. 2012. The use of global synthetic data for pre-launch tuning of the VIIRS cloud mask algorithm. *International Journal of Remote Sensing*, 33(5): 1400–1423 [DOI: 10.1080/01431161.2011.571299]
- Kaufman Y J, Tanré D, Remer L A, Vermote E F, Chu A and Holben B N. 1997. Operational remote sensing of tropospheric aerosol over land from EOS moderate resolution imaging spectroradiometer. *Journal of Geophysical Research*, 102(14): 17051–17067 [DOI: 10.1029/96JD03988]
- Kaufman Y J, Tanré D and Boucher O. 2002. A satellite view of aerosols in the climate system. *Nature*, 419(12): 215–223 [DOI: 10.1038/nature01091]
- Levy R C, Remer L A, Mattoo S, Vermote E F and Kaufman Y J. 2007. Second-generation operational algorithm: Retrieval of aerosol properties over land from inversion of Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer spectral reflectance. *Journal of Geophysical Research*, 112(D13), D13211 [DOI: 10.1029/2006JD007811]
- Li S S. 2010. Study on the Retrieval of Haze Aerosol Optical Thickness using Satellite Data. Beijing: School of Chinese Academy of Sciences (李莘莘. 2010. 霾气溶胶光学厚度卫星遥感反演算法研究. 北京: 中国科学院研究生院)
- Li X J, Liu Y J, Qiu H and Zhang Y X. 2003. Retrieval method for optical thickness of aerosols over Beijing and its vicinity by using the MODIS data. *Acta Meteorologica Sinica*, 61(5): 581–592 (李晓静, 刘玉洁, 邱红, 张玉香. 2003. 利用 MODIS 资料反演北京及其周边地区气溶胶光学厚度的方法研究. *气象学报*, 61(5): 581–592) [DOI: 10.3321/j.issn:0577-6619.2003.05.007]
- Martonchik J V, Diner D J, Kahn R and Gaitley B. 2004. Comparison of MISR and AERONET aerosol optical depths over desert sites. *Geophysical Research Letters*, 31(16): L16102 [DOI: 10.1029/2004GL019807]
- Miller S D, Hawkins J D, Kent J, Turk F J, Lee T, Kuciauskas A P, Richardson K, Wade R and Hoffman C. 2006. NexSat: Previewing NPOESS/VIIRS Imagery Capabilities. *Bulletin of the American Meteorological Society* 87(4): 433–446 [DOI: http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-87-4-433]
- Remer L A, Wald A E and Kaufman Y J. 2001. Angular and seasonal variation of spectral surface reflectance ratios: Implications for the remote sensing of aerosol over land. *IEEE Transactions on Geosci-*

- ence and Remote Sensing, 39(2): 275–283 [DOI: 10.1109/36.905235]
- Schueler C F, Lee T F and Miller S D. 2013. VIIRS constant spatial-resolution advantages. International Journal of Remote Sensing, 34(16): 5761–5777 [DOI: 10.1080/01431161.2013.796102]
- Soufflet V, Tanre D and Royer A. 1997. Remote sensing of aerosols over boreal forest and lake water from AVHRR data. Remote Sensing of Environment, 60(1): 22–34 [DOI: 10.1016/S0034-4257(96)00127-7]
- Vermote E F, Tanré D, Deuzé J L, Herman M and Morcrette J J. 1997. Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum 6S: An overview. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 35(3): 675–686 [DOI: 10.1109/36.581987]
- Wang X Q, Yang S Z, Zhu Y H and Yi W N. 2003. Aerosol optical thickness retrieval over land from MODIS data based on the inversion of the 6S Model. Chinese Journal of Quantum Electronics, 20(5): 629–634 (王新强, 杨世植, 朱永毫, 易维宁. 2003. 基于 6S 模型从 MODIS 图像反演陆地上空大气气溶胶光学厚度. 量子电子学报, 20(5): 629–634) [DOI: 10.3969/j.issn.1007-5461.2003.05.025]
- Wang Z T, Li Q, Wang Q, Li S S, Chen L F, Zhou C Y, Zhang L J and Xu Y J. 2012. HJ-1 terrestrial aerosol data retrieval using deep blue algorithm. Journal of Remote Sensing, 2012, 16(3): 596–610 (王中挺, 厉青, 王桥, 李莘莘, 陈良富, 周春艳, 张丽娟, 徐拥军. 2012. 利用深蓝算法从 HJ-1 数据反演陆地气溶胶. 遥感学报, 16(3): 596–610) [DOI: 10.11834/jrs.20121148]

Retrieval of aerosol optical depth using NPP VIIRS data

SU Chenglin^{1,2}, SU Lin¹, CHEN Liangfu¹, JIA Songlin³, LIU Cong^{1,2}, YU Chao¹

1. State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;
2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;
3. National Meteorological Information Center, Beijing 100081, China

Abstract: As the next generation earth observing satellite launched by America, National Polar-orbiting Partnership (NPP) satellite is going to take over the Terra and Aqua satellite which is in extended service. Visible Infrared Imaging Radiometer containing Suite (VIIRS) is one of the five earth observation instrument which are taken in this satellite. The VIIRS channel for aerosol is inherited from MODIS on board the Terra and Aqua satellite. The application with the VIIRS data for the atmospheric pollution monitoring in China needs to be carried out urgently. In this paper, the terrestrial Aerosol Optical Depth (AOD) with 750 m resolution retrieved from the VIIRS data is studied.

The Dark Dense Vegetation (DDV) method is used to retrieve the AOD in this research. First of all, the cloud pixels are checked and removed through the VIIRS cloud product. According to Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) of the infrared wavelength the dark pixels are identified. The Look Up Table (LUT) is built by the 6S radiative transfer model, and then, the AOD is interpolated from the LUT. Finally, the AOD at different altitudes are obtained after the altitude correction.

The North Plain of China, which includes Beijing, Tianjin, Hebei region, Shandong, Henan and Shanxi province, is selected as the area of the experiment. The result of September 1, 2013 is presented. The result shows that the VIIRS data can monitor the distribution of aerosol very well. The result is validated by ground-based sun photometer measurements in the Beijing site of AERONET. The VIIRS AOD inverted in this study and the ground-based measurements agrees well, and the correlation coefficient is 0.7920. Also, the retrieved VIIRS AOD, which is resampling to 10 km resolution through the three convolution interpolation, is compared with the MODIS AOD product. The comparing result shows that their distribution trend is consistent, and the correlation coefficient is 0.7059.

In this study, AOD with 750 m resolution is obtained from the NPP-VIIRS data based on the DDV method. The retrieved AOD has high correlation coefficient with the ground-based measurements and the MODIS aerosol product. The result shows that the VIIRS data can monitor the terrestrial aerosol well. It will provide fine data source for the atmospheric aerosol particulates monitoring.

Key words: NPP VIIRS, terrestrial aerosol, optical depth, Dark Dense Vegetation (DDV), remote sensing inversion

Supported by National Natural Science of Foundation China (No. 41130528)