

· 前沿评述 ·

Landsat 8 OLI

李旭文,牛志春,姜晟,丁铭,蔡琨
(江苏省环境监测中心,江苏 南京 210036)

: ENVI 5.2 FLAASH , 2013—2014 22 Landsat 8 OLI
PM₁₀、PM_{2.5}
, OLI
70%
: Landsat 8 OLI; ; ;
: X832 : A : 1674 - 6732 (2015) 05 - 0001 - 06

Remote Sensing Retrieval of Regional Atmospheric Visibility in Yancheng from the Landsat 8 OLI Satellite Images

LI Xu-wen, NIU Zhi-chun, JIANG Sheng, DING Ming, CAI Kun
(, , 210036,)

Abstract: 22 OLI (Operational Land Imager) images of Yancheng acquired by Landsat 8 from 2013 to 2014 were retrieved with ENVI 5.2 atmospheric correction module-FLAASH. They were compared with the data of PM₁₀ and PM_{2.5} collected from air automatic monitoring sub-station of Yancheng Environmental Monitoring Center and the visibility data observed by local meteorological department. The results showed that the remote sensing image of OLI could efficiently monitor atmospheric visibility on regional scale, and the retrieval of regional atmospheric visibilities showed negative correlation with the monitoring results of ground automatic air quality measurements, which matched with ground visibility data at approximately 70% .

Key words: Landsat 8 OLI; Regional atmospheric visibility; Remote sensing retrieval; Air quality; Yancheng

“ ” , ,
[1-2] (Meterological range) [3-5] (AOT) [7-10],
[6], [11]
Landsat TM FLAASH
: 2015 - 04 - 23
(201309008); (1217);
(05 - Y30B02 - 9001 - 13/
15 - WX2)
: (1966—), , ,
、 、 、
、 、 、

AERONET [12] ENVI FLAASH Landsat 7 11:00
 ETM+ 1
 2013 2 17 Landsat 1.1 Landsat 8 OLI 传感器技术特性
 8 4 ,Land- Landsat 8 OLI 9
 sat 8 OLI (Operational Land Imager)
 TM/ETM+ [13] 15 m() 30 m(
 Landsat ,Landsat 8) , Landsat 7 ETM+ (1),
 Landast 40 1,
 Landsat 8 OLI ; (Cirrus) 9,
 TM/ETM+ [14]
 TM/ETM+ OLI

	Landsat 8 OLI			Landsat 7 ETM+			
	/μm	/μm	/m	/bit	/μm	/m	/bit
1	0.433 ~ 0.453	0.443	30	12			
2	0.450 ~ 0.515	0.4836	30	12	0.450 ~ 0.515	30	8
3	0.525 ~ 0.600	0.5613	30	12	0.525 ~ 0.605	30	8
4	0.630 ~ 0.680	0.6546	30	12	0.630 ~ 0.690	30	8
5	0.845 ~ 0.885	0.8646	30	12	0.775 ~ 0.900	30	8
6	1.560 ~ 1.660	1.609	30	12	1.550 ~ 1.750	30	8
7	2.100 ~ 2.300	2.201	30	12	2.090 ~ 2.350	30	8
8 ^①	0.500 ~ 0.680	0.5917	15	12	0.520 ~ 0.900	15	8
9	1.360 ~ 1.390	1.373	30	12			

①

1.2 区域大气能见度遥感反演计算

PM₁₀、PM_{2.5} [15] VIS(km) = $\frac{\ln(50)}{(0.55 + 0.01159)}$ (1)
 (Contrast Threshold) 0.55 μm
 0.55 μm

MODTRAN (Visibility, VIS) 0.55 μm 2.1 ~ 2.2 μm

的消光影响很小,也就是说 2.1(2.2) μm 波长对气溶胶是“透明”的,受其影响甚微。

遥感影像反演区域能见度,也就是气溶胶光学厚度的原理是基于“暗”目标像元法^[18]。Kaufman 等^[18]在全球大量光谱观测数据基础上,经统计研究发现,在航空和卫星遥感影像中存在一些光谱上相对较“暗”的地物像元,其在一定的波段之间存在较为确定的反射率比值关系。例如,陆地稠密植被在短波红外(中心波长 2.1~2.2 μm ,对应 Landsat 8 OLI 波段 7)的反射率 $\rho_{2.1}$ 很低,通常 <0.1 ,且与可见光的红光波段的反射率 $\rho_{0.66}$ (对应中心波长为 0.654 6 μm 的 OLI 波段 4)、蓝光波段的反射率 $\rho_{0.48}$ (对应中心波长为 0.483 6 μm 的 OLI 波段 2) 存在较稳定的比率关系,见式(2)。符合式(2)约束关系的像元即为植被型“暗”像元。

$$\rho_{2.1} \leq 0.1$$

$$\rho_{0.66} = \rho_{2.1}/2 \text{ 或 } \rho_{0.48} = \rho_{2.1}/4 \quad (2)$$

在 MODTRAN 辐射传输模型中,选择大气模式和气溶胶模式后,通过假设气溶胶在边界层的垂直方向浓度分布特征,可以将水平方向能见度和垂直方向的光学厚度进行关联,从而得到气溶胶光学厚度(AOT)^[16]。因此,气象视距概念的能见度 VIS 在 MODTRAN 中是确定大气浑浊状况的主要输入参数。一旦确定了遥感影像景内的能见度值,在假设的气溶胶模式下,就可以得到气溶胶光学厚度、大气消光系数等遥感影像大气校正所需的参数。

FLAASH 基于“暗”植被目标像元反演区域能见度的算法流程^[7,12,19]为:在设定了大气模式和气溶胶模式后,首先找出符合条件的一定数量的“暗”植被像元,得到其在 2.1 μm 的均值 $\overline{\rho_{2.1}}$,进而通过式(2)得到其在 0.66 μm 的“真”值 $\overline{\rho_{0.66}}$;然后通过以气溶胶光学厚度的均匀间距所对应的 VIS 为间距,如 $\{0,1,2,5,10,23,50 \text{ km} \dots\}$,在各 VIS 值条件下,对卫星传感器观测到的这些暗目标的表现反射率进行大气校正,得到在 0.66 μm 的反射率反演值 $\rho_{0.66}$,计算 $\rho_{0.66} - \overline{\rho_{0.66}}$,判断反演值与“真”值值差的正负情况,在发生了转换的两个相邻 VIS 区间,再利用反射率值差进行线性内插,找到值差为 0 处所对应的 VIS 值,最后将之作为代表整景的区域能见度值。

盐城市地处亚热带北缘沿海湿润地区,茂密植被地物很多,对盐城市 OLI 影像,以波段 4 和波段 7 的组合进行“暗”像元搜索较适宜。根据多年来

全球各地大量的遥感大气校正应用经验,ENVI 5.2版的 FLAASH 推荐取 $\rho_{2.1}$ 上限为 0.08,0.66 和 2.1 μm 通道反射率比率关系取 0.5,可更精准地找到符合式(2)约束关系的“暗”像元集合。

2 数据资料

以 WRS 轨道号为 119/37 的 Landsat 8 OLI 影像覆盖的盐城市为研究区域,该区域为近十几年来经济发展迅速的江苏沿海地区。收集了 USGS 正式提供 Landsat 8 数据互联网下载服务以来,即自 2013 年 4 月—2014 年底过境盐城市的 OLI 影像数据共 22 景,部分影像有一定的云量,但是对遥感反演区域能见度不会带来实质性的影响,因为被云层挡住全部或部分太阳辐射的阴影区像元,只要在卫星观测的垂直方向的光程未受到云层的阻挡,又属于较茂密的植被类型,其 $\rho_{0.66}$ 和 $\rho_{2.1}$ 关系也能符合“暗”像元寻找的条件,即在可见光的 0.66 μm 中心波长的波段陆面光谱反射特性对卫星接收到的总辐亮度的贡献占比越小越好,可以认为卫星传感器接收到的阴影区的植被像元的辐亮度主体部分都是代表了大气本身带来的程辐射贡献。

对 TM、ETM+ 以及 OLI 影像反演大气区域能见度的大量大气校正处理经验表明,只要有可供搜索的以茂密植被为组成的陆面“窗口”净空区域,云量在 50% 以上甚至 70% 的 Landsat 影像均可以有效反演得到区域能见度数值。

2.1

Landsat 8 过境盐城市时间为北京时间 10:30 前后,选取了区域内盐城市环境监测中心站所设的环境空气自动监测子站作为本研究参考的地方环保部门监测的 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 数据源,查询得到涵盖了卫星过境时刻的代表 10:00—11:00 测量结果的 11:00 空气自动监测均值数据。

2.2

选取了盐城市当地气象部门、市环境监测中心站所设的环境空气自动监测子站安装的芬兰 Vaisala 公司 PWD22 能见度仪记录的数据。由于盐城市环境监测中心站该仪器安装、调试等原因,缺少部分时相的地面能见度观测数据,且部分数据还缺少系统、严密的仪器校订,主要以当地气象部门 PWD22 能见度仪记录的数据作为对比。

盐城市区域大气能见度遥感反演结果、地面空气质量及能见度监测数据见表 2。

表 2 盐城市区域大气能见度遥感反演结果、地面空气质量及能见度监测数据^①

遥感影像日期	云量/%	大气模式	遥感反演能见度/km	环保部门空气质量自动监测数据			当地气象部门观测能见度/km
				$\rho(\text{PM}_{10})$ / $(\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3})$	$\rho(\text{PM}_{2.5})$ / $(\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3})$	能见度/km	
2013-04-14	12.22	MLS	8.620 2	149	82		5.049
2013-04-30	51.85	MLS	14.777 6	63	24		18.599
2013-06-17	42.87	MLS	7.442 2	171	132		2.878
2013-07-19	27.63	T	16.441 8	98	38		8.986
2013-08-04	55.99	T	12.980 6	80	32		10.17
2013-10-23	17.63	MLS	8.756 5	108	85		6.83
2013-11-08	42.08	MLS	10.374 7	209	170		2.425
2013-12-10	9.12	MLW	17.967 9	82	60	13.566	12.882
2014-01-11	66.52	MLW	10.027 8	115	75	6.215	8.261
2014-01-27	21.61	MLW	25.012 1	47	30	16.259	12.745
2014-02-12	53.7	MLW	16.890 6	37	31	19.848	17.549
2014-03-16	0.32	MLS	23.035	177	117	9.334	6.476
2014-05-03	7.18	MLS	20.505 5	48	22		15.281
2014-07-22	62.18	T	13.321 7	112	35	10.994	8.75
2014-09-08	50.52	T	6.965			7.786	7.281
2014-09-24	48.07	MLS	31.924 3	59	26	19.929	15.422
2014-10-10	22.65	MLS	16.584 3	61	33	18.747	12.901
2014-10-26	23.4	MLS	9.573 1	147	102	10.895	6.311
2014-11-11	69.14	MLS	9.705 1	289	205	1.523	4.019
2014-11-27	57.83	MLS	18.808 4	64	48		19.363
2014-12-13	4.78	MLW	18.969 8	144	70		9.343
2014-12-29	29.38	MLW	13.446 7	326	126		2.143

①T 为热带大气模式,MLS 为中纬度夏季大气模式,MLW 为中纬度冬季大气模式;由于一景 Landsat 影像覆盖区域面积约 $185 \text{ km} \times 185 \text{ km}$,故气溶胶模式统一设置为 rural(乡村)模式。

3 能见度遥感反演结果与地面监测数据对比分析

在 ENVI 5.2 遥感软件中,对上述 22 景影像完成辐射校正等预处理工作,得到辐亮度影像。在 ENVI 的 FLAASH 大气校正工具中,对辐亮度影像进行区域能见度遥感反演计算,需要在 FLAASH 中设置大气模式、气溶胶模式、气溶胶反演方法、传感器成像时间、影像中心的经纬度等参数。传感器成像时间、影像中心的经纬度等从遥感影像的元数据文件中获得。根据盐城市所处地理位置和气候特点,每年 3—6 月中旬、9 月下旬—11 月底大气模式采用 MLS(中纬度夏季)模式,6 月下旬—9 月中旬采用 Tropical 模式,12 月—次年 2 月采用 MLW(中纬度冬季)模式。气溶胶模式依赖的主要参数—能见度的反演采用多年来应用实践证明在全球范围很有效的 Kaufman-Tanre 陆地像元法,利用 Landsat 8 OLI 传感器的(4,7)波段对、即(0.654 6 μm ,2.201 μm)暗像元法反演,统一取 OLI 波段 4 与波段 7 的反射率比值关系为 0.50,波段 7 的反射率上限阈值为不超过 0.08,气溶胶标高取缺省值(1.5 km),其余参数采用 FLAASH 软

件设置的缺省值,计算得到这 22 景影像的区域大气能见度。与当地气象部门观测能见度数据的比较见图 1。

由图 1 可见,22 景数据中,有 8 次遥感反演区域大气能见度约 10 km 或更小,占 36.4%,12 次处于 11~23 km 范围内,占 54.5%;2 次超过 23 km,占 9.1%。表明 2013 年 4 月—2014 年 12 月,Landsat 8 观测反演的区域大气能见度总体上处于中低水平,代表洁净大气的高能见度(VIS > 23 km)出现频率并不高。为与地面气象部门观测值比较,考虑到 PWD22 能见度仪测量值精度在 10 km 量程内为 $\pm 10\%$,在 20 km 量程内为 $\pm 15\%$,故以数值差接近或 < 6 km 作为星地反演(测量)结果较为接近的判断。22 景 OLI 影像反演区域大气能见度数值有 15 次与地面数据相差 < 6 km,平均相差 3.17 km,占 68.2%;2 次介于 6~10 km 之间,占 9.1%;5 次超过 10 km,占 22.7%。2014 年 1 月 27 日、3 月 16 日、9 月 24 日、12 月 13 日、12 月 29 日共 5 次遥感反演和地面监测值相差 > 10 km,剔除这 5 次卫星数据反演结果,以其余时相的数据分别