

文章编号:1001-5078(2023)01-0075-04

· 红外技术及应用 ·

机载红外图像转换生成卫星仿真图像的大气修正方法研究

李金萍

(东华理工大学信息工程学院,江西 南昌 330013)

摘要:基于机载红外热像仪测量的8~12 μm波段图像,根据大气的吸收和热辐射影响红外成像仿真的理论,结合MODTRAN软件,采用“机—地—星法”和“机—星法”两种方法进行飞机平台到卫星平台间的大气修正。通过仿真数据和仿真图像两个方面的比较得出:两种大气修正方法得到的仿真图像效果较好;“机—星法”运算量小便于实时操作、“机—地—星法”更接近真实情况可用性强。

关键词:热红外辐射;大气修正;仿真

中图分类号:TP721 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2023.01.011

Research on atmospheric correction methods of airborne infrared image conversion to satellite simulation image

LI Jin-ping

(School of Information Engineering, East China University of Technology, Nanchang 330013, China)

Abstract: In this paper, based on the 8~12 μm band images measured by airborne infrared thermal imager, the atmospheric correction between aircraft and satellite platform is carried out by two methods: The "air-ground-satellite method" and the "air-satellite method", according to the theory of the influence of atmospheric absorption and thermal radiation on infrared imaging simulation, combined with MODTRAN software. Through the comparison of simulation data and simulation images, it is concluded that the simulation images obtained by the two atmospheric correction methods are better; the "air-satellite method" is convenient for real-time operation with small computation amount, and the "air-ground-satellite method" is closer to the real situation with strong usability.

Keywords: thermal infrared radiation; atmospheric correction; simulation

1 引言

利用卫星侦察仿真图像可以完成红外成像侦察系统综合指标论证、成像侦察效果预先仿真研究、红外侦察图像判读训练、以及获取优良侦察图像的使用技术等多种用途。由于低空获取红外图像安全系

数大等原因,为了更高质量红外侦察系统的研制,对利用低空红外图像转换生成高空红外仿真图像显得尤为重要。目标的红外辐射特性是红外成像系统设计的重要依据^[1],我们知道红外目标到达成像系统时会经过大气通道^[2],由于大气的影

基金项目:江西省放射性地学大数据技术工程实验室开放基金项目(No. JELRGBDT202103)资助。

作者简介:李金萍(1972-),女,副教授,硕士,主要从事卫星遥感图像处理,红外图像仿真,目标特征提取与识别,数字图像处理,算法研究等。E-mail:379896761@qq.com

收稿日期:2022-09-12

发生衰减,大气衰减直接影响红外仿真图像生成的效果以及用途,所以在红外图像进行仿真时,必须进行大气修正^[3]。

2 理论基础

由热辐射传输方程可以分析出,进行卫星侦察图像仿真时,用到的是辐射亮度。我们已有的资料是以灰度图像表现出来的热红外图像,根据热像仪定标时的对应量,计算出像素点对应的温度,通过黑体普朗克辐射公式^[4]反演出相应的辐射亮度,由此可以得到一组由红外辐射亮度值表示的目标与背景的红外图像数据。有了以光谱辐射亮度式表示的红外图像数据,即可以进行图像由飞机平台到卫星平台间的大气修正。结合实际情况,本文分别利用两条途径进行大气的修正。

3 大气的修正方法

3.1 机-地-星法

所谓机-地-星法是将飞机平台上得到的数据经过大气修正得到地面上的数据,然后再利用地面与卫星之间的大气修正得到卫星上的数据,最后再转化为灰度图像。利用本方法实现侦察图像大气修正的仿真,需分以下两步进行。

第一步:从飞机到地面的大气修正;

设飞机平台高度为 h_1 ,由热辐射传输方程得地面目标的普朗克黑体辐射亮度 $L_{b\lambda}(T_s)$ 为:

$$L_{b\lambda}(T_s) = \left\{ \frac{L_{1\lambda} - L_{1\lambda}^\uparrow}{t_{1\lambda}} - \int_{2\pi} f(\Omega' \rightarrow \Omega) L_{a\lambda}^\downarrow(\theta') \cos \theta' d\Omega' \right\} \frac{1}{\varepsilon_\lambda} \\ = \frac{L_{1\lambda} - L_{1\lambda}^\uparrow - t_{1\lambda} \int_{2\pi} f(\Omega' \rightarrow \Omega) L_{a\lambda}^\downarrow(\theta') \cos \theta' d\Omega'}{\varepsilon_\lambda t_{1\lambda}} \quad (1)$$

第二步:从地面到卫星的大气修正;

设卫星平台高度 h_2 ,由热辐射方程和公式(1),则有:

$$L_{2\lambda} = \varepsilon_\lambda L_{b\lambda}(T_s) t_{2\lambda} \phi_\lambda + L_{2\lambda}^\uparrow \phi_\lambda + t_{2\lambda} \phi_\lambda \int_{2\pi} f(\Omega' \rightarrow \Omega) L_{a\lambda}^\downarrow(\theta') \cos \theta' d\Omega' \\ = \frac{t_{2\lambda}}{t_{1\lambda}} L_{1\lambda} - \frac{t_{2\lambda}}{t_{1\lambda}} L_{1\lambda}^\uparrow \phi_\lambda + L_{2\lambda}^\uparrow \phi_\lambda \quad (2)$$

对(2)式 $\lambda_1 \sim \lambda_2$ 波段进行积分得 L :

$$L = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_{2\lambda} d\lambda \\ = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \left(\frac{t_{2\lambda}}{t_{1\lambda}} L_{1\lambda} - \frac{t_{2\lambda}}{t_{1\lambda}} L_{1\lambda}^\uparrow \phi_\lambda + L_{2\lambda}^\uparrow \phi_\lambda \right) d\lambda \quad (3)$$

3.2 机-星法

所谓机-星法是指进行卫星平台上热像仪侦察图像仿真时,直接将飞机平台上得到的数据经过飞机与卫星之间的大气修正得到卫星上的数据,然后转化为图像,不再考虑飞机平台到地面间的大气修正。

则辐射亮度公式为:

$$L_{2\lambda} = \left(\frac{L_{1\lambda}}{\phi_\lambda} \times t_\lambda + L_\lambda^\uparrow \right) \times \phi_\lambda = L_{1\lambda} t_\lambda + L_\lambda^\uparrow \phi_\lambda \quad (4)$$

同理对(4)式 $\lambda_1 \sim \lambda_2$ 波段进行积分得 L :

$$L = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_{2\lambda} d\lambda = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} (L_{1\lambda} t_\lambda + L_\lambda^\uparrow \phi_\lambda) d\lambda \quad (5)$$

公式(1)~(5)各参数下标包含“1”的是指飞机平台参数,下标包含“2”的是指卫星平台参数,各参数具体物理含义详见陈良富、徐希孺^[5]《热红外遥感中大气下行辐射效应的一种近似计算与误差估计》一文。

由此得到“机-地-星法”和“机-星法”图像间数据变换的光谱辐射亮度计算公式(3)和(5)。通过这两个公式算出仿真图像像素点亮度值,并对每个像素点应用相同的大气修正,进而生成卫星仿真图像。

在相同大气参数以及不同大气参数下,对于公式(3)和(5)中大气透过率和大气热辐射两个参数,刘其涛^[6]给出了对于红外 8~12 μm 波段应用 MODTRAN 软件的计算方法,在本论文中得以采用。

4 两种方法计算值比较

本文利用飞机平台上热像仪已获得的图像数据为基础,为便于分析,设光谱响应函数值为 1,利用 MODTRAN 软件计算所需参数,然后利用上述两种方法进行了仿真数据计算。在不同大气模式下,利用上述两种仿真方法分别计算相同像素点的亮度值,结果如表 1。

表 1 仿真数据比较
Tab. 1 Comparison of simulation data

机载图像数据/ ($W \cdot cm^{-2} \cdot sr^{-1}$)	星载图像数据/($W \cdot cm^{-2} \cdot sr^{-1}$)							
	美国标准大气		中纬度冬季大气		热带大气		中纬度夏季大气	
	机-星法	机-地-星法	机-星法	机-地-星法	机-星法	机-地-星法	机-星法	机-地-星法
24.21	19.99	20.39	18.27	19.00	20.30	20.57	18.90	19.52
24.36	20.11	20.51	18.39	19.11	20.42	20.69	19.02	19.64
24.50	20.23	20.46	18.50	19.23	20.55	20.82	19.13	19.76
25.26	20.86	21.28	19.08	19.83	20.19	21.47	19.73	20.37
25.40	20.98	21.40	19.19	19.94	21.31	21.59	19.84	20.49
25.57	21.12	21.54	19.31	20.07	21.45	21.73	19.98	20.63
26.44	21.84	22.28	19.97	20.76	22.18	22.47	20.66	21.33
26.72	22.07	22.51	20.18	20.98	22.41	22.71	20.88	21.55
26.83	22.17	22.61	20.27	21.07	22.51	22.80	20.96	21.64
27.23	22.50	22.95	20.58	21.38	22.85	23.15	21.28	21.97
27.20	22.47	22.92	20.55	21.35	22.82	23.12	21.25	21.94
27.20	22.47	22.92	20.55	21.35	22.82	23.12	21.25	21.94
差值	0.37/21.81 × 100% = 1.70 %		0.77/20.33 × 100% = 3.78 %		0.37/22.02 × 100% = 1.68 %		0.66/20.89 × 100% = 3.15 %	

从理论上讲,“机-星法”和“机-地-星法”应该得到相同的计算结果,但从表中数据来看,两种仿真方法结果不相同。分析可知,这种情况是由于MODTRAN 软件计算造成的。第一,理论上地面到飞机平台间的大气透过率 t_1 、飞机到卫星平台间的大气透过率 t_2 和地面到卫星平台间的大气透过率 t_0 应满足: $t_0 = t_1 \times t_2$,从 MODTRAN 软件计算得到的实际结果看并不是这样;第二,地面到飞机平台间的大气路径上行热辐射 L_1^\uparrow 、飞机平台到卫星平台间的大气路径上行热辐射 L_2^\uparrow 和地面到卫星平台间的大气路径上行热辐射 L_0^\uparrow 理论上应该满足: $L_0^\uparrow = L_1^\uparrow + L_2^\uparrow$,然而由 MODTRAN 得到的实际计算结果也不满足此关系。基于这两方面的原因,导致本文讨论的两种方法计算结果不完全相同。

5 仿真图像结果

为使仿真的结果更直观,我们将各平台上相机得到的亮度数据组转换成了灰度图像。我们进行灰度转换时,采用了统一的标准,即:对于一幅给定的机载红外图像,在各仿真图像中,采用相同的最大和最小亮度值进行灰度值转换。思路如下:对于同一像素点来说,机载相机图像的亮度值小于地面修正值,而大于卫星高度图像的亮度值,所以,我们的极值在地面和卫星平台数据中选取,而不在机载亮度

值中选取。

利用以上灰度变换思想,将不同模式大气条件下修正的辐射亮度值变换为灰度图像,得到修正图像。图 1 给出不同大气模式修正灰度图像效果。

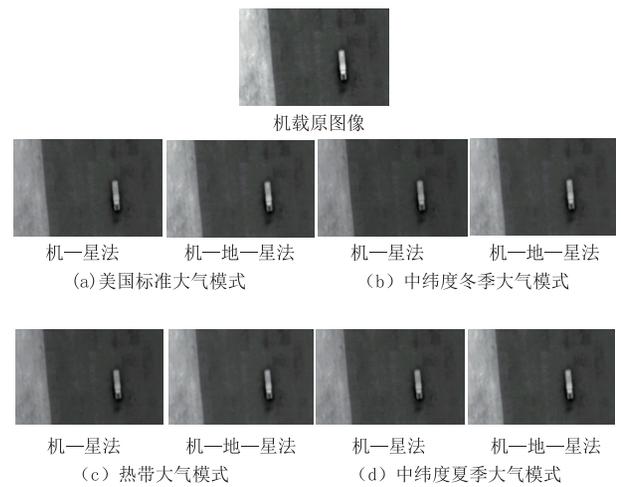


图 1 大气修正仿真效果图

Fig. 1 Simulation effect of atmospheric correction

6 结语

本文以普朗克辐射公式和辐射传输方程为基础,提出了两种由机载红外图像转换生成卫星侦察仿真图像的大气修正方法,结合数据分析和图像仿真效果得出:在相同大气模式下,采用两种方法得到的辐射亮度值稍有不同,但相应的灰度仿真图像差

别不大。进行图像仿真时,两种方法都需要利用MODTRAN软件进行大气上行辐射和大气透过率计算,“机—星法”计算一次参数,计算量小,运算速度较快;“机—地—星法”,需要计算两次参数,计算量稍大一些但结果更接近实际情况。

参考文献:

- [1] Zhang Qian, Cao Zhiguo, Zhang Tianxu. Modeling and simulation of dynamic infrared images[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2003, 32(3): 299 - 303. (in Chinese)
张千, 曹治国, 张天序. 动态红外图像的建模与仿真技术[J]. *红外与激光工程*, 2003, 32(3): 299 - 303.
- [2] Li Yanxiao, Zheng Guofeng, Zhang Honggang, Wang Helong. Influence of atmospheric transmission effect on infrared imaging simulation[J]. *Chinese Journal of Atmospheric and Environmental Optics*, 2014, 9(6): 421 - 426. (in Chinese)
李艳晓, 郑国锋, 张红刚, 等. 大气传输效应对红外成像仿真的影响[J]. *大气与环境光学学报*. 2014, 9(6): 421 - 426.
- [3] Duan Sibao, Ruchen et al. Research progress of land surface temperature retrieval from Landsat thermal infrared data[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2021, 25(8): 1591 - 1617. (in Chinese)
段四波, 茹晨, 等. Landsat 卫星热红外数据地表温度遥感反演研究进展[J]. *遥感学报*, 2021, 25(8): 1591 - 1617.
- [4] Chen Yechao. Research on fidelity test verification and comprehensive evaluation of infrared visual simulation system[D]. Xi'an: Xidian University, 2017. (in Chinese)
陈业朝. 红外视景仿真系统逼真度试验验证及综合评估研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2017.
- [5] Chen Liangfu, Xu Xiru. An approximate calculation and error estimation of atmospheric downward radiation effect in thermal infrared remote sensing[J]. *Journal of Remote Sensing*, 1999, 3(3): 165 - 170. (in Chinese)
陈良富, 徐希孺. 热红外遥感中大气下行辐射效应的一种近似计算与误差估计[J]. *遥感学报*, 1999, 3(3): 165 - 170.
- [6] Liu Qitao. Influence of atmosphere on imaging simulation of infrared thermal imager[J]. *Infrared*, 2006, 27(1): 1 - 4. (in Chinese)
刘其涛, 大气对红外热像仪成像仿真的影响[J]. *红外*, 2006, 27(1): 1 - 4.