

高光谱遥感影像的大气订正应用研究

杨校军^{1,2}, 杨春玲¹

- (1. 哈尔滨工业大学电气工程及自动化学院, 哈尔滨 150001;
2. 北京遥感信息研究所, 北京 100192)

摘要: 在卫星遥感成像过程中, 地物的辐射信息受到大气分子与气溶胶粒子的散射和吸收, 这将直接影响遥感精度。对于高光谱定量遥感来说, 大气辐射校正已显得极为重要。鉴于地—气辐射传输模型的复杂性, 对大气进行精确而完备的建模并求解十分困难。针对辐射传输方程求解困难、计算量大、不利于工程实现的问题, 本文提出协同利用辐射传输方程求解和图像自身信息提取的综合模式, 该模式以辐射传输求解为基础, 并结合实际情况将图像自身信息参与修正过程, 这种方法结合了两种方法的优点, 可较为快速和准确地进行计算, 易于工程应用。该方案选取大气成分、气溶胶、双向反射分布函数、邻近效应与程辐射作为影响高光谱遥感成像的关键因素进行研究与分析, 分别给出了计算方法并进行了程序实现。本文提出的方案得到了实验室仿真数据与部分实际机载高光谱图像数据的验证, 工程化后的测试表明该方法达到了工程预期设计要求。

关键词: 摄影测量与遥感; 大气辐射校正; 高光谱; 定量遥感

中图分类号: TP75 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-2850(2008)07-0628-6

Atmospheric correction research and its application on hyperspectral remote sensing images

YANG Xiaojun^{1,2}, YANG Chunling¹

- (1. School of Electrical Engineering and Automation, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001;
2. Beijing Remote Sensing Institute, Beijing 100192)

Abstract: The precision of RS imaging and measuring is affected directly by the atmosphere during imaging process due to the atmospheric molecular and aerosol scattering and absorbing the target radiance. For hyperspectral quantitative remote sensing, it is very important to do the atmospheric corrections. Because of the complexity of the radiative transfer model of the earth-atmosphere system, it is very hard to model and to solve accurately and completely. According to the problems such as hard to solve the radiative transfer equations, huge computing quantity, goes against engineering, the paper puts forward a new atmospheric radiation correction solution that uses the modeling and solving method cooperating with image information. This method based on solving the radiative transfer equations, and introduced a process of revision using the image information practically. The method combined the advantages of the two methods that formerly discussed, it calculated fast and accurately, and easy to use in engineering applications. The solution selected five key points to study and analyse, which are atmospheric composition, aerosol, BRDF, adjacency effect and path radiance. The solution gave the calculation methods and did the program realizations. The solution was verified by some simulate data and real airborne images. And the solution was used in a real project, the conclusions of that project showed the solution was identical to the expectation.

Key words: photogrammetry and remote sensing; atmospheric radiation correction; hyperspectral; quantitative remote sensing

0 引言

高光谱遥感 (hyper spectral remote sensing) 技术是在多光谱遥感技术基础上发展起来的一种新型遥感技术。它集光学、光谱学、精密机械、电子技术及计算机技术为一体, 将地物的光谱特征和相应的空间图像有机结合, 以达到深入了解目标信息的目的^[1]。高光谱遥感的突出特点是对每个空间像元采用数十个甚至数百个窄谱段 (10 nm 左右) 同时成像^[2], 在处理空间特征的同时处理光谱特征, 因此在常规二维图像的基础上, 又得到了“光谱维”信息。

传感器所接收到的辐射主要来自地物反射的太阳光, 光路为太阳→大气→地物→大气→传感器, 传感器接收到的遥感信息与大气有着直接而密切的关系, 如图 1 所示。

太阳辐射在穿过大气时要与大气发生作用, 这种作用主要体现在大气中的大气分子和气溶胶粒子对太阳辐射的吸收和散射上。大气对太阳辐射能量产生作用所带来的影响使太阳辐射的辐照度和光谱分布都要发生变化^[3]。从传感器接收到的辐射能量来讲, 其中既包含了目标地物的信息, 又包含了大气影响因素。换句话说, 在“太阳→大气→地物→大气→传感器”这一传输过程中, 太阳光因受到大气分子和气溶胶粒子的散射

和吸收作用而造成光衰减, 并且在地面的非朗伯性、邻近地物交叉辐射、地形影响等因素的共同作用下, 高光谱传感器记录的地物目标的光谱形状会发生扭曲, 光谱特性被模糊。因而在遥感研究, 特别是在进行高光谱遥感数据的定量分析、特征提取、光谱重建等定量遥感研究过程中, 遥感图像的大气辐射校正是一个亟待解决的重要问题。只有有效去除遥感影像中大气的影 响, 获得精确的地物信息, 才能使真实的遥感数据在国土资源分析、工农业科技、气候与环境监测以及军事与国家安全等领域得以有效应用。大气辐射校正环节因此成为遥感定量分析的关键, 对遥感图像大气订正的研究具有理论和实践两方面的重大意义。

1 三种订正思路

根据对前人研究成果的归纳总结, 大气订正问题可依照三种解决思路进行: 一是基于辐射传输模型求解; 二是利用图像本身信息进行订正; 三是基于统计的订正。

1.1 基于辐射传输模型求解进行大气订正

利用基于复杂的辐射传输原理建立起来的大气校正模型求解是精度较高的一种方法, 也是发展较早的一种方法。早在 40 多年前, CHANDRASEKHAR 等人就推导出了基于地表朗伯的多次反弹公式, 并成为近几十年来遥感图像大气订正的主要依据。到目前为止, 基于该方法的大气校正模型有近 30 个, 著名的如 6S (second simulation of the satellite signal in the solar spectrum) 模型^[4]、LOWTRAN (low resolution transmission) 模型^[5~6]、MORTRAN (moderate resolution transmission) 模型、大气去除程序 ATREM (the atmosphere removal program)、空间分布快速大气校正模型 ATCOR (a spatially-adaptive fast atmospheric correction) 等。研究表明辐射传输模型方法计算出来的反射率精度较高, 但是, 这种方法计算量大, 需要诸如大气中的水汽含量、臭氧含量以及空间分布、气溶胶光学特征等较多输入参数, 而在常规的大气校正中, 由于同步的测量过程很难实施, 因此输入参数较难获得。

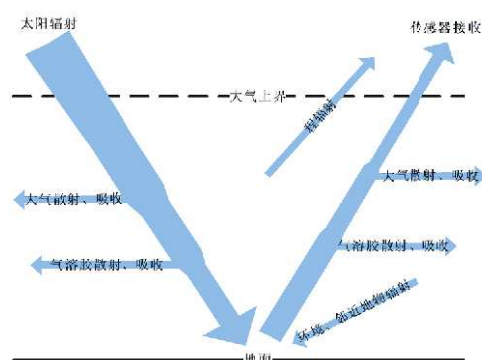


图 1 传感器接收到的太阳辐射
Fig.1 Solar radiation received by the sensor

1.2 利用图像本身信息进行订正

最早基于图像的大气辐射校正实践是 AHERN 等^[7]利用清洁水体的像元值直接取代大气程辐射,忽略了其它因素的影响。这类方法实际上是一种“比较”的方法,即利用已知或假定图像中某些像元的反照率值,其它像元根据某种规律与之比较,以此来建立地表反照率与传感器测量值之间的关系。在这种方法中,需要假定整幅图像具有同样的大气条件,因而才能将比较关系应用到整幅图像当中。这种方法中具有代表性的有黑暗像元法、不变目标法、直方图匹配法等。这类方法不需要成像时的大气参数以及地面的实测数据,仅仅依靠图像本身的信息,因此该方法具有直接、简易的特点。从校正精度看,该方法的校正精度可以满足一般遥感的研究和应用,具有较强的实用性。但这类方法没有充分考虑对大气透过率和天空光下行散射的影响^[8]。

1.3 基于统计的大气订正

基于统计方法的典型代表是蒙特卡罗 (monte-carlo) 方法。该方法的实质是直接模拟辐射传输过程,是一种随机模拟方法。该方法将散射过程当成是光子与介质中的碰撞过程,两次碰撞之间光子在介质中所走的距离与消光系数有关,碰撞后光子将改变前进方向,散射角由相函数决定。对大量的光子行为跟踪并进行统计就可得到具体问题的结果。基于统计方法的突出优点是可以处理任意几何形状下的辐射传输问题,也能处理任意单次散射反照率和各向异性很强的散射相函数,而其它辐射传输方法在这方面均有局限性。因此,有人将蒙特卡罗方法称为万能方法,并用它来解决一些复杂几何的辐射传输问题(例如裂云大气辐射问题)。但统计方法的缺点也是显而易见的:其一,它需要根据实际问题精选出概率模型,并定出随机抽样准则,这将直接影响到求解精度;其二,由于它是基于统计的方法,因而其误差与统计次数(即所用光子数)的平方根成反比,即其高精度意味着大数据量、大运算量,依赖于计算机水平的发展。

2 仿真平台的设计与搭建

2.1 下垫面假设与建模

通过对大气影响遥感成像过程的分析可知,大气的下垫面性质是辐射传输物理过程中必须着重考虑的关键环节,对辐射传输模型进行求解时必须对目标地物性质进行正确地估计。这里假设地表非均匀,但地面可满足朗伯体假设。该情况主要用于单角度天顶观测图像。借用 FLAASH 模型中的符号表示方法,其数学描述为^[9]

$$L = A \frac{\rho}{1 - \rho_e S} + B \frac{\rho_e}{1 - \rho_e S} + L_p \quad (1)$$

其中, L 是传感器接收的总辐射, ρ 是像元反射率, ρ_e 是周围区域的平均反射率, S 是大气向下的半球反照率, L_p 是大气程辐射, A 和 B 是依赖于大气透过率和几何状况的系数。

在这种假设条件中,考虑了临近地物对目标地物的影响,即“临近效应”。因此,这里的计算公式中采用了逐点计算的方法。

图 2 显示了地表不均匀时遥感影像获取及大气订正的近似情况。其中①即式(1)中的第一项,为从目标地物直接到达传感器的辐射,其中隐含了太阳照射到目标地物的反射和临近地物通过大气散射照射到目标地物再反射两种情况;②即式(1)中的第二项,为地物的向上辐射经大气散射后再进入

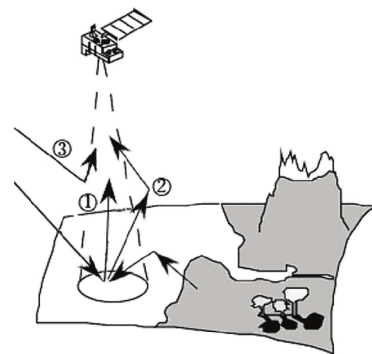


图 2 地表非均匀但满足朗伯条件时的大气订正
Fig. 2 Atmospheric correction on non-uniform, lambert surface

传感器的部分；③ 为程辐射，即式 (1) 中的第三项。

2.2 设计框图

基于对大气订正理论的研究，利用 MATLAB 搭建了仿真实验平台，以期对不同的订正方法进行实验与效果评估。仿真实验平台的功能框图如图 3 所示，主界面如图 4 所示。

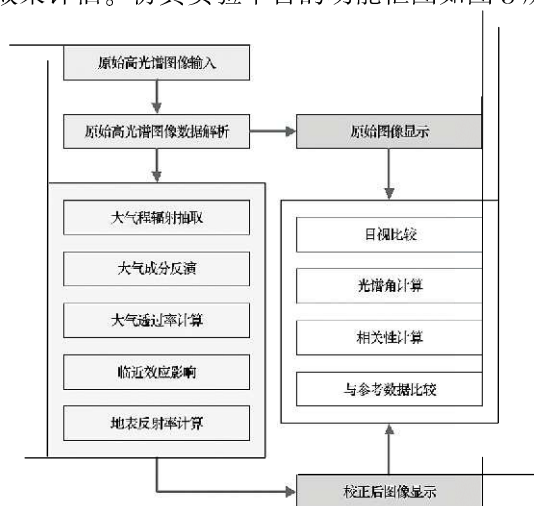


图 3 仿真实验平台的功能框图

Fig. 3 Functional diagram of simulation experiment platform



图 4 仿真实验平台主界面

Fig. 4 Main interface of the program

3 实验及结果分析

仿真实验所采用的高光谱图像数据为美国宇航局 (NASA) 喷气推进实验室 (JPL) 的 AVIRIS (airborne visible infrared imaging spectrometer) 机载数据。AVIRIS 为机载平台可见光/红外成像光谱仪，属于亚轨道高光谱传感器，飞行高度约 21 km，传感器波段范围 380~2 500 nm，分为 224 个波段，波谱分辨率约 10 nm，瞬时视场角为 1 mrad。实验所用图像数据的成像日期分别为 1997 年 4 月 3 日、6 月 19 日和 6 月 23 日，图名分别为 JasperRidge、Cuprite 和 LunarLake，位于美国西部地区，所拍摄地物包括植被、丘陵、水体、城镇、矿脉等，较具有代表意义。利用 Google Earth 软件，成像地区的地理位置如图 5 所示。



图 5 实验所用数据的地理位置

Fig. 5 Geographical location of experimental images

所选用的数据除高光谱图像本身外，还包括平台飞行参数、仪器定标数据、反射参考数据等，以便对计算公式中的相关变量进行正确取值和对校正结果对比分析。

出于视觉效果考虑，图 6 显示了测试用高光谱图像 JasperRidge 第 28、19、10 波段校正前后的合成彩色图。可以直观地看出，校正前 (a) 比校正后 (b)、(c) 整体偏亮，显现出类似于高温的青蓝颜色，一些区域更是呈现出异常的蓝紫色，说明蓝绿波段受瑞利散射的影响较大。而校正后图像去除了这种影响。(b) 为仅采用线性校正得到的结果，可以看出其图像偏黄，不如采用较为复杂的校正模型得出的 (c) 具有更好的总体视觉效果。

当有卫星影像图或航空影像图对应的地表实测数据时，可以把从图像反演得到的地表反射数据与

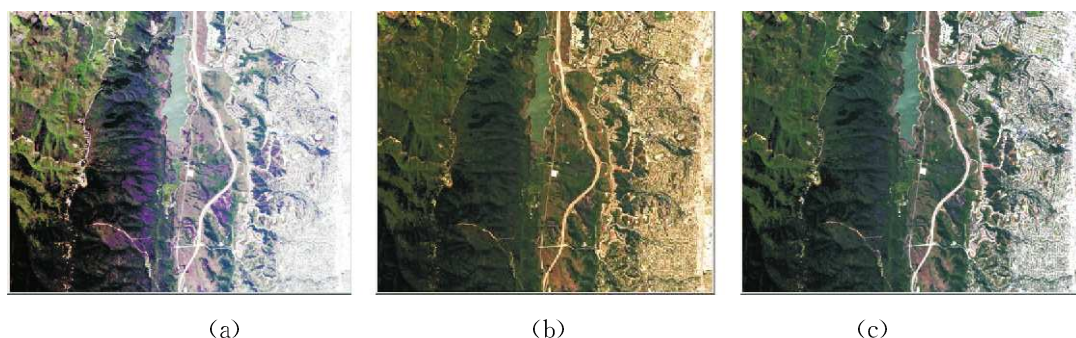


图6 Jasper Ridge 校正前后彩色合成图对比
Fig. 6 Color composite image comparison of pre and post corrections, image Jasper Ridge

地面实测数据进行光谱数据差的直接比较来验证大气订正效果，这是最为直接和有效的方法。当前学术界在开展大气订正方面的研究时，大多采用这种方法。然而，在有些情况下，条件不允许或不具备而不能展开外场实验时，亦可采用和其它校正方法得出的结论相比较的方法。例如 Line-by-line 方法，由于其计算量特别大，计算的结果通常用来验证其它方法或作为其它方法的基本数据库。

由于篇幅关系，此处省略了具体实验数据。图7显示了校正前后光谱曲线的直接对比。由于光谱曲线是地物特征的直接反映，因此这种对比方法在定量遥感过程中十分重要。本项目中由于没有外场试验，因此可以与参考图像做一定意义上的定量对比。图中(a)、(b)、(c)分别选取了植被、水和城镇房屋三种典型地物，绿色点线为未校正图像光谱，红色虚线为校正后光谱，黑色实线为参考光谱，可见校正效果明显且校正结果与参考值非常接近。

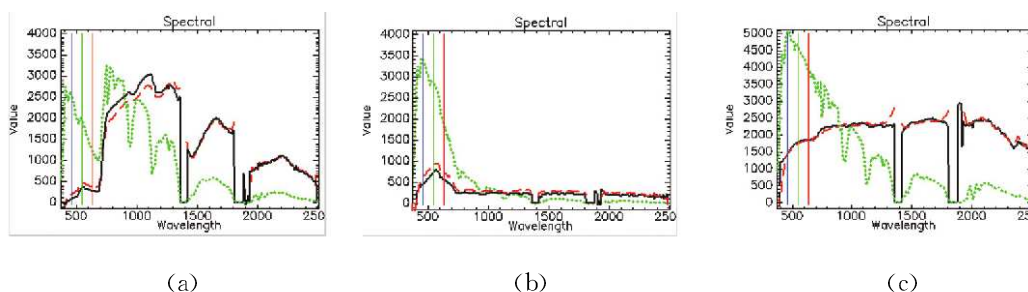


图7 Jasper Ridge 校正前后光谱曲线对比
Fig. 7 Spectral curve comparison of pre and post corrections, image Jasper Ridge

4 结论

本文在对大气影响高光谱遥感成像的分析和对大气订正思路综述的基础上，采用 MATLAB 搭建仿真平台，利用真实高光谱遥感影像数据进行了大气辐射订正实验。实验结果表明，本文所用方法较好地平衡了计算精度、计算速度、工程实现难度等诸多方面，有利于工程应用。

[参考文献] (References)

- [1] 张良培, 张立福. 高光谱遥感[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2005.
ZHANG L P, ZHANG L F. Hyperspectral remote sensing[M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2005. (in Chinese)
- [2] 童庆禧, 张兵, 郑兰芬. 高光谱遥感的多学科应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.
TONG Q X, ZHANG B, ZHENG L F. Hyperspectral remote sensing and it's multidisciplinary applications[M].

- Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2006. (in Chinese)
- [3] 盛裴轩, 毛节泰, 李建国, 等. 大气物理学[M]. 北京: 北京大学出版社, 2003.
SHENG P X, MAO J T, LI J G, et al. Atmospheric physics[M]. Beijing: Peking University Press, 2003. (in Chinese)
- [4] VERMOTE E, TANRE D, DEUZE J L, et al. 6S User Guide Version 2[S].
- [5] BARK A, BERNSTEIN L S, ROBERTSON D C. Modtran: a moderate resolution model for LOWTRAN7[R]. MA, Hanscom: US Air Force Geophysics Laboratory, AFGL-TR-89-0122, 1989.
- [6] KNEIZYS F X, SHETTLE E P, GALLERY W O, et al. Atmospheric transmittance/radiance: computer code LOWTRAN 6[R]. MA, Hanscom: US Air Force Geophysical Laboratory, AFGL-TR-83-0187, 1983.
- [7] AHERN F J, GOODENOUGH D G, JAIN S C, et al. Use of clear lakes as standard reflectors for atmospheric measurements[A]. MAJUMDAR T J. Proceedings of the 11th International Symposium on Remote Sensing of Environment[C]. Michigan: Ann Arbor, 1977. 731~755.
- [8] SLATER P N. Remote sensing: optics and optical systems[M]. MA: Addison-Wesley Reading, 1980.
- [9] ANDERSON G P, FELDE G W, HOKE M L, et al. MODTRAN4-based atmospheric correction algorithm; FLAASH(fast line-of-sight atmospheric analysis of spectral hypercubes)[A]. Spie. Presented at Algorithms and Technologies for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery VIII[C]. Orlando: The International Society for Optical Engineering, 2002. 65~71.