新一代高分辨率卫星遥感器全色波段展宽研究

何文斌^{1,2},周川^{1*},牛 铮¹,梁利姣³

11 中国科学院遥感应用研究所遥感科学国家重点实验室,北京 100101

21 东莞理工学院计算机学院, 广东东莞 523808

31 东莞理工学院城市学院,广东东莞 523106

摘 要 遥感器的研制任务中,工作波段的选择对于目标探测与识别至关重要。文章利用 MODTRAN4 模型模拟将卫星光学遥感器的工作波段从 (1 50~ (1 85 Lm 展宽到 01 45~ 01 90 Lm 所引起的大气效应和成像质量的变化。实验结果表明,波段展宽后虽然会引起大气透过率、路径程辐射、邻近效应等不利因素的稍微增加,但是相对于入瞳辐亮度、目标。背景对比度以及模拟图像的质量的提高几乎可以忽略。总的来说, (1 45~ (1 90 Lm 的波段设置优于 (1 50~ (1 85 Lm,在已发射高分辨率卫星遥感器中得到更广泛的应用。

关键词 高分辨率;波段选择;MODTRAN;模拟;大气辐射 中图分类号:P42213 文献标识码:A DOI:10/3964/ilissnl 100020593(2010)0721894204

引 言

近年来、航天发达国家甚至一些中小国家都发射了自己 的高分辨率遥感卫星。2007年发射的中巴资源卫星02号B (CBERS202B) 搭载的 2/36 m 分辨率的 HR 相机使我国具有 了独立获取高分辨率卫星影像的能力。卫星光学遥感器入瞳 处接收到的辐射亮度是太阳辐射以及大气、地物自身的热辐 射经过复杂的大气作用后到达传感器的总能量。由于大气作 用对不同光学波段的影响具有非均一性、因此研究如何选择 卫星光学遥感器的工作波段、以避免或减少大气对卫星光学 遥感器的影响具有重要意义。通过调查发现,当今主要高分 辦率卫星(表 1)、其全色相机谱段设置主要分 2 种: 01 50~ 01 85 Lm 和01 45~ 01 90 Lm。我国已发射的 CBER S202B 全色 工作波段为 01 50~ 01 80 Lm、其后续星 CBERS2 03/ 04 全色波 段将设置为 01 51~ 01 85 Lm。然而当前得到广泛应用的 QuickBird 和 IKONOS, 以及近几年最新发射的 WorldView 系列卫星、GeoEye21、OrbView 系列卫星均选择 01 45~ 01 90 Lm 作为其全色波段的谱段范围。可见相对于 01 50~ 01 85 Lm 的全色谱段设置来说, 01 45~ 01 90 Lm 更为各个国家的 高分辨率传感器设计者所青睐,这对我国新一代的高分辨率 (1/4m)资源卫星全色相机波段设置具有借鉴意义。

1 大气作用对图像质量影响分析

大气以 3 种方式影响着遥感器接收地面目标的 / 辐射亮度0¹¹。一是大气的吸收和散射作用使到达地面目标的太阳 辐射能量和从目标反射的能量均有所衰减。二是大气本身作 为一个反射体(散射体)的路径程辐射(path radiance)使能量 增加,但它与所探测的地面信息无关。由于所论证传感器工 作波段处于可见光到近红外的全色波段,在这一波段范围大 气的热辐射亮度基本为 0,因而并不考虑大气本身作为一个

 Table 1
 Waveband selection of most high2resolution satellite sensors

高分辨率卫星	波段范围/Lm	空间分辨率/m
IR SCartosat2	01 45~ 01 85	01 80
Resurs DK21	01 58~ 01 80	01 90
WorldView 系列卫星	01 40~ 01 90	01 46
QuickBird	01 45~ 01 90	01 61
IKONOS	01 45~ 01 90	11 0
福卫二号	01 45~ 01 90	21 0
GeoEye21	01 45~ 01 90	01 41
OrbView 系列卫星	01 45~ 01 90	11 0
CBers02B	01 5~ 01 80	21 36

收稿日期: 2010201206, 修订日期: 2010204204

* 通讯联系人 @mail:zhouchuan15@gmaill.com

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

基金项目:中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2YW313),遥感科学国家重点实验室科研资助基金项目(KQ060006),国家重点 基础研究发展规划项目(2007CB714406)和广东省科技计划项目(2009B010900011)资助

作者简介:何文斌, 1976年生,中国科学院遥感应用研究所博士研究生 @mail: hwb815@hotmail.com

TTerres All states and 1 to

发射体所发出的热辐射。三是来自邻近像元的交叉辐射,这部分造成的影响称为/邻近效应0(adjacency effect)。

111 大气吸收作用

第7期

太阳辐射穿过大气层时,大气分子对电磁波的某些波段 具有吸收作用。吸收作用使辐射能量转变成为分子的内能, 从而引起这些波段太阳辐射能量的衰减,使进入传感器的辐 射能量减小,甚至某些波段的电磁波完全不能通过大气。通 过 MODTR AN4 模拟两种波段设置下的大气路径对于太阳 辐射透过率,可知 01 50~ 01 85 Lm 和 01 45~ 01 90 Lm 两个波 段的大气透过率分别为 01 650 3 和 01 633 8。这说明,向蓝光 波段 01 45~ 01 50 Lm 的扩展导致了瑞利散射增强,从而使大 气透过率降低,但这一变化仅有 21 537 3%,对传感器能量接 收影响不大。

112 大气分子、气溶胶散射作用

电磁辐射在大气中传播时受到大气中微粒(大气分子和 气溶胶等)的影响,改变原来的传播方向,称为大气散射。大 气散射降低了太阳光直射的强度,改变了太阳辐射的方向, 削弱了到达地面或地面向外的辐射,产生了漫反射的天空散 射光,增加了地面的辐照和大气层本身的辐射贡献。大气散 射使得暗物体表现得比它自身更亮,使亮物体表现得比它自 身更暗。因此大气散射降低了图像对比度,影响了图像质量 和图像上空间信息的表达。

对于可见光而言、在大气窗口内的辐射衰减主要由瑞利 (Ravleigh)散射引起。已知瑞利散射强度与波长的4次方成 反比、因此可利用 IDL 中的 OROMO 积分函数分别对两个 波段进行积分,并计算两者的比值得 $I_{q,45-01,50}/I_{q,45-01,90}$ = 301 971 4%。这一结果表明、01 45~01 50 Lm 波段的瑞利散 射作用在整个波段(0145~0190Lm)内所占较大比例。然而, 由于通道响应在各波段并不相同。因此在评估散射作用的影 响时还需考虑 1/4 m 相机的通道响应函数(如图 1 所示)。一 般来说、传感器的通道响应呈近似高斯函数形式、中心波长 处响应值最大,并随波段范围向两极扩展而减小,在响应函 数边缘处响应值骤降。使用同样方法对通 道响应函 数分别在 两个波段积分并计算两者的比值可知 @ 45~ @ 50 Lm 波段范 围接受的能量在整个 01 45~ 01 90 Lm 波段范围内只占 91 801 8%。因此处于 01 45~ 01 50 Lm 波段范围内的瑞利散射强度 对传感器获取能量的实际贡献为: 301 971 4% @91 801 8%= 31 035 8%。因此、波段展宽后虽导致了瑞利散射强度增加、 但影响不大。



11 3 大气路径辐射

传感器接收到的辐射亮度包括路径辐射项(含交叉辐射 项)、地表直射反射辐射项和散射反射辐射项。在使用 MODTRAN4模拟中,如果将地表反射率设为0,则得到的 辐射亮度值没有地面反射和交叉辐射贡献项,而只有来自太 阳辐射经大气吸收和散射后的大气路径辐射贡献项。按此方 法计算得到波段展宽前后的路径辐射分别为31952227和 S187105W/m² # sr, 波段展宽后路径辐射增加 3112451%,与前文的理论计算结果3019714%相近。由前 文计算结果可知0145~0150Lm波段范围在整个0145~ 0190Lm波段范围的能量贡献值只有918018%。因此0145 ~0150Lm波段范围内的瑞利散射强度对传感器能量获取的 实际贡献大小为:3112451% @918018%=310626%。

模拟实验证实波段展宽后散射影响仅增加 3 062 6%, 影响较小。并且这一影响可通过 MODTRAN 和 FLAASH^[2] 等(还可参考何海舰的博士论文) 2006 年东北师范大学)大 气辐射传输校正软件进一步减小。

114 传感器入瞳辐射亮度

只有知道地表的真实反射率,才能模拟传感器接收到的 入瞳辐射亮度。由于真实地表单个像元的反射率随波长、地 物类型而变化,因此本文中从 CASI 高光谱数据上选择阔叶 林为目标像元(sample324, line637),提取其反射率信息,用 于模拟计算传感器在真实地表覆盖状况下的入瞳辐射亮度。 模拟结果显示:波段展宽前后所接收的入瞳辐射亮度分别为 15 962 93 和 201 322 73 W/m² # sr, 增加 271 31%。

由于所研究1/4m相机的全色波段的空间分辨率较高(1m),工作时对应的瞬时视场 IFOV 较小,不利于能量的收集,辐射分辨率低。然而通过设置较宽的波段范围,可以使更多能量进入遥感器,从而有效提高辐射分辨率。

115 邻近效应影响分析

当卫星遥感图像空间分辨率较高时,混合像元的影响减弱,邻近效应的影响增大。邻近效应使暗像元变亮,亮像元 变暗,因而降低了影像的对比度,使影像变得模糊。Lyapu& tin^[3]等研究指出,当对卫星星下点分辨率小于1km时,就 应该充分考虑邻近效应的影响。

为了突出邻近效应的影响,选择反差大的水体和水体边的植被为背景像元(background pixel)和目标像元(target pix2 el)。在 MODT RAN4 中分别计算不同情况下,两种波段设置 所接收到的入瞳辐射亮度(表 2)。

从模拟结果可以看出, 谱段展宽后邻近效应的影响有所 增加, 但相对增加值极小, 仅为 0 11% 左右。 与更宽波段带 来更高入瞳辐射亮度(27% 左右)的优势相比, 这种负面影响 几乎可以忽略。

116 目标背景对比度

为定量比较两种波段设置下传感器图像质量的改变以及 在地物目标识别精度上所发生的变化,利用 MODTR AN4 模 拟选定目标及背景的入瞳辐射亮度,计算其目标背景对比 度。从 CASI 高光谱数据中,选取了3 组典型地物目标及背 景组合(表 3)进行模拟分析。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing (1) 目标像元: 阔叶林, 背景像元; 裸地; (2)目标像元;

 Table 2
 Convolution between band response function and incident radiance

波段设置/Lm	入瞳辐亮度值 W/m ² # sr(不考虑邻近效应)	入瞳辐亮度值 W/m²# sr(考虑邻近效应)	入瞳辐亮度变化/%
01 50~ 01 85	171 349 69	161 157 13	- 61 873 8
01 45~ 01 90	221 087 382	201 549 17	- 61 964 2
入瞳辐亮度增加	271 307 1%	271 183 3%	

Table 3 Contrast	simulation	of typica	l objects
------------------	------------	-----------	-----------

	波段设置/Lm	目标入瞳辐射亮度 W/m ² # sr	背景入瞳辐射亮度 W/m ² #sr	目标背景对比度	目标背景辐射亮度差值
第一组	01 50~ 01 85	151 962 93	141 150 47	11 128 1	11 812 46
	01 45~ 01 90	201 322 73	171 348 28	11 171 5	21 974 45
第二组	01 50~ 01 85	171 349 69	91 327 154	11 860 1	81 022 536
	01 45~ 01 90	221 087 38	111 352 21	11 945 6	101 735 17
第三组	01 50~ 01 85	121 889 85	131 23 696	01 973 8	- 01 347 11
	01 45~ 01 90	151 765 36	161 843 03	01 936 0	- 11 077 67

阔叶林, 背景像元:水体;(3)目标像元:人工建筑物,背景像元:植被。

从实验结果看,波段展宽后第一、第二种组合目标背景 对比度均增大,因而有利于地物的识别。在第三种组合中, 目标背景对比度之所以减小,是因为目标的辐亮度小于背景 的辐亮度。但在该组合中,展宽后目标背景的辐亮度差值增 大,这同样有利于地物识别。总的来说,波段展宽后,增大 了目标与背景间的反差,有利于提高地物目标识别的精度, 从而提高了图像质量。

2 全色波段图像模拟及仿真分析

遥感成像模拟在遥感传感器前期技术评价以及遥感应用 模型开发过程中得到广泛应用^[4]。机载高光谱数据具有光谱 覆盖范围宽、光谱分辨率和空间分辨率高的特点,可被用来 模拟星载多光谱数据^[5]。本文使用 CASI 模拟星载高分辨率 1/4 m 全色相机的成像过程,以便更好的比较两种波段设置 的优劣。实验 CASI 影像获取时间为 2008 年 6 月 18 日,飞 行高度 600 m,空间分辨率为 01 5 m。影像中心点经纬度坐 标为: 341 899bN 和 1131 25 b E,地理位置位于河南省郑州市 下属地级市荥阳市豫龙镇,毗邻黄河河道。影像中主要地物 类型有:水体、植被、裸地、人工建筑物等。

模拟分为两个个步骤:首先,对 CASI 数据进行几何校 正和 FLAASH 大气校正,在此基础上反演地表真实反射率。 其次,从辐射传输机理出发,综合考虑大气状况,环境像元 的交叉辐射影响,空间分辨率转换等问题,向上反演得到卫 星观测高度的辐射亮度^[6]。利用光谱响应函数实现高光谱窄 波段到全色宽波段的光谱模拟。使用该方法分别对两种波段 设置进行模拟得到两幅模拟的全色波段遥感影像(图 2、图 3),其统计特征见表 4 (注:所有数值均为真实反射率 @10 000)。

模拟结果表明:波段展宽后模拟图像的统计数值(最大 值、最小值、平均值)均有所增加,这归因于较宽的波段可以 接收更多的能量。另外,谱段展宽后图像标准差明显增大, 说明信息量增加,图像质量更好。



Figl 2 Simulated image based on 0 $50 \sim 0 85$ Lm



Figl 3 Simulated image based on 01 45~ 01 90 Lm

fable + Statistic reature of two simulated inage.	Table 4	Statistic	feature	of two	simulated	images
---	---------	-----------	---------	--------	-----------	--------

波段范围/Lm	最大值	最小值	中值	标准差
01 50~ 01 85	3 1 191 6 16 88 8	462 022458	1 1611 487 678	3 591 600 100
01 45~ 01 90	3 1 561 1 87 074	485 927193	1 29 11 44 1 28 6	4551 263 240

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

图像的清晰程度可以用图像的边缘锐度来评价,即边缘 的法向方向灰度变化越剧烈,边缘宽度越窄,图像显得越清 晰。边缘是图像最基本的特征之一,图像细节边缘变化的敏 锐程度反映图像对微小细节反差表达的能力,一幅图像边缘 的清晰程度直接反映了图像整体的质量。本文采用改进的 EAV 算法(2)式进行计算

$$E = \frac{\prod_{i=1}^{m} \sum_{a=1}^{\infty} |df/dx|}{m @ n}$$
(2)

其中, m和n为图像的长和宽, df为灰度变化幅值, dx 为像元间的距离增量, 直接相邻取1, 对角线方向取√2。使 用(2)式计算得到波段展宽前后边缘锐度分别为 594 794 556 和 683 535 819, 增加了+ 14 92%。这说明 0 45~ 0 90 Lm 的波段设置下, 边缘点处的灰度阶跃性变化大, 边缘像素和 背景像度之间的灰度过渡快,边缘更加鲜明,图像清晰度更 好,图像质量更好。

3 结 语

通过在 MODTRAN4 环境中模拟发现, 0 45~ 0 90 Lm 的波段设置与 0 50~ 01 85 Lm 相比,虽然存在大气透过率降 低、大气路径辐射亮度和邻近效应增加的不利因素,但是能 有效改善传感器在轨时所接收到的入瞳辐射亮度、目标 背景对比度以及模拟全色图像的质量。国外已发射/待发射的 高分辨率遥感器全色波段多采用 0 45~ 01 90 Lm 波段,也从 另一方面证实 0 45~ 01 90 Lm 波段设置的优越性,这对我国 发展新一代高分辨率资源卫星具有借鉴意义。

参考文献

- [1] Singh S M. International Journal of Remote Sensing, 1988, 9(9): 1433.
- [2] QI Xu&yong, TIAN Qingjiu(齐雪勇, 田庆久). J Remote Sensing for Land & Resources(国土资源遥感), 2005, (4): 1.
- [3] Lyapustin A I, Kaufman Y J. Journal of Geophysical Research2Atmospheres, 2001, 106(D11): 11909.
- [4] Zanoni V, Davis B, Ryan R, et al. Regional and Local Scale, 2002, 10(15): 419.
- [5] YE Z@tian, GU Xing2fa(叶泽田, 顾行发). Acta Geodactica et Cartographica Sinica(测绘学报), 2000, 29(3): 235.
- [6] XIAO Qing, LI Min(肖 青, 李 敏). Journal of Beijing Normal University(Natural Science)(北京师范大学学报# 自然科学版), 2007, 43(3): 234.

Study on Panchromatic Band Broadening of New High2Resolution Satellite Sensor

HE Wen2 bin $^{1,\ 2},\ ZH \ OU \ Chuan^{1*}$, NIU Zheng $^{1},\ LIA \ NG \ L2 jiao^{3}$

- State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China
- 2. Computer Institute, Dongguan University of Technology, Dongguan 523808, China
- 3. City College, Dongguan University of Technology, Dongguan 523106, China

Abstract For developing a remote sensor, the selection of operating waveband is one of the most important factors for detecting and identifying target. In the present paper, the changes of atmospheric effects and imagery quality are simulated due to the in2 crease in the response wave range of optical remote sensor from 0.5020 85 mm to 01.420 90 mm by using MODTRAN4. The experimental results show that there is a slight increase of the adverse factors, including atmospheric transmittance, path rad2 ance, and adjacency effect, after the working waveband has been widened. The disadvantages compared with the improvement in incident radiance, targe2background contrast and image quality are negligible. In summary, the scheme of 0.4201 90 mm is su2 perior to 0.50201 85 mm and it has been more widely used in the or2orbit operation high2resolution satellite sensor.

Keywords High spatial resolution; Waveband selection; MODT RAN; Simulation; Atmospheric radiation

(Received Jan. 6, 2010; accepted Apr. 4, 2010)

* Corresponding author