

# 地理因子对卫星成像质量影响预估方法研究

余婧,陈浩,李军

(国防科技大学电子科学与工程学院,长沙 410073)

**摘要:**重点研究地理因子对卫星成像质量的影响,预估影响程度,为卫星规划调度提供辅助决策信息。本文分别分析光照、地形起伏、云层3个地理因子对可见光传感器成像质量的影响,给出考虑这些因素的可见光传感器辐射接收计算公式,并结合 ArcGIS 分析功能,建立了地理因子对可见光传感器成像质量影响预估模型。同时,考虑地形起伏对 SAR 成像的影响,给出了利用 DEM 数据求几何畸变系数的方法,利用 ArcGIS 建立地理因子对 SAR 成像质量影响预估模型。两个模型都给出了成像质量影响程度预估值计算方法,最后,本文基于 ArcGIS 软件实现其原型系统。

**关键词:**成像质量;SAR;可见光传感器;卫星任务规划;GIS;

**doi:** 10.3969/j.issn.1000-3177.2011.05.019

**中图分类号:** TP791 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3177(2011)117-0104-05

## Influence Pre-evaluation Technique of Geography Factors on Satellite Imaging

YU Jing, CHEN Hao, LI Jun

(School of Electrical Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073)

**Abstract:** Research on the affect of geography factors on the satellite imaging mainly focuses on pre-evaluating the influence to provide auxiliary decision-making information for satellite schedule. Taking illumination, cloud coverage and terrain into account, an influence pre-evaluation model of geography factors on visible light sensor imaging is presented to calculate the solar radiation received by spaceborne visible light sensor and considering the terrain feature. An influence pre-evaluation model of geography factors on SAR imaging is also presented to calculate the geometric distortion. Taking advantage of ArcGIS, both models are conceived and influence pre-evaluating methods are introduced based on the corresponding models. Then an application based on the ArcGIS software is developed.

**Key words:** image quality; SAR; visible light sensor; satellites scheduling; GIS

### 1 引言

卫星任务规划中,为了得到满意的成像计划,需要考虑多方面对星载传感器成像质量影响的因素,如成像时间、卫星姿态、云层遮挡等,力求在资源有效利用前提下,获取尽可能多的成像效果好的目标。本文重点研究地理因子对星载可见光传感器和 SAR 成像质量的影响。

卫星可见光传感器的地面分辨率较高,但缺点是受目标地理环境(气象条件、地形起伏)影响较大<sup>[1]</sup>。文献[1]将成像目标的光照条件与云量条件离散化,不同的地理条件对应不同的成像重要等级;文献[2]在计算任务优先等级时,仅考虑了载荷重要性系数和卫星最小覆盖次数,没有考虑地理环境对成像任务的影响;文献[3]将目标等级、太阳高度角、云量等级、侧摆角度等属性加权求和,进而得到成像

收稿日期:2011-02-23 修订日期:2011-04-13

基金项目:国家自然科学基金(60604035);国家“863”重点项目课题(2007AA12020203)。

作者简介:余婧(1986~),女,云南曲靖人,硕士研究生,研究方向为遥感与地理信息集成技术。

E-mail: yujinghd@gmail.com

— 104 —

任务的重要性预估值。文献[1]和[3]虽然都考虑了成像目标的光照与云层条件,但都只是简单的离散化分级处理,没有建立一个比较完善的模型,同时也忽略了地形起伏对成像效果的影响。

装有成像雷达的卫星能进行全天候、全天时侦察,且不受天气影响,但雷达的侧视成像,仍旧受到起伏地形的影响,会产生几何畸变<sup>[4]</sup>。文献<sup>[1~3]</sup>的卫星任务规划中,均未考虑到雷达侧视角度与地形起伏对成像效果的影响。

本文在考虑光照条件、云量对成像质量的影响下,还引入了地形因子,建立地理因子对可见光传感器成像质量影响预估模型。同时,本文考虑到雷达侧视角度与地形起伏对成像质量的影响,建立了地理因子对 SAR 成像质量影响预估模型。两个模型都给出了成像质量影响程度预估值的计算方法,为卫星规划调度提供辅助决策信息。最后,本文实现了两个模型的原型系统。

## 2 可见光传感器成像质量预估模型研究

星载可见光传感器成像过程如图 1 所示。

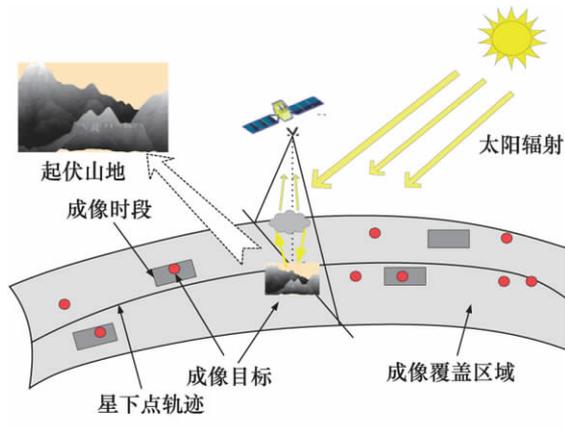


图 1 星载可见光传感器成像过程

### 2.1 地理因子对成像质量的影响

相比 SAR、红外等类型传感器,可见光传感器分辨率高,但又易受成像目标的云层、光照条件以及地形起伏的影响,本文主要考虑以下几个地理因子:

**太阳高度角:**太阳高度角是地球表面上的某点和太阳的连线与当地水平面之间的夹角,太阳高度角由成像时间决定。

**地形起伏:**即复杂的起伏山地环境,导致部分成像区域被山体遮蔽。本文采用成像目标的 DEM 数据作为地形起伏因子的元数据。

**云层遮挡:**由于可见光传感器物理特性的限制,其不能穿透云层对目标进行成像,因此成像时需要考虑云层遮挡的影响。

本文主要研究在上述地理因子影响下,太阳光经过反射后,到达卫星的辐射强度值计算及其量化方法,并以此量化值作为上述地理因子对可见光传感器成像影响的预估值。同时,本文做如下假设:①卫星在任务区域的正上方;②起伏地表接收的太阳辐射量全部漫反射回卫星,被卫星接收;③不考虑传感器本身的硬件条件差异。

### 2.2 水平地表太阳辐射模型

地球大气层上边界处,垂直于阳光射线的表面上,单位面积单位时间内来自太阳的辐射能量是  $1353\text{W}/\text{m}^2 (\pm 2\%)$  (用  $S_0$  表示,即太阳常数)<sup>[5]</sup>。太阳辐射经过大气的散射、折射和吸收后到达地面,由于受到太阳高度角、大气衰减的影响,到达地表的太阳辐射模型为:

$$I = I_d + I_s \quad (1)$$

其中,令  $F = S_0 * \sin h$ ,式(1)中的  $I_d = F * P_2^m$ ,表示地面接收的太阳直射辐射; $I_s = F * (0.271 - 0.2913P_2^m)$ ,表示地面接收的太阳散射辐射; $I_s = F * (0.271 - 0.2913P_2^m)$ , $h$  为太阳高度角, $P_2$  为大气透明度, $m$  为大气质量<sup>[5]</sup>。

大气中云层和较大颗粒的埃尘能将太阳辐射中的一部分能量反射,其中反射最明显的是云。在我国,将天空云量状态量化为 11 等份,有几分天空被云遮盖,云量就是几,云量以正整数计,范围从 0 到 10<sup>[6]</sup>。对于云层对太阳辐射量的影响,本文引用了文献提出的云遮系数法,则公式(1)可修改为( $CC$  表示云量):

$$I = (I_d + I_s)(1 - CC/10) \quad (2)$$

### 2.3 起伏地表太阳辐射模型

由于山地的起伏,部分区域因为山体遮蔽的关系而造成光线暗淡,最终不能有很好的拍摄效果。本文采用成像目标的 DEM 数据作为地形起伏因子的元数据。对地形的研究,主要是地形影响因子的提取,通过数学的方法分析 DEM 数据,得到地形对最终地面反射的太阳辐射强度的影响程度。

文献<sup>[7~8]</sup>都提出了地形因子概念,两者本质上是一样的,只是计算的方法不同。鉴于 GIS 软件方便我们对 DEM 数据进行分析计算,也利于软件实现,因此本文引用文献<sup>[8]</sup>提出的方法,即地形影响因子 = 实际起伏地形山影/水平地形山影,并在其基础上做了一定改进。

基于 ArcGIS 的山影分析法机理,本文将文献<sup>[8]</sup>提出地形因子简化为下式:

$$dx = \text{hill} / (255 * \sin h) \quad (3)$$

其中  $dx$  表示地形因子,  $hill$  表示起伏地形的山影值,  $h$  为太阳高度角。

地面接收到的太阳辐射量, 主要通过两种方式: 直射和散射。直射能量受地形影响比较明显, 而散射辐射一般来说不受地形影响<sup>[8]</sup>。考虑到地形起伏, 由公式(2)与公式(3)综合可得起伏地表太阳辐射模型:

$$I = (I_d * dx + I_s) (1 - CC/10) \quad (4)$$

### 2.4 可见光传感器成像质量预估模型构建

总结以上研究, 卫星接收目标区域的太阳辐射模型可用下式表示:

$$I_r = I * (1 - CC/10) = (I_d * dx + I_s) (1 - CC/10)^2 \quad (5)$$

公式(5)已经给出了卫星接收的太阳辐射量计算表达式, 需要指出的是, 该模型得到的计算值仅是一个考虑到云量、地形与太阳高度角因子的辐射量预估值, 因此和实际情况会存在较大差异。在实际应用中, 我们需要根据这个辐射量确定地理因子对成像质量影响程度的预估值。本文将计算结果量化为 0、1、2 共 3 个等级, 计算结果越大, 等级越高, 且其等级值就是成像质量影响预估值。每一个预估值对应不同的  $I_r$  计算值范围, 而具体的阈值, 可根据实际需要而定。  $I_r$  越大, 预估值越高, 说明其地理因子的负面影响越小, 可考虑优先成像。

## 3 星载 SAR 成像质量预估模型研究

### 3.1 起伏地形对 SAR 成像质量影响

与可见光传感器相比, SAR 成像具有不依赖光照, 能穿透云、雨、雪, 以及全天时、全天候的特点, 但由于雷达采用侧视斜距投影成像方式, 比较易受地形起伏的影响, 致使 SAR 图像的几何畸变, 这表现在雷达透视收缩、雷达顶底位移(掩叠)、雷达阴影等方面<sup>[9]</sup>(见图 2)。

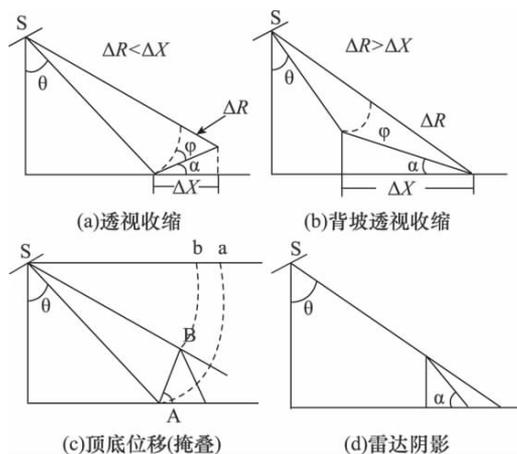


图 2 SAR 成像几何畸变现象

(1)透视收缩: 即面向天线的斜坡成像时, 雷达图像上显示的地面斜坡长度都比实际长度要短。同理, 对于背向天线的斜面也存在透视收缩, 只是斜面长度看起来被拉长了。由图 2(a)、(b), 我们可以推知其收缩比  $m$  为:

$$m = \frac{\Delta R}{\Delta X} = \frac{\sin \varphi}{\cos \alpha} \quad (6)$$

其中,  $\theta$  为雷达侧视角度,  $\alpha$  为斜面坡度, 迎坡时  $\varphi = \theta - \alpha$ , 背坡时  $\varphi = \theta + \alpha$ 。

(2)顶底位移: 即当  $\theta \leq \alpha$  时, 雷达波束先到达顶部, 后到达斜坡底部, 顶部景象先于底部被记录, 造成斜坡顶部与底部景象被颠倒显示, 它是透视收缩的进一步发展。

(3)阴影: 与可见光传感器类似, 侧视雷达成像时, 若  $\theta + \alpha > 90^\circ$ , 斜坡背后有部分区域雷达波束不能到达, 从而没有回波反射到天线, 在图像上形成阴影。

从以上分析可知, 侧视雷达受地形起伏的影响效果主要表现在成像的几何畸变上, 因此本文主要研究起伏地形造成的目标区域成像几何畸变系数, 并据此对成像质量影响程度进行预估。

### 3.2 基于 GIS 求几何畸变系数

本文定义, 成像的几何畸变系数  $\tau$  表征在地形起伏影响下, 上述几何畸变造成 SAR 成像的失真程度,  $\tau$  的取值为 0 到 9 的整数, 其具体描述为: 当迎坡,  $\theta \leq \alpha$  或背坡,  $\theta + \alpha > 90^\circ$  时,  $\tau$  赋值为 9; 其余情况下,  $\tau$  为映射到 0~9 的收缩比。

由 3.1 的分析可知, 对于透视收缩现象, 收缩比可通过公式(6)得到, 而为了得到该值, 我们需要计算目标点的坡度及其与雷达的相对位置。这里定义, 雷达与目标区域的相对位置用雷达方位角  $\eta$  表示, 即雷达与目标的连线在水平面的投影与过该点的正北方向的夹角(见图 3)。

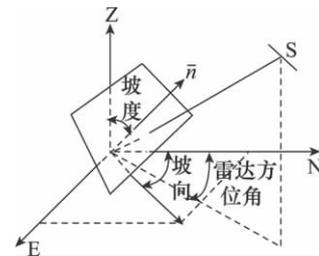


图 3 雷达方位角示意图

随着 GIS 的发展, 其空间分析技术已经很成熟, ArcGIS 提供的空间分析模块, 可直接通过 DEM 数据得到相应的坡度与坡向数据, 从而便于我们计算收缩比。本文规定, 当坡向在  $\eta \pm 90^\circ$  范围内时, 认

为该斜面在迎坡方向,反之,在背坡方向( $\eta$ 为雷达方位角)。

SAR 成像的几何畸变系数,通过如下步骤得到:

①加载目标区域 DEM 数据,计算目标区域坡向,判断目标区域 DEM 数据中,哪些像元处于迎坡,哪些背坡。

②根据几何畸变系数的描述计算各个像元的  $\tau$ 。

③得到目标区域几何畸变系数的栅格图后,以栅格图的统计均值代表整个区域的几何畸变系

数  $\tau'$ 。

最后,根据得到的  $\tau'$  值,本文将量化为 0、1、2 共 3 个等级, $\tau'$  值越大,等级越低,且其等级值就是成像质量影响预估值。每预估值对应不同的  $\tau'$  计算范围,具体阈值根据实际情况设定。 $\tau'$  值越小,表示地理因子负面影响越小,可考虑优先成像。

#### 4 模型实现

本文在 .Net 平台下基于 ArcGIS 9.2 及 STK 仿真软件,实现了该模型的原型系统,实现流程如图 4。

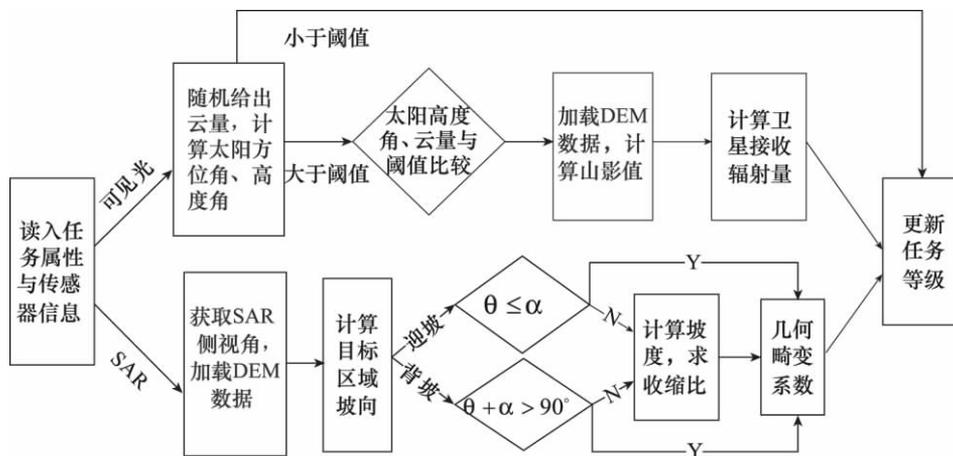


图 4 模型实现流程图

该系统首先加载卫星数据,获取任务目标数据,然后进入环境分析界面,加载相应目标的 DEM 数据,对 DEM 数据进行分析,得出地理因子对成像质量的影响预估值。软件主体界面主要由地图显示、任务属性信息表格、成像质量的影响预估值显示面

板组成(图 5)。地图显示控件用于浏览成像任务的空间分布,任务属性信息表格用于显示待成像任务的属性信息,包括云量、太阳高度角等地理信息。部分点目标的分析结果如表 1、表 2 所示。



图 5 软件演示

表 1 地理因子对可见光传感器成像质量影响预估

任务区域 (经度, 纬度)	CC (云量)	$P_2$ (大气 透明度)	$h$ (太阳 高度角)	$\alpha$ (太阳 方位角)	预估 值
(120.6, 22.4)	6	0.6163851	47.9507256	4.165428	0
(121.6, 23.8)	5	0.6207101	48.03351	2.61364532	1
(121.6, 23.8)	0	0.603144	7.692382	252.166946	0
(121.6, 23.8)	3	0.6800984	48.0905151	267.057037	2
(121.6, 25)	3	0.6794961	68.13814	268.394135	2

表 2 地理因子对 SAR 成像质量影响预估

任务区域(经度, 纬度)	雷达侧视角 $\theta$	预估值
(109.9, 40.65)	30.49260	1
(145.06, 65.26)	47.98672	0
(112.96, 31.19)	33.1716	2
(87.22, 43.05)	69.3412	1

## 5 结束语

本文从云层、光照条件、地形起伏等地理因子入手,研究其对可见光传感器成像质量的影响,提出地理因子对可见光传感器成像质量影响预估模型;针对 SAR 侧视成像特点,主要从地形起伏造成的图像几何畸变入手,研究目标区域几何畸变系数计算方法,提出地理因子对 SAR 成像质量影响预估模型。两个模型最后都给出了成像质量影响程度预估值计算方法,赋予地理因子负面影响小的成像目标较高的预估值,为卫星任务规划提供辅助决策信息,以便

其优先考虑成像效果好的任务目标。最后,本文基于 ArcGIS 实现了原型系统。

本文的应用有一定的局限性,其模型更适合用于山区点目标的成像质量影响预估,对于较大范围的区域目标,在地形因子与几何畸变系数的处理中,需要有必要的图像处理过程,提取出地形对整个区域的综合影响。

传感器成像质量预估技术可以广泛应用于多个领域,如无人机侦察领域、卫星规划调度以及应急救援等。

## 参考文献

- [1] 张帆. 成像卫星计划编制中的约束建模及优化求解技术研究[D]. 长沙:国防科学技术大学,2005.
- [2] 刘洋. 卫星有效载荷规划与调度的算法及仿真[D]. 北京:中国科学院空间科学与应用研究中心,2004.
- [3] 于海,郭玉华,李军,王钧,景宁. 一种卫星成像调度的约束修正方法[J]. 宇航学报,2008,29(4):1402-1407
- [4] 孙尽尧,孙洪. SAR 图像几何特征的仿真[J]. 系统仿真学报,2004,16(10):2313-2316.
- [5] 张纪波. 南宁晴天太阳辐射模型与全玻璃真空管太阳集热器最佳管间距(B/D)分析[D]. 南宁:广西大学,2007.
- [6] 李小芳,陈青云. 用云遮系数法计算日光温室内太阳辐射[J]. 农业工程学报,2000,20(3):212-216.
- [7] 杨阳,马力,邱新法,史岚,缪启龙. 起伏地形下重庆市天文辐射的空间分布[J]. 太阳能学报,2005,26(3):321-326.
- [8] 聂欣,周游游,吴良林. 利用山影分析表现山区太阳辐射情况[J]. 安徽农业科学,2008,36(20):8743-8745.
- [9] 宋建社,郑永安,袁礼海著. 合成孔径雷达图像理解与应用[M]. 科学出版社,2008.

(上接第 26 页)

充分利用各类数据进行油气综合分析与应用的基础平台。此外,在数据集成的前提下,可进一步通过二次开发的接口实现与油气勘探业务的应用定制。平台下一步将在以下几方面进行完善与扩展<sup>[12~15]</sup>:

(1)进一步加强组件化服务,满足不同的油气勘探应用功能聚合。

(2)扩展服务器端的 mashup 开发平台,解决

Javascript 对跨域不同数据源访问的限制,满足多用户灵活的应用定制。

(3)在基于 SOA 的开发模式下,通过 Web Service 扩展数据访问服务与数据计算服务,以不断丰富数据与应用接口,满足中石油多应用部门对空间信息共享的需求。

## 参考文献

- [1] 唐先明,李媛媛,曲寿利. 四川盆地油气勘探三维地理信息系统与应用[J]. 地球信息科学,2009,11(2):209-215.
- [2] 诸云强,孙九林. 面向 e-GeoScience 的地质数据共享研究进展[J]. 地球科学进展,2006,21(3):286-290.
- [3] 宋跃滨,孙晓生. 石油行业 GIS 技术应用现状与展望[J]. 测绘与空间地理信息,2007,30(1):54-56,60.
- [4] 龚健雅,李德仁. 论地球空间信息服务技术的发展[J]. 测绘通报,2008,(5):5-10.
- [5] 王永志,杨毅恒,路来. 基于 SOA 的油气资源评价系统设计与实现[J]. 世界地质,2007,26(4):447-452.
- [6] 《中国石油信息技术总体规划》调研报告[R].
- [7] 田晟. Mash up 应用中的面向方面编程模型[D]. 广州:中山大学,2007.
- [8] 程启健. 一个支持简单语义的 Mash up 平台的设计与实现[D]. 广州:中山大学,2007.
- [9] 王辉,高成英,刘宁. 服务器端 Mashup 开发平台的设计与实现[J]. 计算机工程,2010,36(10):1-3,9.
- [10] 彭璇,吴肖. Google Map API 在网络地图服务中的应用[J]. 测绘信息与工程,2010,35(1):1-3,9.
- [11] <http://code.google.com/intl/zh-CN/apis/kml/documentation/kmlreference.html>[OL].
- [12] 卢海滨,郑文锋,银正彤,等. World Wind 网络空间数据扩展应用[J]. 国土资源遥感,2008(4):96-99.
- [13] 钟珞,潘媛媛,徐勇,曹皓. 分布式异构空间数据共享研究[J]. 计算机应用与软件,2005,22(10):52-54.
- [14] 孙晓生,苗前军,丁明柱. 基于 Web Service 的空间信息服务技术探讨[J]. 测绘与空间地理信息,2004,27(6):1-3,9.
- [15] 诸云强,冯敏,宋佳,刘润达. 基于 SOA 的地球系统科学数据共享平台架构设计与实现[J]. 地球信息科学,2009,11(1):1-9.