

自然光辐射各分量卫星遥感图像的 计算机生成原理与方法*

李先华 兰立波 黄雪樵 王小平

(中国科学院成都山地灾害与环境研究所 成都 610041)
(水利部)

池天河

(中国科学院地理研究所资源与环境信息系统国家重点实验室 北京 100101)
(国家计划委员会)

喻歌农

(四川省农业遥感中心 成都 610014)

摘要 本文讨论了利用卫星遥感数据和与之匹配的数字地面模型以及它们和光辐射各分量之间的定量关系,使用计算逐点分解遥感数字图像以生成成像瞬间直、散射辐射光照射下相应的卫星遥感图像的原理、方法。最后,阐述了生成的辐射各分量遥感图像特点和应用前景。

关键词 遥感,辐射分量,图像生成,原理方法

普通卫星遥感图像是在自然光(这里不包括热红外)照射条件下获取的。由于自然光各分量(主要指直、散射光)的光学特性(强度、方向性以及在地物的相互作用)是各不相同的,而卫星接受到的辐射信号是辐射各分量经地面反射后的复合的响应。将卫星遥感图像分解并生成直、散射辐射遥感图像,在地物双向反射特性、遥感图像的模式识别、地面信息的定量反演等遥感基础、遥感应用研究领域中有独特的意义。

1 卫星遥感数据中的散射辐射分量及其遥感图像

散射辐射遥感图像的生成其实质是:利用卫星遥感数据和数字地形模型将散射辐射遥感分量从卫星像片像元的原始遥感数据中逐点分离出来并按序排列以形成相应的遥感数字图像。

1.1 卫星像片阴影中像元的散射辐射遥感分量

由文献[1]可得经大气程辐射和地表反射辐射改正后的像元遥感值:

* 本文是国家自然科学基金课题:“地理信息系统支持下的贡嘎山冰川、植被遥感动态研究”、国家引进国外智力办公室资助项目:“遥感数据的地面辐射场研究”和国家重点实验室(中国科学院地理研究所资源与环境信息系统实验室)基金课题:“卫星遥感信息的地形、大气影响及计算机修正模型”的部分研究内容。

收稿日期:1993年12月27日;收到修改稿日期:1995年1月4日

$$DN_{ij}(D_A, R) = DN_{ij} - D_{Aij} - D_{Rij} \quad (1)$$

式中 $DN_{ij}, D_{Aij}, D_{Rij}$ 分别为像元 P_{ij} 原始遥感值、大气程辐射遥感值、地表邻坡反射遥感值, 它们的取得^[1,2]:

$$DN_{ij}(D_A, R) = D_{Sij} + D_{Dij} \quad (2)$$

式中 D_{Sij}, D_{Dij} 分别为该像元直、散射光辐射遥感分量。由于卫星像片阴影中像元地面直射光辐射值为零, 即 $D_{Sij} = 0$ 由式(1), 式(2)可得:

$$D_{Dij} = DN_{ij}(D_A, R) \simeq DN_{ij} - D_{Aij} - D_{Rij} \quad (3)$$

对卫星像片所有阴影中每个像元点实施式(3)的运算便可得到呈块状、点状在卫星像片上离散分布的散射辐射遥感分量值。

1.2 地面水平时阴影像元的地表散射辐射值及其遥感分量

地面水平时卫星像片阴影中像元散射辐射遥感值由文献[1]可知:

$$D'_{Dij} = D_{Dij}/G_{ij} = (DN_{ij} - D_{Aij} - D_{Rij})/G_{ij} \quad (4)$$

式中 G_{ij} 为阴影中像元的天空光照射率, 其值可在对应数字地形图上算出。详见文献[2]。该阴影像元地面水平时的天空散射辐照度为:

$$E'_{Dij} = \pi \cdot (D'_{Dij}/K) \cdot \gamma_{ij} \cdot \tau_{ij}$$

式中 K 为转换系数; γ_{ij}, τ_{ij} 分别为该像元的地面反射率和大气光谱透过率。它们的取得见文献[2]、[3]。

1.3 任意卫星像片像元的散射辐射遥感分量值

任意非阴影像元 P_{KL} 的散射辐射遥感值可利用邻近离散分布的已知阴影点的天空散射辐照度值通过一定的插值算法得到(地面水平时天空散射辐射的变化满足连续性):

$$D'_{DKL} = K \cdot \gamma_{KL} \cdot \tau_{KL} \cdot E'_{DKL}/\pi \quad (6)$$

任意像元自然地表散射辐射遥感值, 由公式(4)可知:

$$D_{Dij} = D'_{Dij} \cdot G_{ij} \quad (7)$$

对整幅卫星像片逐点实施式(6)、式(7)的运算, 并将结果四舍五入取整后, 按序排列便完成了水平地表和自然地表的天空散射辐射遥感图像的生成。

2 遥感数据中的直射辐射分量及其数字图像的生成

计算所有卫星像片阴影和非阴影像元的直射辐射遥感分量, 并将其按原有序号排列便完成了直射辐射遥感图像的生成。由于前面生成了散射辐射遥感数字图像, 因直、散射遥感图的互补性, 直射辐射遥感图像的生成就变得颇为简单。

2.1 任意非阴影像元的直射辐射遥感分量

任意非阴影像元的自然地表的直射辐射遥感分量由式(2)可知:

$$D_{SKL} = DN_{KL}(D_A; R) - D_{DKL} = DN_{KL} - D_{AKL} - D_{RKL} - D_{DKL} \quad (8)$$

地面水平时像元直射遥感分量由文献[4]可知:

$$D'_{SKL} = D_{SKL}/F_{KL} \quad (9)$$

式中 F_{KL} 为像元直射光地形改正系数。

$$F_{KL} = 1 - \text{tg}\alpha_{KL} \cdot \text{ctg}\theta_{KL} \cdot \cos\omega_{KL}$$

$\alpha_{KL}, \theta_{KL}, \omega_{KL}$ 分别为像元 P_{KL} 的地面坡角、太阳高度角和太阳方向角与地面坡向角之差。卫星像片上任意像元的坡角与坡向角由对应数字地形图给出; 任意像元的太阳高度角与方向角的计算见文献[5]。

2.2 阴影像元的“直射辐射遥感”分量

前面已指出卫星像片阴影中的像元其直射辐射遥感分量值为零。为完成直射辐射遥感图像的生成, 这里定义阴影像元的直射辐射遥感分量, 为该像元如果未曾落在卫星像片阴影中, 这时的像元的直射辐射遥感值, 由文献[4]可得:

$$L_{ij} = D'_{Dij} / D'_{Sij}$$

式中 L_{ij} 为当像元地面水平时地面散射、直射光照度之比; 其值的取得见文献[4, 6]。由式(7)可得:

$$D'_{Sij} = D'_{Dij} / L_{ij} = D_{Dij} / L_{ij} \cdot G_{ij} \quad (10)$$

由式(9)、式(10)可得:

$$D_{Sij} = D'_{Sij} \cdot F_{ij} = D_{Dij} \cdot (F_{ij} / L_{ij}) \cdot G_{ij} \quad (11)$$

3 直、散射遥感图像的处理

这里仅对必要的直、散射遥感数字图像处理进行简单的介绍。在求水平地面的直、散射遥感图像的过程中已进行了地形辐射改正, 进一步的辐射改正可见文献[1, 2, 6]。

3.1 散射辐射遥感图像灰度的线性拉伸

自然地表上的天空散射辐射照度一般仅占地表辐照度的 20% 左右, 在地形起伏较大地区由于屏蔽与遮挡等原因, 其值更少。这样, 生成的散射辐射遥感图像灰度值必然偏小, 且集中接近原点一侧的低值区, 造成像元灰度动态范围很窄 [仅占灰度可变范围 $0 - (2^N - 1)$ 中很小部分], 使该图像反差太小, 对比度不大, 图像质量差。因此, 有必要对该图像作必要的处理以改善其图像质量。因此对该图像作灰度线性拉伸变换。由文献[7]可知:

$$d_{Dij} = (D_{Dij} - \min D_{SKL}) \cdot (2^N - 1) / (\max D_{DKL} - \min D_{DKL}) \quad (12)$$

$$(K = 1, 2, \dots, n; L = 1, 2, \dots, m)$$

四舍五入取整: $d_{Dij} = ANINT(d_{Dij} + 0.5)$, d_{Dij} 为线性拉伸变换后像元 P_{ij} 的灰度值; N 为数据量化比特 (bit) 数; m, n 分别为该图像纵、横像元数。

另外, 散射辐射遥感图像受地形影响十分突出, 简单线性拉伸变换消除不了这种影响。应该首先进行如式(4)的地形辐射改正, 则有:

$$d'_{Dij} = (D'_{Dij} - \min D'_{DKL}) \cdot (2^N - 1) / (\max D'_{DKL} - \min D'_{DKL}) \quad (13)$$

利用式(12)和式(13)逐点运算便可分别完成自然地表和水平地表上的散射辐射遥感图像的线性拉伸变换。

3.2 直射辐射遥感图像的灰度线性拉伸变换

一般, 地表直射辐射照度占地表总辐射照度的 75% 左右, 其遥感图像的灰度不及散射辐射遥感图像那样偏小和集中, 其图像质量的同样问题虽不及后者突出, 但总是存在的。由于直射光受地形影响的强度超过散射光, 因而遥感数据的地形辐射改正显得尤为

迫切和重要。

类似地,直射辐射遥感图像的线性拉伸变换公式为:

$$d_{sij}(D_{sij} - \min D_{SKL}) \cdot (2^N - 1) / (\max D_{SKL} - \min D_{SKL}) \quad (14)$$

$$d_{sij} = ANINT(d_{sij} + 0.5)$$

$$d'_{sij} = (D'_{sij} - \min D'_{SKL}) \cdot (2^N - 1) / (\max D_{SKL} - \min D_{SKL}) \quad (15)$$

$$(K = 1, 2, \dots, n; L = 1, 2, \dots, m)$$

4 直、散射辐射遥感图像的生成与处理实例

这里所用数据皆取之西昌地区(MSS4波段,低增益)卫星像片。按步骤进行直、散射辐射遥感图像的生成与处理:

4.1 卫星像片阴影中像元散射辐射及其遥感值

设阴影中像元 P 有:

$$DN = 8 \quad D_A = 3 \quad D_R = 2 \quad G = 0.66 \quad L = 0.27$$

$$\alpha = 26^\circ \quad \theta = 31^\circ \quad \omega = 18^\circ \quad \tau = 0.52 \quad \gamma = 0.28 \quad K = 25.40$$

则该像元自然为水平地面散射辐射,其遥感分量值分别为:

$$D_D = DN - D_A - D_K = 8 - 3 - 3 = 3$$

$$D'_D = D_D / G = 3 / 0.66 \doteq 4.55 \doteq 5 \text{ (取整)}$$

该像元水平地表上散射辐射照度为:

$$E_D = E'_D \cdot (\pi / K) \cdot \tau \cdot \gamma = 4.55 \times (3.14 / 25.40) \times 0.52 \times 0.28$$

$$= 3.79 (\text{mW} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{Sr})$$

该像元水平地表、自然地表直射辐射遥感分量值(模拟)分别为:

$$D'_S = D_D / L \cdot G = 3 / 0.27 \times 0.66 = 16.84 \doteq 17$$

$$D_S = D'_S \cdot F = 16.84 \times (1 - \text{tg} 26^\circ \cdot \text{ctg} 31^\circ \cdot \cos 18^\circ) \doteq 3.84 \doteq 4$$

4.2 任意像元的直散射辐射及其遥感数值

利用已知阴影像元水平地表散射辐射照度值经插值计算得到某像元 P_{ij} 水平地面上散射辐射照度为: $E'_{Dij} \doteq 4.19 (\text{mW} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{Sr})$

$$\tau_{ij} = 0.48 \quad \gamma_{ij} = 0.24 \quad D_{Aij} = 4 \quad G_{ij} = 0.69$$

$$\alpha_{ij} = 12^\circ \quad \theta_{ij} = 30^\circ \quad \omega_{ij} = 20^\circ \quad D_{Nij} = 21 \quad D_{Rij} = 2,$$

则该像元、自然地表的散射辐射遥感值分别为

$$D'_{Dij} = \kappa \cdot \gamma_{ij} \cdot \tau_{ij} E'_{Dij} / \pi = 25.40 \times 0.24 \times 0.48 \times 4.19 / 3.14 \doteq 3.90 \doteq 4$$

$$D_{Dij} = D'_{Dij} G_{ij} = 3.90 \times 0.69 \doteq 2.69 \doteq 3$$

该像元自然、水平地表直射辐射遥感值分别为:

$$D_{Sij} = DN_{ij} - D_{Aij} - D_{Kij} - D_{Dij} = 21 - 4 - 2 - 3 = 12$$

$$D'_{Sij} = D_{Sij} / F_{ij} = 12 / (1 - \text{tg} 12^\circ \cdot \text{ctg} 30^\circ \cdot \cos 19^\circ) \doteq 18.41 \doteq 18$$

4.3 辐射各分量遥感图像的计算机生成步骤

综上所述,计算机生成自然光各分量卫星遥感数字图像的步骤如下:

(1) 卫星遥感图像的大气程辐射修正和地面邻坡反射改正;

(2) 卫星像片阴影像元处理: a. 计算所有阴影像元的散射辐射遥感分量。 b. 计算所有阴影像元地面水平时的散射辐射遥感分量。

(3) 散射辐射遥感图像的计算机生成:

a. 计算所有卫星像片像元地面水平时的散射辐射遥感分量,生成经地形改正后的散射辐射遥感图像;

b. 计算所有卫星像片像元自然地面的散射辐射遥感图像分量,生成散射辐射遥感图像。

(4) 直射辐射遥感图像的计算机生成: a. 利用直、散射遥感图像的互补性,计算自然地面上各卫星像片像元的直射辐射遥感分量,生成直射辐射遥感图像; b. 对自然地面上各卫星像片像元的直射辐射遥感分量实施地形改正,生成水平地面的直射辐射遥感图像。

(5) 辐射各分量遥感图像的处理: 针对各遥感图像特点,实施亮度线性拉伸等常规图像处理以提高图像质量,方便应用。

(6) 辐射分量遥感图像的计算精度与质量,是两个密切相关的问题,由于缺乏卫星过顶时的地面同步观测和卫星传感器辐射定标的有关资料,我们目前无法进行精确的计算精度和图像质量评估、验证。这是今后国产资源卫星运行后,拟将进行的重要工作之一。前面着重从方法论的角度出发,对卫星遥感数据的分解与自然光各分量数字遥感图像计算机生成的原理方法进行讨论。

关于方法的精度及其生成图像的质量,这里简单分析如下:

决定方法精度的主要因素有: 大气修正精度(本法采用的一种较为精确的大气修正方法^[9])。地面反射率的测定精度及其与地表波谱特性的近似程度;观测点和阴影的密度和平面分布,以及有关离散点值的插值计算精度等。

由于自然光各分量遥感图像是通过原始遥感图像分解而生成的,任一分量遥感图像都等同于在降低光照度的状态下(相对于总照度)成像。在此意义上,直射光分量的遥感图像质量应优于散射光分量的遥感图像(直射光照度大于散射光照度);但是在图像的信噪比上却正好相反。因为,起伏地表不仅使坡面上直射光照度发生再分配而且改变了地面与太阳位置之间的几何取向,致使不同坡面的地表直射光的强度和方向都成为变量,即使将它们转换为水平地面(辐射改正)对应的量也无法有根本上的改善(目前尚无一个成熟、实用的可大范围实施的地物双向反射改正模型),这便影响了直射光遥感图像的质量。

5 问题的讨论与结论

地物光谱是遥感技术的基础,它的深入研究是遥感技术从定性向定量、从表面现象的描述向内在规律的探索发展的必然趋势。近年来,国际上兴起的地物双向反射特性研究就是这一趋势的反映。

利用计算机图像处理技术在数字地面模型上将卫星遥感数据逐点分解为直、散射遥感分量并以此分别模拟和生成地面在太阳直射光照射下的直射辐射卫星遥感图像和地面

在天空散射光照射下的散射辐射卫星遥感图像。鉴于直、散射光的特性,它们能为被动式卫星遥感(可见光波段)提供在自然条件下迄今无法提供的大范围的卫星遥感图像,还可用于地物双向反射特性研究。现分别讨论如下:

5.1 散射辐射

由于散射辐射遥感图像消除了原始遥感图像中的太阳直射光遥感成份,单一的天空散射光可视为各向的均匀同性(相对于太阳直射光),加上中、小分辨率的卫星遥感图像(NOAA、MSS、TM 等)中像元地表大多可满足、或近似满足朗伯假定,在上述两种情况叠加的基础上它们的综合效应的结果表现为地表较为充分地满足朗伯假定。这时的地物双向反射特性很弱。

应该指出,在这样的条件下自然地表的散射辐射遥感图像除反映地物波谱信息外,还有丰富的地形、地貌信息。而对其进行地形辐射改正后得到的水平地面散射辐射遥感图像便能十分突出地反映了地物信息。

5.2 直射辐射

由于直射辐射遥感图像除去原始遥感图像中的散射光的遥感成份,单一的太阳直射光比天空光具有更强的方向性,在其照射下的地物,其双向反射特性表现充分,相应的卫星遥感图像便是地物双向反射特性的产物,这样的卫星遥感图像是反演地物反射率、研究地物双向反射模型及其应用的重要遥感资料。

应当说明的是:自然地表的直射辐射遥感图像若经地形辐射改正、消除了地形阴影、地面坡度、坡向等因素的影响后产生的水平地表直射辐射遥感图像,其研究和应用价值更大。如果将同幅直射辐射遥感卫星像片在不同像元的不同太阳高度角、方向角时的遥感数值换算成相同太阳高度角、方向角时的遥感数值^[6],其研究和应用价值还将进一步提高。

5.3 程辐射和反射辐射

从卫星遥感原始数据中依照类似方法还可分离出该幅遥感图像的程辐射遥感分量和地表反射辐射遥感分量并分别生成大气程辐射遥感图像和地表反射辐射遥感图像。前者表达了大气成份和气溶胶含量及其空间分布等大气环境信息^[8],而后者则反映了受地形条件和下垫面性质影响的地表短波反射辐射信息。它们都在不同的研究和应用领域有其不同应用前景。

参 考 文 献

- [1] 李先华,等. 遥感数据的地面反射辐射计算与改正,遥感技术与应用,1991.
- [2] 李先华,等. 遥感数据的地面散射计算与改正. 遥感技术与应用,1992,7(1).
- [3] 李先华,等. 遥感数据的像元地面反射率反演计算. 环境遥感,1993,8(4).
- [4] 李先华,遥感信息的地形影响与改正. 测绘学报,1986,15(2).
- [5] 李先华,等. 卫片像元太阳高度角,方向角的计算原理与方法,测绘学报,1993,22(2).
- [6] 李先华,等. 遥感数据的地面直射辐射计算与改正,遥感技术与应用,1993,8(2).
- [7] 许殿元、丁树柏编著. 遥感图像信息处理,北京:宇航出版社,1990.
- [8] 李先华,等. 大气环境卫星遥感数值监测,中国环境监测,1993,9(5).
- [9] 李先华,等. 卫星遥感数字图像的非均匀大气修正研究,遥感技术与应用,1994,9(2).

Computer Formation about Satellite Remotely Sensed Images of Each Branch of Natural Solar Radiation

Li Xianhua Lan Libo Huang Xueqiao Wang Xiaopin

(Institute of Mountain Disaster and Environment, Chinese Academy of Sciences)

Chi Tianhe

*(National Laboratory of Resources & Environment Information System, Institute of Geography,
Chinese Academy of Sciences)*

Yu Gelong

(Institute of Remote Sensing Application, Chinese Academy of Sciences)

Abstract General satellite remotely sensed images are gained in condition of natural solar radiation (not including thermal infrared in here). Because the optical characteristic (including strength, directionality and their mutual effect with ground objects) of each branch of natural ray, mainly direct and diffuse radiation, are different, the radiating signal received by satellite is a compound response to each branch reflected by terrain. This paper introduces resolution of remotely sensed image and formation of direct and diffuse images. This is distinctive significance in the remote sensing basic and applied research domain, for example, making model distinction of remoted sensed image, quantitative inversion of ground information etc.

Key words Remote sensing, Natural solar radiation, Direct and diffuse radiation, Image formation