

文章编号: 1007-4619(2000)增-0117-04

遥感数字图像解析

李先华^{1,2}, 张登荣³, 俞 晟², 朱红旗², 李 梅²,
刘志强², 赵 军², 何易平¹, 罗秀陵⁴, 石火生⁵, 林 晖⁵

(1. 华东师范大学 地理系、河口海岸研究所, 上海 200062; 2. 中国科学院 成都山地灾害与环境研究所, 四川成都 610041; 3. 浙江大学, 浙江 杭州 310032; 4. 四川省气象局, 四川 成都 610062; 5. 香港中文大学, 香港)

摘 要: 讨论一种分解遥感数字图像的解析方法。其目的是将组成原始遥感的各分量(太阳直射光、天空散射光和大气亮度)逐点分离, 并各自生成新的数字图像。由于这些图像是自然光各分量分别与地物和大气之间相互作用的产物, 它们在地表辐射能量和大气环境状况的遥感定量反演研究及遥感图像的模式识别中有着其他传统遥感图像无法具有的独特作用。

关键词: 遥感; 数字图像; 解析

中图分类号: TP751.1 文献标识码: A

1 前 言

遥感数字图像处理中传统的图像分解内容有: 将全色图像按波长分解为不同波段的图像; 通过滤波器将图像分解为高频和低频部分; 通过傅立叶分析组元将图形(像)分解为各组元波之和, 小波变换的亦与其他类相似, 其他还有混合像元的分解等。这些都是遥感图像分析和信息提取中行之有效的常用手段。这里讨论一种在GIS支持下将一幅原始遥感数字图像分解为太阳直射光、天空散射光和大气程辐射等三幅不同遥感数字图像的原理、方法。

2 地形、自然光和卫星遥感数据

像元地面的自然光以及组成与遥感数据之间的定量关系; 一像元遥感值各分量与像元地面的坡度、坡向之间的定量关系是遥感数字图像的解析基础。

2.1 卫星遥感数据与地面照度及卫星遥感数据与像元地面自然光照度之间有如下定量关系:

$$E_{ij} = E_{Sij} + E_{Dij} \quad (1)$$

$$DN_{ij} = K \cdot E_{ij} \cdot \tau_{ij} \cdot \gamma_{ij} / \pi + K \cdot N_{Aij}$$

$$DN_{ij} = K \cdot (E_{Sij} + E_{Dij}) \cdot \tau_{ij} \cdot \gamma_{ij} / \pi + K \cdot N_{Aij} \\ = D_{Sij} + D_{Dij} + D_{Aij} \quad (2)$$

式中: K 为 MSS 系统固有的比例系数; γ_{ij} 、 τ_{ij} 分别为像元地面光谱反射率和像元大气光谱透过率; E_{Sij} 、 E_{Dij} 、 N_{Aij} 分别为像元地面太阳直射光照度、天空散射光照度和大气亮度, D_{Sij} 、 D_{Dij} 、 D_{Aij} 分别为它们对应的遥感分量值。

2.2 像元坡面照度与卫星遥感数据

因坡面上太阳直射光照度和坡面上天空散射光照度与地形之间定量关系的差异, 分别讨论如下
像元坡面太阳直射光照度与其遥感数值

由图1可见^[1] 当太阳高度角一定时, 像元坡面太阳直射光通量 ϕ_{ij} 是其水平投影的太阳直射光通量 ϕ'_{ij} 的 F_{ij} 倍。

$$\phi_{ij} = F_{ij} \cdot \phi'_{ij}$$

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

收稿日期: 1999-12-15; 修改日期: 2000-08-10

资助项目: 研究工作得到国家95攀登项目(95-预-38)、国家自然科学基金项目(49971057)和香港特区政府研究资助局(CUHK4334/98E和CUHK4132/99H)资助。

作者简介: 李先华(1948—), 男, 教授, 博士生导师, 1982年毕业于浙江大学地球科学系遥感专业。主要专业方向为遥感与地理信息系统。

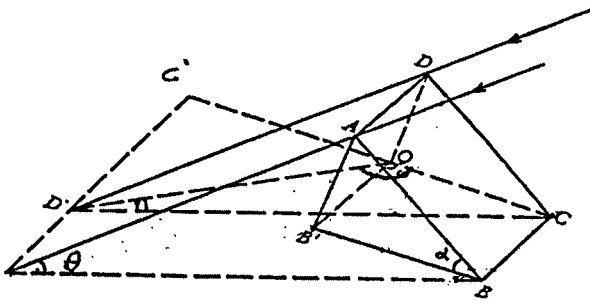


图 1 像元坡面与其水平面上投影的直射光通量

Fig.1 The flux of the straight light projecting in the horizontal plane and the pixel slope

$$\phi_{Sij} = (1 - \text{tg } \alpha_{ij} \cdot \text{ctg } \theta_{ij} \cdot \cos \omega_{ij}) \cdot \phi'_{Sij}$$

$$\omega_{ij} = A l_{ij} - A e_{ij}$$

式中： α_{ij} 、 θ_{ij} 、 $A l_{ij}$ 、 $A e_{ij}$ 分别为像元地面坡角、太阳高度角、地面坡向和太阳方位角。由于像元坡面面积 S_{ij} 与其水平面上投影的面 S'_{ij} 有如下关系：

$$S_{ij} = \frac{S'_{ij}}{\cos \alpha_{ij}}$$

则像元坡面照度：

$$E_{Sij} = \frac{\phi_{Sij}}{S_{ij}}$$

$$= \frac{F_{ij} \cdot \phi'_{Sij}}{S'_{ij} / \cos \alpha_{ij}}$$

$$= F_{ij} \cdot \cos \alpha_{ij} \cdot E'_{Sij} \quad (3)$$

式中： E'_{Sij} 为像元在水平地面上投影中太阳直射光照度。

因此，坡面像元的太阳直射光遥感数据：

$$D_{Sij} = K \cdot E_{ij} \cdot \tau_{ij} \cdot \gamma_{ij} / \pi$$

$$= K \cdot F_{ij} \cdot \tau_{ij} \cdot \cos \alpha_{ij} \cdot \gamma_{ij} \cdot E'_{Sij} / \pi$$

$$= F_{ij} \cdot \cos \alpha_{ij} \cdot D'_{Sij} \quad (4)$$

像元坡面天空散射光照度与其遥感值

由图 2 可见^[2]因像元 P_{ij} 周围地形屏蔽像元坡面上的天空光照度 E_{Dij} 与假定该像元处在平坦且开阔地形条件下的天空光照度 E'_{Dij} 有如下关系：

$$E_{Dij} = E'_{Dij} \cdot G_{ij}$$

$$n = \frac{2\pi}{\Delta t}$$

$$G_{ij} = 1 - \frac{2}{n\pi} \cdot \sum_{k=1}^n \beta_k$$

式中： β_k 为 P_{ij} 在数字地形图上第 K 方位的地形屏蔽角， Δt 为方位搜索增量。同理则有：

$$D_{Dij} = G_{ij} \cdot \cos \alpha_{ij} \cdot E'_{Dij} \cdot K \cdot \tau_{ij} \cdot \gamma_{ij} / \pi$$

$$= G_{ij} \cdot \cos \alpha_{ij} \cdot D'_{Dij} \quad (5)$$

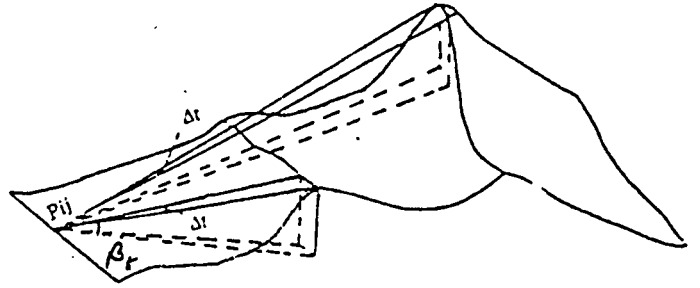


图 2 天空光的地形遮蔽

Fig.2 The topography mask of the sky light

像元太阳直射光、天空散射光遥感分量之间的定量关系

像元太阳直射光遥感分量 D_{Sij} 与天空散射光遥感分量 D_{Dij} 之间定量关系取决于像元坡面在水平面上投影的天空散射光照度与太阳直射光照度之比(散射-直射比)。

$$L_{ij} = \frac{E'_{Dij}}{E'_{Sij}}$$

$$D_{Dij} = \frac{(DN_{ij} - D_{Aij}) \cdot G_{ij} \cdot L_{ij}}{(F_{ij} + G_{ij} \cdot L_{ij})} \quad (6)$$

由(4)、(5)式：

$$L_{ij} = \frac{D'_{Dij}}{D'_{Sij}}$$

$$= \frac{D_{Dij}}{G_{ij} \cdot \cos \alpha_{ij}} \bigg/ \frac{D_{Sij}}{F_{ij} \cdot \cos \alpha_{ij}}$$

$$= D_{Dij} \cdot F_{ij} / D_{Sij} \cdot G_{ij} \quad (7)$$

3 卫星任意像元水平地面上的散射、直射比和大气程辐射遥感值

水平地面上的太阳直射光照度、天空散射光照度它们的比值(散射、直射比)和大气程辐射值在水平方向上的空间变化满足低频、连续的条件，因此它们在水平面上的已知点值，通过适当的曲面拟合插值计算得到。

常用算法有距离加权插值：

$$D_{Aij}(L_{ij}) = \frac{\sum_{k=1}^n D_{AK}(L_K) / S_K}{\sum_{k=1}^n \left(\frac{1}{S_K}\right)} \quad (8)$$

式中： D_{AK} 、 L_K 分别为第 K 个小区经星地同步观测到的像元地面大气程辐射遥感值和水平地面散射、直射比， S_K 是第 K 个测点到像元 P_{ij} 的距离。

像元 PK 的大气程辐射遥感值 DAK 的计算方法见文献[3]。

$$D_{AK} = DN_1 - \gamma_1(DN_1 - DN_2) / (\gamma_1 - \gamma_2) \quad (9)$$

式中： DN_1 、 DN_2 分别为水平地区相邻两不同类型地物像元遥感值； γ_1 、 γ_2 分别为它们的反射率，与 LK 同样由星地同步实测得到， n 为离散分布于水平地面上的星地同步实测点数。

4 像元遥感数据解析

前面建立了卫片像元遥感数据总量与太阳直射辐射、天空散射辐射、大气程辐射等 3 分量之间的关系：

$$DN_{ij} = D_{Sij} + D_{Dij} + D_{Aij}$$

同时也建立了卫片像元太阳直射分量与天空散射分量之间的关系：

$$L_{ij} = \frac{D_{Dij} \cdot F_{ij}}{D_{Sij} \cdot G_{ij}}$$

则像元太阳直射光遥感分量与原始遥感数据 DN_{ij} 之间的解析表达式为：

$$D_{Sij} = \frac{(DN_{ij} - D_{Aij}) \cdot F_{ij}}{(F_{ij} + G_{ij} \cdot L_{ij})} \quad (10)$$

同样，像元天空散射光遥感分量 D_{Dij} 与原始遥感数据 DN_{ij} 之间的解析表达式为：

$$D_{Dij} = \frac{(DN_{ij} - D_{Aij}) \cdot G_{ij} \cdot L_{ij}}{(F_{ij} + G_{ij} \cdot L_{ij})}$$

设某卫片像元 4 波段原始遥感值

$$DN=112, D_A=7, L=0.19, \theta = 31^\circ, \alpha = 27^\circ$$

$$AL=173, Ae=-1350$$

$$G=1-0.33=0.67$$

$$\text{则 } F = 1 - \text{tg}\alpha \cdot \text{ctg}\theta \cdot \cos\omega$$

$$= 1 - \text{tg}27^\circ \cdot \text{ctg}31^\circ \cdot \cos(173^\circ + 135^\circ)$$

$$= 10331$$

$$D_S = \frac{(DN - D_A) \cdot F}{(F + G \cdot L)}$$

$$= \frac{(112 - 7) \cdot 1.331}{(1.331 + 0.67 \cdot 0.1)}$$

$$= 96 \quad (\text{四舍五入取整})$$

$$D_D = \frac{(DN - D_A) \cdot G \cdot L}{(F + G \cdot L)}$$

$$= \frac{(112 - 7) \cdot 0.19 \cdot 0.67}{(1.331 + 0.67 \cdot 0.19)}$$

$$= 9 \quad (\text{四舍五入取整})$$

因像元程辐射遥感值 D_{Aij} 与地面无关，仅与大气状况有关，式中 $(DN_{ij} - D_{Dij})$ 为遥感图像处理中传统大气修正。

为简便以上讨论虽是以地面满足郎伯假定为条件的，由于是以同一像元的地面辐照度成正比例改变(地面自然与水平时没有改变光线入射和反射方向)来计算解析式中各项参数 F_{ij} 、 G_{ij} 和 L_{ij} 并未涉及方向反射，因此上述解析式对于非郎伯地面也同样成立。

5 卫星遥感数字图像的分解与合成

由于有了像元遥感数据与像元地面太阳直射光、天空散射光和大气程辐射 3 分量之间的数字解析表达式，我们便可以使用计算机逐点分解原始卫星遥感数字图像并分别生成太阳直射光遥感图像、天空散射光遥感图像和大气程辐射遥感图像。

设卫星原始遥感图像为：

$$G(i,j) \quad i=1,2,\dots,n; \quad j=1,2,\dots,m$$

太阳直射光遥感图像为：

$$G_S(i,j) \quad i=1,2,\dots,n; \quad j=1,2,\dots,m$$

天空散射光遥感图像为：

$$G_D(i,j) \quad i=1,2,\dots,n; \quad j=1,2,\dots,m$$

大气程辐射遥感图像为：

$$G_A(i,j) \quad i=1,2,\dots,n; \quad j=1,2,\dots,m$$

则：

$$G(i,j) = DN_{ij} \quad i=1,2,\dots,n; \quad j=1,2,\dots,m$$

$$G_S(i,j) = \text{INT} \left[\frac{(DN_{ij} - D_{Aij}) \cdot F_{ij}}{(F_{ij} + G_{ij} \cdot L_{ij})} \right] \quad (11)$$

$$i=1,2,\dots,n; \quad j=1,2,\dots,m$$

$$G_D(i,j) = \text{INT} \left[\frac{(DN_{ij} - D_{Aij}) \cdot G_{ij} \cdot L_{ij}}{(F_{ij} + G_{ij} \cdot L_{ij})} \right] \quad (12)$$

$$i=1,2,\dots,n; \quad j=1,2,\dots,m$$

$$G_A(i, j) = INT \left[\frac{\sum_{k=1}^n D_{AK} / S_K}{\sum_{k=1}^n \left(\frac{1}{S_K} \right)} \right] \quad (13)$$

$i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$

$$F_{ij} = 1 - \operatorname{tg} \alpha_{ij} \cdot \operatorname{ctg} \theta_{ij} \cdot \cos \omega_{ij}$$

$$\omega_{ij} = A l_{ij} - A e_{ij}$$

$$L_{ij} = \frac{E'_{Dij}}{E'_{Sij}} = \frac{D'_{Dij}}{D'_{Dij}}$$

$$n = \frac{2\pi}{\Delta t}$$

$$G_{ij} = 1 - \frac{2}{n\pi} \cdot \sum_{k=1}^n \beta_k \quad (14)$$

$$G(i, j) = G_S(i, j) + G_D(i, j) + G_A(i, j) \quad (15)$$

$$i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$$

通过计算机逐点实施上述运算,便完成了遥感数字图像的分解与合成。

由于太阳直射光是方向性很强的非偏振光。太阳直射光遥感图像可用于地物方向反射特征研究;天空散射光是各向异性的随机偏振光,其遥感图像

上无阴影干扰可用于进行计算机的识别与分类研究;大气程辐射遥感图像则与地面无关,它表征大气环境区域差异,是大气环境监测的重要遥感资料。

总之,由于自然光各分量的性质不同,遥感图像解析,在遥感机制、机理和地表辐射能量定量研究中具有独特作用。

参 考 文 献 (References)

- [1] Li Xianhua. Topography affection and correction in remote sensing information[J]. *Journal of remote sensing*, 1986, 15(2). [李先华. 遥感信息的地形影响及其改正. 测绘学报, 1986, 15(2).]
- [2] Li Xianhua et al. The calculation and correction for the mountain scattering radiation of the satellite remote sensing data[J]. *Remote sensing technology and application*. 1992, 7(1). [李先华等. 卫星遥感数据的山地散射辐射计算与改正[J]. 遥感技术与应用, 1992, 7(1).]
- [3] Li Xianhua et al. Ground reflectivity reproducibility calculation for the pixel of the satellite remote sensing data[J]. *Environmental remote sensing*. 1993, 8(4). [李先华等. 卫星遥感数据的像元地面反射率反演计算[J]. 环境遥感, 1993, 8(4).]

The Analysis of Remotely Sensed Digital Imagery

Li Xian-hua^{1,2}, ZHANG Deng-rong³, YU Sheng¹, ZHU Hong-qi¹, LI Mei¹, LIU Zhi-qiang¹,
ZHAO Jun¹, HE Yi-ping², LUO Xiu-ling⁴, SHI Huo-sheng⁵, LIN Hui⁵

(1. East China Normal University, Geography Department, 200062; 2. Institute of ChengDu Mountain Disaster and Environment, Chinese Academy of Sciences, ChengDu 610041; 3. ZheJiang University, 310032; 4. SiChuan Meteorology Bureau, 620081; 5. HongKong Chinese University, HongKong)

Abstract: This paper discusses the analytical way of decomposing the remote sensing digital imagery. The method can separate all the components (including the straight light, the sky scattering light and the brightness of the atmosphere) which form the original image information. Every component will generate a new digital image. These images are the results of the interaction between all the components and the atmosphere, and objects, so, they have distinctive effect in the remote sensing quantitative inversion searching for the earth's surface radiant energy and the state of environment and pattern recognition of remote sensing pictures.

Key words: remote sensing; digital image; analysis