

鄱阳湖地区土壤、植被光谱混合模型的研究*

张良培 李德仁 童庆禧 郑兰芬
(武汉测绘科技大学, 430070) (中科院遥感所, 北京100101)

STUDY OF THE SPECTRA MIXING MODEL OF SOIL AND CANOPY IN POYANG LAKE AREA

Zhang Liangpei, Li Deren

(Wuhan Technical University of Surveying and Mapping, 430070)

Tong Qingxi, Zhen Lanfen

(Institute of Remote Sensing Application, Chinese Academy of Sciences, 100101)

Abstract This paper established a nonlinear spectra mixing model of soil and canopy in Poyang lake area, the theoretical results of which were in good correspondence with the measured field mixed spectrum. It was proved that the nonlinear model developed by authors was superior to the conventional linear model.

Key words Mixed spectrum, Imaging spectrometer, Poyang lake

摘要 本文针对鄱阳湖地区的土壤、植被的特点设计了一套非线性混合光谱模型,较好地预测了实际的混合光谱。从预测精度上看,要优于传统的线性混合光谱模型。

关键词 混合光谱 成像光谱仪 鄱阳湖

1 引言

利用成像光谱仪进行遥感应应用研究过程中面临的一个突出问题是混合光谱问题^[1,2]。众所周知,由于大多数的地球表面都覆盖一定的植被,因此,具有一定空间分辨率的成像光谱仪收到的地面反射光谱信号是植被光谱与下面的土壤光谱综合而成的混合光谱。在某种程度上,两类光谱互相影响,从而使某些植被、土壤的光谱特征被削弱、模糊。此外,即使在沙漠、半沙漠地区(缺少植被),大多数的岩面、土壤表面也是不同矿物的积聚,因而其反射光谱也是不同类型矿物反射的综合,是一个混合光谱。

Seigal 和 Goetz^[2,3]等人利用成像光谱仪进行遥感应应用研究中发现:活的、枯萎的植被都影响矿物质反射光谱吸收峰的深度。矿物质在短波红外区的弱的光谱特征可以被少到10%的绿植被模糊,而枯萎的植被对矿物反射比光谱吸收特征的宽度、面积、位置、对称性都有很大的影响。此外,当植被覆盖面积达到50%~60%时,对土壤的区分能力完全丧失。

由此可见,混合光谱问题使成像光谱仪的准确应用面临很大的挑战。因此,对混合光谱的

* 收稿日期:1996-05-03, 截稿日期:1996-08-08
国防科工委卫星应用技术资助项目

形成机理进行深入的研究是十分必要的。

2 光谱混合理论

2.1 线性混合理论

到目前为止,大量的遥感学家利用线性混合理论对混合光谱进行了应用、解释,他们认为,由不同物质形成的混合光谱可以表达成单个物质(Endmember)光谱的线性组合,即:

$$R = aR_a + bR_b + cR_c + \dots \quad (1)$$

其中, a 、 b 、 c 、 \dots 等是加权系数, R_a 、 R_b 、 R_c 、 \dots 等是单成分物质的反射比。在实际应用中,加权系数都被认为是各个单成分物质在混合区域内(一个像元内)所占的面积。其物理含义是:各个单成分物质的光谱是单独存在的,混合光谱是在各个单成分光谱进入传感器后形成的。文献^[4~12]利用线性混合模型对土壤、植被、矿物、水体的性质等等进行的深入的研究,取得了较好的结果。然而,一些研究表明^[13~17],由式(1)来描述光谱的混合并不完全正确,因为无论多么精确的线性组合,等式(1)的等号两边都存在一个残差 ϵ ,即:

$$R = aR_a + bR_b + cR_c + \dots + \epsilon \quad (2)$$

显然, ϵ 的存在是由于线性混合理论不能完全地说明实际的光谱混合机理, ϵ 可能代表着光线在不同的单成分物质间的相互作用效果,它具有非线性混合的效果。线性混合理论由于其简单、计算方便而得到了广泛的应用。

2.2 基于辐射(Radiosity)理论的植被、土壤光谱混合理论

在该理论中,假定土壤面是一朗伯面,对于位于其之上的叶面(假设为朗伯面),在没有交叠的情况下,文献^[12,18]列出了三个辐射等式:即叶面的平均叶面辐射 B_1 ,叶背面辐射 B_2 ,地面辐射 B_3 ,它们表示为

$$\begin{aligned} B_1 &= \rho lai E_0 + \tau lai B_3 \\ B_2 &= \tau lai E_0 + \rho lai B_3 \\ B_3 &= \rho_s (1 - lai) E_0 + \rho_s lai B_2 \end{aligned} \quad (3)$$

上式中 E_0 是每单位面积中的总入射太阳能, lai 是非交叠叶面层的叶面积指数, ρ 和 τ 分别是树叶半球形的反射比和透射比, ρ_s 是土壤的反射比。

通过推导,可以得到,在热点方向上的二向反射函数(BRDF)值为

$$f(\theta_r = \theta_i, \phi_r = \phi_i) = [1 + \rho_s (1 - lai)(E_0 + B_2)] / (E_0 \pi) \quad (4)$$

远离热点方向的BRDF值为

$$\begin{aligned} f(\theta_r \neq \theta_i, \phi_r \neq \phi_i) &= 1/E_0 \cdot 1/\pi [B_1 + (1 - lai)B_3] \\ &= [B_1 + \rho_s (1 - lai)^2 E_0 + \rho_s (1 - lai)B_2] / (E_0 \pi) \end{aligned} \quad (5)$$

对于多层叶面交叠的情况,式(4)、(5)计算更为复杂^[18,19]。

该模型能模拟非常复杂的结构,但其 ρ 、 τ 精确的测量难于进行,此外,其分解算法比较复杂,因此,该模型难以适用于成像光谱仪遥感。

2.3 鄱阳湖地区土壤、植被光谱混合模型的建立

鄱阳湖地区的植被大部分是由苔草类的绿草组成,其平均高度约为10~20 cm。此外,还有少量的其它类型的植被,如茭白、泥蒿等。

由于机载成像光谱仪的飞行实验在晴朗碧空且时间在11:00~14:00的环境下进行,因此忽略程辐射的影响。此外,为模拟成像光谱的飞行条件,只需考虑在天顶方向上植被、土壤的反

射比。

鄱阳湖地区地势十分平坦,宏观上较为均匀。假设在天顶方向上,地面的光谱反射比为 R_g 。植被是由低矮的绿草组成,其根茎十分细小。由于仅仅考虑天顶方向的反射比,因而可以认为反射过程主要是由叶面完成,忽略根茎等因素的效果。假设叶面的反射比为 R_l ,透过比为 τ_l 。此时,经地表反射到传感器的信号可以认为是由以下几个部分组成:

- a. 地面直接反射光;
- b. 叶面直接反射光;
- c. 地面与叶面、以及叶面与叶面间多向反、透射后传送到传感器上的光。

鄱阳湖地区的植被叶面带有一定的倾角,此时,光线在地面与叶面、叶面与叶面间的多向散射较为复杂。考虑到该地区植被相当平整,在只考虑叶面只有两层交叠,并忽略三次以上的光线的相互散射作用的情况下,可以得到在一类植被条件下,其反射比方程为

$$R = \alpha R_g + \beta R_l + \gamma(\tau_l R_g + R_l R_g + R_l \tau_l + R_l R_l) \quad (6)$$

上式中, α 、 β 、 γ 分别为地表直接反射光、叶面反射光、多向作用后的反射光的权重。

在单位面积内,有

$$\alpha + \beta + \gamma = 1 \quad (7)$$

在鄱阳湖地区某些地点,间或发现存在某些植被混合群落,在同时存在二种、三种不同类属植被的情形下,式(6)变得十分复杂,如在二类不同类属的植被情形下,式(6)可写为

$$R = \alpha R_g + \beta R_{l1} + \theta R_{l2} + \gamma(\tau_{l1} R_g + \tau_{l2} R_g + R_{l1} R_g + R_{l2} R_g + R_{l1} R_{l2} + \tau_{l1} R_{l2} + R_{l1} \tau_{l2} + R_{l1} R_{l1} + R_{l2} R_{l2}) \quad (8)$$

α 、 β 、 γ 、 θ 、 γ 满足条件

$$\alpha + \beta + \theta + \gamma = 1 \quad (9)$$

由于90%的植被是单一的苔草,其它少量的植被如茭白、芥菜等,其光谱与苔草差别不大,此外,在现场也很难准确地确定这些类属的 Endmember 光谱,因此,直接利用式(6)也能较好地反映鄱阳湖地区的光谱混合特点。

3 实验

1995年12月20~28日,我们利用机载成像光谱仪对鄱阳湖地区进行了航空遥感实验,并同步进行了地面植被、土壤的反射比测量。测量路线选择在飞行航线上,对每一测量点都利用GPS进行标定。图1给出了该地区某一点上利用SE5900野外测量仪测得的土壤、植被的 Endmember 反射光谱。其中,植被的反射比是在目视条件下完全看不到土壤的条件下获得的,图1中900~1150nm波段上的反射比由于噪声太大而予以去除。

实验中,很难对植被的光谱透过比进行直接测量,此外,我们也不具备这类设备。但文献^[19,20]表明,这类植被其透过比与其反射比相差很小,为简化计算,假设植被的反射比光谱与其透射比光谱具有相同的形状。将图1的结果代入公式(1)和公式(6)、(7),计算得到某一实地混合光谱(如图3所示)的面积因子,如表1所示。

表1 线性模型、本文建立的非线性模型的计算结果

模型	线性模型	非线性模型
α	0.8753	0.4844
β	0.1247	0.1984
γ	—	0.3172

γ 所代表的从图像上看是比较阴暗的影像,它代表的物理意义是什么呢。图2给出了土壤、植被、多次散射项的光谱反射比。从散射项的反射比来看,它并没有植被在可见光区特有的绿边反射现象,它肯定不属于植被。相反,它几乎是土壤光谱的整体向下平移。因此,可以认为, γ 项的主体是土壤,由非线性模型算出的土壤面积应是 $\alpha + \gamma = 0.8016$ 。

利用表1的结果,算出了分别用线性模型与本文建立的非线性模型估计的实测混合光谱曲线的理论值,其结果表示在图3中。由图3可以看出,从总的形态上看,非线性模型更好地模拟了实测曲线。图4给出了二条理论曲线相对于实测曲线的残差值,图4表明:

在380~900 nm 范围内,线性模型低估了光谱的反射比,非线性模型则高估了光谱的反射比;而在1200~1800 nm 范围内,由本文建立的模型所估计的光谱反射比大大优于由线性模型所计算的结果。这也间接地证实了这样一个结论:即树叶、土壤背景之间的多向散射效果会增加混合光谱在近红外(NIR)的反射比^[6,20]。这也表明,由本文建立的非线性模型比传统的线性模型有更高的精确性。

然而由本文建立的非线性模型的计算结果与实测的混合光谱仍然存在些差距,造成误差的原因可能是:

- a. 忽略了地面上阴影的反射比。实际上叶面下阴影与阳光直射地表有不同的反射比。
- b. 忽略了三次以上的多向散射效果。
- c. 忽略了上、下叶面的反射比差以及透射比与反射比的差。

上述几个因素的影响大小有待于进一步的证实。

4 结论

通过上述讨论表明,由本文建立的鄱阳湖地区土壤、植被混合光谱模型较好地模拟了实测的实地混合光谱反射比,在预测精度上要优于常规的线性混合模型,它对于正确地提取土壤、植被、光谱信息有着十分积极的意义。

5 参考文献

- 1 R T murry, G Wadge. The effects of vegetation on the ability to map soils using imaging spectrometer data. INT. J. REMOTE SENSING, 1995, (14): 2153~2164
- 2 Siegal B S. and Goetz F H. Effect of vegetation on rock and soil type discrimination. Photogrammetric Engineering and

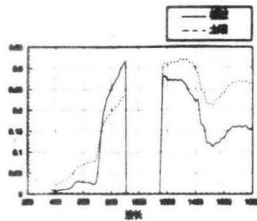


图1 两个单成分物物的光谱曲线

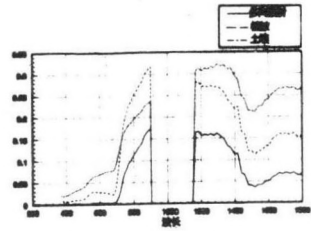


图2 多向散射、植被、土壤的光谱

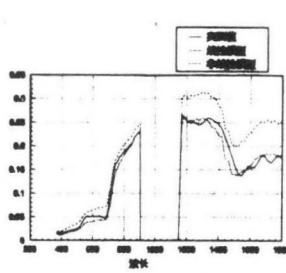


图3 两条理论曲线与实测曲线

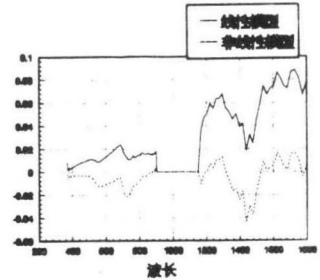


图4 两个混合模型的残差

- Remote sensing, 1977, (43): 191~196
- 3 Smith M O, Ustin S L. Vegetation in deserts: A regional measure of abundance from multispectral images. *Remote sensing of environment*, 1990, (31): 1~26
 - 4 Lenio S Galvao, Lcavao Vitorello, and Waldio R. Paradella spectroradiometric discrimination of laterites with principal components analysis and additive modeling. *Remote sensing of environment*, 1995, (53): 70~75
 - 5 Ben-Dor E, and Banin A. Visible and near-infrared (0.4~1.1 μ m) analysis of arid and semiarid soils. *Remote sensing of environment*, 1994, (48): 261~174
 - 6 Roberts D A, M O Smith, and Adams J B. Green vegetation, Nonphotosynthetic vegetation, and soil in AVIRIS data. *Remote sensing of environment*, 1993, (44): 255~269
 - 7 John B Adams and Milton Smith O. Spectral mixture modeling: A new analysis of rock and soil types at the viking lander 1 site. *Journal of geophysical research*, 1986, 9 (138): 8098~8112
 - 8 Huete A R, Escadafal F. Assessment of biophysical soil properties through spectral decomposition techniques. *Remote sensing of environment* 1991, (35): 149~159
 - 9 Yosio Edemir Shimabukuro and James Smith A. The least-square mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. *IEEE Transaction on geoscience and remote sensing*, 1991, 29 (1)
 - 10 William H Farrand, Robert Singer B. Retrieval of apparent surface reflectance from AVIRIS data: A comparison of empirical line, Radiative transfer, and spectral mixture methods. *Remote sensing of environment*, 1995, (47): 311~321
 - 11 Forrest G Hall and Karl Huemmrich F. Use of narrow-band spectra to estimate the fraction of absorbed photosynthetically active radiation. *Remote sensing of environment* 1990, (31): 47~54
 - 12 Borel C C, and Gerstl S A W. Nonlinear spectra mixing models for vegetative and soil surface. *Remote sensing of environment*, 1994, (47): 403~416
 - 13 Huete A R. Separation of soil-plant spectral mixtures by factor analysis. *Remote sensing of environment*, 1985, (19): 237~251
 - 14 Huete A R, Jackson R D. Spectral response of a plant canopy with different soil backgrounds. *Remote sensing of environment*, 1983, (17): 37~53
 - 15 Terrill W Ray and Bruce Murray C. Nonlinear spectral mixing in desert vegetation. *Remote sensing of environment*, 1996, (55): 59~64
 - 16 Cates D M. Spectral properties of plants. *Applied optics* 1965, (4): 11~20
 - 17 Christoph Borel C. The radiosity method in optical remote sensing of structured 3-D surfaces. *Remote sensing of environment*, 1991, (36): 13~44
 - 18 Knippling E B. Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near infrared radiation from vegetation. *Remote sensing of environment*, 1970, (1): 155~179
 - 19 BO-cai Gao, and Alexander Goetz F H. Retrieval of equivalent water thickness and information related to biochemical components of vegetation canopies from AVIRIS data, *Remote sensing of environment*, 1995, (52): 155~162
 - 20 Ann Bateson and Brian Curtiss. A method for manual endmember selection and spectral unmixing. *Remote sensing of environment*, 1996, (55): 229~243