

光谱遥感数据波形分析法的应用*

李旭文

(江苏省环境科学研究所)

1991年12月12日收稿

摘 要

本文利用傅立叶波形分析算法处理了光谱反射率数据,把不同地物的光谱分解为特征意义明确,信息内涵丰富,对各种地物可分辨性强的各次谐波分量。诸谐波分量的参数——波幅和初相唯一地决定了其对光谱曲线的贡献和构形位置。试验表明傅立叶波形分析算法可以成为处理各种成像光谱仪获取的组维图像的有效工具。

关键词 傅立叶级数 波形分析算法 光谱数据 计算机处理

地物光谱研究是遥感技术的重要基础研究。多年来大量的测试工作已积累了丰富的各类地物的光谱资料(包括反射光谱、发射光谱以及微波谱貌等),对遥感器最佳工作波段的设计和遥感特征信息提取有重要的意义。地物的光谱是遥感器能接收并记录的鉴别性的特征信息,利用适当的数学方法处理光谱数据可以有效、准确、深入地识别不同类型地物的光谱特征。本文介绍一种光谱遥感数据处理方法——光谱波形分析法,并讨论其在遥感信息提取中的应用前景。

一、光谱波形分析法的数学原理

(一) 光谱函数的傅立叶级数逼近

在一定的波长范围 $[\lambda_0, \lambda_1]$ 内,光谱测量数值如光谱反射率(或光谱反射比)、辐射值

或图像数字数值为波长 λ 的函数,记为 $r(\lambda)$ 。在光谱测量传感器的工作范围 $[\lambda_0, \lambda_1]$ 内测得离散、均匀间隔 $\Delta\lambda$ 的各波长点的光谱数值(见图1)为 $r(\lambda_0), r(\lambda_0 + \Delta\lambda), \dots, r(\lambda_0 + k \cdot \Delta\lambda), \dots, r[\lambda_0 + (2n + 1)\Delta\lambda]$, ($k = 0, 1, \dots, 2n$), 其中 $\lambda_0 + (2n + 1)\Delta\lambda = \lambda_1$ 。视 $(\lambda_0 + k \cdot \Delta\lambda)$ ($k = 0, 1, \dots, 2n$)为区间 $[0, 2\pi]$ 上的 $2n + 1$ 个点

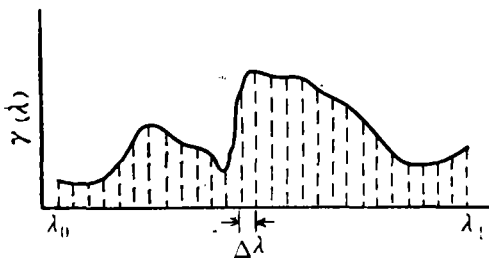


图1 离散、均匀间隔 $\Delta\lambda$ 的光谱数值序列

Fig. 1 The evenly Spaced series of spectral data.

$$x_i = \frac{2\pi i}{2n + 1} \quad (i = 0, 1, \dots, 2n) \quad (1)$$

* 季耿善同志为本文提供了光谱数据,特此铭谢。

上的函数值,并记为 $\gamma_i (i = 0, 1, \dots, 2n)$ 。首先需把区间 $[\lambda_0, \lambda_1]$ 映射为 $[0, 2\pi]$:

$$x_i = \frac{2\pi}{\lambda_1 - \lambda_0} (\lambda_i - \lambda_0) \quad (2)$$

γ_i 构成了 $[0, 2\pi]$ 上等间隔的数值序列,通过式(2)的映射,区间 $[\lambda_0, \lambda_1]$ 上的波形特征便统一为 $[0, 2\pi]$ 上函数波形的分析。

由于光谱函数 $\gamma(x)$ 是有界的,对于光谱反射率而言 $|\gamma(x)| \leq 1$,对于遥感多光谱数字图像则有 $|\gamma(x)| \leq 255$,因此 $\gamma(x)$ 在 $[0, 2\pi]$ 上是连续可积且有界的^[1]。进一步再假设 $\gamma(x)$ 是以 2π 为周期的函数。因为我们感兴趣的是 $[0, 2\pi]$ 区间内的波形特征,区间外则可不予考虑,尽管 $\gamma(x)$ 不一定是周期函数,但我们仍然可以在有限区间 $[0, 2\pi]$ 内作傅立叶级数展开。在区间内级数收敛于 $\gamma(x)$;在区间外级数收敛于以展开区间为周期 (2π) 的周期函数^[2]。根据数学方法可知, $\gamma(x)$ 可分解为以下的傅立叶级数形式

$$\gamma(x) = \frac{1}{2} A_0 + \sum_{p=1}^{\infty} [A_p \cdot \cos(px) + B_p \cdot \sin px] \quad (3)$$

根据 $\gamma(x)$ 的性质和数学分析中级数收敛性的判断准则, $\gamma(x)$ 的傅立叶级数必收敛且是唯一的。 $A_p (P = 0, 1, \dots, \infty)$, $B_p (P = 1, \dots, \infty)$ 称为傅立叶系数, P 是展开区间 $[0, 2\pi]$ 上谐波分量的波数。波形分析的基本问题就是表征函数 $\gamma(x)$ 波形特征的傅立叶系数 A_p 、 B_p 的计算。

理论上,傅立叶系数 A_p 、 B_p 可用欧拉-傅立叶公式计算:

$$\begin{cases} A_p = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} \gamma(x) \cos(px) dx \quad (p = 0, 1, 2, \dots) \\ B_p = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} \gamma(x) \sin(px) dx \quad (p = 1, 2, \dots) \end{cases} \quad (4)$$

对于有限、离散的数值序列 $\gamma_i (i = 0, 1, \dots, 2n)$,由计算方法知^[3], (3)式中前 $2n+1$ 个傅立叶系数 $A_p (P = 0, 1, \dots, n)$ 和 $B_p (P = 1, \dots, n)$ 的近似值 $a_p (P = 0, 1, \dots, n)$ 和 $b_p (P = 1, \dots, n)$ 为

$$\begin{cases} a_p = \frac{2}{2n+1} \sum_{i=0}^{2n} \gamma_i \cdot \cos \frac{2\pi ip}{2n+1} \\ b_p = \frac{2}{2n+1} \sum_{i=0}^{2n} \gamma_i \cdot \sin \frac{2\pi ip}{2n+1} \end{cases} \quad (5)$$

(5)式是(4)式的矩形近似求积公式,同时也是方程组

$$\gamma_i = \frac{1}{2} a_0 + \sum_{p=1}^n \left(a_p \cdot \cos \frac{2\pi ip}{2n+1} + b_p \cdot \sin \frac{2\pi ip}{2n+1} \right) \quad (i = 0, 1, \dots, 2n) \quad (6)$$

的解。以(5)式作为傅立叶系数的近似估计,取(3)式的前 $2n+1$ 项,即得到了 $\gamma(x)$ 的傅立叶级数逼近式:

$$\gamma(x) = \frac{1}{2} a_0 + \sum_{p=1}^n [a_p \cdot \cos(Px) + b_p \cdot \sin(Px)] \quad (7)$$

(二) 傅立叶系数 a_p 、 b_p 的计算

直接利用(5)式计算傅立叶系数近似值 a_p 、 b_p 需计算大量的正弦与余弦三角函数,应

用上不太方便。这里给出一种计算量较小的迭代算法^[3],步骤为:

1. 取 $\theta = \frac{2\pi}{2n+1}$;

2. 先从下列迭代公式中计算出 $U_{1,P}$ 和 $U_{2,P}$

$$\begin{aligned} U_{2n+2,P} &= U_{2n+1,P} = 0 \\ U_{i,P} &= \gamma_i + 2(\cos P\theta)U_{i+1,P} - U_{i+2,P} \\ &\quad (i = 2n, 2n-1, \dots, 1) \end{aligned} \quad (8)$$

3. 再按下列公式计算 a_P 和 b_P

$$\begin{aligned} a_P &= \frac{2}{2n+1} [\gamma_0 + U_{1,P} \cdot \cos(P\theta) - U_{2,P}] \\ b_P &= \frac{2}{2n+1} U_{1,P} \cdot \sin(P\theta) \end{aligned} \quad (9)$$

(8)、(9)式中余弦和正弦函数的计算: 当 $P=0$ 时, 有 $\cos(P\theta) = 1$, $\sin P\theta = 0$ 。

因 $\theta = \frac{2\pi}{2n+1}$ 为固定值, 故可先算好 $\sin\theta$ 和 $\cos\theta$, 然后通过下列迭代公式计算出所有的 $\cos(P\theta)$ 和 $\sin(P\theta)$:

$$\begin{cases} \cos(P\theta) = \cos\theta \cdot \cos[(P-1)\theta] - \sin\theta \cdot \sin[(P-1)\theta] \\ \sin(P\theta) = \sin\theta \cdot \cos[(P-1)\theta] + \cos\theta \cdot \sin[(P-1)\theta] \end{cases} \quad (10)$$

(三) 傅立叶系数的波形信息意义

将 $\gamma(x)$ 的傅立叶级数逼近式(7)改写为:

$$\begin{aligned} &\frac{a_0}{2} + \sum_{p=1}^n [a_p \cdot \cos(px) + b_p \cdot \sin(px)] \\ &= \frac{c_0}{2} + \sum_{p=1}^n c_p \cdot \sin(px + \phi_p) \end{aligned} \quad (11)$$

式中: $c_0 = a_0$; $c_p = \sqrt{a_p^2 + b_p^2}$ 为 p 次谐波的幅值; $\text{tg } \phi_p = \frac{a_p}{b_p}$, ϕ_p 为 p 次谐波的初相。

由于三角函数的周期性, 反三角函数是多值函数。在 $[0, 2\pi]$ 区间上, 任一确定的三角函数值对应着两个不同的反三角函数值。故初始位相 ϕ_p 必须由 a_p, b_p 的符号来确定, 确定规则见表 1。从表中可见, ϕ_p 不仅取决于 $\frac{a_p}{b_p}$ 值的大小, 而且与 a_p, b_p 的符号组合

表 1 谐波初相 ϕ_p 的计算方法

Table 1 Determination of the phase ϕ_p

a_p 的符号	+	+	-	-
b_p 的符号	+	-	-	+
ϕ_p 所属象限	第一象限 $(0 \sim \frac{\pi}{2})$	第二象限 $(\frac{\pi}{2} \sim \pi)$	第三象限 $(\pi \sim \frac{3}{2}\pi)$	第四象限 $(\frac{3}{2}\pi \sim 2\pi)$
ϕ_p	$\arctg \frac{a_p}{b_p}$	$\pi - \arctg \left \frac{a_p}{b_p} \right $	$\pi + \arctg \left \frac{a_p}{b_p} \right $	$2\pi - \arctg \left \frac{a_p}{b_p} \right $

有关。

当 $a_p = 0$ 而 $b_p \neq 0$ 时, 则 $\phi_p = 0$ 或 π , 视 b_p 的符号而定; 当 $b_p = 0$ 而 $a_p \neq 0$ 时, 则 $\phi_p = \frac{\pi}{2}$ 或 $\frac{3}{2}\pi$, 视 a_p 的符号而定; 当 $a_p = b_p = 0$ 时, 说明此谐波分量不存在。

$\frac{c_0}{2} = \frac{1}{2n+1} \sum_{i=0}^{2n} \gamma_i$ 为光谱函数测量值序列的均值, 反映了在展开区间 $[0, 2\pi]$ 光谱函数(如反射率或辐射值)的总体强度, 代表了地物的反照率水平或辐射水平。 $\frac{c_0}{2}$ 项不涉

及三角函数的周期性, 类似于交流电中的直流成分。不同地物的 $\frac{c_0}{2}$ 存在很大的差异, 因此, 它含有十分重要的特征性鉴别信息。 c_1 是一次谐波(基波)的波幅, ϕ_1 为基波的初相。 c_1 反映了基波成分在 $\gamma(x)$ 波谱中所占的比重, 即对 $\gamma(x)$ 波形的贡献, ϕ_1 则进一步反映了 $\gamma(x)$ 波形中基波分量的构形位置。以两个波幅相同但初相差为 π 的正弦基波为例, 在 $[0, 2\pi]$ 上波形的展现特征刚好相反。显而易见, 谐波的初相是准确地刻划波形特征的重要参量。 $c_p (p = 2, \dots, n)$ 反映了高次谐波分量对波形的贡献, $\phi_p (p = 2, \dots, n)$ 则反映了波谱中高次谐波分量的构形位置。不过, 由于观测仪器本身精度的限制与误差等因素, 测量值中不可避免地带有噪声, 这对高次谐波傅立叶系数的计算干扰很大, 通常只取直流成分 $\frac{c_0}{2}$ 及阶次低的谐波成分的系数作波形特征分析。不同地物光谱的波形特征不一样, 经傅立叶逼近分析后表现为系数 a_p 、 b_p 或幅值 c_p 、初相 ϕ_p 的不同, 这些系数是从光谱数据中提取出的能定量地比较光谱特征差异的鉴别性参数, 具有重要的波形信息意义。

在多波段遥感图像上, 每个像元的各波段数字数值 $DN_i (i = 1, \dots, n, n$ 为波段数) 构成了数值序列, 可根据具体需要计算第 P 次谐波分量的幅值 c_p 和 ϕ_p 。由于遥感图像多以字节方式存储, 故要把 c_p 和 ϕ_p 量化成 0 到 255 间的整数。 c_p 的量化取决于图像中所有像元的 c_p 均值与方差; ϕ_p 的量化则较简单, 只需将区间 $[0, 2\pi]$ 映射为 $[0, 255]$ 。这样, 第 P 次谐波的幅值 c_p 和初相 ϕ_p 便可以图像形式得到显示和进一步的分析。

二、可见—近红外光谱反射率数据波形分析实例

为了检验波形分析法对光谱数据的处理效果, 本文选择了一些地物的可见—近红外反射率数据作了光谱波形分析。反射率数据用美国 SE 590 曲线式光谱仪获得, 工作波长范围为 $0.4-1.1 \mu\text{m}$, 每间隔 $0.03 \mu\text{m}$ 测量一次光谱反射率。

光谱反射率数据于 1989 年 11 月初在苏州地区获得, 对以下几条光谱曲线作了傅立叶波形分析: (1) 法国梧桐; (2) 黄杨; (3) 太湖密集藻类, 以下称作密藻; (4) 太湖稀疏藻类, 以下称作疏藻; (5) 无锡冷浜港的重污染水; (6) 吴县染料厂污水; (7) 苏州人民路十梓街口沥青路面; (8) 苏州火车站广场水泥路面; (9) 苏州浒关运河水深 10cm 处的白板。图 2—图 10 为这些地物的光谱曲线, 表 2 为傅立叶波形分析的结果。由于高次谐波的系数只反映了较为紊乱散杂的随机噪声, 表 2 只列出了前 6 次谐波成分。

从这些曲线各次谐波成分的数值特点可以看出他们之间有明显的可分性。下面对这些曲线作详细的分析。

1. 绿色植物

表2中1号和2号曲线分别为法国梧桐和黄杨两种林木。在0.4—1.1 μm 间它们的光谱反射率均值($\frac{C_0}{2}$)低于路面和太湖藻类,但高于水体。法国梧桐的平均反射率为 $\frac{C_0}{2}=0.093275$,黄杨为0.087505,法国梧桐的整体反射率略大于黄杨。同其它曲线相比,它们的一次谐波幅值很大,法国梧桐达0.08888,黄杨为0.08639,明显高于5、6、7、8号非植被地物的曲线。这表明一次谐波在植物的反射光谱中占了很大的比重,图2、图3曲线的起伏形状主要由一次谐波决定。另一引人注目的特征是黄杨和法国梧桐基波成分的初相(ϕ_1)十分接近。法国梧桐为 212.05° ,黄杨为 213.44° 。二次谐波比基波明显衰减,幅值分别为0.02262和0.02348,不过仍高于5、6、7、8号曲线,黄杨的二次谐波幅值略大于法国梧桐;二次谐波的初相值也几乎相同。三次谐波幅值和二次谐波基本相当,和非植被地物相比,法国梧桐和黄杨再一次有较大的数值。

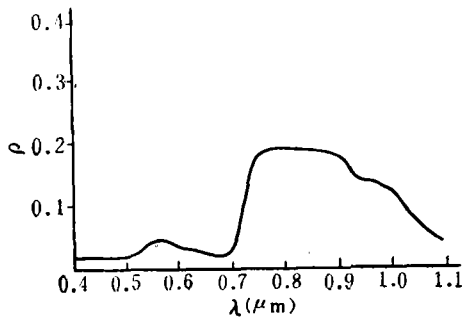


图2 法国梧桐的光谱反射曲线

Fig. 2 Reflectance curve for Sterculiaceae

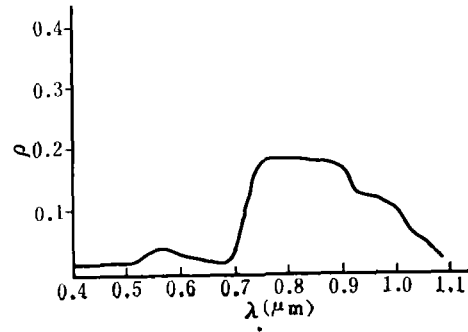


图3 黄杨的光谱反射曲线

Fig. 3 Reflectance curve for Boxaceae

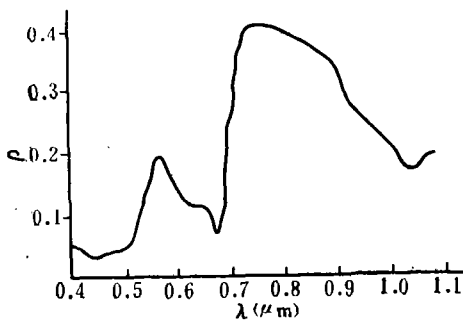


图4 太湖密藻的光谱反射曲线

Fig. 4 Reflectance curve for the thick-layered algae (Taihu lake)

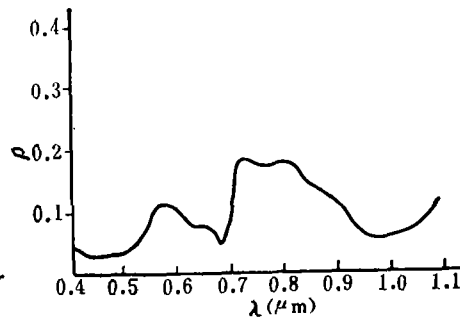


图5 太湖疏藻的光谱反射曲线

Fig. 5 Reflectance curve for the sparse algae (Taihu lake)

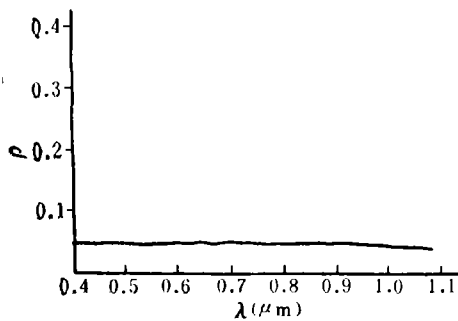


图 6 无锡冷溪港重污染水光谱反射曲线
Fig. 6 Reflectance curve for the heavily polluted water at Wuxi

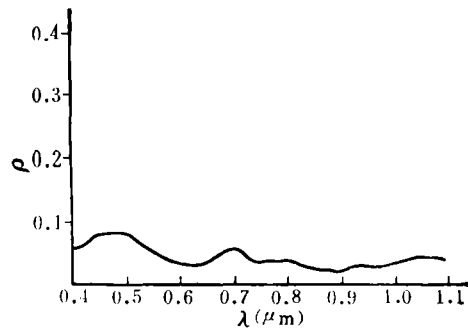


图 7 吴县染料厂污水的光谱曲线
Fig. 7 Reflectance curve for the waste water discharged by Wuxian dyestuff factory

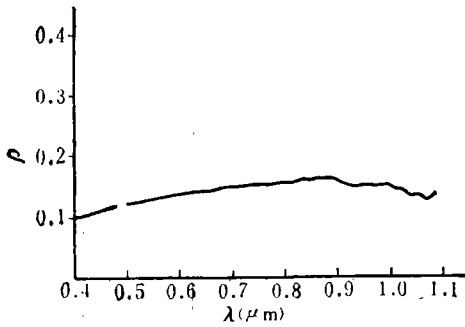


图 8 沥青路面的光谱反射曲线
Fig. 8 Reflectance curve for the asphalt road

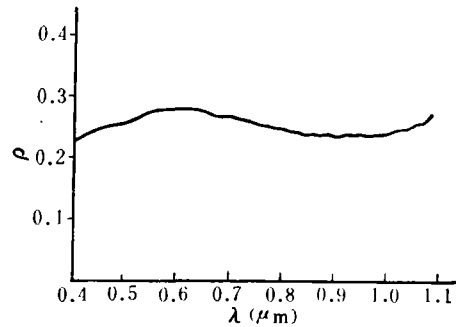


图 9 水泥路面的光谱曲线
Fig. 9 Reflectance curve for concrete road

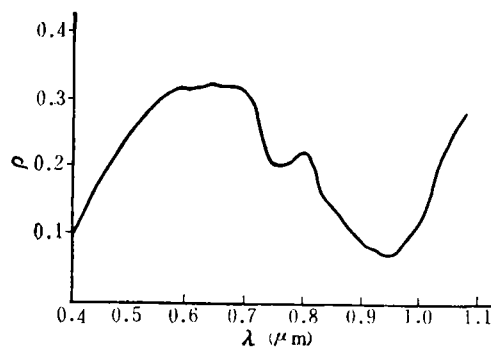


图 10 水深 10cm 处白板光谱反射曲线
Fig. 10 Reflectance curve for a white board placed 10cm below the surface of water

太湖中密集覆盖水面的藻类(图 4)具有特别高的整体反射率, $\frac{C_0}{2}$ 达 0.21901, 显著高于法国梧桐、黄杨等林木和水体。它的一次谐波波幅很大, 达 0.16167, 几乎是法国梧桐

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

表 2 傅立叶波形分析的幅值 c_p 和初相 ϕ_p
 Table 2 The amplitude and phase components (c_p 's and ϕ_p 's) of reflectance spectra through Fourier waveform analysis

地 物	波数 P	0	1	2	3	4	5	6
	1 法国梧桐	C_p	0.18655	0.00888	0.02262	0.02279	0.00955	0.00922
	ϕ_p	—	212.05°	352.35°	218.27°	72.48°	268.25°	69.58°
2 黄杨	C_p	0.17501	0.08639	0.02348	0.02152	0.00895	0.00911	0.00631
	ϕ_p	—	213.44°	351.31°	219.88°	67.69°	272.96°	65.39°
3 太湖密藻	C_p	0.43802	0.16167	0.02675	0.05060	0.03774	0.01614	0.01320
	ϕ_p	—	224.49°	8.52°	204.86°	102.28°	292.41°	137.45°
4 太湖疏藻	C_p	0.18706	0.05419	0.01869	0.02467	0.02046	0.00529	0.00672
	ϕ_p	—	253.82°	44.30°	184.04°	114.33°	309.18°	175.46°
5 冷淡港重污染水	C_p	0.09306	0.00124	0.00100	0.00056	0.00072	0.00054	0.00042
	ϕ_p	—	267.05°	324.36°	343.92°	4.49°	351.76°	25.28°
6 吴县染料厂污水	C_p	0.08743	0.01728	0.01124	0.00836	0.00379	0.00127	0.00346
	ϕ_p	—	36.53°	45.65°	321.93°	255.53°	65.09°	261.23°
7 沥青路面	C_p	0.28629	0.02027	0.00511	0.00435	0.00151	0.00233	0.00141
	ϕ_p	—	231.04°	242.82°	217.61°	203.73°	293.17°	152.66°
8 水泥路面	C_p	0.50705	0.01951	0.00668	0.00466	0.00291	0.00198	0.00249
	ϕ_p	—	338.31°	205.05°	176.48°	147.30°	189.65°	198.70°
9 水深 10cm 的白板	C_p	0.41953	0.10554	0.02383	0.02772	0.02361	0.01408	0.01810
	ϕ_p	—	339.85°	150.63°	151.59°	199.61°	152.01°	218.11°

桐或黄杨的两倍。相应地，二次以及更高次的谐波幅值均比其它曲线大(表 2)。另一特征是密藻的三、四次谐波的幅值都显著大于二次谐波。不过，太湖密藻也表现出和其它植物类似的初相特征，密藻的基波的初相为 224.49°，二次谐波的初相为 8.52°，近似于法国梧桐对应的初相 212° 和 352° 左右(考虑到三角函数的周期性，初相为 8.52° 和 352° 的谐波相差不显著)。但是，到了更高次的谐波成分，初相的差异明显得多。

根据遥感数据的生物和物理分析研究，藻类和林木都是能进行光合作用的绿色植被，在可见光波长范围，叶绿素是决定光谱波形的关键成分，其含量高低决定了植被光谱在约 0.55 μm 处反射峰值的强度以及 0.4—0.7 μm 间的波形起伏程度；在反射红外区域，由于植被叶面细胞结构的独特生理特点而强烈反射太阳能量，反射率急剧抬升。从整个 0.4—1.1 μm 区间来看，植被波谱构形有丰富的谐波成分，这也是植被区别于其它非植被地类的重要特征。

与密藻相比，稀疏地漂浮在水面上而未能覆盖满水面的疏藻(图 5)光谱强烈受到水

体的影响,整体反射率及各次谐波的幅值显著降低,谐波初相也发生了相移。谐波系数变化的程度取决于光谱仪视场中藻类和水面的相对比例,水面比例愈大,藻类光谱越向水体光谱演变,谐波的幅值逐渐减小,直至藻类光谱波形特征消失。

2. 水体

水体的波谱以极低的反射率和较弱的谐波成分为特征。图 6、7 分别为无锡冷渎港重污染水和吴县染料厂污水的光谱曲线,从表 2 可以看出它们在 0.4—1.1 μm 波谱范围,平均反射率 $\frac{C_0}{2}$ 不超过 0.05。不同污染类型的水体光谱谐波特征有一定的差异,无锡冷渎港水体光谱几乎是一条平直的直线,各次谐波成分极其微弱(表 2)。吴县染料厂污水的光谱有一定程度的谐波成分,它的一次谐波幅值是无锡冷渎港重污染水的十几倍。

3. 路面

本文处理了沥青和水泥两种不同路面的反射光谱。他们的 0.4—1.1 μm 平均反射率都高于法国梧桐和黄杨。水泥路面以极高的反射率为特征,沥青路面的反射率较水泥路面低。路面波谱曲线较平缓,因此各次谐波成分都较弱。

以上分析了三类地物的波形特征。为了更深刻地明瞭谐波初相的意义,这里再对图 2 和图 10 的基波初相作一比较。图 10 是置于水深 10cm 深白板的反射光谱,在可见光区域内具有较高的反射率,到了红外区域反射率降低,波形近似于较完美的正弦波,但波谱的峰和谷同图 2 大致相反。他们的基波初相相差 130° 左右。由此可见,各次谐波波幅和初相的组合准确地表现了一定的波形,波幅 c_p 和初相 ϕ_p 都是确定波形的重要参数,缺一不可。

三、光谱遥感数据波形分析法应用展望

(一) 对矿物与岩性的识别

本文处理的是 0.4—1.1 μm 区间的光谱反射率数据。实际上可对任何波长区间的光谱遥感数据作波形分析处理。在遥感地质研究中,人们对能识别矿物与岩性的近红外—中红外光谱感兴趣,许多矿物在这一区间有由 OH^- 、 CO_3^{2-} 和 SO_4^{2-} 分子振动引起的强吸收谱带,波形信息十分丰富。利用波形分析法处理矿物的近红外—中红外光谱遥感数据可找出不同矿物的波形特征参数(c_p 或 ϕ_p)。也可把波长区间分成若干子区间,用波形分析法得到各子区间的特征参数子集,然后把不同区间上的参数子集综合成总集,从而构成波形特征参数向量。对于常用的反射光谱,可分别对 0.4—1.1 μm 区间和 2.0—2.4 μm 区间进行波形分析,得到两组波形特征参数子集,再综合成新的波形特征向量。在 0.4—1.1 μm 区间绿色植被的光谱有较强的各次谐波成分;而在 2.0—2.4 μm 区间许多矿物(尤其是粘土矿物)有丰富的特征性谐波。两个波长区间的波形信息组合,能较好地消除植被光谱的干扰并有效地识别岩石或矿物的标型谱带。

(二) 对植物生物地球化学效应的识别

许多植物的新陈代谢受到土壤中金属离子的影响,从而导致营养性病变或中毒性病变。这种生物地球化学效应在光谱上常表现为“蓝移”现象^[9](如金属硫化物富集区常导

致植被光谱“蓝移”)。通过对中毒植物和正常植物光谱波形的分析可了解“蓝移”程度,进而查明植被异常及其分布范围。

(三) 在成像光谱仪数据处理方面的应用

光谱遥感数据波形分析法在多波段遥感图像处理中也有良好的应用前景,具有极大的信息提取潜力。80年代兴起的航空成像光谱仪(AIS)、可见/近红外航空光谱仪(AVIRIS)具有超多波段,这些谱像合一的传感器获得的高光谱分辨率的新型图像数据对信息提取和分析方法提出了更高的要求。利用成像光谱仪的数据可重建像元的反射光谱,但伴随成像光谱仪数据出现,也提出新问题即如何灵活有效地交互显示(Visual interaction)超维光谱图像及其统计特征信息(Hyperspectral images and their statistical properties)以及压缩数据的冗余度,传统的数据处理与分析技术已不适应。为此,美国JPL开发了专门针对成像光谱仪数据处理的软件SPAM^[5](Spectral Analysis Manager)。成像光谱仪相邻波段的相关性很高,直接处理所有波段非常不便,有必要压缩图像的维数,使信息得以重新组合、集中,得到新的特征量,然后再用模式识别算法处理。图11是特征提取的步骤图。

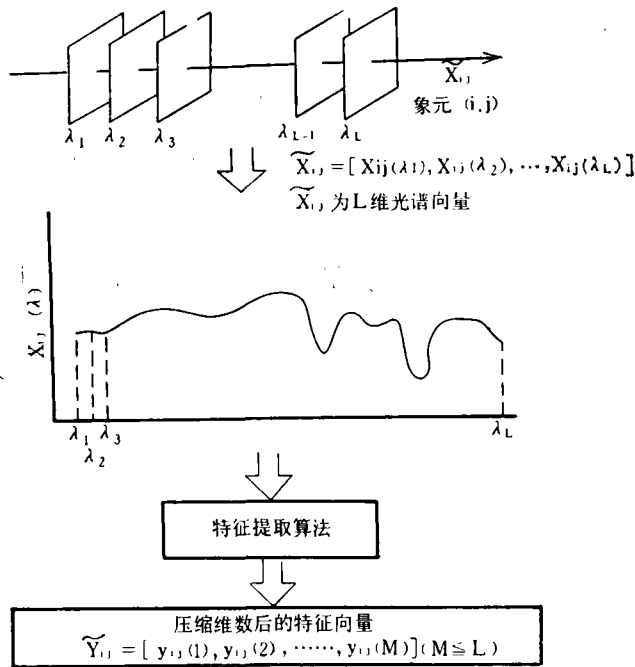


图 11 超维光谱向量特征提取步骤图

Fig. 11 Scheme of feature extraction from hyperspectral imaging spectrometer data.

常用的特征提取算法为 K-L 变换,但 K-L 变换涉及耗时的协方差矩阵的计算,这对波段数目达一两百以上的成像光谱仪图像是一困难的问题。其次, K-L 变换的各次主成分物理上没有固定明确的信息意义,依赖于具体的图像内容,这也给应用带来了不便。

相形之下傅立叶波形分析法是提取成像光谱仪数据特征信息的实用算法,它具有以下的优点:(1)方法简易,原理严谨,特征信息意义明确。傅立叶波形分析的每一项系数(c_p 或 ϕ_p)都有清楚、明确的信息涵义,对各种地物类型的分辨力强,因此用傅立叶波形分析法得到的特征向量在统计模式识别中可取得较理想的应用效果;(2)傅立叶波形算法为点处理方式(Point operation),即只用到像元本身的光谱数值,不涉及其邻域,可用计算机硬件技术提高处理速度。所以傅立叶波形分析法在诸如成像光谱仪的超维图像处理中有很实用的价值,这方面的探索亟待深入。

参 考 文 献

- [1] 应怀樵编著,波形和频谱分析与随机数据处理,中国铁道出版社,1983年。
- [2] 程乾生,信号数字处理的数学原理,石油工业出版社,1979年。
- [3] 中科院沈阳计算所编,电子计算机常用算法,科学出版社,1983年。
- [4] G. Vane and A. F. H. Goetz, Terrestrial imaging spectroscopy, Remote Sensing of Environment, Vol. 24, No. 1, pp. 1—29, 1988.
- [5] A. S. Mazer etc., Image processing software for imaging spectrometry data analysis, Remote Sensing of Environment, Vol. 24, No. 1, pp. 201—210, 1988.

THE APPLICATION OF WAVEFORM ANALYSIS ALGORITHM TO THE PROCESSING OF REMOTELY SENSED SPECTRAL DATA

Li Xuwen

(Institute of Environmental Science, Jiangsu Province)

Abstract

The Fourier waveform analysis algorithm is applied to the computer processing of spectral reflectance data. The spectra for different landcovers are decomposed into wave components of different orders, which have definite features and bear useful information contents. The amplitude and phase of each wave component solely determine its contribution to the overall waveform of spectra. The study reveals that the Fourier waveform analysis algorithm is capable of processing the hyperspectral image data acquired by imaging spectrometers such as AIS and AVIRIS.

Key words Fourier series Waveform analysis algorithm Spectral data Computer processing