

频谱段图像及其应用的探讨*

叶泽田

(国家测绘局测绘科学研究所)

1992年4月3日收稿

摘 要

本文描述了一种形成频谱段图像的方法,这种图像记录了相应地物的纹理信息。初步试验表明,在空间遥感中,这种频谱段图像是一种有用的数据源。

关键词 频谱 频谱段图像 纹理 判读

一、引 言

近年来,遥感图像在国民经济的许多领域都得到了广泛的应用。这些图像一般都是基于地物光谱的原理获取的。对于以判读作为目的的应用来说,地物的光谱特性是最主要的判读标志。在地面分辨率还不很高的情况下,以光谱原理为基础的遥感图像,其每个像元所表示的信息,是由地面分辨率决定的一个区域内各地物的波谱辐射能量的平均值。因此利用这样的图像作为判读的信息源就很难对地物作更加精细的分析。实际上,在这些像元所对应的地面区域内,还存在着许多精细的纹理结构。这些纹理结构在人们对图像的判读中起着非常重要的作用^[1]。因此一般认为,纹理是人们进行图像判读的重要标志之一^[2,3]。

一些常用的纹理识别方法基本上都是以图像的统计特性或结构特性为基础的^[4,5]。统计法^[6,7]利用图像的统计特性来表征不同的纹理模式。结构法试图用组成纹理的基元的位置规则来描述纹理。

尽管人类具有区分不同纹理的能力,但自动描述和识别这些相同的模式是相当复杂的。在摄影测量与遥感界,自动判读具有巨大的吸引力。在人们进行的目视判读中,色彩、色调和纹理等是最主要的判读标志。因此,纹理信息对于目标判读具有重要意义^[6],对于黑白片判读来说,更是必不可少的。然而遗憾的是目前还很难使计算机能像人一样自如地在判读中应用纹理信息。对于卫星遥感来说,还存在着分辨率与数据量这对难以解决的矛盾。一般来说,要提高分辨率,就要增大数据量,从而给数据传输增加了困难。因此,研究和探索一种既可保持对判读有利的纹理信息,又不给数据传输造成太大困难的信息获取方法,将为解决上述矛盾提供一条有效的途径^[8]。目前正在进行的频谱段图像获取方法的研究就是这方面的一个尝试。

* 本研究曾得到杨明辉、夔中羽两教授的指导,特此致谢。

二、频段图像的概念

傅里叶理论是数字图像处理的理论基础。纹理是一个随机的、准周期性的二维图像场^[9]。该场表达了一定的影像空间分布。将傅里叶理论应用于纹理分析是很自然的想法。

根据傅里叶理论,一个满足一定条件的二维函数能分解成一系列展布在二维平面上的不同频率的正弦或余弦函数的叠加。这样就定义了一个函数从空间域到频率域的变换,即傅里叶变换^[10,11]:

$$F(u, v) = \iint_{-\infty}^{+\infty} f(x, y) e^{-i2\pi(ux+vy)} dx dy$$

空间域内的函数 $f(x, y)$ 在傅里叶变换中对应于频率域内的函数 $F(u, v)$ 。傅里叶变换具有很多有用的性质,如可分离性、平移性、周期性、共轭对称性,它还满足巴什瓦定理等^[10]。

在数字图像处理中,纹理图像可以看作是一个离散的二维函数,其频谱 $|F(u, v)|$ 可由该图像矩阵作二维离散傅里叶变换得到,图像频谱描述了影像空间分布的状态。当影像的细部很丰富时,在频谱上反映为高频成分也很丰富。另一方面,灰度分布的概貌也反映在低频分量上^[10]。就是说,图像的频谱在很大程度上表达了影像的空间分布情况。既然图像频谱反映了影像空间分布的状态,频谱就包含着人们用以判读的纹理信息。

根据巴什瓦定理有:

$$\iint_{-\infty}^{+\infty} |f(x, y)|^2 dx dy = \iint_{-\infty}^{+\infty} |F(u, v)|^2 du dv$$

上式左边等价于 $f(x, y)$ 在空间域中的能量,右边等价于 $F(u, v)$ 在频率域中的能量。因此,图像经傅里叶变换后其总能量保持不变^[12]。在离散的数字图像中,当 $f(x, y)$ 表示空间域 (x, y) 点的图像灰度值, $|F(u, v)|$ 表示频率域 (u, v) 点的强度时,如果取积分域为一离散的有限矩形或圆形域 C ,则有

$$\sum_{C_{x,y}} |f(x, y)|^2 = \sum_{C_{u,v}} |F(u, v)|^2$$

上式说明,空间域的总能量与频率域的总能量相等,但在空间域上,能量是按位置 (x, y) 分布的,在频率域上,能量是按频率 (u, v) 分布的。空间域内图像的总能量等于频率域内不同频率的能量之和。

设积分域 C 可分解为 n 个互不相交的子域 C_i , 且 $C = C_1 + C_2 + \dots + C_n$, 则有

$$\text{空间域总能量} = \sum_{C_1} |F(u, v)|^2 + \dots + \sum_{C_n} |F(u, v)|^2$$

因此,适当选取子域 C_i , 可以将总能量在 n 个不同频率子域上进行分解,而能量项 $\sum_{C_i} |F(u, v)|^2$ 则反映了频率子域 C_i 上的能量大小,这种能量我们称之为频段能量,其相应的子域 C_i 称为频段。如果将频段能量的方根或其函数值作为图像的灰度

值,就可得到频谱段图像,或简称为频段图像。一系列不同频谱段的频段图像就组成了多频段图像^[13]。如上所述,该频段图像的每一个基元保持了它对应的地面区域内的纹理信息,从而增加了信息源的信息量。

三、分析基元与异物同谱

在作遥感图像的分析时,如果影像的分解力较低,那么光谱像片上的一个像元(pixel)所记录的信息实际上相当于地面一个小区域内波谱辐射能量的平均值,这个平均值是该区域内各辐射点能量的综合^[14],它没有考虑该区域内辐射能量的分布特性。为方便起见,将此小区域称为分析基元(或叫结构单元),该基元内的元素称为子元素。分析基元和子元素的大小对分析精度有很大的影响,分析基元的选取与需要分析的地类有关。它的大小要能在空间分布上反映所分析地类的基本特征。子元素的大小取决于地面分辨率的大小。子元素较小,就能够分析更细的纹理结构。

一般来说,人们可从能量分布的光谱特性、频谱特性和统计特性来对基元的特性进行分析。光谱特性反映了分析基元内子元素的整体光谱特征,各光谱段内的能量是基元总能量在各个光谱段内的分解。统计特性则反映了分析基元内子元素能量分布的统计特性^[4,5],如均值和方差就表现了能量的集中程度。频谱特性则反映了分析基元内子元素能量的空间分布特性^[8,10,13]。因此,分析基元的这三种特性可从不同的侧面反映分析基元的性质。

在自然界,存在着各种各样的物体。不同的物体,具有不同的颜色、功能、大小、形状等特性,它们是人们进行物体区分的信息源^[5]。

对于视觉世界来说,颜色是进行物体区分的最主要的信息源。众所周知,物体具有不同的颜色是由于存在电磁波谱的缘故。各种物体都在进行能量的吸收和发放,由于不同物体的不同物理特性,使得它们进行能量吸收和发放的程度不一样。每个物体都有它自己的吸收、反射和透射特性。从分析基元的角度来看,物体的光谱特性是物体固有属性的一部分,它反映的是该物体的部分特征^[15]。在物体的自动识别和区分领域,人们经过对这些特性多年的研究和探索,发展了基于电磁波谱的光谱分类技术,实践证明,自然界的大部分物体都可以从光谱特性上得到区分^[16],因此在很多领域得到了广泛的应用。

同物同谱,即相同的物体具有相同的光谱特性,是计算机进行物体光谱分类的主要原则^[5]。然而在实际应用中,只运用同物同谱原则并不能完全保证分类结果的正确性。这主要是受到了异物同谱的影响。异物同谱指的是不同的物体具有相同的光谱特性。这可以从两个层次上来进行考虑。

第一,如前所述,光谱特性本来就只是物体特性的一部分,而不是全部,因而光谱特性与物体之间不存在完全的对立关系,即一种光谱特性不一定对应一种唯一的物体。每一物体都有它自己的光谱特性,但并不是所有不同的物体就一定具有不同的光谱特性,尤其是在光谱分段数受到限制的情况下。物体本身是一个范畴,物体的存在是通过它的特性表现出来的。如果只考虑光谱特性,应该说同物同谱是合理的。但是在人们的现实生活中,人们对物体的区分不仅仅是利用光谱特性,还利用了很多其它的性质,这样光谱分类

与人们目视分类的结果之间就会出现差异。这就从理论上决定了光谱分类的地位和它的局限性。从而也为人们发展新的分类技术和新的分类理论提出了新的要求。

异物同谱的第二层含义可从同物同谱原则的实际运用这个角度来考虑。在光谱特性能够区分的物体范畴内,实际上也存在计算机自动光谱分类结果的不正确性,这与用于分类计算的信息源的畸变和不完善有关。

在遥感图像的分析中,如果选取的分析基元较大,由于综合作用的影响则不同地物的分析基元可能具有相同的光谱特性,即出现异物同谱现象。光谱分类的局限性就在于它的异物同谱,因为光谱分类所依据的是分析基元的光谱特性,认为同一类物体具有相同的光谱特性。由于分解力的限制,分析基元往往较大,因而光谱特性不能完全反映分析基元的特性。频谱特性和统计特性能够反映子元素的分布,因而它们可以与光谱特性一起作为分类的依据^[5,16]。下面主要分析一下分析基元的频谱特性。

假设有一系列的模拟试验图像(图1),它们的分析基元的光谱特性和统计特性(指均值和方差)都相同,而只是影像的空间分布不同。

选取这些图像的分析基元的大小为 8×8 ,子元素的取值为0或255,其空间分布如图1中的Image 1, ..., Image 6所示,下面分析一下它们的频谱特性。

由于这些图像异物同谱,在它们所代表的分析基元间不存在光谱差异,同时分析基元还具有相同的均值和方差,因此利用均值和方差这样的统计特性也无法将这些纹理模式分开。

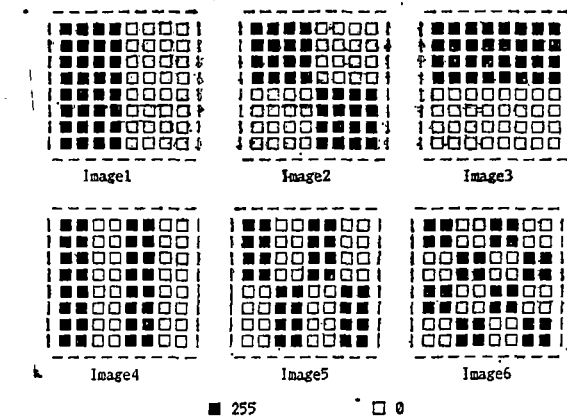


图 1 试验图像
Fig. 1 Test images

对图1内的各个图像分别进行离散傅里叶变换,则得到如图2所示的频谱结果。从这些图像的频谱上可以明显地看出,空间分布不同的图像的频谱也不相同。如果将上述频谱(分析基元的辐射能量)在频段(简记为FB)0—1.5, 1.6—2.5, 2.6—3.5内进行分解,就得到三个频段图像,其灰度值如表1所示。

表 1 频段图像灰度值

Table 1 Grey values of frequency spectrum zone images

| 频段 | Image 1 | Image 2 | Image 3 | Image 4 | Image 5 | Image 6 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 0—1.5 | 76 | 127 | 76 | 153 | 102 | 127 |
| 1.6—2.5 | 127 | 152 | 127 | 101 | 178 | 101 |
| 2.6—3.5 | 178 | 204 | 178 | 178 | 204 | 255 |

从表1可以看出,利用这三个频段的图像数据可以将图1中的不同纹理模式的图

如图 4 所示。其分析基元的大小为 8×8 , 频段段分别为 0—1.5(FB1), 1.6—2.5(FB2), 2.6—3.5(FB3)。

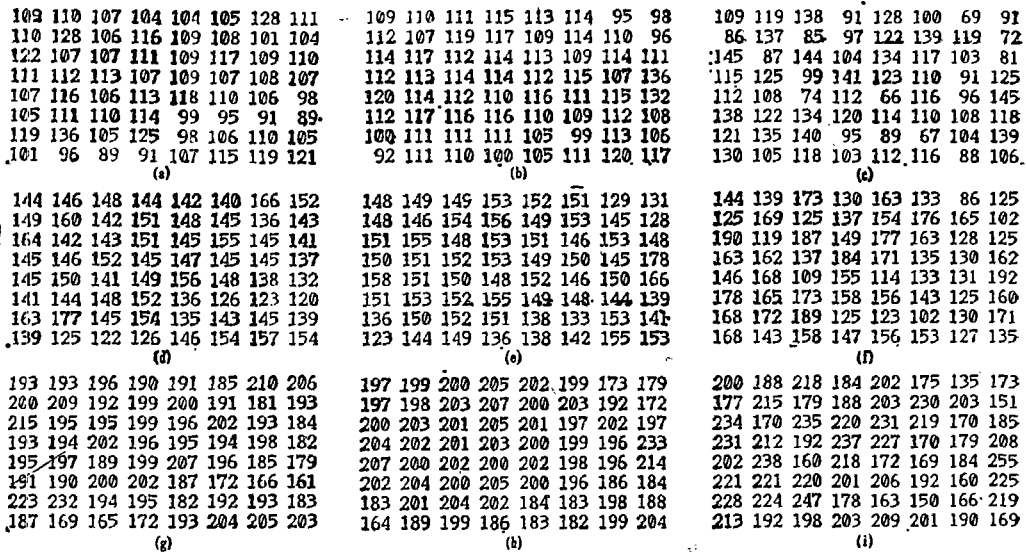


图 4 频段图像

(a) FB1 (山地), (b) FB1 (耕地), (c) FB1 (居民地), (d) FB2 (山地), (e) FB2 (耕地), (f) FB2 (居民地), (g) FB3 (山地), (h) FB3 (耕地), (i) FB3 (居民地),

Fig. 4 Frequency spectrum zone images

(a) FB1 of patches of hill, (b) FB1 of fields, (c) FB1 of resident areas, (d) FB2 of patches of hill, (e) FB2 of fields, (f) FB2 of resident areas, (g) FB3 of patches of hill, (h) FB3 of fields, (i) FB3 of resident areas

在试验中,选取了 19 个分析基元进行比较,分析结果见表 2。

从表 2 的数据可以看出,山地中的 1,2,3 号点在光谱图像中具有相同的灰度,且在 3 个频段图像中也具有几乎相同的灰度。6,7 号点的情况也是这样。耕地中的 12,13,14 号点在光谱图像中也具有相同的灰度,而且这些点在 3 个频段图像上也有几乎相同的灰度。这说明频段图像对于同一类地物来说,具有相同的特征,但对于有些地物如试验中的居民地来说,由于不同的分析基元内的子元素的分布很不相同(像 9、10 号点),尽管它们在光谱图像(见图 3)中有相同的灰度,但它们在频段图像中的灰度值却不相同。

另外,从表 2 中还可看出,山地中的 1,2 和 3 号点,耕地的 4 号点,居民地的 5 号点;山地的 6 和 7 号点,耕地的 8 号点,居民地的 9 和 10 号点;山地的 11 号点,耕地的 12,13 和 14 号点,居民地的 15 和 16 号点;山地的 17 号点,耕地的 18 号点,居民地的 19 号点,这几组点各自分别具有相同的光谱灰度,但不同地物的点则具有不同的频谱灰度。这样,根据频段图像就可以将这些具有不同频谱特征的地物分开。换言之,在光谱图像上的一些相同灰度的像元,在频段图像上却可能具有明显的差异,利用这种差异可以对图像作更加精细的分析。图版 I 的图 5 和图 6 为实际图像的试验结果。

总之,理论分析和初步的试验都表明,频谱信息是一种很有用的影像信息,频段图像

表 2 结果分析
Table 2 Experiment analysis

| | 点号 | 光谱图像灰度 | FB1 灰度 | FB2 灰度 | FB3 灰度 |
|-------------------------|----|--------|--------|--------|--------|
| 山 地 | 1 | 61 | 34 | 98 | 187 |
| | 2 | 61 | 36 | 102 | 187 |
| | 3 | 61 | 36 | 100 | 187 |
| | 6 | 59 | 27 | 93 | 183 |
| | 7 | 59 | 25 | 94 | 183 |
| | 11 | 73 | 20 | 89 | 176 |
| | 17 | 83 | 38 | 113 | 211 |
| 耕 地 | 4 | 61 | 38 | 98 | 180 |
| | 8 | 59 | 18 | 84 | 174 |
| | 12 | 73 | 38 | 107 | 200 |
| | 13 | 73 | 40 | 107 | 200 |
| | 14 | 73 | 36 | 107 | 200 |
| | 18 | 83 | 49 | 120 | 212 |
| (市 区) 居 民 地 | 5 | 61 | 11 | 74 | 171 |
| | 9 | 59 | 2 | 64 | 151 |
| | 10 | 59 | 0 | 64 | 172 |
| | 15 | 73 | 36 | 82 | 145 |
| | 16 | 73 | 2 | 73 | 162 |
| | 19 | 83 | 24 | 103 | 205 |

的应用可以改善分析的精度, 充分利用分析基元的频谱信息有利于解决光谱分析中的异物同谱现象。特别是在遥感信息获取阶段, 如能作频谱特性的记录, 将会大大提高信息源的质量, 增加图像的信息量。试验表明, 本文所提出的方法可以发展成为遥感信息获取的一种手段。当然, 虽然本文在频段图像方面进行了一些初步的探索, 但还有很多问题, 像频段选择、频段图像的应用等, 均有待人们去解决。

参 考 文 献

- [1] Кравцова В. И., "Опыточенки дешифр Ируемости структурозональных Снимков", Исслед земли из Космоса, 1982, No. 3, pp. 34—42.
- [2] Hazem M. Raafat, Andrew K. C. Wong, "A Texture Information-Directed Region Growing Algorithm for Image Segmentation and Region Classification", CVPIP, 43, 1-21(1988).
- [3] Adi Perry, David. Lowe, "Segmentation of textured Images", IEEE 会议论文集, 1989, pp. 319—325.
- [4] Robert M. Hararick, "Statistical Image Texture Analysis", "Hand-book of Pattern Recognition and image Processing", Academic Press, pp. 247—279.
- [5] 王之卓编著, 摄影测量原理续编, 测绘出版社, 1986年。
- [6] Song-Sheng Liu, M. E. Jernigan, "Texture Analysis and Discrimination in Additive Noise" Computer Xision, Graphics, and Image Processing, Vol. 49, No. 1, 1990.
- [7] Calvin C. Gotlieb, Herbert E. Kreyszig, "Texture Descriptors Based on Co-occurrence Matrices", CVGIP, Vol. 51, No. 1, 1990.
- [8] Я. Л. Зиман, "О Дальнейшем Развитии исследования земли из Космоса", Исслед. Земли из Космоса, 1980, No. 1. pp. 125—133.
- [9] G. C. Cross and A. K. Jain, "Markov Random Field Texture Models", IEEE Trans. PAMI, Vol. PAMI-5, pp. 25—39, 1983.

- [10] 卢健,数字影像处理,武汉测绘科技大学教材,1982年。
- [11] J. W. 顾德门著,傅里叶光学导论,科学出版社,1976年。
- [12] 庄松林,钱振邦编著,光学传递函数,机械工业出版社,1981年。
- [13] Котцов В. А., “Анализ Направленности линейных Элементов Изображений структурозональным Методом”, Исслед. Земли из Космоса, 1986, No. 6, pp. 97—100.
- [14] 日本遥感研究会编,遥感原理概要,科学出版社,1981年。
- [15] Я. Л. Зиман, “О Структурозональной съемке”, Исслед. Земли из Космоса, 1980, No. 4, pp. 81—84.
- [16] (德)贝尔 H. P 等著,数字图像处理及其在摄影测量与遥感中的应用,解放军出版社,1990年。

Frequency Spectrum Zone Images and Their Applications

Ye Zetian

(Research Institute of Surveying and Mapping)

Abstract

This paper describes the attempts to form frequency spectrum zone image. The image can preserve texture information corresponding to its object. Some preliminary experiments illustrate that the image is an useful data resource for remote sensing in the space.

Key words Frequency spectrum Frequency spectrum zone images Texture

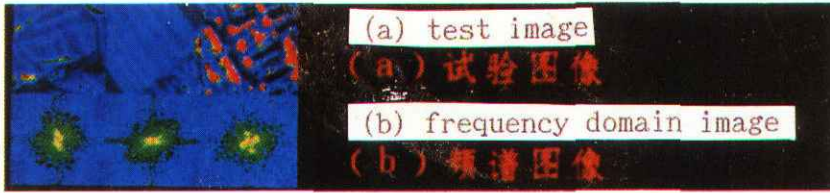


图5 试验结果1

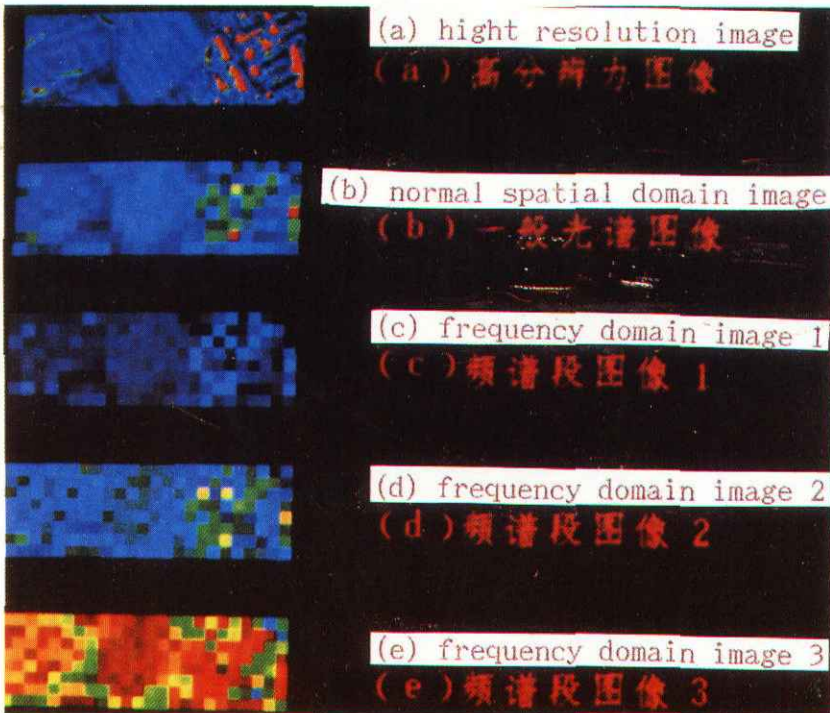


图6 试验结果2