

用于航空像片地物识别的 功率谱分析方法*

刘其真 何永保

(复旦大学)

1987年2月12日收稿

摘 要

衍射模式分析方法已广泛应用于模式识别领域。本文介绍用光学/数字混合型功率谱分析系统对航空像片进行地物空间特征识别的研究。提出了适用于地物分类的特征抽取、特征选择方法和树形分类方法,给出了实验结果并讨论了谱分析法用于地物识别的优缺点。

一、引 言

光学-数字混合型图像处理方法是七十年代逐步发展起来的新技术。其中,光学功率谱分析(Optical Power Spectrum Analysis 简称 OPSA)系统是一种比较简便、实用的光学/计算机混合型图像处理系统,此类系统大都采用64单元楔环阵列探测器测量光学功率谱,然后利用数字计算机进行处理^[1]。

Lukes^[2]提出了利用 OPSA 方法对航空像片进行地物分类研究。但未对特征抽取和分类结果作进一步实验。

我们的研究工作始于1980年,是在复旦大学研制的 OPSA 系统^[3]上进行的。本文提出了适用于航空像片地物分类的特征抽取和特征选择方法,并从物理意义上阐明所抽取特征的测度内容。同时,提出了利用有效的树分类器进行分类识别。此外,还对 OPSA 方法用于航空像片地物识别的实验结果及其优缺点进行了分析。

二、物理景物的特征空间压缩

自然界中的物理景物含有极其丰富的色彩、形状、大小、分布、重量、声响、电磁场等特征信息,从特征空间的角度来说,可以认为这些物理景物是无限维的,但它们一旦被传感器(照相机、多光谱扫描仪、摄像机等)转换成图片或电磁信号后,则损失了大量的有效信息,同时也将其特征空间的维数进行了压缩,变为甚高维。为了便于计算机识别和分析,还必

* 本项研究系科学基金资助课题 84-ENG-134 的应用部分。

参加本研究工作的还有杨伟敏、李萍、刘智深、贺明霞、章志鸣、赵焕卿、徐建华等;周新等教授对本研究给予了支持,特在此向他们表示感谢。

须对这些甚高维的特征信息作进一步的压缩。本研究采用 OPSA 系统对航空像片信息进行了进一步的特征空间压缩 (图 1)。

三、OPSA 系统

本研究采用的 OPSA 系统如图 2 所示, 其光学影像处理装置见图 3。

图 3 中 P_1 、 P_2 分别是 Fourier 变换透镜 L_f 的前、后焦平面。如果把图像底片 $t(x, y)$ 置于 P_1 处, 则可在 P_2 处获得与 $t(x, y)$ 成 Fourier 变换关系的光学衍射图像 $F(u, v)$, 即

$$F(u, v) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} t(x, y) \exp[-2\pi j(ux + vy)/\lambda f] dx dy \quad (1)$$

式中 $u/\lambda f$ 、 $v/\lambda f$ 为衍射图形的空间频率, λ 为相干光源的波长, f 为变换透镜的焦距。

该 OPSA 系统使用一个光电探测器——64 单元楔环阵列探测器^[4] 将光学功率谱 $|F(u, v)|^2$ 转换成 64 个模拟量信号, 然后经过放大和数字化处理使其成为 64 维一次特征数据并输入计算机。该系统的通用软件具有采样控制、数据预处理、特征曲线显示等功能。其专用软件主要用于航空像片采样数据的二次特征抽取、航空像片的分类识别等。

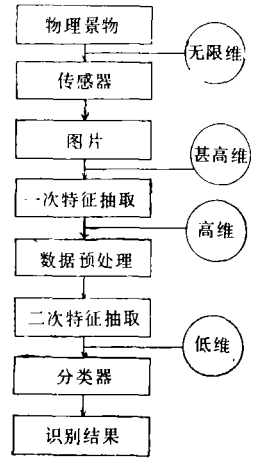


图 1 景物特征空间压缩
Fig. 1 Compression of Feature Space

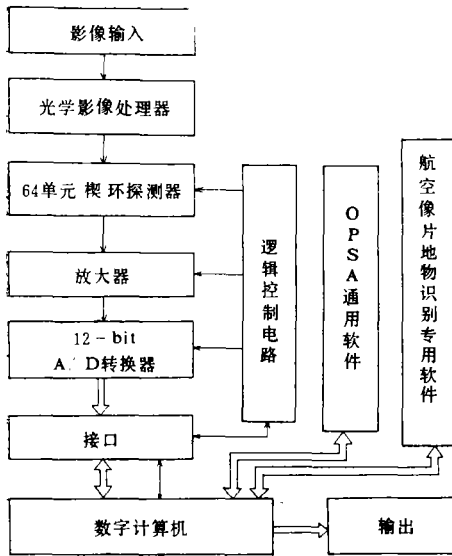


图 2 OPSA 系统总框图

Fig. 2 Basic Configuration of the Optical Power Spectrum Analysis System

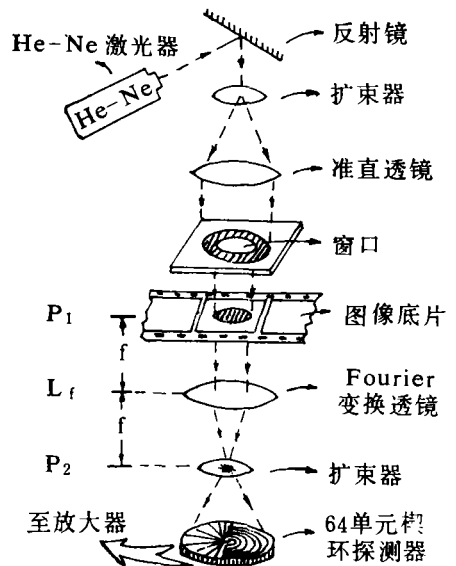


图 3 光学影像处理器

Fig. 3 Optical Image Processor

四、特征抽取

不同的图像纹理结构对应于不同的频谱特征，图 4 (封三) 给出了几种典型的图像所对应的光学功率谱和数据特征曲线。

若把每张待分析航空像片分为若干个图像窗口，则每个窗口的图像可通过 OPSA 系统获得 64 个一次特征数据，其中 32 个为“环”特征，用来测量空间频谱的径向分布情况，另外 32 个为“楔”特征，用来表示各径向衍射光束的方位分布情况。设每个图像窗口的采样数据为 D ，则有：

$$D = \{D_i, i = 1, 2, \dots, 64\} \tag{2}$$

其中 $D_1 - D_{32}$ 是“楔”一次特征数据， $D_{33} - D_{64}$ 是“环”一次特征数据。

为了便于分类识别，必须将高维特征空间压缩至较低维，本项研究中根据航空像片的统计特性，从上述一次特征中主要抽取下列二次特征：

(1) 均值

$$MV = \sum_{i=1}^{64} D_i / 64 \tag{3}$$

均值特征能反映出图像的平均灰度，例如海滩，可能因浪花飞溅而使航空像片上对应部位的曝光度较强。

(2) 极大值及其序号

$$V_{\max} = M_{\max} \{D_i, i = 1, 2, \dots, 32 \text{ or } i = 33, 34, \dots, 64\} \tag{4}$$

该特征是对功率谱主成份的大小及其位置的表述。

(3) 区域二值编码

$$B_k = \begin{cases} 1 & \Sigma D_{k+i} \geq 4T_1 \\ 0 & \Sigma D_{k+i} < 4T_1 \end{cases} \quad i = 1, 2, 3, 4. \quad k = 1, 2, \dots, 8. \tag{5}$$

其物理意义参见图 5，其中 T_1 为设定阈值。该编码可直观地反映出功率谱在楔(或环)上波峰分布情况。

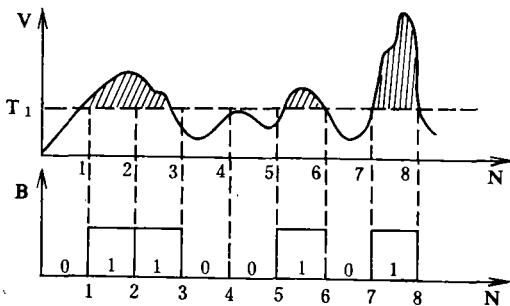


图 5 二值编码
Fig. 5 Binary Code

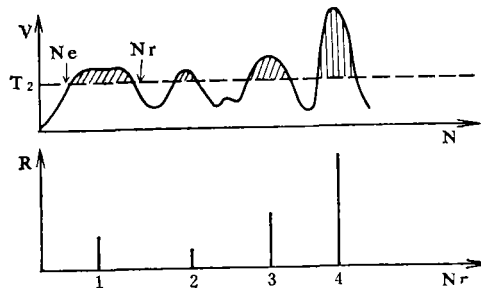


图 6 峰重量/峰宽度比
Fig. 6 Weight/width Ratio of Spectrum Peak

(4) 谱峰重量 P 及其与峰宽度 W 之比

$$R = P/W = \sum_{i=N_l}^{N_r} D_i / \sum_{i=N_l}^{N_r} J_i, J_i = \begin{cases} 0 & J_i < T_2 \\ 1 & J_i \geq T_2 \end{cases} \quad (6)$$

式中 N_l 、 N_r 分别为该峰的左界点和右界点, T_2 为阈值。该特征与谱峰的重量 P 一起对一个谱峰进行描述。其物理意义见图 6。

(5) 纹理方向特征

$$TD = \{D_m^2 - (MV)^2, m = 4n + 1, n = 0, 1, 2, \dots, 7\} \quad (7)$$

该特征表示功率谱在不同方向上的空间分布情况, 该特征可用于对图片中较明显条状纹理的方向性测度。

(6) 楔总体标准差

$$A = \sqrt{\frac{1}{32} \sum_{i=1}^{32} D_i^2 - \left(\frac{1}{32} \sum_{i=1}^{32} D_i\right)^2} \quad (8)$$

该特征表示功率谱在 32 个楔单元上分布的不一致程度。

五、分类器设计

地物分类属于多类问题分析, 宜采用树形分类器进行分类识别, 这样可以充分利用各种特征, 每次判别只选择少量特征, 而不同的特征又可组合起来在分类树的不同节点上发挥判别功能, 因而使得整个分类器快速而又有效。图 7 是对某海区航空像片进行分类识别的实用分类器之一。分类树的树枝代表地物依其共有特征的粗分类, 树叶表示地物依其个性的细分类, 恰似人脑的分析方法。

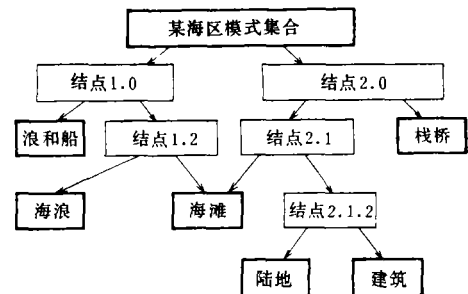


图 7 一个实用树形分类器

Fig. 7 A Real Tree Classifier

六、实验结果

本项实验用 OPISA 系统对某海区 192 个图像窗口进行了数据采集和特征抽取, 其中 96 个窗口的特征数据作为训练集, 用于训练合理地抽取特征和恰当地设计分类器, 其余 96 个窗口的特征数据作为测试集。根据该海区航空像片的统计特性, 实验中把所有地物归纳为 6 类, 实验结果表明, 训练集的聚类准确率和测试集的分类正确率均达 90% 以上。

七、用功率谱分析法进行地物识别的优缺点

用光学/数字混合型功率谱分析方法进行航空像片地物识别具有下述优点:

(1) 数据量小。例如对应于一幅 $10\text{mm} \times 10\text{mm}$ 的图像窗口, 若用一个分辨率为 20

线/mm 的析像器通过 12 bits 的 A/D 转换器进行量化, 其数据量可达 $12 \times 10 \times 20 \times 10 \times 20 = 48 \times 10^4$ bits, 本文所述的方法将上述图像作为一个窗口仅采集 64 个数据, 若同样每个数据被量化为 12 bits, 其数据量仅为 $12 \times 64 = 768$ bits, 将数据量压缩了 600 倍。

(2) 由于采用了光学/数字混合方法, 所以既具有光学信息处理的快速(例如 Fourier 变换是以光速进行的)、并行、简单的优点, 又具有数字处理的灵活、可编程、精度较高等优点。

(3) 本方法中所用楔环探测器的特点是能直接提供遥感图像的空间频谱特征, 它是 64 维一次特征向量的形式反映光学频谱的空间分布, 因而使得对光学功率谱的采样手续大为简化, 同时避免了从功率谱衍射图形的一个个像素抽取一次特征的大量运算。

本方法的不足之处是:

(1) 对图像的变换仅局限于一种固定的变换(例如 Fourier 变换), 而有时采用其它的变换可能对相应的图像分析会更有利些。

(2) 本识别方法仅仅利用了地物空间分布的纹理特征, 还没有充分利用地物的不同波段的特征。如果再利用复合技术, 将进一步提高识别精度, 但速度受影响。

(3) 由于楔环探测器的感光单元面积难以做得很微小, 因而影响了分类精度的提高。

总之, 本文所述的功率谱分析方法是一种较为简单有效的遥感影像分类识别方法。实验结果表明, 尽管本方法仅能反映复杂地物分布区域的主要倾向性模式, 但对于大量成片分布或纹理特征显著的不同地物, 例如田野、沙漠、森林、湖泊、山岭、河流、大道、建筑群、空旷地、桥梁、海洋等, 具有较强的识别功能, 因而本方法经过进一步的开发后, 特别适用于大量图片的快速筛选、地物普查、海洋调查、已知地区的目标监测等应用领域。

参 考 文 献

- [1] H. L. Kasdan, Optical Power Spectrum Sampling and Algorithms, *SPIE*, Vol. 117, pp. 67—74, 1977.
- [2] G. E. Lukes, Rapid Screening of Aerial Photography by OPS Analysis, *SPIE*, Vol. 117, pp. 89—97, 1977.
- [3] 何永保、刘其真等, 光学功率谱采样输入系统及其应用, *自动化学报*, **10** (1), 1984.
- [4] 赵焕卿、章志鸣等, 用于空间频谱分析的楔环阵列探测器的研制和特性, *光学学报*, **2** (5) 1982.

Power Spectrum Analysis for Aerial Photo Recognition

Liu Qizhen He Yongbao

(Fudan University, Shanghai)

Abstract

The method of diffraction pattern analysis has been widely applied to pattern recognition. In this paper an approach of aerial photo recognition by use of optical power spectrum analysis system is introduced. The method of how to compress the scene feature space, how to extract the feature from remote sensing photography and how to design the classifier are discussed. Finally the experimental results are given, some advantages and defects of the method are discussed, too.

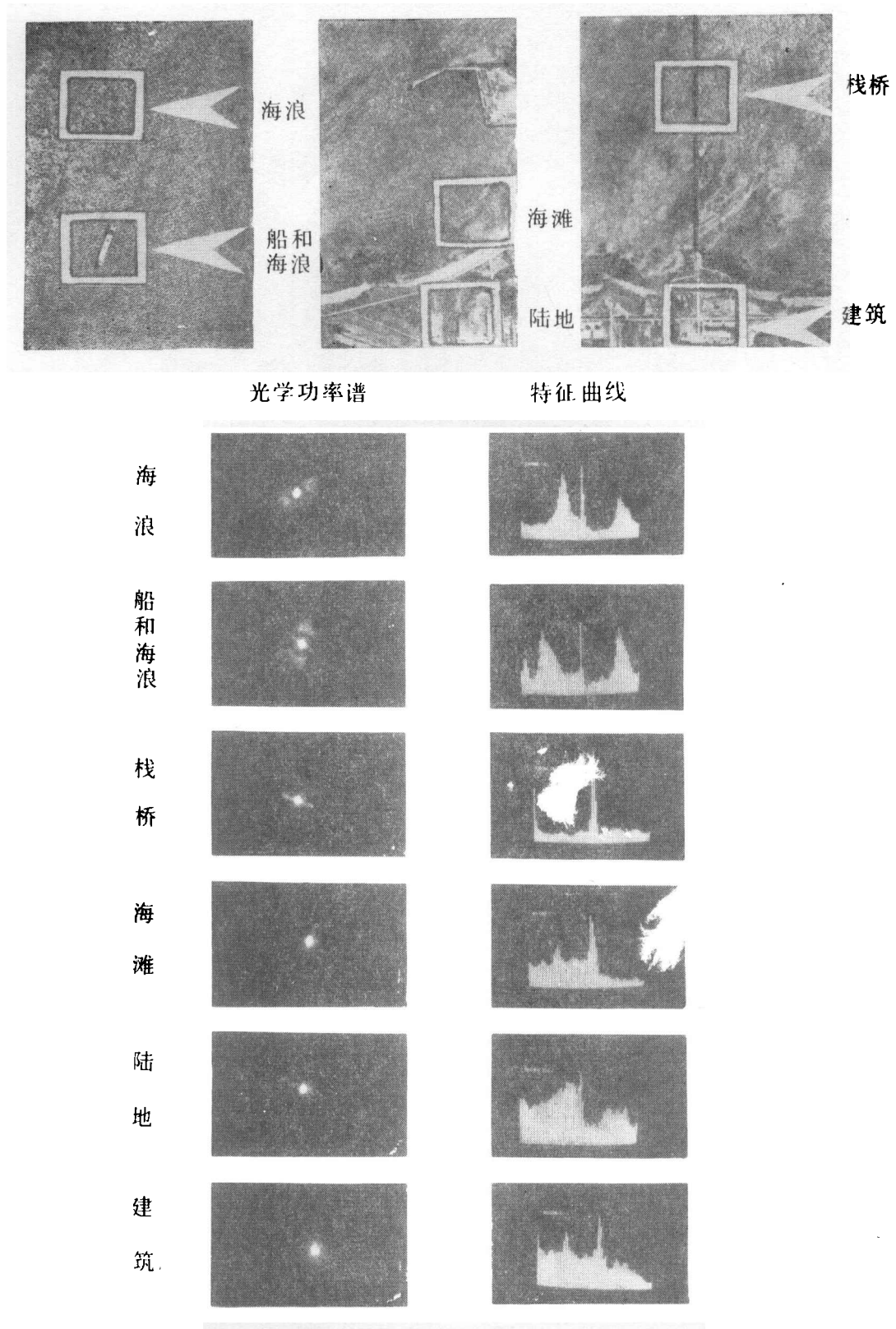


图 4 典型图像的功率谱及其特征曲线

Fig. 4 Typical Image, Spectrum & Feature Curve