

图像空间变化序列及其总体状态分析*

关泽群 李德仁

(武汉测绘科技大学信息工程学院 武汉 430070)

摘 要 本文从图像分解与结合的角度,探讨了图像空间变化序列问题。提出了把复杂的图像分解为各个部分,逐一加以考察,然后把各个部分统一起来,从而在整体上把握图像问题的思想。据此,文中按截断法构造图像序列,用区域长度特征反映图像空间变化序列。这些方法已被用于遥感图像的分析中,取得了良好的效果。

关键词 图像空间序列,截断法,区域长度特征

1 引 言

图像分析中经常会遇到这样的问题,即图像中的现象延伸在不断变化的空间中。当从一个空间位置走到另一个空间位置,现象在图像上的特征会发生变化,但通常存在某种规律性,而正是这种规律性对进一步准确地确定现象的类别和描述起着重要作用。现象在空间上的变化所表现出来的规律性可分为两个方面:1)由一个状态变化为另一个状态的顺序性;2)由个别状态构成状态总体的规律性。另外,不同现象的组合在空间中通常也呈现有规律的变化,它也为分析图像提供更多更全面的信息。

2 按截断法构造图像序列

从图像上分析和识别在空间上变化的现象,仅考虑给定的个别空间图像是不够的,必须考虑由现象在若干个空间断面构成的观测总体。这个想法可通过寻找断面序列最大不变量实现。它包含两个方面含义,首先是确定某一断面的最大不变量,然后是确定断面序列的最大不变量。

假定每个断面只用一个图形表示。我们把它称作断面的初始范型并用 e^j 表示。此外还假定一个用干扰参数 b 作为参数的作用于范型的容许变换集合 G_b , 变换 G_b 作用于范型 e^j 的结果是得到变换范型

$$E(j, b) = G_b e^j \quad (1)$$

在给定 j 和所有可能的 $b \in B$ 条件下,范型 $E(j, b)$ 取值

的集合通常叫作第 j 个断面的范型区。被观察的图像是具有已知概率分布 $P(X/E(j, b))$ 的多维随机变量的实现,这个概率分布既和初始范型 e^j 有关,也和干扰参数 b 有关。如果 G_b 为由 B 中所有可能干扰参数 b 产生的变换,此时,这种变换称为最大不变的,干扰参数 b 的上界被称为断面最大不变量。

由于断面序列中的每一个断面都存在一个范型区 $E(j, b)$ 和容许变换集合 G_b , 因而也就存在与此相应的最大不变量。它们的全体被称为断面序列的最大不变量。

例如,假定图 1(a) 为初始范型,并用 l_1, l_2, l_3 表示断面线的初始范型。比较图 1(a)、(b) 上的断面线,可以看出,虽然 2 个图上的相应断面线的对应弦长长度有所变化,但以下几点是不变的:(1)相应断面线上的各段弦之间的对应关系不变,如 l_2 由一个 10—20mm 的弦及分布在两边的 4 个小于 10mm 的弦构成;(2)相应断面线上的对应弦长长度在某一范围内,如图 1(a)、(b) 上的由 l_1 确定的弦长长度都在 10—20mm 之间;(3)由对应断面组成的断面序列的规律是不变的。在确立以上几个不变性的过程中,我们应用了容许变换的思想,即对每一类弦,我们都给了一个初始范型及容许变化的范围(实际上就是给出了最大不变量)。换句话说,我们给出了一个商空间并在商空间中寻找图形之间的不变性,同时,认为满足了规定的不变性的同属一类图形,不满足规定的不变性的为另一类图形。如图 1(c) 就应归为另一类图形。由此可见用这种方法分析图像,关键是确定每段弦的初始范型及其最大不变量。

这样解决图像断面序列分析问题基本困难在于

* 国家自然科学基金(编号69675013)和测绘遥感信息工程国家重点实验室资助。

收稿日期: 1997-08-25; 收到修改稿日期: 1997-09-01

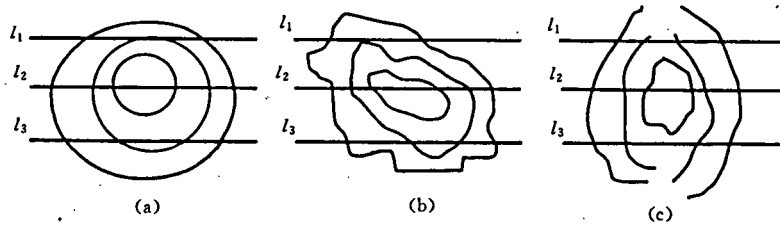


图1 断面与断面序列最大不变量

Fig.1 The sectional alignment and its maximum of invariance

确定最大序列不变量,如果最大序列不变量已经找到,图像断面序列问题就可以解决。

确定最大断面序列不变量常采用如图 2 的横向结构(即截断法)。图中 x_1, x_2, \dots, x_s 为对应现象范型 V_j 的观测图像断面序列, $x_1^*, x_2^*, \dots, x_s^*$ 为对应 V_j 的理想图像断面序列, d_1, d_2, \dots, d_s 为从 x_1, x_2, \dots, x_s 提取的特征, $d_1^*, d_2^*, \dots, d_s^*$ 为理想图像断面序列所具有的特征, I_1, I_2, \dots, I_s 为图像断面序列的加权因子, $d(n)$ 为观测图像断面序列的综合特征, $d^*(n)$ 为理想图像断面序列的综合特征。

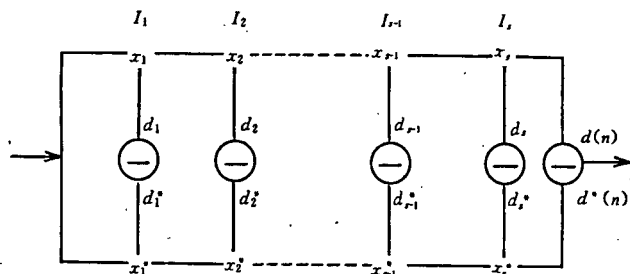


图2 确定最大序列不变量的横向结构

Fig.2 A crosswise structure applied to determine the maximum of invariance of the sectional alignment
于是,若有

$$\left. \begin{aligned} d(n) &= \sum_{i=1}^s I_i x_i \\ d^*(n) &= \sum_{i=1}^s I_i x_i^* \\ e_j &= d_j - d_j^* < \sigma_j \in \Sigma \\ e &= d(n) - d^*(n) < \sigma(n) \in \Sigma \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中, Σ 为匹配准则集合。那么,由 $d_1, d_2, \dots, d_s, d(n)$ 确立的横向结构具有近于最大序列不变量的性质。即若对理想图像系列特征集 $\{d_i^* | i = 1, 2, \dots, s\}$ 存在某一实际观测图像系列特征集 $\{d_i | i = 1, 2, \dots, s\}$ 与其对应,而任一与 $\{d_i^*\}$ 不同的其它理想图像的特征集则不完全与 $\{d_i\}$ 对应,那么,不同的理想图像的系列特征集 $\{d_i^*\}$,及匹配准则 $\{\sigma_j\}$ 至少有一个是不同的。

图像断面序列分析问题还有另一种提法^[1]。

从某个长度为 k ,序列数不超过 m^* 的断面序列范型 E_1, E_2, \dots, E_m 得到图像上若干个断面序列。根据在图像上观测到的断面序列要求指出有最大概率的范型断面序列。

每个范型断面 E_j 可以看成是 n 维向量,因此长度为 k 的序列可以用 $(n \times k)$ 维向量表示。在此,用 $p = E^{(1)} + E^{(2)} + \dots + E^{(k)}$ 表示某个断面序列(类似于多波段合成,因为,若把 $E^{(1)}, E^{(2)}, \dots, E^{(k)}$ 看成是同一景图像的 k 个波段,则 p 可以看成是合成图像),这里 $E^{(q)}$ 是表现在图像上第 q 断面的相应于范型 E 的向量, $q = 1, 2, \dots, k$ 。同时 $E^{(q)}$ 可以看成是 $(n \times k)$ 维向量 p 在 n 维空间 R_q 上的投影,且空间 R_q 和空间 R_g (由维数为 k 的断面序列确定)正交(可由 $(n \times k)$ 维向量空间内积公式导出)。

我们用 $Q_q(E^{(q)})$ 表示地物是断面序列中某一断面范型 $E^{(q)}$ 的条件下,图像上呈现的断面。同时,假定相应于每个断面模式的任一图像是从一个初始范型加上一定的容许变换后产生。这样,可以得到表达式

$$Q_q(E^{(q)}) = a_q E^{(q)} + b_q B_q \quad (3)$$

式中 a_q 和 b_q 是随机独立一维向量; B_q 是在 R_q 上的投影等于 $(1, 1, \dots, 1)$ 而在 $R_g (q \neq g)$ 上的投影等于零的向量。式(3)意为 $E^{(q)}$ 的所有分量乘上同一量,然后在所有分量上加上另一个量就可以从 $E^{(q)}$ 得到向量 Q_q 。 a_q 表征了断面 $E^{(q)}$ 本质特征的权系数,而 b_q 表征了相对断面 $E^{(q)}$ 的附加特征的权系数。

对于图像断面序列 p ,其在图像上的具体事例用 $Q(p)$ 表示

$$\begin{aligned} Q(p) &= Q(E^{(1)} + E^{(2)} + \dots + E^{(k)}) \\ &= \sum_q (a_q E^{(q)} + b_q B_q) \end{aligned} \quad (4)$$

在这种情况下,图像断面序列分析问题可归为计算分布函数 $P(Q|p)$ 或者某个相对于 $P(Q|p)$ 单调变化的另一个函数 $f(Q, p)$ 。

3 用区域长度特征反映图像空间变化序列

以下介绍与图像断面序列有关的采用区域长度特征序列反映现象的空间分布。

设 X 属于凸集类, $\Delta\omega$ 表示以 ω 为方向的直线, $X|\Delta\omega$ 为集合 X 在 $\Delta\omega$ 上的投影, 其长度定义为^[2]

$$d_x(\omega) \triangleq L(X|\Delta\omega) \quad (5)$$

区域通常都可以在一定条件下分割为凸集, 故可用式(5)描述其长度特征。由于地物总是分布在一定的区域内, 所以可用长度特征集反映地物的分布。

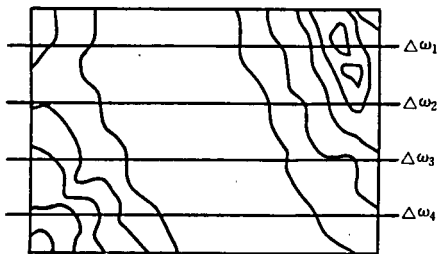


图3 水平岩层地区解译图示例

Fig.3 An example of image interpretation of horizontal rock stratum

图3的中心部分是经长期剥蚀作用而形成的高地。坚硬的岩层常构成仅有微小起伏的顶面, 与陡峭的山坡形成鲜明的对比。山坡坡度变化受岩层影响。由坚硬岩层组成的坡段, 坡度较大; 而软弱岩层地段, 坡度较小, 在图像上色调表现为明暗有规律的组合。与此相应, 区域的长度不论在南北向, 还是在东西向都会出现有规律的变化。其中最突出的分布特征是长度值明显分成两组, 一组数值很大, 但出现的次数少; 另一组数值较小, 但出现的次数多。

图3使我们直观地感觉到, 用区域长度可以较好地刻画空间要素的分布特征。特别是某一个区域长度出现的频数具有明显的统计学上的分布意义。为对此作进一步分析, 可定义如下:

定义1 设 $P(E^{(n)})$ 为凸集, $X \in P(E^{(n)})$, $\Delta\omega$ 为方向 ω 的直线。那么, 集合 X 在直线 $\Delta\omega$ 上所截取的线段称为集合 X 沿方向 ω 的弦, 记为 T_ω 。 X 中的若干弦的集合称为 X 的弦集 $T = \{T_\omega\}$ 。

关于弦集的测度可定义如下

$$\text{mes}(T) \triangleq V^{(n)}(\{x|x \in T_\omega; T_\omega \in T\})$$

$$= V^{(n)}(\bigcup T_\omega) \quad (6)$$

在此, $V^{(n)}$ 为测度函数。

将集合 X 中的点 x 理解为均匀随机投点, 那么过点 x 的弦长 $l_x(T_\omega)$ 是一个随机变量 L , 其分布函数可定义如下。

定义2 设 $P(E^{(n)})$ 为凸集, $X \in P(E^{(n)})$, 弦为 T_ω , 弦长为 $l(T_\omega)$ 。那么, 集合 X 关于方向 ω 的弦长分布函数定义为所有包含在弦长小于 l 的弦中的点测度占整个集合 X 的测度的百分比, 即

$$F(l) = P_r\{L < l\} \triangleq \frac{\text{mes}(\{T_\omega: l(T_\omega) < l\})}{\text{mes}(\{T_\omega: T_\omega \subset X\})} \quad (7)$$

对于图3上的直线 $\Delta\omega_1, \Delta\omega_2, \dots, \Delta\omega_n$, 可以把它们看成是一个图像断面序列, 其中的任一直线 $\Delta\omega_i$ 可以认为是一个断面, 它可把式(7)作为其重要的特征(因为, 对于直线 $\Delta\omega_1, \Delta\omega_2, \dots, \Delta\omega_n$ 上任意一段弦, 不论其在图像或图形上, 都满足凸集条件)。具体做法是将某一直线 $\Delta\omega_i$ 上的弦长分组, 如分成 0—5, 5—10, 10—15(像元)等, 并分别计算其频率(即计算 $F(l)$), 则可得如表1所示的关于直线 $\Delta\omega_i$ 上的弦长频率分布。有了表1, 我们可以这样来考虑断面 $\Delta\omega_i$ 的特征组: 首先是 $\Delta\omega_i$ 的方向, 称为 D ; 其次是表1中的频率, 称为 P ; 第三是断面 $\Delta\omega_i$ 的弦长频率分布与相邻断面 $\Delta\omega_{i-1}$ 的弦长频率分布的联系, 称为 R 。再加上断面序列的综合特征——整个断面序列的弦长频率分布。这样, 我们就可以利用这些特征与某一范型断面序列的特征进行比较, 以确定正被我们观测的断面序列应属那一种现象。

表1 弦长频率分布统计表

Table 1 A statistical table of chord length frequency distribution

弦长分组/像元	频数 n_i	频率
l_1-l_2	c_1	p_1
l_2-l_3	c_2	p_2
\vdots	\vdots	\vdots
$l_{m-1}-l_m$	c_m	p_m

表2是根据图版 I 图4(实验区为一景 TM 图像的范围, 由于屏幕显示的限制, 图版 I 图4、图5和图6仅表现了该范围内的3个局部区域)上 64×64 像元的区域, 各量测12个断面上的两组弦长而得到的结果。其过程是先按模板边缘提取方法¹⁾提取边缘, 然后再计算从一个边缘到另一个边缘的弦长。图版 I 图4和图5上除边缘以外的其它颜色是代表不同

1) 关泽群. 商空间下的遥感图像分析理论探讨. 武汉测绘科技大学博士论文, 1995, 95—105.

表2 弦长频率分布比较

Table 2 A comparison between the two chord length frequency distributions

与图4对应的特征				与图5对应的特征			
断面 序号	弦长分组 /像元	x方向 频数	y方向 频数	断面 序号	弦长分组 /像元	x方向 频数	y方向 频数
1	1—5	3	2	1	1—5	7	5
	6—15	3	1		6—15	1	1
2	1—5	4	3	2	1—5	9	2
	6—15	3	2		6—15	1	1
3	1—5	2	4	3	1—5	9	5
	6—15	4	2		6—15	1	1
4	1—5	4	2	4	1—5	10	4
	6—15	3	2		6—15	1	1
5	1—5	4	1	5	1—5	8	1
	6—15	3	2		6—15	1	1
6	1—5	6	1	6	1—5	9	1
	6—15	2	2		6—15	1	1
7	1—5	3	2	7	1—5	8	4
	6—15	3	1		6—15	2	2
8	1—5	2	1	8	1—5	5	3
	6—15	4	1		6—15	2	1
9	1—5	5	3	9	1—5	9	5
	6—15	3	1		6—15	1	2
10	1—5	5	2	10	1—5	5	3
	6—15	3	1		6—15	2	2
11	1—5	1	1	11	1—5	8	4
	6—15	4	1		6—15	1	1
12	1—5	2	1	12	1—5	9	5
	6—15	4	1		6—15	1	1

组别弦长的。本文中采用了 x 、 y 方向, 弦长频率分布和总体分布作为断面序列的特征。从表 2 可以看出, 图版 I 图 4 中的 x 方向的两组弦长的频数大致相同, y 方向的两组弦长的频数介于 1:1 到 3:1 之间; 图版 I 图 5 中 x 方向两组弦长的频数相差很大, 第一组 (1—5 个像元) 弦长的出现频数大约是第二组 (6—15 个像元) 弦长的出现频数的 8—10 倍, y 方向两组弦长的频数相差大约 3—5 倍。因而, 图版 I 图 4 和图 5 的断面特征具有明显差别, 由此可以推断这是两个类型完全不同的地区。实地调查资料证实, 图版 I 图 4 对应坚硬岩类构成的中高山地区, 图版 I 图 5 对应层状碳酸岩地区。图版 I 图 6 表现了图版 I 图 4 上的断面序列在原始图像上的位置, 同时还表现了另外两个断面序列。由图版 I 图 6 可以直观地感觉到, 图上的 3 个断面序列所处的环境背景是不相同的, 其断面序列也是不相同的, 这进一步说明了通过断面序列的考察, 可以了解图像上不同类型

区域间的差别。

4 结 论

如何把复杂的图像分解为各个部分 (或方面), 逐一加以考察, 然后在此基础上, 把图像的各个部分、各个方面结合和统一起来加以研究, 从而在整体上把握图像问题, 是一种重要的图像分析方法。但由于这种方法的复杂性, 以前仅在图像的目视解译中用到。本文从空间划分的角度, 分析了部分与整体的关系, 特别是图像空间变化序列问题, 从而把上述方法较成功地应用到图像的自动解译中。

文中提出了现象在空间上变化的两个特点: 1) 由一个状态变化为另一个状态的顺序性; 2) 由个别状态构成状态总体的规律性。根据这两个特点, 按截断法构造了图像序列, 用区域长度特征反映图像空间变化序列, 并把它们用在了遥感图像的分析中,

取得了良好的效果。

作 者 简 介

参 考 文 献

关泽群, 男, 博士, 教授, 生于 1957 年。主要从事遥

- 感和图像分析方面工作, 已发表中英文论文 30 余篇。
- 1 B. 瓦西里耶夫. 机器识别方法与系统. 北京: 科学出版社, 1991, 190—193.
 - 2 吴敏金. 图象形态学. 上海科学技术文献出版社, 1991, 111—115.

Study on Sequence Image Segmentation with the Variance of Scenes and Its General State

Guan Zequn Li Deren

(Wuhan Technical University of Surveying and Mapping Wuhan 430070)

Abstract This work describes decomposition and synthesis techniques applied to remote sensing image analysis and focuses on the need for analyzing a series of segments in accordance with the variance of scenes. The algorithms described here take two unique approaches. The blocking image method is used for constructing a series of segments. The length function of area is defined that determines the strength of the similarity between a pair of lines. Some tests are also described, and the results indicate that the methods work well for a variety of images.

Key words Sequence image segmentation; The method of blocking image; The length function of area

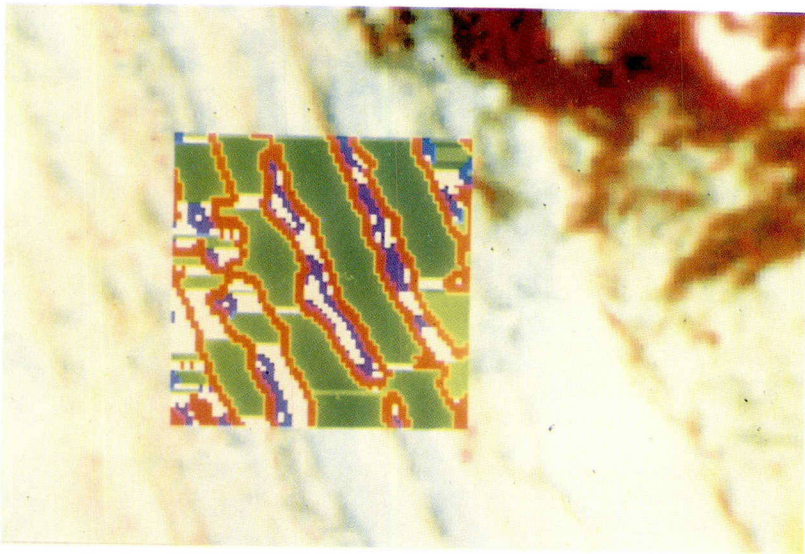


图4 坚硬岩类构成的中高山地区图像

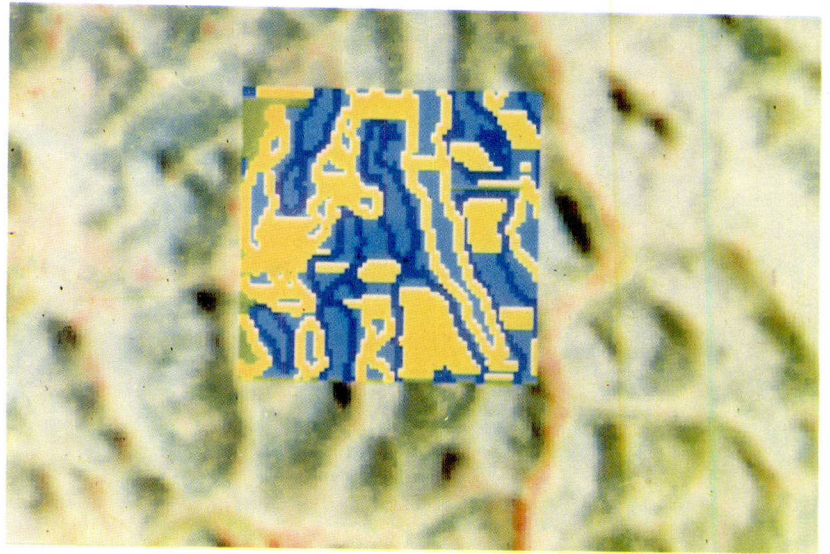


图5 层状碳酸岩地区图像

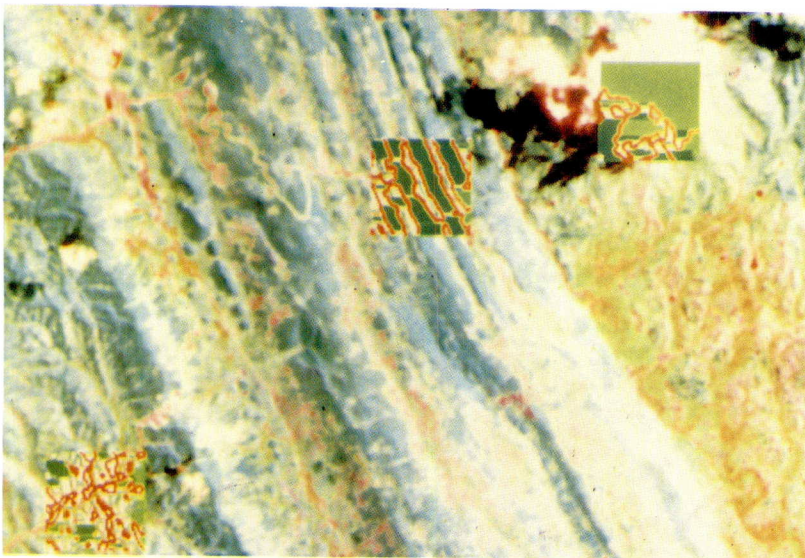


图6 图4上的断面序列在原始图像上的位置