

再生资源动态遥感分析方法试验研究*

王长耀

(中国科学院遥感应用研究所)

1990年5月28日收稿

摘 要

人类大规模的活动与自然资源开发,引起了全球范围内的生态环境以及可更新资源的迅速变化。快速、定量监测这些变化,已成为遥感应用研究新的发展领域。

本文叙述了有关资源环境动态遥感监测研究方面的初步探索性工作,主要包括利用图像处理系统,根据专题变化因素的光谱亮度统计进行密度、比值和纹理处理、不同时期遥感信息的复合处理和规范化差值及主成分分析法的“亮度”、“绿度”差值分析;利用地理信息系统,采用覆盖分析和局部更新法进行再生资源变化图件的快速更新,以及为研究再生资源动态变化规律,而进行的多变量相关、区域回归分析方法。

关键词 再生资源 动态监测 遥感

一、前 言

人类大规模的活动与自然资源开发,已引起全球范围内的生态环境以及可更新资源的迅速变化,耕地、林地日益减少,水土流失严重,沙漠化扩大,水源短缺,污染严重,旱涝灾害频繁发生,已成为我国及世界面临的严重自然灾害问题,形成了资源环境研究的新领域。为此,世界上许多国家正在制定环境动态变化研究计划。美国最近提出了“我们变化中的地球——美国及全球变化研究战略报告”,目的在于增强对全球变化的理解和预报,寻求人类活动与全球变化的关系。

遥感技术由于具有快速、准确、大范围和实时获取资源环境状况及其变化数据;信息系统具有多种数据的综合处理分析能力,必将成为资源环境动态变化研究的最有效的先进技术手段。

资源环境动态遥感领域的系统研究方法在国际上尚未形成。但是,我国著名遥感和信息系统专家陈述彭教授在本世纪八十年代初就提出动态遥感的研究方向^[1]。近年来,他创建了我国的地理信息系统,提出了资源环境动态模型分析及快速成图的资源卫星应用系统等一整套资源环境动态变化监测的技术方法。在他的亲自指导下,笔者在这一领

* 在本研究中,土地利用变化覆盖分析的软件程序设计由国家资源与环境信息系统实验室赵伟同志完成,趋势面分析程序由杨平同志完成,在论文撰写过程中赵英时、周进、查勇、张金胜、郑柯等同志给予了大力协助,在此一并表示感谢。

域仅仅开展了一些初步的探索性工作,主要包括再生资源动态遥感信息的快速提取,变化图件的快速更新以及模型分析等方面的试验研究,以期能为资源环境遥感动态研究领域未来研究技术方法的系统形成贡献自己的微薄力量。

二、再生资源动态遥感数据的快速提取

多光谱遥感技术的发展为识别地表不同地类提供了有用的信息基础,采用适当的数据处理方法,有助于对感兴趣目标的特征提取。Philip H. Swain 等人以地球资源类别为例设计提出了信息树(图 1),他们认为在每个交叉点(即节点)上采用不同的分类算法,对资源类别的区别有很大潜力,但在技术上比较复杂^[2]。近年来,我们利用图像处理系统对单要素提取、匹配处理和差值分析等算法进行一些试验,在快速提取再生资源变化特征方面取得了一些效果。

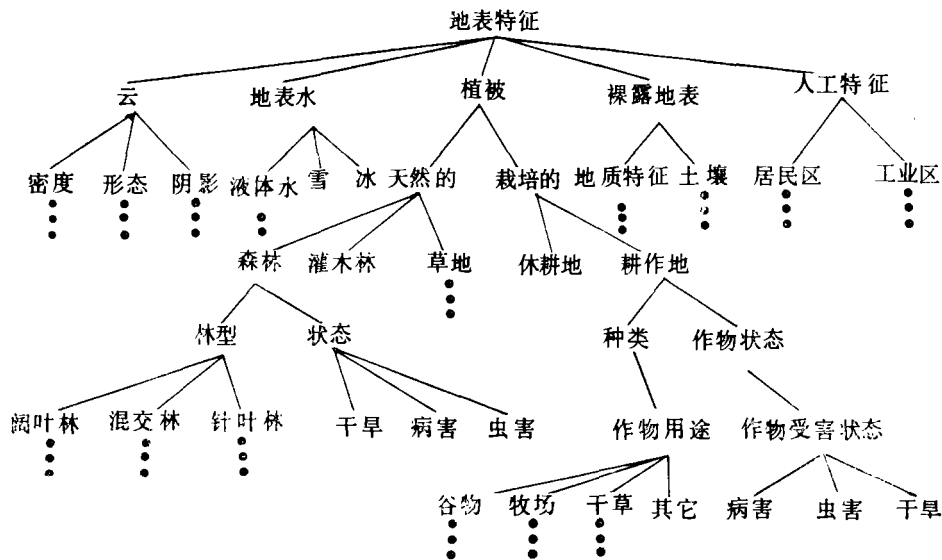


图 1 资源类别区分信息树

Fig. 1 Natural Resources Classified Information Tree

1. 变化因素的快速提取

通过对研究地类在遥感资料不同光谱段亮度的统计,或采用比值算法和纹理分析,可以迅速提取不同年份的水域分布、植被。我们对北京地区 1984 年 10 月和 1988 年 4 月陆地卫星 TM 对水体吸收较强的第五波段的水体亮度进行了统计。然后,设置了最大亮度阈值进行提取,迅速得到了两个年份水域分布图(图版 I 图 2),分别统计结果表明,该区 1988 年水域面积比 1984 年增加了 0.2%。

对于植被变化的提取,采用比值算法可以取得较好的结果,在黄土高原调查中,由于森林面积小,又多分布于沟谷内,阴影影响严重,给调查带来了许多困难,通过对陆地卫星

TM 资料进行如下:

$$\frac{TM_4}{TM_3} + \frac{TM_3}{TM_2} + \frac{TM_2}{TM_1}$$

比值变换处理,然后将新构成的新通道,相应配以红、绿、蓝三色,可以发现这种方法对减轻阴影和提取植被有良好的效果(图版 I 图 3)。

比值变换之所以能够减轻阴影影响,在于这种方法能够调整不同坡向照度差异,突出目标本来面目。表 1 是 TM1、TM2、TM3、和 TM4 以及 TM4/TM3、TM3/TM2、TM2/TM1 在同一地区阴坡、阳坡的亮度值,可以发现,通过比值处理重建的阴、阳坡亮度值很接近。

表 1 比值处理前后阴阳坡亮度及比值

Table 1 Brightness and Ratio

波段 坡向	TM4	TM3	TM2	TM1	$\frac{TM4}{TM3}$	$\frac{TM3}{TM2}$	$\frac{TM2}{TM1}$
阳坡	92	80	62	112	1.15	1.29	0.55
阴坡	50	42	34	75	1.19	1.17	0.45

2. 复合处理

不同时相遥感信息的叠加常常与彩色增强的应用有关,图像相加的特例是图像平均。图像平均的效果已应用于解决不同时相遥感信息叠加产生的彩色图像恢复问题。用数字化形式产生的平均亮度图像在气象中已得到有效的应用。对于光谱差异较大景物变化的研究,采用复合处理能够定量发现其变化。

在黄河口变化研究中,我们采用 1975 年 5 月和 1985 年 3 月的陆地卫星 MSS 图像进行复合处理(图版 I 图 4),结果表明黄河三角洲 10 年间,每年向海推进速度为 41.2 平方公里/年^[3]。在对白洋淀地区的研究中,我们把不同时相的航天飞机雷达图像 SIR-A(S_a),陆地卫星 MSS7 (M_7) 和 TM4 (T_4) 进行了匹配:

$$N_1 = \frac{S_a \cdot S_a}{S_a + M_7 + T_4}, N_2 = \frac{S_a \cdot M_7}{S_a + M_7 + T_4}, N_3 = \frac{S_a \cdot T_4}{S_a + M_7 + T_4}$$

将所取得的比值 N_1 、 N_2 、 N_3 进行彩色变换,从而加强了水面芦苇、居民点等地物的变化^[4]。

3. 差值图像分析

对于资源的动态变化,试验表明,采用差值法能够直观监测时间上或光谱范围的变化,在北京地区植被变化研究中,我们采用 1988 年 4 月陆地卫星 TM2 减去 1984 年 10 月份获取的陆地卫星 TM2 图像,可以发现植被在不同年份不同季节的变化。但为了减弱不同时间大气状况、土壤水分等的影响,选择植被对近红外和红光比较敏感的光谱段,采用规一化差值比较^[5]。

$$\Delta ND_{ij} = ND(88)_{ij} - ND(84)_{ij} + C$$

$$ND_{ij} = \frac{TM(4)_{ij} - TM(2)_{ij}}{TM(4)_{ij} + TM(2)_{ij}} * C$$

ND 为归一化差值图像, i, j 分别为行、列, C 为常数。处理结果明显反映出植被的变化, 1988 年 4 月与 1984 年 10 月比较, 植被面积增大的地方为粉红色, 植被减少的地方为红色, 没有变化的为蓝绿色(图版 II 图 5)。

应用差值图像法时, 一般假设两幅图像受大气辐射等其它因子引起各通道间的影响是一致的, 实际并没有排除。应用主成分分析法可以克服这些缺点。主成分分析是一种把具有相关关系的多变量数据转变为没有线性相关关系的数据统计分析技术。旋转后各分量称为主分量, 在这些主分量中, 第一分量包含了原始变量中尽可能大的信息, 第二主分量包含了剩余变量信息尽可能大的信息, 以此类推。

对于二维情况来说, 当特征空间旋转角为 θ 时, 导出的新数据组可用下式计算:

$$\begin{pmatrix} DN_3 \\ DN_4 \end{pmatrix} = a \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} DN_1 \\ DN_2 \end{pmatrix} + b$$

式中: DN_1 、 DN_2 为原始通道数据, DN_3 、 DN_4 为变换后通道数据, a 、 b 为变换动态范围, θ 为特征空间坐标旋转角^[6]。

变换后若采用第一、二、三主分量, 就其物理意义来说, 可以分别代表亮度、绿度和湿度, 但它仍不同于 K-T 变换, 二者之间还相差一个角度。然而, 利用 1988 年的第一主分量(亮度)减去 1984 年的第一主分量, 经彩色编码后, 可以清楚地看到北京市东北角由于都市的发展, 原来是农田有植被覆盖的地方变成了城区, 呈现深红色的亚运村、酒仙桥等新建区, 相当醒目。同样, 在两个年份第二主分量绿度差值图像上, 可以明显地区分出不同年份植被的差异, 没有变化的部分为蓝绿色(图版 II 图 6)。

三、再生资源变化图件的快速更新

在多要素资源动态监测研究中, 由于遥感数据具有“异物同谱”和“同物异谱”的情况, 因此, 完全利用图像处理系统进行分类, 尤其在在我国地块小, 作物混杂的条件下, 目前还难以达到很高的精度, 尽管正在采用专家系统改进分类精度, 但距实际应用还有一定距离。因此, 在我们的研究中利用地理信息系统, 对不同时期的资料采用了覆盖分析法和局部更新方法, 开展了再生资源动态变化图件的快速更新试验研究。

1. 覆盖分析法

在目前发展起来的地理信息系统中, 地图的更新是一项主要基本功能。在 ARC/INFO 系统中, ARC 是系统的主要程序环境, INFO 是一个完全的关系数据库管理程序, 它管理着与地图覆盖中的地理特征相联系的表格数据。ARC/INFO 随时与作为 INFO 数据文件而被存贮起来, 地图特征属性表相联系并更新它们^[7]。

在天津市东郊区新立村 1985 年与 1987 年的土地利用动态变化研究中, 利用 ARC/INFO 的拓扑叠加功能进行了两个年份的土地利用图更新及分析试验。首先利用 1985 年

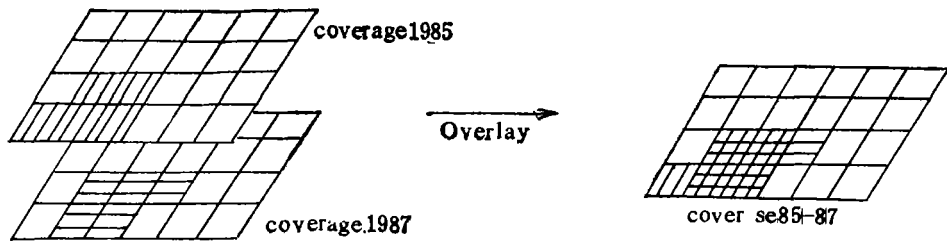


图 7 图形覆盖原理

Fig. 7 Figure Overlay principle chart

和 1987 年拍摄的彩色红外航空像片,以 1:10000 正射影像图作为基础底图,按国家统一的第一级土地利用分类系统,编制出两个年份的土地利用图。然后,进行数字化,产生两个覆盖文件,通过将两个覆盖文件的特征相叠加,这样每个层的特征相交后就会产生新的输出特征,两个层的每一个输入特征的属性组合在一起,用来描述每个新的输出特征,从而反映了土地利用动态变化的情况(图 7)。

对两个年份覆盖层文件相应坐标网格的土地单元的属性判断,是按照下式确定的规则进行叠加,来确定该网格单元是否发生变化,并记录叠加后的结果,以不同颜色的图斑表示,叠加规则:

$$\text{Overlay}(A, B, C, D)$$

式中: A ——Coverage 1985, B ——Coverage 1987, C ——事先确定的变化类型, D ——相应颜色赋值

$$\text{Overlay}(A, B, C, 1): A = C, B = C.$$

$$\text{Overlay}(A, B, C, 2): \text{not}(A = C), B = C$$

$$\text{Overlay}(A, B, C, 3): \text{not}(B = C), A = C$$

$$\text{Overlay}(-1, -, -, 4): ---$$

在叠加过程中,根据规则的四个参数,逐网格分析,例如,在一个网格单元中,设监测变化类型为水田(C),如果 1985 和 1987 年该单元的土地属性(A)和(B)都与(C)相同,则赋予黄色(1);如果 1985 年(A)单元的土地属性与(C)不同,而 1987 年的(B)与(C)相同,则赋予红色(2),依次类推。整个土地利用动态变化地图更新程序执行流程图如下图 8。

利用这种方法,可快速直观地显示 1987

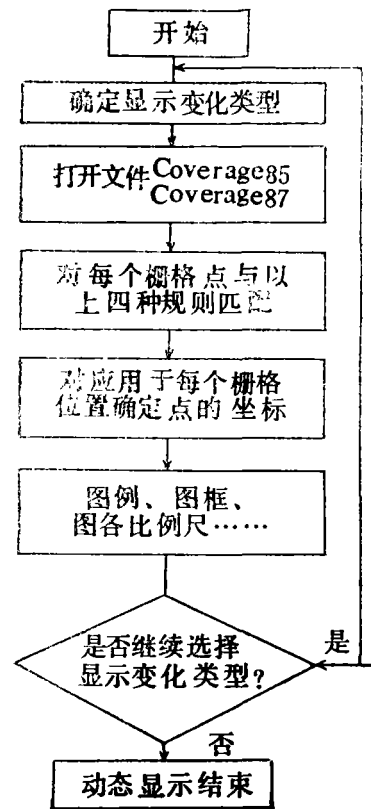


图 8 图形叠加流程图

Fig. 8 Figure Overlay flow Chart

年新立村的土地利用状况与 1985 年对比的变化,在图版 II 图 9 中红色表示该地类增加的面积,绿色表示地类减少的面积,黄色表示范围没有变化。与此同时,我们还可以快速查询并显示单要素,如城镇、菜地、水田等地类两年的动态变化。

2. 局部更新法

在地图更新试验中,当一个地区的大部分地类在一段时间内都变化的情况下,可以采用覆盖分析法,但实际上一个地区的各种地类在短周期内,相对来看,变化了的只是一小部分,其大部分是没有变化的。因此,我们一般没有必要将全部图形的坐标数据和编码数据全部更新。因为覆盖分析不可避免地要进行两次数字化。重新数字化是一件麻烦、工作量大的事,从系统角度来讲,对没有变化的同一条弧段做两次数字化将会造成图形的更新异常,即由于两次数字化采样点不完全一致而使得本来没有改变的图形却出现坐标数据的实际变化。因此,最简便的办法就是对变化了的坐标数据和编码数据进行局部更新处理。

为了实现局部更新,本试验中采用了首先圈定“变化区域”的方法,因为实际处理中,图形的坐标数据和图形的拓扑编码数据不是相互独立的,一旦某一弧段的坐标数据改变,其拓扑编码就有可能要改变,与其相关的那些弧段的拓扑编码也可能要改变。但计算机很难确切地分辨出哪些拓扑编码确实改变了,哪些可能改变而实际没有改变,采用圈定“变化区域”的方法,可以使变化了的图形与其它不变图形分隔开来,就相当于在图形上开了一个“窗口”。在窗口内有一部分弧段的坐标数据和拓扑编码数据都发生了变化,而另外一部分窗口内弧段的坐标数据或拓扑编码可能发生了变化,那些围成变化区域边界的弧段没有发生形状上的变化,它们的坐标数据也没有变化,在变化区域外侧的多边形编码也没有变化,但是,它们紧靠变化区域内侧的多边形编码可能改变了。为了简化图形更新过程,我们假定变化区内所有原弧段都发生了形状上的变化,因此,需要把变化区域内部的所有弧段都去掉,这种算法相当于先在图纸上把变化区域内部的所有原弧段都擦掉,然后把变化后的新的内部弧段描在纸上,其原理见图 10。

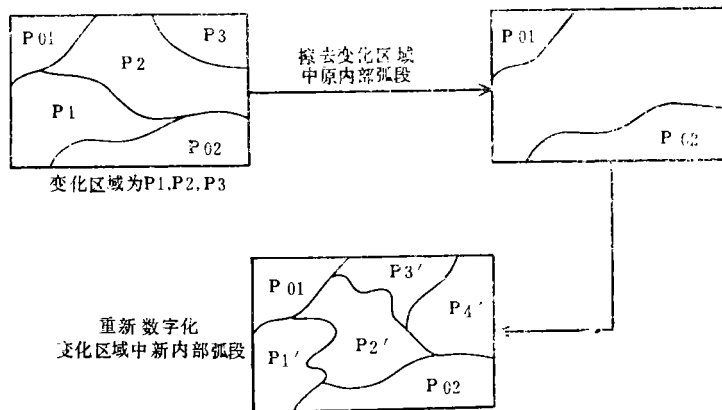


图 10 局部更新原理图

Fig. 10 Partly Updating principle chart

局部更新具体过程如下:

- (1) 用户指定变化区域的多边形编号;
- (2) 由变化区域的多边形号得到变化区域的边界弧段链和原内部弧段;
- (3) 删除所有的原内部弧段;
- (4) 重新数字化新内部弧段,将变化区域的边界弧段加上新的内部弧段组成弧段域;
- (5) 弧段域中的弧段重新拓扑编码,得到有关变化区域新的拓扑编码数据;
- (6) 将变化区域新的拓扑编码数覆盖在相应的原拓扑编码数据上,输入新的多边形属性编码¹⁾。

采用这种方法比较简单、直观、容易理解,但其主要缺点是没有很好利用坐标数据的变化与变化区域及其相应弧段的相关关系。因此,在程序设计中不得不加入数字化过程,这样就影响了程序的功能,降低了处理效率。因此在试验中,我们对变化区内变化的弧段打上更新标志,对被删除弧段注记删除标志,新添弧段注记插入标志,未变化弧段不加标志,采用接近于系统初建时图形数字化编辑和自动编码功能,从而提高了系统设计的一致性,并提高了系统的效率。

四、再生资源动态变化模型的建立

再生资源动态变化有一定的发展规律,但长期以来,由于缺乏先进的技术手段,人们不能准确地研究它们的变化并预测其发展趋势。遥感技术的快速监测和地理信息系统的多种数据源综合分析能力为再生资源动态变化的定量化研究奠定了基础,使我们有可能通过建立数学模型,研究其变化的规模、原因和影响,并预测发展趋势和最优决策方案,有关再生资源动态变化研究所需的模型涉及到变化因素的属性分析和综合特征的空间分布,参量的时间变化和空间相关等多方面的研究内容和方法。现就近几年我们所研究的有关模型作如下讨论。

1. 多变量相关分析

为了研究影响再生资源动态变化中多种要素的相互关系,一般采用多变量相关分析方法,在黄淮海水域动态变化研究中,为了研究华北地区最大淡水湖泊——白洋淀近年来变化原因。我们选择 1961 年—1984 年间 5 个年份的遥感资料(1961, 1971, 1979 年分别为航空像片, 1975 年为陆地卫星 MSS 图像, 1984 年为陆地卫星 TM 图像),并在 1:5 万地形图上将研究区划分成其网格,单元大小为 5 毫米 × 5 毫米的网格,然后将网格图及不同时间的航空像片和卫星像片,在 ZOOM 转绘仪上,逐格编码判读,完成了数据采集工作,并利用计算机自动制图系统,得到了白洋淀不同年份变化的数据。

在此基础上,我们选择了对白洋淀水面影响较大的 5 个参数进行了多变量相关矩阵分析(表 2)。这 5 个参数中, Y 为因变量,表示从遥感资料中得到的不同年份的水域面积(亩),其余为自变量, X_1 表示研究区不同年份的耕地面积(亩), X_2 为每年居民用地面

1) 周进,基于多边形的图形自动编码和局部更新方法, 1988。

积(亩), X_3 为各年份统计入淀水量(亿立方米), X_4 为相应年份统计年均降雨量, R 为相关系数。

表 2 相关矩阵分析及结果
Table 2 Result of Correlative Matrix Analysis

Y: 水面(亩)	X_1 : 耕地(亩)	X_2 : 居民地(亩)	X_3 : 入淀水量 (亿立方米)	X_4 : 年均降雨量 (毫米)
656156.0	541969.0	29813.0	7.6962	684.20
109969.0	1099313.0	42844.0	3.1449	558.20
82740.0	1163880.0	53760.0	0.9232	357.00
105563.0	1146656.0	61313.0	1.7488	779.80
10230.0	1205250.0	64380.0	0.9232	330.30
相关系数 (R)	$R \times 1$	$R \times 2$	$R \times 3$	$R \times 4$
	-0.99748	-0.85912	0.96878	0.49662

根据相关矩阵分析结果可知,本区耕地、居民点的扩大与水面面积呈负相关,而降雨量、入淀水量的多少与水面面积呈正相关,其中耕地和入淀水量的变化与水面面积相关系数分别为 0.99 和 0.97。这说明位于本区海河上游可控制山区 90% 以上面积的上千座水库,越是干旱年份,截流越厉害,致使下游来水量急剧减少。除此而外,城市工业用水的增加和农田灌溉面积扩大,也是导致河流下游枯水季节断流,洼淀干涸的重要因素。

2. 区域回归分析模型

尽管先进的遥感技术可以快速取得再生资源的动态变化数据,但是,目前能得到同一地区多年同一时相的遥感资料的地区却不多。在榆林县土地沙漠化动态遥感调查研究中,我们只取得了 1960 年该区的 1:6 万黑白航空像片和 1987 年 8 月的 1:5 万彩色红外航空像片。为了探讨流沙变化量 (ΔY) 与农业用地 (ΔX_1)、林业用地 (ΔX_2)、牧草地 (ΔX_3) 之间的定量关系,必须有若干组时间序列数据,仅仅利用一组数据是不够的,为了弥补时间序列的不足,我们采用了区域序列数据辅助时间序列数据进行分析的方法。

区域序列数据回归分析,就是把研究区域 A 划分为若干小型的区域 A_1, A_2, \dots, A_k , 其变量序列数据 (x_1, x_2, \dots, x_k) , 然后进行回归分析,建立区域回归模型:

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k$$

其中 b_0 为常数项, b_1, b_2, \dots, b_k 为偏回归系数

在榆林县芹河乡沙漠化研究中,我们按照行政村作为小区域来获取数据,这样可以得到 17 组区域序列数据,然后进行多元线性回归分析。但是,若用此模型进行整个区域预测时,常常需要进行如下变换;当 $|\Sigma(y - \hat{y})|$ 小于某个值(经常取 $2S$, S 为剩余标准差)时,用如下时间回归模型:

$$\hat{y} = N_{b0} + b_1x + b_2x + \dots + b_kx$$

作为整个区域的多元线性回归模型¹⁾。这种变换实际上是区域回归模型向时间回归模型

1) 查勇,土壤沙漠化过程的遥感试验定量研究,1989。

的转化,但先决条件是区域回归模型能真实反映 Y 与 $x_1, x_2 \cdots, x_k$ 之间的线性关系。由于不同时相,随机因素等影响,为了满足这一先决条件,最好选择同一时相资料,以使所求区域回归模型复相关系数 R 比较大。在这种情况下,我们可以认为变换后的时间回归模型与区域回归模型有大致相同的复相关系数和显著性。

通过分析发现,榆林县芹河乡 30 多年来,流沙面积减少了 5.6%,其主要影响因素是草场面积有所扩大。

五、结 束 语

资源环境动态遥感监测研究领域的研究对象,涉及到了地球的大气圈、水圈和生物圈,尤其着重于研究人类活动对资源环境造成的影响,其动态变化周期包括长周期,短周期及突发性变化。不利的动态变化给自然界和人类带来了灾害;有利的变化则可以改善生态环境,为人类造福,利用遥感技术监测资源环境的动态变化,涉及到了多平台信息获取,快速传递,图像处理,地理信息系统,快速成图,分析和决策模型的建立等多学科多种技术。目前,我们所进行的试验,仅仅是开始,距离形成资源环境动态研究领域的系统技术体系还有很长一段距离。但是,正如陈述彭教授所指出的“二十世纪信息社会中,环境科学必将面目一新。它将以多维,多平台的动态监测技术系统来获取准同步,长周期的以至全球范围的数据和资料,它将通过专家信息系统来实现综合分析,数字模拟和预测及预报”^[1]。

参 考 文 献

- [1] 陈述彭,资源开发与环境生态效应,资源与环境信息系统实验室年报 1986, 1987。
- [2] Philip H. Swain et al., Remote Sensing: The Quantitative Approach 1987。
- [3] 赵英时,吕克解,黄河三角洲水域动态的遥感研究,黄淮海平原水域动态演变遥感分析,科学出版社 1988。
- [4] G. M. Wickware, Change Detection in the Peace-Athabasca Delta Using Digital Landsat Data, Remote Sensing of Environment. Vol. 11, No. 1 1981。
- [5] Byrne, G. F. et al., Monitoring Analysis of Multispectral Data, Remote Sensing of Environment Vol. 10, No. 3, 1980。
- [6] Tung Fung and Ellsworth Lederw, Application of Principal Components Analysis to Change Detection. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing No. 12 1987。
- [7] ARC/INFO 地理信息系统,美国环境系统研究所著,国家资源与环境信息系统实验室译, 1988。

Experimental Research of Remote Sensing Analysis on Renewable Natural Resources Change Monitoring

Wang Changyao

(Institute of Remote Sensing Application, Academia Sinica)

Abstract

Global eco-environment and renewable natural resources Change very quickly, which is caused by human activity and exploitation in large scale. Monitoring of these Changes is a new research field of remote sensing application.

This paper described a experiment study of remote sensing systematic analysis on natural resource and environment Change monitoring. Main methods concern changed factor extraction through the brightness statistics, ratio and texture analysis; matching multi-temporal remote sensing data, normalized difference comparison, "brightness" and "greenness" difference analysis of principal components method by using image processing system; updating renewable natural resources changed map through overlaying or partly revising multi-temporal maps by using geographical information system; establishing mathematic model, such as: variable correlation regional regression and tendency surface analysis etc., for researching renewable natural resource change law.

Key words Renewable Natural Resource change Monitoring Remote Sensing

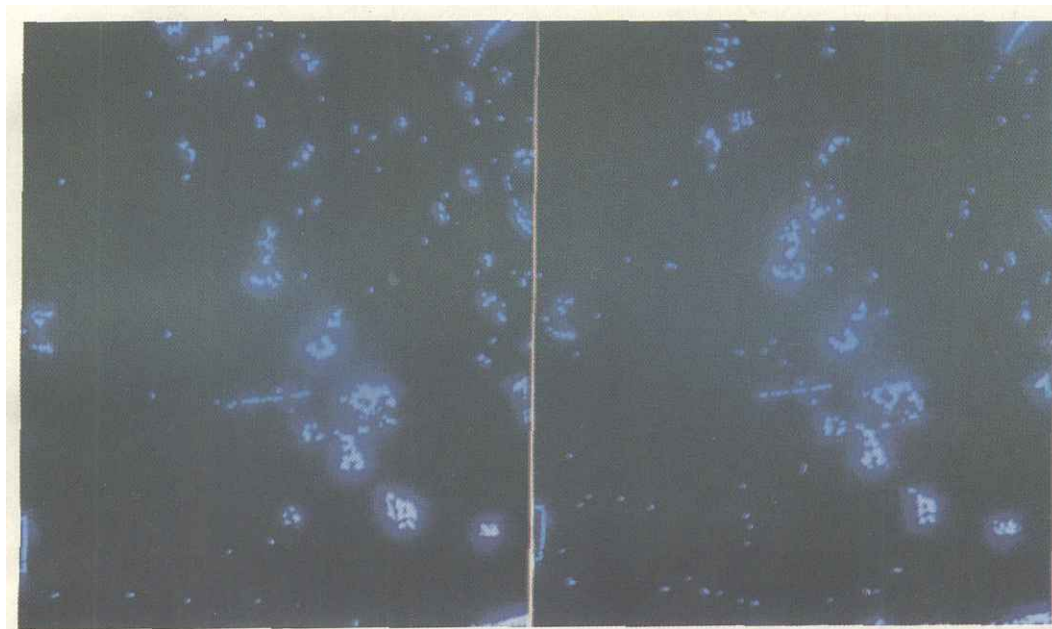


图 2 1984, 1988年北京研究区水域变化图

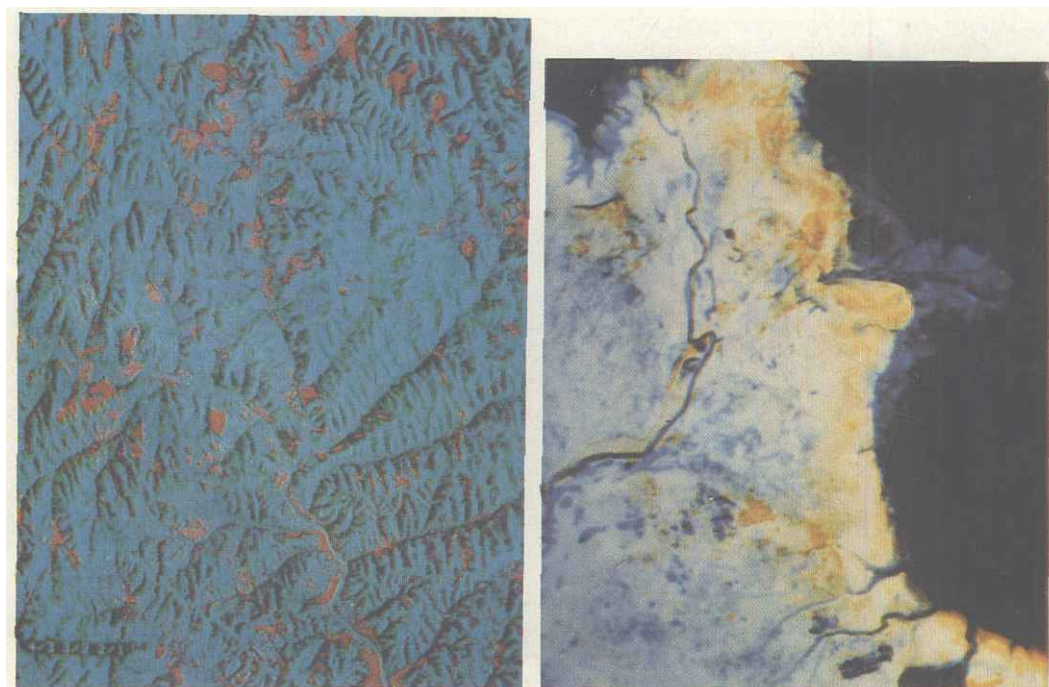


图 3 比值植被信息提取

图 4 黄河三角洲MSS复合处理

Wang Changyao : Experimental Research of Remote Sensing Analysis
on Renewable Natural Resources Change Monitoring

plate II

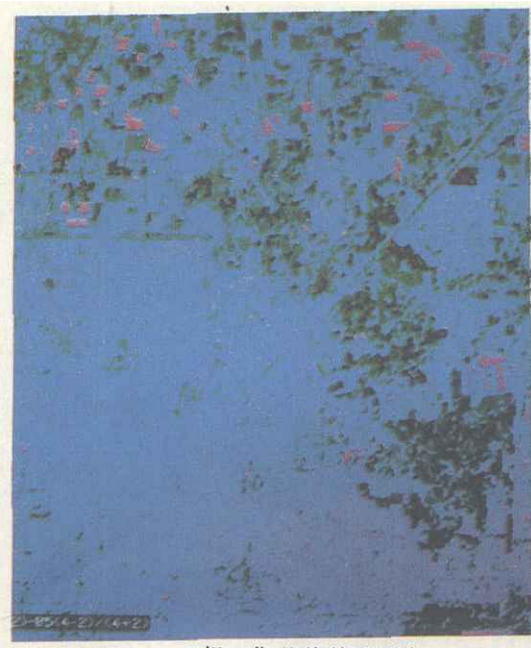


图 5 规一化差值处理图像

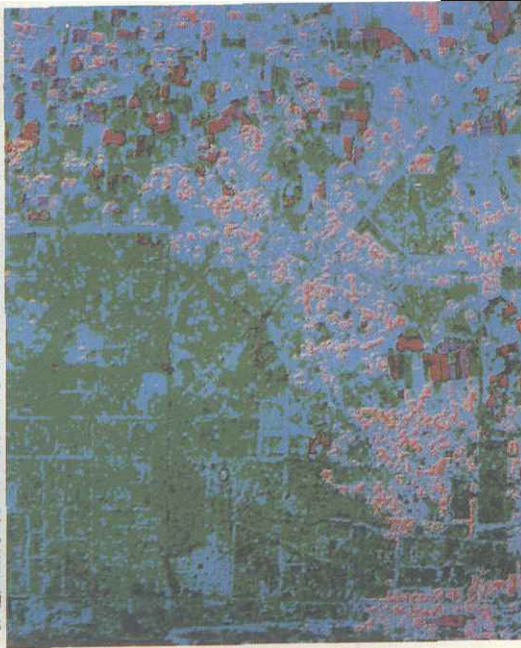


图 6 “绿度”差值处理



图 9 19 85 , 19 87 年新立村土地 利用变化图