

文章编号: 1000-3037(2001)03-0263-06

# 运用多时相直接分类法对土地利用 进行遥感动态监测的研究

周 斌<sup>1</sup>, 杨柏林<sup>2</sup>

(1. 浙江大学 农业遥感与信息技术应用研究所, 浙江 杭州 310029 2 中国科学院 地球化学研究所, 贵州 贵阳 550002)

**摘要:** 采用多时相直接分类法对贵州省(原)安顺市从 1987~1995 年间的土地利用变化状况进行了遥感动态监测。与以往方法相比, 该方法不仅可以直接获得变化类型及其数量, 而且可以避免分类后比较法所容易出现的逻辑性变化探测错误。对不同分类波段组合的试验表明, 经过差值、比值处理的前 3 种波段组合, 具有较差的分类效果(总体精度只有 30%~40%), 而那些能较好地保留原始信息的波段组合, 则具有相对较好的分类效果(总体精度超过 70%)。另外, 分类效果还明显地受到所采用的辐射校正方法的影响, 经过暗组亮组辐射校正的影像要明显比只经过简单辐射校正(直方图法)的影像具有更好的分类效果, 总体精度提高了 16.6%。该方法的应用结果表明, 研究区在 8 年间经历了一些明显的土地利用变化, 例如城镇扩展、耕地减少、菜地变迁等。

**关键词:** 遥感; 动态监测; 土地利用变化

中图分类号: F301; TP79

文献标识码: A

## 1 引 言

对土地利用变化进行监测是全球变化的一项基本内容, 它有助于解决那些广泛存在于全球生态系统的可持续性中的众多不确定性问题; 同时也是一个国家或地区得以动态、有效地管理其资源与环境问题的重要保障。从人造地球卫星上获取遥感数据的主要用途之一就是变化探测, 因为它能在短期内进行重复成像并提供一致的图像质量<sup>[1]</sup>。而事实上, 科学技术发展到现在也只有空间对地观测技术才能提供全球性、重复性、连续的地球表面数据库<sup>[2]</sup>。

所谓遥感变化探测是指通过不同时期的遥感观测资料来辨识某一物体或现象的状态发生的差异<sup>[3]</sup>。早期的遥感变化探测主要是通过人工解译、评价大比例尺航片来进行, 但这种目视比较法被公认为是低效率的、令人疲惫的和有遗漏错误的。随着数字化多光谱遥感数据的出现以及图像数字处理技术的发展, 通过计算机来对多时相遥感数据组进行自动对照和比较, 并将变化及其空间位置自动显示给解译者的数字变化探测技术应运而生, 从而为遥感技术在资源环境动态监测中的高效、准确运作提供了技术支持。

## 2 遥感数字变化探测技术

已提出的遥感数字变化探测方法基本上可以归结为两大类: 一种是分类后比较法(Postclassification Comparison Method), 另一种是逐像元比较法(Pixel to Pixel Comparison Method), 或者叫分类前变化探测法(Preclassification Change Detection Method)和增强法等<sup>[4~5]</sup>。其中, 逐像元比较法一般能较为灵敏地探测出已经发生变化的像元。但遗憾的是, 它不能同时获得具体的土地利用的变化类型信息。分类后比较法

收稿日期: 2000-07-17; 修订日期: 2000-10-27。

第一作者简介: 周 斌(1972-), 男, 河南省平顶山市人, 1999 年获博士学位, 同年进入浙江大学资源科学系进行博士后研究工作, 研究方向为遥感与信息系统应用。

尽管能获得详细的土地利用转变矩阵,但这一方法明显受到单独分类所带来的误差的影响,从而会不可避免地夸大变化的程度。事实上,运用分类后比较法往往还会陷入一种令人尴尬的局面——即会探测出一些不合乎逻辑的土地利用变化类型,如居民地变水体和居民地变旱地等<sup>[6]</sup>。

鉴于上述两类变化探测方法均存在不尽如人意的地方,一些研究者使用了将二者进行结合的折衷方法。如 Pilon 等<sup>[7]</sup>提出了一种改善的分类方法,他们先利用逐像元比较法来过滤掉那些没有发生变化的像元,然后再对发生变化的像元采取分类后比较法来获取变化的类别信息。Yuan 和 Elvidge<sup>[8]</sup>在对美国华盛顿特区的土地覆盖变化监测研究中分别使用了逐像元比较法和分类后比较法,然后再进行交叉验证,只有这两种方法均指示变化,才输出“变化”及其类型,否则,输出“无变化”。可以看出,这些折衷方法仍未消除分类后比较法所带来的缺点。

### 3 多时相直接分类法的提出

为了获得具体的土地利用变化类型信息,对遥感影像数据进行分类应当是必不可少的一步。但问题在于,分类后比较法所使用的多次单独分类,一方面难以获得一致的分类标准,另一方面其每一次分类的误差将会在随后的空间比较过程中被进一步放大,这也就是该方法会夸大变化程度的主要原因。因此,为了避免这种夸大变化的现象,本研究使用了一种对强制性组合后的多时相遥感数据进行分类的方法——多时相直接分类法,以改善遥感土地利用的动态监测效果。

具体思路是先将多时相遥感数据组合成一幅单一图像,然后再对该包含了多时相信息的图像进行监督分类,以减少夸大变化的程度,获取较为准确可靠的变化探测结果。下面就以贵州省(原)安顺市为例来具体描述该方法的应用过程。

## 4 多时相直接分类法的应用

### 4.1 研究区概况

贵州省(原)安顺市<sup>①</sup>位于贵州省中西部苗岭西段,是安顺地区行署、安顺市县机关所在地,面积 208.86 km<sup>2</sup>,人口 20 余万。1985 年 2 月经国务院批准,列为全国甲类旅游开放城市,现已发展成为滇黔交通线上的旅游和工商业重镇。耕地面积比重大,垦殖指数高,城乡建设用地和难用地比重大是研究区土地利用类型上的一个特点。长期以来,由于人口增加,垦殖过度,宜农后备土地资源相对不足。另一方面,快速的城乡基本建设占用大量良田好土,从而形成人口增长—城镇扩展—耕地退减的尖锐矛盾。尤其是随着安顺市经济技术开发区(规划面积达 40km<sup>2</sup>,占研究区总面积的近 1/5)等大型项目的建设,又有大量的耕地演变成工矿用地和居民用地,从而形成一种锐不可当的土地利用剧变趋势。因此,快速、定量地获取研究区有关的土地资源环境动态变化信息,就显得尤为重要。

### 4.2 遥感数据源和图像处理软件

本研究所使用的两景遥感影像数据资料是美国 Landsat-5 卫星的 TM 影像数字产品,成像时间分别为 1987-02-17 和 1995-11-15,轨道号为 127/42。由于 TM 6 的空间分辨率较粗,因此本研究未使用这一波段。使用的遥感图像处理软件是由澳大利亚 Earth Resource Mapping Pty Ltd. 公司提供的工作站版的 ER Mapper(5.1)图像处理系统。该软件是专为处理地球科学数据而设计的,具有较好的用户界面和可操作性,是目前较为先进的图像处理系统之一。

### 4.3 遥感图像的预处理

当使用多时相遥感影像研究土地利用变化时,为了提高探测精度,避免“外源差异”的混入,必须对遥感影像进行一些预处理,如几何校正、辐射校正等。

#### 4.3.1 几何校正

采用基于二次多项式的坐标拟合,并运用最邻近法进行灰度值的重采样。两景影像的几何均方差(RMS)也被严格控制在 0.3 个像元以内。

①(原)安顺市、县现已合并,统称为安顺市,以下(原)安顺市均简称为安顺市。

#### 4.3.2 辐射校正

采用 Hall 等<sup>[9]</sup>提出的“暗组(dark set)—亮组(bright set)法”对两景 TM 影像进行了辐射校正。该方法在经过 KT 变换后得到的绿度—亮度分布图上,选取非植被区的亮端和暗端来作为辐射控制像元集合,并通过计算每一景影像中该控制集合像元的原始灰度统计值来构造二个影像间的线性变换函数。由于是一种“非固定像元”的相对校正方法,因此,它可以避免以往一般采用“固定像元”进行相对辐射校正时所遇到的问题,例如,难以选择参考像元以及参考像元的光谱反射率会发生变化等。

#### 4.3.3 多时相遥感数据的组合

经过上述预处理之后,就可以进行多时相遥感数据的组合了。对于研究区两景遥感影像,可以用下列矢量方式来加以描述:

$$TM_{87} = [x_{87-1}, x_{87-2}, x_{87-3}, x_{87-4}, x_{87-5}, x_{87-7}]$$

$$TM_{95} = [x_{95-1}, x_{95-2}, x_{95-3}, x_{95-4}, x_{95-5}, x_{95-7}]$$

式中,  $x_{87-i}$  是指 1987 年 TM 影像的第  $i$  波段的亮度值,其余类推。

将这两个矢量组合成一个新的矢量  $TM_{87+95}$ :

$$TM_{87+95} = [x_{87-1}, x_{87-2}, x_{87-3}, x_{87-4}, x_{87-5}, x_{87-7}, x_{95-1}, x_{95-2}, x_{95-3}, x_{95-4}, x_{95-5}, x_{95-7}]$$

这样,  $TM_{87+95}$  就成为一个具有 12 个波段、包含多时相信息的新图像。

### 4.4 对组合图像的分类

对单一时相的遥感图像进行监督分类的前提是需要事先了解有关地面覆盖物的类别属性,并通过在一些已知的地物类别特征区选择训练区域,并对分类判别函数进行训练,从而使遥感图像能够按照指定的类别进行分类。对于多时相的组合遥感图像而言,仅仅知道上述“静态”类别信息是不够的,还需要对研究区的地面覆盖变化类别——也即“动态”类别有先验知识。获取先验知识的理想方式应当是对与卫星遥感资料大致同期的多时相航空相片进行目视判读,但由于研究区自 1984 年以来一直未再进行航摄,因此,本研究采用了非监督分类与多时相 TM 影像目视判读相结合的方式来获取研究区有关的土地利用变化信息。

#### 4.4.1 先验知识的获取

对组合图像进行非监督分类以获取研究区利用变化的光谱类别。本研究使用的非监督分类法是遥感图像处理系统——ER Mapper 中所带的改进的聚类法——ISODATA。通过非监督分类,最终得到了 30 个符合要求的光谱类别。但这些光谱类别只是按各光谱波段的空间分布特征被加以区分的“点群”,其对应于地面实际的利用变化状况的意义尚未明确,这就需要对各个光谱类别的属性加以确定。

确定光谱类别属性的程序如下:在计算机屏幕上同时显示非监督分类图像、1987 年和 1995 年的 TM 假彩色合成影像图,以及数字化并经过定位的研究区 1/5 万土地利用现状图。利用 ER Mapper 软件中提供窗体地理联接功能将上述所有图像进行联接,使其能够显示完全相同的地理区域,之后按照顺序采用分层显示的方法来依次单独显示每一种光谱类别,再结合两个时相的遥感影像图和土地利用图来判断该光谱类别实际的地面覆盖含义。举例而言,非监督分类结果中,有一种光谱类别主要集中分布在安顺市城区的西部,结合土地利用现状图,判断出在 1987 年的遥感影像图上该地区分布的是安顺市的西郊菜地,而在 1995 年的遥感影像图上却明显变成了新建成的市区。由此,可以明确地判断出该光谱类别代表了菜地向建设用地的转变。依此类推,就可以对 30 个非监督光谱类别进行一一识别并确定其地面属性。

#### 4.4.2 光谱训练区和检验区的划定

根据非监督分类结果,采用对多时相 TM 影像图进行目视评判,并参考土地利用现状图和野外实地调查资料的方法,对各种类别的训练区进行了划定。共划定了 180 个训练区,像元数达 7 523 个。为了在以后能便于对分类结果进行定点检验,将这 180 个训练区分成两部分,其中一部分(像元数为 4 401 个)作为光谱训练区用于指导监督分类,另一部分(像元数为 3 122 个)则作为检验区用于对分类结果的定量评价。

#### 4.4.3 几种不同分类波段组合

为了能有所比较,本研究共使用了 6 种不同的波段组合来进行监督分类。这几种波段组合均是在遥感变化监测研究中经常被使用到的。

(1)差值波段 分波段、逐像元地用经过辐射校正的 1995 年灰度值减去 1987 年的灰度值,得到 6 个差值波段。

(2)比值波段 分波段、逐像元地用经过辐射校正的 1995 年灰度值除以 1987 年的灰度值,得到 6 个比值波段。

(3)KT 组分差值波段 对两景 TM 数据做 KT 变换,分别得到 1987 年和 1995 年的 KT 组分波段:亮度组分—— $B_{87}$ 和  $B_{95}$ ; 绿色组分—— $G_{87}$ 和  $G_{95}$ ; 湿度组分—— $W_{87}$ 和  $W_{95}$ 。然后按组分进行相减,得到 3 个差值波段:  $\Delta B (=B_{95}-B_{87})$ 、 $\Delta G (=G_{95}-G_{87})$ 和  $\Delta W (=W_{95}-W_{87})$ 。

(4)TM 波段-1(经过简单辐射校正) 即采用直方图法对原始影像进行简单辐射校正,列出此方法的目的主要是为了与本研究中所采用的暗组亮组校正法加以比较。将两景 TM 图像数据经过直方图法校正后加以组合,可以得到一个具有 12 波段的新图像。

(5)TM 波段-2(经过暗组亮组辐射校正) 该波段组合的程序详见 4.3 节。

(6)PCA 组分波段 对 TM 波段-2 的组合图像进行 PCA 分析,得到了 12 个 PC 组分。通过对各 PC 组分进行分析发现,前两个组分(PC1 和 PC2)代表了未发生变化的稳定组分; PC3~PC6 则表示了在亮度和绿色方面的差异信息,它们可被归结为变化组分;而最后 6 个 PC 组分所含信息量极少,只代表了一些随机变化。因此,我们只选择了前 6 个 PC 组分作为分类数据,从统计特征表中可以发现,这 6 个组分已经包含了原始图像信息量的 99.05%。

#### 4.4.4 监督分类

利用相同的训练区,分别对上述 6 种波段组进行最大似然分类,得到相对应的 6 个分类图像。分类结束后,对一些代表相同的土地利用及其变化类型的光谱类别进行了归类合并,最终确定了 21 种土地利用及其变化类型。未变化类型:草地、菜地、水田、水域、林地、旱地、城乡建设用地和未利用地;变化类型:林地变建设用地、水田变建设用地、水田变菜地、旱地变建设用地、旱地变未利用地、旱地变草地、菜地变建设用地、草地变旱地、未利用地变草地、草地变未利用地、未利用地变旱地、草地变林地和未利用地变水域。

#### 4.5 分类结果比较

表 1 各种分类方法的精度评价结果

Table 1 The results of accuracy assessment of different classification methods

	差值 (6波段)	比值 (6波段)	KT 差值 (3波段)	TM 波段-1 (12波段)	TM 波段-2 (12波段)	PCA (前6个组分)
总体精度(%)	36.1	31.3	30.5	59.0	75.6	73.1
Kappa 值	0.336	0.286	0.277	0.571	0.735	0.711

运用选择好的验证区分别对上述 6 种分类结果进行验证,得出了各自的混淆矩阵。根据这些混淆矩阵,分别计算出每一种分类结果的总体精度、Kappa 值(表 1)。

从表 1 中可以发现,前 3 种波段组合具有较差的分类精度,说明经过差值和比值处理后丢失了较多的原始信息,从而限制了分类的准确性。后 3 个波段组具有相对较高的分类精度,其中,经过暗组亮组辐射校正的数据又要显著好于仅仅经过简单辐射校正的数据,表明本次研究中所采用的暗组亮组辐射校正方法尽管在程序上比以往广泛采用的简单辐射校正法要复杂些,但在分类精度上有了较为显著的提高(总体精度增加了 16.6%)。另外,PCA 前 6 个组分虽然与 TM 波段-2 的 12 个波段组合具有大致相当的分类效果(只差 2.5%),但由于它涉及到附加的 PCA 分析,而且还要对其每个 PC 组分的含义进行探察,因此显得较为烦琐。

在所有的波段组合中, TM 波段-2 的分类精度是最高的,达到了 75.6%。从单时相遥感影像的分类来讲,这种分类精度只相当于中等水平。但若从多时相图像的角度来看,这一精度则相当于在采用分类后比较法时,每一景图像的平均分类精度需达到 86.9%的水平<sup>②</sup>,而这种分类精度,特别是在山区,其实已经是比较好的了。另外,与单一图像的数种静态分类类别相比,本次多时相分类时产生的动态变化类别多达 21 类,由此造成的相互之间的混分现象也就不可避免地更为复杂,从而导致分类精度的降低。最后,本次研究中由

②因为在分类后比较法中,最终得到的变化探测结果的精度相当于每一景影像单独分类时各自精度的乘积。

于缺乏研究区同期的多时相航空相片作为参考,只能采用目视判读 TM 假彩色合成影像并结合参考 1/5 万土地利用现状图的方式进行训练区和验证区的划定,而 TM 较粗的地面分辨率和土地利用现状图中的误差都有可能致训练区和验证区中错误像元的混入,从而在一定程度上也影响了分类效果。

#### 4.6 研究区的土地利用变化

根据分类结果,可以发现研究区在 1987~1995 年间经历了明显的土地利用动态变化,主要有城镇扩展、耕地减少、菜地变迁以及林、草、裸岩的变化等。

(1)城镇扩展 8 年间,研究区发生了极为显著的城市扩张,城镇面积增加了近 750hm<sup>2</sup>,这些新增的城乡建设用地主要来源于菜地、水田、旱地和林地。

(2)耕地减少 研究区的耕地(含水田和旱地)面积减少了 528.6hm<sup>2</sup>。除了被侵占作为建设用地外,研究区的耕地还经历了其它一些转变,如水田变菜地、旱地与草地以及旱地与未利用地之间的转化。

(3)菜地变迁 研究区的菜地发生了显著的空间位置变迁。安顺市的西扩,使得原来的西郊菜地被大量侵占。但由于蔬菜供应对一个城市而言具有至关重要的作用,因此,安顺市的东郊菜地得到了更大程度的发展,使 1995 年的菜地面积又增加了近 300hm<sup>2</sup>,但这些新开辟的菜地基本上是占用了原先的水田。

(4)林地、草地与未利用地的变化 总体趋势是林草地面积的增加和未利用地面积的减少。其变化类型主要包括草地变林地、草地与未利用地之间的转化。

(5)水域变化 研究区近些年来并未建设新的水库,本次所监测到的水域面积变化多是由于蓄水水位的升高,而致使库体周围的一些滩涂重新为水体所覆盖。

## 5 结 论

鉴于以往动态监测方法存在一些缺陷,本次研究中使用了对组合图像进行交互式监督分类的多时相直接分类方法。这种方法不仅可以直接获得变化类型及其数量,而且可以避免分类后比较法对变化结果的夸大。该方法的不足在于需要通过非监督分类以及人工参与来确定研究区已经发生的土地利用变化种类,而这是较为繁琐的,有时甚至不得不反复比较,才能最终加以确定。

对不同分类波段组合的试验表明,经过差值、比值处理的前 3 种波段组合,具有较差的分类效果;而那些能较好地保留原始信息的波段组合(如原始波段和 PCA 组分波段),则具有相对较好的分类效果。研究还表明,经过暗阻亮组辐射校正的原始波段组合要明显比只经过简单辐射校正(直方图法)的原始波段组合具有更好的分类效果。

本次遥感动态监测研究显示,研究区在 1987~1995 年间经历了一些明显的土地利用变化,例如城镇扩展、耕地减少、菜地变迁等。城镇的扩张主要表现为安顺市区的向外扩展(特别是西扩)和安顺市经济技术开发区的建设,从而侵占了不少菜地、水田和旱地。由于城市扩张和撂荒等原因,研究区的耕地数量减少了约 5%。研究区的菜地在这些年间发生了相对最大的变化,安顺市区的西扩使得原先的西郊菜地被大量侵占。但与此同时,其东郊菜地却通过占用水田而增加了更多的面积。林草地有所增加,而以裸岩为主的未利用地面积有所减少,表明研究区的生态环境保护工作已经取得了一定的效果。

## 参考文献:

- [1] Ingram K, Knapp E, Robinson J W. Change detection technique development for improved urbanized area delineation[A]. Technical Memorandum CSC/TM-81 6087[C]. Computer Sciences Corporation, Silver Springs, Maryland, U. S. A., 1981.
- [2] 郭华东, 杨崇俊. 建设国家对地观测体系, 构筑“数字地球”[J]. 遥感学报, 1999, 3(2): 90~93.
- [3] Singh A. Digital change detection techniques using remotely sensed data [J]. *Int. J. Remote Sens.*, 1989, 10(6): 989~1003.
- [4] Nelson R F. Detecting forest canopy change due to insect activity using Landsat MSS [J]. *Photogramm. Eng. Remote Sens* 1983, 49: 1303~1314.
- [5] Yuan D, Elvidge C D, Lunetta R S. Survey of multispectral methods for land cover change analysis[A]. Lur-

- netta S, Elvidge C D. Remote Sensing Change Detection: Environmental Monitoring Methods and Applications [C]. Ann Arbor (Michigan): Ann Arbor Press, 1998. 21~40.
- [6] 莫源富, 周立新. TM 数据在土地利用动态监测中的应用[J]. 国土资源遥感, 2000 (2): 13~17.
- [7] Pilon P G, Howarth P J, Bullock R A. An enhanced classification approach to change detection in semiarid environment[J]. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 1988, 54:1709~1716.
- [8] Yuan D, Elvidge C D. NALC Land Cover Change Detection Pilot Study: Washington D. C. Area Experiments [J]. *Remote Sens. Environ.*, 1998, 66:166~178.
- [9] Hall F G, Strebel D E, Nickeson J E, Goetz S J. Radiometric rectification: toward a common radiometric response among multitemporal multisensor images[J]. *Remote Sens. Environ.*, 1991, 35:11~27.

## The research on land use change detection by using direct classification of stacked multitemporal TM images

ZHOU Bin<sup>1</sup> YANG bai-lin<sup>2</sup>

(1. Institute of Agricultural Remote Sensing and Information System Application, Zhejiang University, Hangzhou 310029 China; 2. Institute of Geochemistry, CAS, Guiyang 550002 China)

**Abstract:** The land use changes in Anshun City, Guizhou Province from 1987 to 1995 were detected by using direct classification of stacked multitemporal TM images. Compared with other methods, such as postclassification comparison and pixel to pixel comparison methods, the change detection algorithm used herein can not only bypass the illogical error, but also obtain the “from-to” information directly. The results showed the difference or ratio bands had poor classification accuracy (overall accuracy equal approximately to 30%~40%), while those bands could well-inherited the original ones achieved better accuracy (overall accuracy >70%). In addition, the different radiometric rectification methods could affect the accuracy of change detection to a large degree, the preliminary research indicated that the dark set-bright set method might improve the accuracy by 16.6% in comparison with the histogram algorithm. Also, our results indicated that the study area had experienced some notable land use changes during 8 years, such as urban expansion, cultivated land encroachment and spatial change of vegetable land.

**Key words:** remote sensing; change detection; land use change