

文章编号: 1007-4619 (2001) 05-0346-07

基于变化向量分析(CVA)的土地利用/ 覆盖变化动态监测(II) ——变化类型的确定方法

陈 晋, 何春阳, 卓 莉

(北京师范大学 环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 资源科学研究所, 北京 100875)

摘 要: 以光谱直接比较为基础的变化向量分析法是一种非常有效的土地利用/覆盖变化动态监测方法,在双窗口变步长阈值搜寻方法确定变化和非变化像元的基础上,提出了参考图像分类并结合变化向量方向余弦最小距离分类的变化类型确定方法,同时应用该方法在北京市海淀区进行了实验研究,得到了较为理想的结果。变化类型的判断精度达到70%以上,显示了新方法的优越性和技术可行性。

关键词: 土地利用/覆盖变化; 变化类型判断; 变化向量方向余弦; 最小距离分类

中图分类号: TP751.1 **文献标识码:** A

1 引 言

土地利用/覆盖变化研究是当前全球环境变化研究中的一个重要领域,而监测和测量土地利用变化过程则是进一步分析土地利用/覆盖变化机制并模拟和评价其不同尺度下生态环境影响所不可缺少的基础^[1,2]。由于遥感技术提供的丰富数据源使得廉价有效地获取土地利用/覆盖变化信息成为了可能,因此,最近20多年,发展建立在遥感数据基础上的土地利用/覆盖变化动态监测方法得到了日益广泛的重视,并且已经形成和发展了许多基于遥感影像数据的动态监测方法^[3-6]。这些方法通常可以概括为两大类基本方法:一是建立在不同时相数据光谱分类基础上的方法;二是建立在不同时相数据间像元光谱变化直接比较基础上方法^[3-6]。在像元光谱变化直接比较的动态监测方法中,变化向量分析法由于不仅可以避免分类后比较法多次分类费时费力,误差累积并出现不合理变化类型(如城市变为水田)的缺陷,而且与其它像元光谱直接比较方法相比,可以利用较多甚至全部的波段来探测变化像元,并提供变化像元的类型信息,因而具有自身独特的优越性,这已经在已有的研究中得到了充分证实^[7-10]。最近,变化向量分析也被选择用来生产基于

MODIS数据的全球1 km²土地覆盖数据产品^[11]。

但是,与其它以光谱比较为基础的动态监测方法一样,变化向量分析方法也存在着一定的缺陷,从而限制了其在当前土地利用/覆盖变化动态监测中的广泛应用。这些缺陷主要表现在:

(1) 对使用的遥感数据质量要求较高。由于变化向量分析方法是建立在像元光谱直接比较基础上的,因而进行严格的图像辐射校正,减少不同大气条件、太阳高度角、土壤水分和植被季相差异等干扰因素造成的影响,比光谱分类方法更为重要和关键。但是,目前对各种干扰(尤其是植被季相)导致的辐射差异的校正方法仍不成熟,常常只能通过选择同一传感器、同一时相的数据来最大可能的减小“干扰噪声”。这种对数据和预处理的过高要求极大地限制了变化向量分析方法的广泛使用。

(2) 缺乏自动或半自动的方法来有效的确定变化和非变化像元之间的变化强度阈值。尽管变化和非变化像元之间的最优阈值确定被公认为是变化向量分析方法中的最关键问题和挑战^[5,6,12,13],但在目前的研究中,仍然主要通过经验或手工反复调试来确定变化强度阈值^[14]。这种对主观经验和调试时间的依赖,常常导致了变化探测结果的不可靠性。

(3) 缺乏有效的变化类型识别方法。现有研究中对变化类型的判定基本上归纳为3种方法:①

收稿日期: 2000-07-24; 修订日期: 2001-03-23

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(39899374)及教育部高等学校重点实验室访问学者基金资助。

作者简介: 陈晋(1967—),男,四川西昌人,副教授,博士,主要从事遥感、GIS及城市灾害研究,已发表文章10余篇。

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

二维向量空间的三角函数法^[15]; ② 高于二维空间的波段符号组合法^[8]; ③多时相空间的主成分分析法^[16]。在众多的研究应用中, 变化类型的识别主要通过每个计算波段的“+”“-”符号组合(+ 代表增加, - 代表减少) 结合目视解译进行^[6, 7, 10, 14]。但当应用这种常规的符号组合方法判断变化类型时, 常常出现以下两个问题: 一是当计算波段数为 n 时, 组合法只能表示 2^n 种符号^[16]。如果某一区域中有 m 种土地利用/ 覆盖类型并且各种土地利用/ 覆盖变化都可能发生, 那么该区域土地利用/ 覆盖变化类型的总数就是 $m \times (m - 1)$, 因此, 很有可能出现一种符号代表多种土地利用/ 覆盖变化类型的情况, 从而导致对变化类型的错误判断。二是随着计算波段的增加, 符号组合将呈几何级数增加, 变化类型判断变得十分困难。

由此可见, 发挥变化向量分析方法的优点, 改进其缺陷, 使之更好的应用于当前的土地利用/ 覆盖变化测量, 无疑具有重要的理论和实践意义。由于利用变化向量分析方法进行成功土地利用/ 覆盖测量的关键在于克服其第二和第三个缺陷, 寻找合理有效的变化像元提取方法和变化类型确定方法。因此, 我们在前一篇文章中提出了一种叫双窗口变步长搜寻的半自动阈值确定新方法, 来合理有效的确定变化强度阈值, 提取变化像元, 取得了较为满意的结果^[17]。在此基础上, 进一步探讨了变化像元的类型确定问题。首先提出了一种参考图像分类并结合变化向量方向余弦最小距离分类的变化类型确定新方法, 然后应用该方法在北京市海淀区进行了实验研究, 对利用双窗口变步长搜寻提取出来的变化像元进行了类型确定, 取得了较为满意的结果。

2 变化类型确定方法

变化向量是描述从时相 1 到时相 2 某像元光谱变化大小和方向的向量^[13]。设某像元 i 在时相 t_1 , t_2 图像上的灰级向量分别为 $G_i = (g_{i1}, g_{i2}, \dots, g_{ik})^T$ 和 $H_i = (h_{i1}, h_{i2}, \dots, h_{ik})^T$, k 代表波段, 取值为 1, 2, $\dots, m$, 则该像元的光谱(亮度) 变化向量定义为:

$$\Delta T_i = G_i - H_i = \begin{bmatrix} \Delta t_{i1} \\ \Delta t_{i2} \\ \vdots \\ \Delta t_{ik} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{i1} - h_{i1} \\ g_{i2} - h_{i2} \\ \vdots \\ g_{ik} - h_{ik} \end{bmatrix} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

变化向量 ΔT_i 的模代表了两幅图像变化的强度, 其值越大, 变化发生的可能性越大。因此可以通过设定阈值检测变化和非变化像元。而变化的类型则可由 ΔT_i 的方向确定。

尽管在目前的变化向量分析研究中没有得到足够的重视, 变化类型的判定也和变化像元阈值的确定一样非常关键。Warren B. Cohen 和 Maria Fiorella 等人探讨了三维或多维空间中用其它角度测量方法确定变化向量方向的可能性, 同时注意到了参考图像在类型判断中的重要性^[18]。本文在此提出一种参考图像分类结合变化向量方向余弦最小距离分类的变化类型确定的新方法。

一般的, 在多维向量空间中, 向量的方向可以通过向量的一系列余弦函数定义, 这叫作方向余弦。因此, 包含了变化类型信息的变化向量方向也可以通过向量和每一个光谱轴之间的方向余弦函数定义。根据这个含义, 由表示向量方向的多个方向余弦可以将变化向量的方向表达为多维方向余弦空间中的唯一点, 所有变化像元都能在该多维空间中找到其对应点。假设已知该多维空间中若干特征点(类别中心点) 及其所对应的变化类型, 则可以根据各变化像元与特征点的相似性, 利用具有类别中心点的监督分类技术确定出各变化像元的变化类型。显然, 特征点及其所对应的变化类型的获取是该方法成功的关键。在对不同时相 t_1, t_2 图像进行严格辐射纠正的基础上, 可以近似认为其中一个时相各种土地利用/ 覆盖类型之间的光谱差值向量在 t_1, t_2 时期所对应的光谱变化向量具有等价性。即: 时间上的变化特征可以和空间上变化特征等价。因此, 在对参考图像进行准确土地利用/ 覆盖分类的基础上, 求取各种土地利用/ 覆盖变化类型对应的光谱差值向量在方向余弦空间上的特征点, 并以这些特征点为类别中心点, 根据各变化像元所对应的光谱变化向量与类别中心点的相似性就可以判定出各变化像元的土地利用/ 覆盖变化类型。依据上述思路, 我们提出了参考图像分类并结合光谱变化向量方向余弦最小距离分类的变化类型确定方法。具体的, 首先对参考图像进行较为准确的分类, 然后计算出其中可能土地利用/ 覆盖变化类型性的光谱差值向量并得到其对应的中心特征点; 接着计算变化向量强度, 利用第一篇文章介绍的阈值确定方法^[17], 提取出变化像元并计算出变化向量方向余弦; 最后根据时间上的变化特征可以和空间上变化特征等价的原理, 利用最小距离分类法在变化类型中心特征点提取的

基础上对变化像元进行分类,从而识别出不同时相间的各种土地利用/覆盖变化类型。该方法具体流程如图 1,下面将对相关内容给予详细介绍。

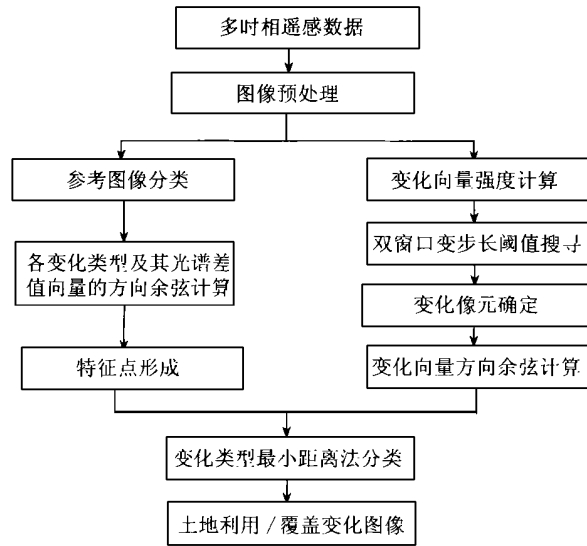


图 1 土地利用/覆盖变化类型判别流程图

Fig. 1 Flowchart of land use/cover change type determining

2.1 变化向量方向余弦的定义

设 $X(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)$ 为一包含 6 个波段 (分别与 TM 的第 1, 2, 3, 4, 5, 7 波段对应) 的光谱变化向量,其模为:

$$|X| = \sqrt{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2 + x_5^2 + x_6^2} \quad (2)$$

其它与各波段光谱亮度轴的夹角顺次为 $(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6)$, 则该向量的方向可通过方向余弦 $\cos \theta_1, \cos \theta_2, \cos \theta_3, \cos \theta_4, \cos \theta_5, \cos \theta_6$ 表示^[4]。其计算方法如下:

$$\begin{aligned} \cos \theta_1 &= \frac{x_1}{|x|}, & \cos \theta_2 &= \frac{x_2}{|x|}, & \cos \theta_3 &= \frac{x_3}{|x|}, \\ \cos \theta_4 &= \frac{x_4}{|x|}, & \cos \theta_5 &= \frac{x_5}{|x|}, & \cos \theta_6 &= \frac{x_6}{|x|}, \end{aligned} \quad (3)$$

在方向余弦构成的空间中,新的向量 $Z(\cos \theta_1, \cos \theta_2, \cos \theta_3, \cos \theta_4, \cos \theta_5, \cos \theta_6)$ 对应于该空间中唯一点。各变化像元都能在该多维空间中找到其对应点。这样就把变化类型的判断问题通过向量的方向余弦的计算转化为方向余弦空间上点的分类问题。

2.2 各变化类型及所对应特征点的提取

基于前面的分析,在方向余弦空间上,如果已知各种变化类型及其所对应的特征点(类别中心点),上述方向余弦空间上点的分类实质上是一个已知类

别特征的监督分类过程。因此,各种变化类型及其在方向余弦空间上所对应的特征点信息的获取成为解决问题的关键。在对不同时相 t_1, t_2 图像进行辐射纠正的基础上,可以近似认为其中一个时相各种土地利用/覆盖类型的光谱差值向量与 t_1, t_2 时期相应类型变化的光谱变化向量具有等价性。即:

$$\Delta W_{ij} = P_j - Q_i \Leftrightarrow \Delta T_{ij} = G_j - H_i \quad (4)$$

这里: P_j, Q_i 分别为 t_1, t_2 任一时相中 j, i 两种土地利用/覆盖类型的光谱灰级向量, ΔW_{ij} 为 j, i 类型像元灰级向量的差值向量。 G_j, H_i 分别为 t_2, t_1 时相 j, i 两种土地利用/覆盖类型的像元灰级向量, ΔT_{ij} 为 i 类型向 j 类型转化的光谱变化向量。基于这一近似,首先对参考图像进行准确的土地利用/覆盖分类,获得各种土地利用/覆盖类型所属像元的像元灰级向量,然后进行全组合运算构成各类型之间的光谱差值向量,等价于求取各类型之间相互变化的光谱变化向量。以上光谱差值向量作为随机变量,其均值代表了各类型相互转化的典型特征,该均值的方向余弦向量即为方向余弦空间上的类别中心点,而方差则表示了各转化类型所属像元的离散程度。根据随机变量的性质:若 p, g 相互独立且 $p \sim N(u_1, \sigma_1^2), g \sim N(u_2, \sigma_2^2)$ 。那么 $z = p - g$ 仍然服从正态分布,具有 $z \sim N(u_1 - u_2, \sigma_1^2 + \sigma_2^2)$ 。在遥感图像中,各种类型像元点的数据分布,通常呈多维正态分布并且其各个分量相互独立,因此各分量数据的分布也服从正态分布。由上述性质易知,各种土地利用/覆盖类型所构成的 $(p - g)$ 差值向量即亦服从正态分布,据此可以计算出其均值和方差。具体计算过程如下:

设参考图像土地利用/覆盖分类后 i, j 两类型所属像元的均值和方差分别为:

$$EX_i = (EX_{i1}, EX_{i2}, EX_{i3}, EX_{i4}, EX_{i5}, EX_{i6})^T \quad (5)$$

$$DX_i = (DX_{i1}, DX_{i2}, DX_{i3}, DX_{i4}, DX_{i5}, DX_{i6})^T \quad (6)$$

$$EX_j = (EX_{j1}, EX_{j2}, EX_{j3}, EX_{j4}, EX_{j5}, EX_{j6})^T \quad (7)$$

$$DX_j = (DX_{j1}, DX_{j2}, DX_{j3}, DX_{j4}, DX_{j5}, DX_{j6})^T \quad (8)$$

其中, $i \neq j$ 且取值范围为 $1, 2, \dots, m$ 类型,则 i, j 类型的光谱差值向量的均值和方差分别为:

$$\begin{aligned} EX_{ij} &= (EX_{j1} - EX_{i1}, EX_{j2} - EX_{i2}, EX_{j3} - EX_{i3}, \\ &EX_{j4} - EX_{i4}, EX_{j5} - EX_{i5}, EX_{j6} - EX_{i6})^T \quad (9) \end{aligned}$$

$$DX_{ij} = (DX_{i1} + DX_{j1}, DX_{i2} + DX_{j2}, DX_{i3} + DX_{j3},$$
$$DX_{i4} + DX_{j4}, DX_{i5} + DX_{j5}, DX_{i6} + DX_{j6})$$
$$(10)$$

进而, i, j 类型的光谱的差值向量的均值所对应的方向余弦通过 (11) (12) 式计算得到, 并构成方向余弦空间中的类别中心点。而标准差所对应的方向余弦则用于分类边界的控制。

$$E_0 = \left(\frac{EX_{i1} - EX_{j1}}{R_e}, \frac{EX_{i2} - EX_{j2}}{R_e}, \frac{EX_{i3} - EX_{j3}}{R_e}, \right.$$
$$\left. \frac{EX_{i4} - EX_{j4}}{R_e}, \frac{EX_{i5} - EX_{j5}}{R_e}, \frac{EX_{i6} - EX_{j6}}{R_e} \right) \quad (11)$$
$$\sigma_0 = \left(\frac{\sqrt{DX_{i1} + DX_{j1}}}{R_d}, \frac{\sqrt{DX_{i2} + DX_{j2}}}{R_d}, \frac{\sqrt{DX_{i3} + DX_{j3}}}{R_d}, \right.$$
$$\left. \frac{\sqrt{DX_{i4} + DX_{j4}}}{R_d}, \frac{\sqrt{DX_{i5} + DX_{j5}}}{R_d}, \frac{\sqrt{DX_{i6} + DX_{j6}}}{R_d} \right) \quad (12)$$

这里 $R_e = \sqrt{\sum_{k=1}^6 (EX_{jk} - EX_{ik})^2}$

$R_d = \sqrt{\sum_{k=1}^6 (DX_{jk} + DX_{ik})}$

2.3 方向余弦空间上点的最小距离分类

最小距离分类是常见的监督分类方法之一。它利用反映像元点与类别中心点之间接近程度的相似性距离进行分类, 将每个像元点划归到距离最近的类别, 或者当某个最小距离大到一定程度时将像元点划入特殊的无归属类别^[4]。考虑到该方法计算量较少, 易于理解, 而且我们已经可以从参考图像分类中得到各种土地利用/ 覆盖变化类型的类别中心点, 因此采用最小距离分类法在方向余弦空间上识别各种变化类型。具体步骤为: 首先通过 2.1 节所述的方向余弦的计算方法计算各变化像元的光谱变化向量的方向余弦向量; 然后在方向余弦空间上, 利用 2.2 节得到的各变化类型所对应的类别中心点, 采用欧氏距离表征各变化像元与类别中心点的相似性, 按距类别中心点的最小距离决定各变化像元的归属, 即土地利用/ 覆盖变化类型。

因为参考图像土地利用/ 覆盖分类可能不包括所有出现在另一时相图像内的土地利用/ 覆盖类型。因此, 这里无归属类别可能代表新的转化类型, 使用本方法目前尚不能判定无归属类别的具体土地利用/ 覆盖变化类型。为了在方向余弦空间上确定各变化像元到底属于某一具体转化类型或无归属类别, 本文使用阈值系数 t 进行调节控制。具体而言, 在

方向余弦空间上, 对于第 I 类变化分别用 $EX_{I\ k}$ 和 $\sigma_{I\ k}$ 表示其类别中心点在第 k 波段的平均值和标准差 ($k = 1, 2, \cdots, 6$), 用 X_k 表示某个变化像元点光谱变化向量所对应的方向余弦在第 k 波段的分量, 则该点归属于第 I 类变化的阈值条件是:

$$|X_k - EX_{I\ k}| < t\sigma_{I\ k} \quad (13)$$

若对 $k = 1, 2, \cdots, 6$, 都满足 (13) 式, 则将 X 归于 I 类, 否则, 将 X 归入无归属类别。阈值系数 t 应选取适当, 通过试验, 本文 t 值在 1—3 之间调整。

3 实例——海淀区土地利用/ 覆盖变化类型的确定

本工作的研究区仍然为北京市海淀区, 使用的数据是季相一致的, 质量较好, 无云, 完全覆盖研究区的编号为 123/ 32 的两期 Landsat TM 数据 (1991-05-06, 1997-05-16)。其它地面辅助资料包括: 海淀区 1991 年 1 : 10 万土地利用图、1999 年野外调查 GPS 资料和 1997-05-20 SPOT 全色图像。整个工作包括遥感图像预处理、参考图像分类及特征点求取、变化像元提取和变化类型判断 4 个步骤。

3.1 遥感图像的预处理

遥感图像的预处理主要包括几何校正、相对辐射校正和研究区提取 3 个步骤。首先以 1 : 5 万的地形图为准, 在图像指北方向旋转后, 利用二次多项式和双线性内插法对 1991 年的 TM 图像进行了 image-to-map 的几何校正, 经重新选点检验, 误差在一个像元内, 接着以校正好的 1991 年图像为基础对 1997 年图像进行了 image-to-image 的配准处理, 经检验二者的 RMS 误差小于 0.5 个像元。由于 1991 年图像质量较好并有较为详实的参考数据, 因此, 为减少不同时期大气、太阳高度角等的差异对光谱信息的干扰, 提高变化信息的检测精度, 以 1991 年图像作为标准图像, 应用 SCR (Scattergram Controlled Regression) 方法, 以一次线性回归 $Y_k = a_kX_k + b_k$ 的形式对 1997 年的遥感影像进行简易标准化^[19], 最后在纠正好的遥感影像上, 通过与海淀区行政边界图的叠加提取出研究区。

3.2 基于 1991 年 TM 图像的土地利用分类

在参考 1991 年 1 : 10 万土地利用图和 1991 年图像的非监督分类结果基础上, 将该区的土地利用类型划分为: 城镇用地、未利用地 (含: 城市开发性裸

地)、水体、水稻田、麦田、菜地、其他水浇地(麦田、菜地以外水浇地)、灌草地、林地共九大类。采用最大似然监督分类法进行了土地利用分类,并参考同期的地面资料对明显的错误进行了分类后处理,获得了研究区 1991 年土地利用/覆盖图(图版 I 图 2)。最后,通过分层随机抽样(Stratified Random Sampling)的方法布置抽样点并检验分类精度,结果表明:分类总准确率达到 89%, Kappa 指数为 0.82。

3.3 1991—1997 年土地利用变化像元提取

选用所有 TM 波段(第 6 波段除外)进行变化向量分析,计算得到了变化强度图像(图版 I 图 3),然后选择典型变化区,进行双窗口变步长搜寻,最终确定变化阈值强度为 38.9,并据此提取了海淀区 1997 年图像上的变化像图(图版 I 图 4)。

3.4 1991—1997 年土地利用变化类型判定

在 1991 年土地利用分类图的基础上,提取各土地利用类型的均值和方差,进行全组合运算构成共计 72 种变化类型,依据公式(9) — (12) 分别计算各变化类型的光谱差值向量的均值、方差及其在方向余弦空间中的对应值,上述计算结果作为方向余弦空间中类别中心点及阈值条件输入最小距离分类程序。按 1991 年土地利用的类型将 3.3 节获得的所

有变化像元进行归类,分别计算其光谱变化向量及其在方向余弦空间中的对应值,然后以此为基础进行方向余弦空间中的最小距离分类,即可判定出各变化像元的变化类型。最后将 1991 年土地利用分类图和最小距离分类结果进行叠加获得了 1997 年研究区土地利用/覆盖图(图版 I 图 5)。

4 精度检验和结果分析

考虑到利用本文方法进行土地利用/覆盖变化动态监测的最终结果主要依赖于变化像元的提取和变化的判定两个方面,为了有效地对该方法进行评估,与传统的仅仅使用一个动态监测误差矩阵的精度评估方法不同,我们进行了“变化/非变化”以及“变化类型”两个监测层次上的精度评价^[20,21]。在“变化/非变化”层次上,考虑到变化像元只占研究区的一小部分,故采用分层随机抽样方法进行检验,表 1 是在辅助信息帮助下,在 2400 个抽样点基础上得到的“变化/非变化”层次的误差矩阵,此时 Kappa 是 0.87,总精度是 96.3%。

在变化类型层次上,以 1991 年土地利用类型为基础,仅仅针对变化像元采用随机抽样方法选择检验样点进行精度评价。作为所有其它类型动态监测误差矩阵的例子,表 2 给出 1991 年小麦地转化为

表 1 “变化/非变化”层次上的精度评定
Table 1 The error matrix of ‘change/no change’ detection

实际变化					
测量变化		变化像元	非变化像元	总和	使用者准确度/ %
	变化像元	368	32	400	92
	非变化像元	57	1943	2000	97.15
	总和	425	1975	2400	
	生产者准确度/ %	86.59	98.38		

总精度=96.29%; Kappa 系数 $t=0.8698$

表 2 从 1991 年麦地转化为 1997 年其它土地利用/覆盖类型的动态监测误差矩阵
Table 2 The change detection error matrix from wheat land in 1991 to other land use/cover types in 1997

实际变化											
测量变化	1991 年	小麦地									
	1997 年	城镇用地	裸地	水域	水稻田	其它耕地	菜地	灌草地	林地	总和	
	城镇用地	13					1			14	
	裸地	2	20			1				23	
	水域			12	2					14	
	水稻田			3	20			1		24	
	其它耕地									0	
	菜地	4					11			15	
	灌草地							7		7	
	林地								1	1	
	总和	19	20	15	22	1	12	8	1	98	

总精度=85.71%; Kappa 系数=0.8264

表 3 变化类型监测的精度评价

Table 3 The accuracy assessment of ' from-to change' detection

1991 年	1997 年	抽样点数	精度/ %	Kappa 系数
城镇用地	其它土地利用类型	60	84. 56	0. 7156
裸地		160	87. 33	0. 838
水体		160	92. 86	0. 8401
水稻田		160	81. 36	0. 7796
其它农业用地		160	86. 72	0. 8108
小麦地		160	85. 71	0. 8264
菜地		160	89. 04	0. 8516
灌草地		160	92. 00	0. 8668
林地		160	85. 71	0. 7456

1997 年其它土地利用类型的动态监测误差矩阵。表 3 给出了所有土地利用变化类型在该层次上的精度评价结果。这表明本文方法确实可以有效的识别变化类型, 因为所有变化类型的 Kappa 系数都超过了 0.7。

从封四图版 图 2 和图版 图 5 中看出从 1991—1997 年, 在海淀区的土地利用/ 覆盖变化的基本特点是: (1) 城镇用地增加显著, 城镇用地的扩展主要通过占有农耕地实现, 来源于其他水浇地、水田、未利用地及菜地的像元占较大比例。同时由于开发区建设, 未利用地(主要为城市开发性裸地) 面积有增大的趋势, 尤其在城市的边缘区域。 (2) 从农业用地内部的变化看, 北部上庄地区、东北部永丰地区和西部温泉地区养鱼塘的面积增大明显, 而其他水浇地面积的减少最为显著。这是城市人口的增长及生活水平的提高诱发的农业用地内部结构的调整的结果。 (3) 在 1991—1997 年期间, 本区林业用地变化不大, 这与本区加强生态保护的政策及措施有关。

5 结论和讨论

(1) 针对变化向量分析中变化类型确定方法不完善的问题, 本文提出了参考图像分类并结合光谱变化向量方向余弦最小距离分类的变化类型确定方法, 它通过向量方向余弦的计算将变化类型的判断问题转化为方向余弦空间上点的分类问题, 依据土地利用/ 覆盖类型的光谱差值向量与光谱变化向量的等价性假设, 采用具有类别中心点的监督分类技术确定各变化像元的变化类型。

(2) 为了对本文提出的变化类型确定方法的效果进行验证, 以北京市海淀区为研究区, 使用 1991 年、1997 年 Landsat TM 数据及其他地面辅助资料进行了实验研究。结果表明使用该方法确定变化像元的变化类

型, 获得了比较理想的结果, 整体的 Kappa 系数均大于 0.7。显示了新方法的优越性和技术可行性。

(3) 由于本文提出的新方法基于土地利用/ 覆盖类型的光谱差值向量与光谱变化向量的等价性假设, 因此, 严格的辐射校正和提高参考图像分类精度是该方法成功的关键。

(4) 本文提出的新方法特别适用于具有遥感数据但地面辅助资料在部分年段缺失或不足的情况下的土地利用/ 覆盖变化监测, 而这种情况是经常出现的。

致谢 本文在研究过程中, 得到加州大学伯克利分校官鹏教授的指教, 特此致谢!

参 考 文 献 (References)

[1] Tumer II B L, David Skole, *et al.* Land-use and Land-cover Change Science/ Research Plan[R] . IGBP Report NO. 35 and I-HDP Report No. 7, 1995.

[2] William E R, William BM, Turner II B L. Modeling land use and land cover as part of global environmental change [J] . *Climatic change*, 1994, **28**: 45—64.

[3] Singh A. Digital change detection techniques using remotely-sensed data [J] . *International Journal of Remote Sensing* , 1989, **10**(6) : 989—1003.

[4] Jensen J R. Introductory Digital Image Processing, a Remote Sensing Perspective [C] . Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 2 nd ED, 1996.

[5] Ding Yuan, Christopher D. Elvidge, Ross S. Lunetta. Survey of Multispectral Methods for Land Cover Change Detection Analysis [A] . Ross S Lunetta, Christopher D. Elvidge. Remote Sensing Change Detection: Environmental Monitoring Methods and Applications[M] . Sleeping Bear Press, Inc. 1998.

[6] Johnson R D, Kasischke E S. Change vector analysis: a technique for the multispectral monitoring for land cover and condition [J] . *Intemational Journal of Remote Sensing*, 1998, **19**(3) : 411—426.

[7] Michalek J L, Luczkovich J J, Stoffle R W. Multispectral change vector analysis for monitoring coastal marine environments [J] . *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1993, **59**: 381—384.

- [8] Lambin E F, Strahler A H. Change vector analysis in multitemporal space: A tool to detect and categorize land-cover change processes using high temporal-resolution satellite data [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1994, **48**: 231—244.
- [9] Lambin E F, Strahler A H. Indicators of land-cover change for change vector analysis in multitemporal space at coarse spatial scales [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1994, **15**: 2099—2119.
- [10] Teny L S. Change Analysis in the United Arab Emirates: An Investigation of techniques [J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1999, **65**(4): 475—484.
- [11] Alan Strahler, Doug Muchoney. MODIS Land Cover Product Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) Version 5.0 [C]. Center for Remote Sensing, Boston University, Boston, MA. 1999.
- [12] Bruzzone, Lorenzo, Prieto, Diego Fernandez. Automatic analysis of the difference image for unsupervised change detection [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2000, **38**(3): 1171—1182.
- [13] Paul C Smits, Annoni, Alessandro. Toward specification-driven change detection [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2000, **38**(3): 1484—1488.
- [14] Fung T, LeDrew E. The determination of optimal threshold levels for change detection using various accuracy indices [J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1988, **54**: 1449—1454.
- [15] Malila W A. Change vector analysis: An approach for detecting forest change with Landsat [A]. Machine Processing of Remote Sensed Data Symposium [C]. Purdue University, West Lafayette, Indiana, (Ann Arbor, ERIM), 1980.
- [16] Virag L A, Colwell J E. An Improved Procedure for Analysis of Change in Thematic Mapper Image Pairs [A]. Proceedings of the Twenty-First International Symposium on Remote Sensing Environment [C]. Ann Arbor, Michigan, 1987.
- [17] Chen Jin, He Chunyang, Shi Peijun, *et al.* Land Use/ Cover Change Detection with Change Vector Analysis (CVA)-Change Magnitude Threshold Determining [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2001, **5**(4): 259-266. [陈晋, 何春阳等. 基于变化向量分析 (CVA) 的土地利用/覆盖变化动态监测 (I) [J]. 遥感学报, 2001, 4(4): 259-266]
- [18] Warren B C, Maria Fiorella. Comparison of Methods for Detecting Conifer Forest Change with Thematic Mapper Imagery [A]. Ross S Lunetta, Christopher D. Elvidge. Remote Sensing Change Detection: Environmental Monitoring Methods and Applications [C]. Sleeping Bear Press, Inc. 1999.
- [19] Christopher D E, Ding Y. Relative radiometric normalization of Landsat multispectral scanner (MSS) data using an automatic scattergram ~ controlled regression [J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1995, **61**(10): 1015—1026.
- [20] Khorram S, Biging G, Collby D, *et al.* Accuracy Assessment of Remote Sensing Derived Change Detection [J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1998, **65**, 381—384.
- [21] Gregory S, Biging, David R, *et al.* Sampling System for Change Detection Accuracy Assessment [A]. Ross S Lunetta, Christopher D. Elvidge. Remote Sensing Change Detection: Environmental Monitoring Methods and Applications [C]. Sleeping Bear Press, Inc. 1998.

Land Use/ Cover Change Detection with Change Vector Analysis (CVA): Change Type Determining

CHEN Jin, HE Chun-yang, ZHUO Li

(Institute of Resource Science, Beijing Normal University, Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster,
Ministry of Education of China, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Remote sensing provides a viable source of data from which land use/cover changes information can be extracted efficiently and cheaply. During the past two decades, there has been a growing interest in the development of change detection technique based on remote sensing data, and a number of techniques for accomplishing change detection using satellite image data have been formulated, applied, and evaluated. As a direct spectral comparison approach, change vector analysis (CVA) is an effective method for land use/cover detection. Based on the method named as Double-Windows Flexible Pace Searching for change magnitude threshold determination, which was proposed in the previous paper, the change pixels have been detected successfully from the TM image in 1991 and 1997. This paper presents new methods of determining change direction (change type) which combines single image classification and minimum distance categorizing based upon change vector direction cosine. Furthermore, This new method is applied to land use/cover change detection in the image of Haidian district of Beijing and the result is satisfactory. The overall precision rate of distinguishing change type arrives above 70%. It shows that the new method have many advantages and is practicable.

Key words: change vector analysis land use/cover; change type determining; change vector direction cosine; minimum distance categorize

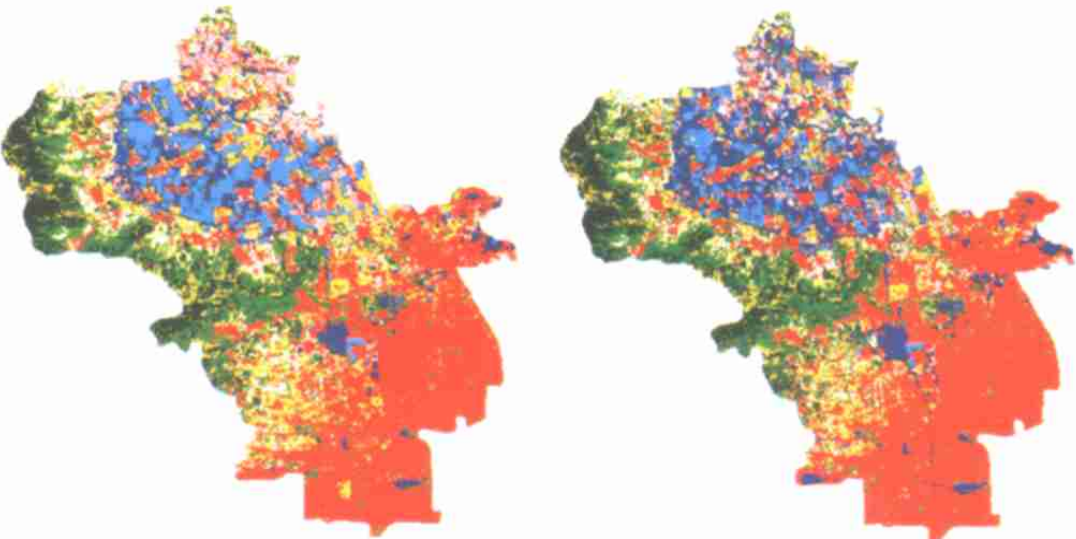


图 2 1991 年海滦区土地利用/覆盖图
(注：图中红色区域代表变化像元)

图 5 1997 年海滦区土地利用/覆盖图

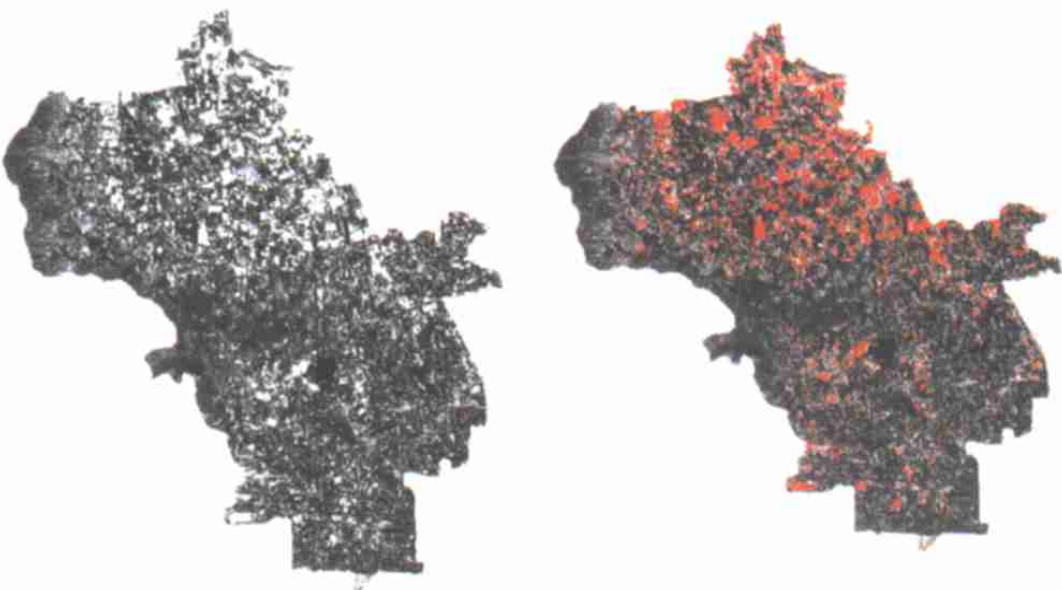


图 3 1991—1997 年变化向量强度

图 4 1991—1997 年变化像元检测图