

基于概率统计模型的遥感影像变化检测

万幼川¹ 申邵洪¹ 张景雄¹

(1 武汉大学遥感信息工程学院, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

摘要: 基于概率统计理论, 提出了一种基于 t 检验的遥感影像自动变化检测方法, 并实现了其与相关系数法的有效结合, 运用于复杂城区环境下地物类型的自动变化检测。对于高空间分辨率影像, 有效引入纹理特征, 减少了房屋阴影的影响, 对最终变化检测结果起到了明显的增强效果。实验采用不同类型的数据, 详细叙述了变化目标的提取以及本文方法的特点, 结果真实反映了实际地物的变化, 表明该方法具有很好的实用价值。

关键词: 变化检测; 遥感; t 检验; 相关系数; 纹理

中图法分类号: P237.3

遥感影像变化检测是指确定同一区域不同时间段之间状态变化的过程, 此技术的发展很大程度上取决于多时间段遥感数据对区域内所有现象的描述能力。近 20 a 来, 卫星影像和航空影像的变化检测技术取得了巨大的发展, 并且将成果应用于农业、城市建设、灾害和国家安全等诸多领域。当前的变化检测方法概括起来可以分为两大类: ① 图像增强法, 即采用一定的算法获取多时相遥感影像的增强信息, 如图像差值法、图像比值法、相关系数法、图像回归法等^[1-6], 此类方法是提取有关变化性质的信息以找出感兴趣的变化, 要求精确的时区标准化和图像配准。② 分类后变化信息提取法, 这一方法能够直接给出有关地物变化类型、数量等信息。分类后比较法的效果和精度主要取决于地物分类和特征提取的结果, 通常会将分类所产生的误差直接传播到变化检测的结果中。影像增强法原理简单, 对待检测的遥感数据要求比较低, 不受分类误差传递的影响, 在实际应用中适用面比较广^[7]。

1 研究方法

基于概率统计模型的遥感影像自动变化检测方法主要包括图像预处理、纹理图像生成、差异图像获取、变化像元图像创建、椒盐噪声过滤、变化目标或区域的提取。其流程如图 1 所示。

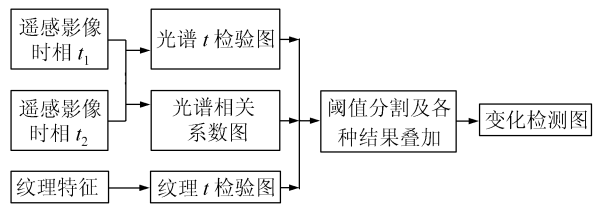


图 1 变化检测流程图

Fig. 1 Flowchart of Change Detection

1.1 纹理图像生成

纹理是灰度在空间内以一定的形式变化而产生的图案, 是图像区域固有的特征之一。本文的纹理获取方法是采用灰度共生矩阵对图像纹理进行描述。灰度共生矩阵是一种常用的图像纹理描述方法, 它是图像中两个灰度像素级联合分布的统计形式, 能较好地反映纹理灰度级相关性的规律。灰度共生矩阵的各元素值由下式确定:

$$p_{i,j} = \frac{p(i,j,d,\theta)}{\sum_i \sum_j p(i,j,d,\theta)} \quad (1)$$

式中, $p(i,j,d,\theta)$ 是灰度分别为 i,j , 距离为 d 且方向为 θ 的像点对的出现次数。

本文选择了 7 个共生矩阵特征, 包括方差、同质度、对比度、差异性、熵、二阶矩、相关性。其中同质度和熵适合于变化检测研究, 计算公式如下:

$$\text{Homogeneity} = \sum_i \sum_j \frac{1}{1+|i-j|} p(i,j) \quad (2)$$

$$\text{Entropy} = \sum_i \sum_j p(i, j) \lg p(i, j) \quad (3)$$

1.2 构建差异图像

1.2.1 邻域 t 检验

数理统计学的实际应用中常遇到以下问题: 已知产品的某一质量指标服从正态分布, 但由于原料、设备条件、操作人员不同, 或工艺过程的改变等因素, 引起总体均值、方差有所改变。通常可以采用 t 检验的方法来研究两个总体之间的变化有多大。设 X_1, X_2, \dots, X_n 是来自第一个总体的样本, Y_1, Y_2, \dots, Y_m 是来自第二个总体的样本, 两个样本相互独立, 设 \bar{X}, \bar{Y} 分别为第一、二个总体的样本均值, 标准偏差分别为 s_x, s_y , 可用经典 t 检验来评价两个样本的相似度。样本的标准偏差不属于同一总体, t 值可以按下式作近似估计:

$$t = \frac{|\bar{X} - \bar{Y}|}{\sqrt{\frac{s_x^2}{n} + \frac{s_y^2}{m}}} \quad (4)$$

其自由度为:

$$f = \left(\frac{s_x^2}{n} + \frac{s_y^2}{m} \right) / \left[\frac{s_x^4}{n^2(n-1)} + \frac{s_y^4}{m^2(m-1)} \right] \quad (5)$$

本文所用的变化检测方法是基于数理统计学中的 t 检验思想, 通过分析特定邻域内不同时相遥感影像的均值、方差之间的关系来确定其差异性, 通过每一像素点 t 值的大小来反映其变化程度。变化信息在邻域 t 检验图像上表征为数值较大区域, 反之, t 值小的像素表示未发生变化, 中间值则代表存在轻微的变化。

1.2.2 邻域相关系数

邻域相关系数法是将统计学中的相关系数用来描述特定邻域内不同时相遥感影像的差异性, 通过相关系数的大小来反映其变化程度。通常情况下, 变化区域相关系数小, 而非变化区域的相关系数则较大, 中等相关系数出现于轻微变化区域。

1.3 变化目标提取

变化目标的提取就是将差异图像分为变化和非变化两类, 因此也被认为是一个分类的问题, 可以采用阈值的方法进行变化类和非变化类的区分。对相关系数图像 p_{image} 而言, 给定阈值 T_p , 变化检测结果如式(6)所示, p_{change} 表示变化类, p_{unchange} 表示非变化类。

$$\begin{cases} p_{\text{change}} = p_{\text{image}} \leq T_p \\ p_{\text{unchange}} = p_{\text{image}} > T_p \end{cases} \quad (6)$$

针对 t 检验图像, 给定阈值 T_t , 变化类 t_{change} 和非变化类 t_{unchange} 表示为:

$$\begin{cases} t_{\text{change}} = t_{\text{image}} \geq T_t \\ t_{\text{unchange}} = t_{\text{image}} < T_t \end{cases} \quad (7)$$

变化类图像 s_{change} 定义为:

$$s_{\text{change}} = \sum_{i=1}^n p_{\text{change}}^i + \sum_{j=1}^m t_{\text{change}}^j \quad (8)$$

2 实验结果与分析

2.1 原始数据描述

本文选择了两个区域进行测试, 区域一采用的实验数据为某城区 2003 年和 2006 年的 QuickBird 影像, 空间分辨率为 2 m, 采用的波段为 4, 包含 3 个可见光波段和近红外波段, 区域大小为 739 像素 \times 821 像素。区域二采用 Erdas8.5 软件中自带的样品数据, 为某区域 1987 和 1992 年的 SPOT 影像, 空间分辨率为 10 m, 区域大小为 512 像素 \times 512 像素。实验原始数据如图 2(a)~2(b) 和图 2(c)~2(d) 所示。

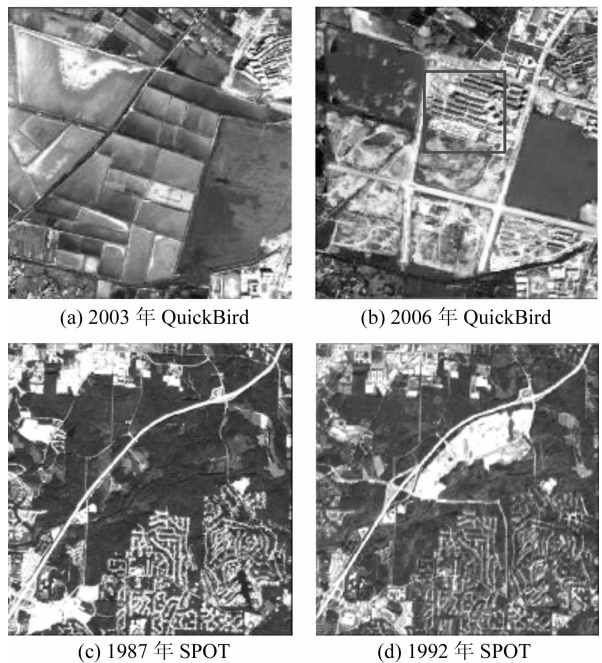


图 2 实验原始数据

Fig. 2 Original Data Sets

2.2 纹理差异图像

对两个时相的 QuickBird 影像, 采用灰度共生矩阵原理, 依次采用 3 像素 \times 3 像素, 5 像素 \times 5 像素, 7 像素 \times 7 像素大小的窗口, 分别计算出 $\theta = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ, 225^\circ, 270^\circ, 315^\circ$ 等 8 个方向上的灰度共生矩阵, 获取每个波段的常用的 7 个纹理统计量。

采用 2003 年和 2006 年 QuickBird 影像第一波段所对应的纹理特征为输入数据, 根据式(6)和

(7),分别获取 t 检验和相关系数图。实验结果表明,纹理相关系数图不适合于作为差异图像,不能

有效区分变化类和非变化类,相应的纹理 t 检验图如图 3 所示。

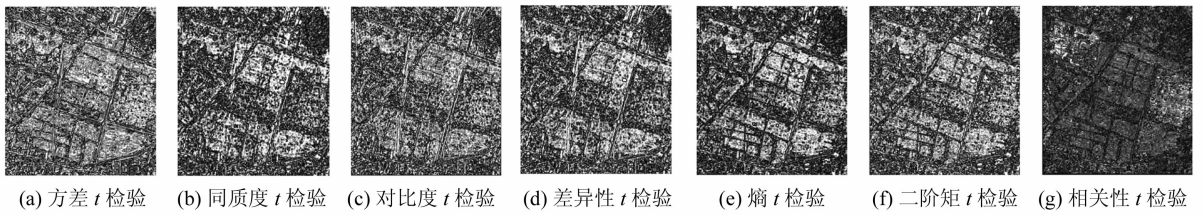


图 3 纹理 t 检验

Fig. 3 t -Test of Texture

通过对纹理 t 检验结果的分析,方差、对比度、相关性的 t 检验效果差,不能有效区分变化类和非变化类。差异性的 t 检验图中漏检率高,变化类和非变化类之间的区别不明显。二阶矩的 t 检验图中误检现象较为严重,且变化类和非变化类之间的区别不明显。同质度和熵的 t 检验能够有效区分变化类和非变化类,其中熵的 t 检验效果更为明显,同质度的 t 检验效果可以起到一定的增强效果。

2.3 变化检测图生成

将 QuickBird 的多波段数据作为输入数据,采用 5 像素 \times 5 像素的子窗口,获得多波段邻域光谱相关系数图,效果如图 4(a)所示。同样,可以获得多波段光谱 t 检验图,如图 4(b)所示。实

验结果表明,相关系数法对建筑物变化的漏检率高,如图 2(b)中的框内所示区域的相关系数比较高,容易将其误判为非变化区域。 t 检验法在这一问题上具有很好的效果,能够将两个时相间变化的建筑物有效地检测出。但是, t 检验法也存在一定的漏检现象,对季节变化而导致的地区类型变化的检测效果不理想,而相关系数法能给予一定的补偿。

对 SPOT 影像而言,以光谱数据为输入数据,采用 3 像素 \times 3 像素的子窗口,根据邻域 t 检验和相关系数的相关公式,分别获得其光谱 t 检验和相关系数图。结果表明,其光谱相关系数图像不适合反映地物类型的变化,而 t 检验图则能较好地反映地物类型的变化,结果如图 4(c)所示。

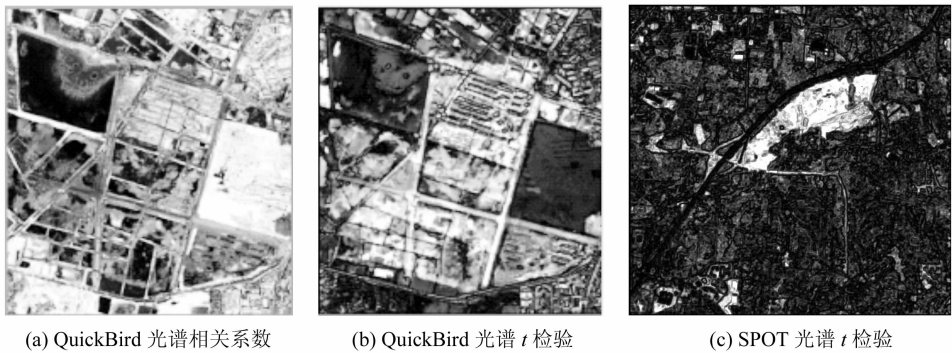


图 4 光谱差异图

Fig. 4 Spectral Difference Images

对各类相关系数和 t 检验图,采用式(6)和式(7),获取相应的变化检测图,具体阈值如表 1 所示。根据式(8)进行各种子变化检测结果的叠加,采用面积阈值法,去除“椒盐”噪声后,获得的最终变化检测结果分别如图 5(a)~5(b)所示。

为验证本文方法的性能和效果,在缺乏地面真实参考数据的情况下,采用在原始 QuickBird 影像上获取参考数据的方式,对变化检测结果进行评价。参考数据及各区域的检测情况如表 2

表 1 差异图像阈值

Tab. 1 Threshold of Difference Images

QuickBird 实验区域	阈值	SPOT 实验区域	阈值
光谱相关系数	-0.4		
光谱 t 检验	4.5	光谱 t 检验	6.2
同质度 t 检验	8.6		
熵 t 检验	12		

所示,变化检测验证结果的混淆矩阵见表 3, Kappa 精度为 0.89。

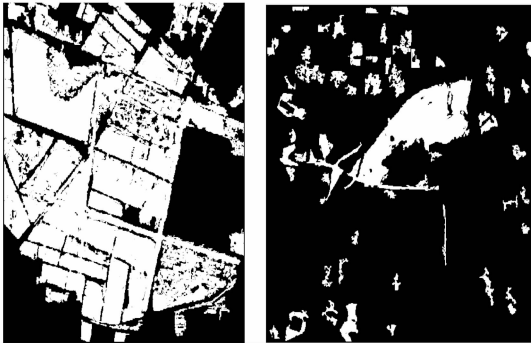


图5 变化检测结果

Fig. 5 Final Change Detection Results

表2 变化检测结果验证状况

Tab. 2 Evaluation of Change Detection Results
Using Reference Data

参考区域	变化/未变化	区域大小/像素	检测率	变化	未变化
1	未变化	51 864	1	31	51 833
2	未变化	8 366	0.883	979	7 387
3	未变化	24 547	0.92	1 939	22 608
4	变化	10 643	0.73	7 769	2 874
5	变化	24 424	0.72	17 585	6 839
6	变化	19 513	0.86	16 781	2 732

表3 变化检测结果验证的混淆矩阵

Tab. 3 Change Detection Confusion Matrix
Using Reference Data

类别	变化	非变化
变化	42 135	12 445
非变化	2 949	81 828

3 结 语

在遥感影像变化检测中,特别是高空间分辨率影像,本文给出了一种基于 t 检验的变化检测方法,并与相关系数法进行结合,构成一种快速有效的变化检测方法。分别采用了某城区 2003~2006 年的 QuickBird 影像和 Erdas8.5 自带的 1987~1992 的 SPOT 全色波段影像进行了检测,结果表明本文所提出的方法具有自动、高效、准确性好等特点,能够满足复杂城市环境下的变化检测要求,具有很好的实用价值。

在高空间分辨率影像中,地物纹理信息丰富,与光谱特征相比,不受成像条件的影响,能有效地减小房屋阴影的影响。纹理信息能够有效地区分

变化和非变化区域,本文采用灰度共生矩阵的方法,获得有效的纹理统计量。实验结果表明, t 检验法能够有效利用纹理进行变化检测,对最终结果起到了明显的增强效果。

t 检验法和相关系数法能够很好地结合在一起,实现复杂环境下的变化检测。相关系数法在建筑物变化检测方面存在一定的漏检现象, t 检验法能够很好地弥补其缺陷。相关系数法能够有效检测因季节变化而导致的物类型变化, t 检验法对这一现象存在一定不足之处。因此,两种方法的有效结合为高分辨率影像的变化检测提供了一种快速有效的手段。但是,本文所采用的阈值选择方法取决于人为判断,如何自适应地有效确定阈值将是下一步的研究工作。

参 考 文 献

- [1] Smits P C, Annoni A. Toward Specification-Driven Change Detection[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2000, 38(3): 1 484-1 488
- [2] Bruzzone L, Prieto D F. Automatic Analysis of the Difference Image for Unsupervised Change Detection[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2000, 38(3):1 171-1 182
- [3] Bazi Y. An Unsupervised Approach Based on the Generalized Gaussian Model to Automatic Change Detection in Multitemporal SAR Images[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2005, 43(4):874-887
- [4] Yang Zhengwei, Mueller R. Spatial-Spectral Cross-correlation for Change Detection; a Case Study for Citrus Coverage Change Detection [C]. ASPRS 2007 Annual Conference Tampa, Florida, 2007(5): 7-11
- [5] 刘臻. 基于相似度验证的自动变化探测研究[J]. 遥感学报, 2005, 9(5):537-542
- [6] 姜涛. 基于遥感影像的变化检测技术[J]. 计算机应用研究, 2005(2):255-257
- [7] 李德仁. 利用遥感影像进行变化检测[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2003, 28(5):7-12

第一作者简介:万幼川,教授,博士生导师。现从事地理信息系统、数字城市、数字流域及遥感方面的科研和教学工作。

E-mail:WYCH@public.wh.hb.cn