

利用归一化互信息进行基于像斑的遥感影像变化检测

李亮,舒宁,王琰

(武汉大学遥感信息工程学院,武汉 430079)

摘要:提出了利用遥感影像分割获取像斑进行变化检测的方法。将归一化互信息引入到遥感影像变化检测中,利用像斑的灰度直方图以及联合灰度直方图计算像斑的归一化互信息,依据条件熵最小的原则,获取最佳划分阈值,并与相关系数法进行了比较。实验结果显示归一化互信息法更适用于遥感影像变化检测。

关键词:像斑;归一化互信息;条件熵

doi:10.3969/j.issn.1000-3177.2011.06.004

中图分类号:TP79 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3177(2011)118-0018-05

Segment-based Remote Sensing Image Change Detection Using Normalized Mutual Information

LI Liang, SHU Ning, WANG Yan

(School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, Wuhan 430079)

Abstract: This paper proposed a change detection method, which uses the segments obtained from the image segmentation. Normalized mutual information was introduced into the change detection of remote sensing images. Histogram and joint histogram of segments are used to calculate the normalized mutual information. The best threshold was calculated based on the smallest conditional entropy. Using the normalized mutual information the method compared with the one using correlation coefficient, it shows the normalized mutual information is more suitable for change detection of remote sensing images.

Key words: image segmentation; normalized mutual information; conditional entropy

1 引言

遥感影像变化检测就是根据不同时间的多次观测来确定地物的状态变化或确定某现象变化的过程^[1]。目前,利用遥感技术快速、准确获得土地利用与覆盖变化的时空分布信息,是资源与生态环境动态监测以及国际土地利用与土地覆盖变化研究的核心技术^[2],已成为国际遥感研究的热点^[3]。过去的变化检测方法主要以像元为单位,如影像算术运算法、变化向量分析法、植被指数差法、主成分分析法、分类比较法等,这些方法各有特点,适合不同的数据情况,但是检测变化的能力和精度仍有限^[4]。基于像元的检测方法将每个像元视为一个独立的观测变

量,没有充分考虑地物目标的空间纹理、形状和邻域等特征,在面向高分辨率遥感影像的分析中暴露了该方法的不足。近年来,基于像斑的变化检测工作越来越受到重视,像斑就是具有相同属性的像元的集合,基于像斑的影像分析,可以充分利用高分辨率影像中的空间上下文信息、纹理、形状等信息^[5],使检测结果更加合理客观。

互信息是信息论中的一个基本概念,是两个随机变量统计相关性的一个测度,该测度不需要任何假设或先验知识,只依赖于图像本身的信息,并且具有较强的鲁棒性。Collignon^[6]和 Viofa^[7]等人首次提出最大互信息配准方法后,互信息在医学影像配准中得到了广泛应用;Paulviofa 和 williamM. Wells

收稿日期:2010-11-12 修订日期:2010-12-22

基金项目:湖北省自然科学基金计划重大项目 2006ABD003;中央高校基本科研业务费专项资金资助—武汉大学博士生自主研究项目。

作者简介:李亮,男,硕士研究生,现主要从事遥感图像智能化处理的研究。

E-mail: liliang1987wuda@163.com

等认为基于互信息的配准方法不需要任何假设,而且比传统的相似性度量具有更强的鲁棒性^[8]; Studholme 等提出了一个基于重叠不变的相似性测度: 归一化互信息测度, 减少了互信息对图像重叠部分的敏感性, 配准精度更高^[9]; Studholme^[10] 等人证明在刚性配准中, 归一化互信息比传统互信息具有更强的鲁棒性。

在基于像斑的变化检测中, 基准期像斑和检测期像斑之间的相似性, 可以利用互信息来进行度量。互信息不需要作任何假设, 只依赖于像斑的灰度统计信息, 因此对由于影像配准产生的误差不敏感。相关系数是影像处理中常见的相似性度量, 然而该度量是对线性关系的一种度量, 无法衡量非线性关系, 而互信息则可以很好地衡量线性和非线性关系。本文将互信息应用于遥感影像的变化检测中, 通过实验分析得到了很好的检测效果。

2 遥感影像变化检测

2.1 信息论基本概念

互信息是信息论中的一个概念, 是两个随机变量之间相关性的测度。设 X 和 Y 是两个离散的随机变量, 其概率密度分布分别是 $p(x), p(y)$, 联合概率密度分布为 $p(xy)$, 则依据信息论的相关知识, 随机变量 X, Y 以及 X 和 Y 联合分布所包含的熵 $H(X), H(Y)$ 及 $H(X, Y)$ 计算如下:

$$H(X) = - \sum_{x \in X} p(x) \log_2 p(x) \quad (1)$$

$$H(Y) = - \sum_{y \in Y} p(y) \log_2 p(y) \quad (2)$$

$$H(X, Y) = - \sum_{x \in X, y \in Y} p(xy) \log_2 p(xy) \quad (3)$$

则互信息计算如下:

$$I(X, Y) = H(X) + H(Y) - H(XY) \quad (4)$$

条件熵 $H(Y|X)$ 表示在已知 X 的条件下, 随机变量 Y 所包含的信息熵, 计算公式为:

$$H(Y|X) = - \sum_{x \in X, y \in Y} p(x, y) \log_2 p(y|x) \quad (5)$$

图 1 显示了熵、联合熵、条件熵、互信息之间的关系。

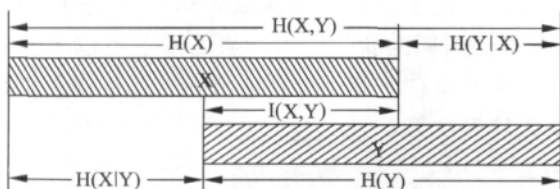


图 1 熵、联合熵、条件熵、互信息之间关系

从图中可以看出 $I(X, Y)$ 描述的是随机变量 X 和 Y 之间重叠的部分, 但是不能描述重叠部分占整个联合熵的比例。Studholme 等提出了归一化互信息测度, 其计算公式如下:

$$NMI(X, Y) = \frac{H(X) + H(Y)}{H(X, Y)} \quad (6)$$

2.2 变化检测流程

像斑的获取主要有两种方式: 一是利用 GIS 辅助数据, 例如地形图, 土地利用图等; 二是利用影像分割的方法。本文利用 eCognition 软件的分割模块来获取像斑, 并以此作为变化检测分析的基础。

将基准时期 ($T1$) 和检测时期 ($T2$) 的遥感影像的各个波段组合在一起形成一个波段数为原来 2 倍的新的影像, 再利用 eCognition 软件的分割模块进行影像分割, 将分割后的结果分别套合在 $T1$ 和 $T2$ 时期的影像上, 获取像斑。然后统计各个像斑的灰度直方图以及联合直方图, 计算各个像斑的归一化互信息, 最后选取合理的划分阈值。如果像斑两个时期的归一化互信息的值小于划分阈值, 则认为像斑发生变化。依据条件熵最小的原则通过计算可以获取最佳的划分阈值。图 2 为本文变化检测的方法流程:

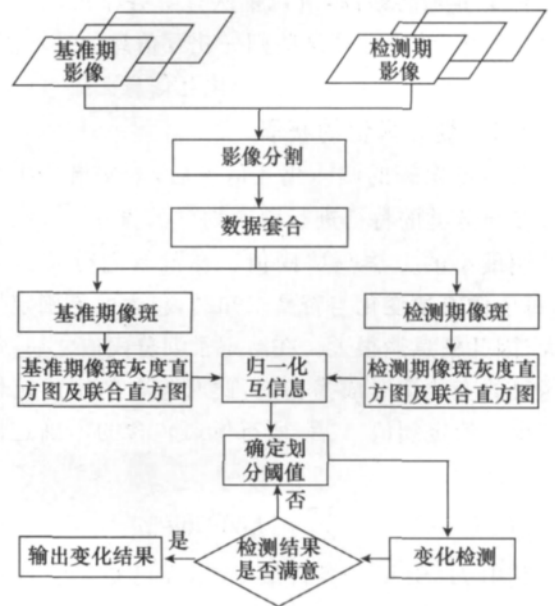


图 2 变化检测流程图

2.3 像斑归一化互信息

经过影像分割后, 就可以获取一定数量的像斑。计算 $T1$ 时期和 $T2$ 时期的同一像斑的归一化互信息方法为:

$$\begin{aligned}
 NMI(X, Y) &= \frac{H(X) + H(Y)}{H(X, Y)} \\
 &= \frac{-\sum_{i=0}^L x_i \log_2 x_i - \sum_{i=0}^L y_i \log_2 y_i}{-\sum_{i=0}^L \sum_{j=0}^L p_{ij} \log_2 p_{ij}} \quad (7)
 \end{aligned}$$

其中 x_i, y_i 表示同一像斑在 T_1 和 T_2 时期的灰度直方图中灰度值 i 出现的概率, p_{ij} 表示像斑在 T_1 时期灰度值为 i 、 T_2 时期灰度值为 j 出现的概率, L 表示影像的灰度级别。由于归一化互信息的取值位于 $[1, 2]$, 为了统一, 将归一化互信息通过线性拉伸变换到 $[0, 1]$, 拉伸方法为:

$$SNMI(X, Y) = \frac{1}{\max - \min} (NMI(X, Y) - \min) \quad (8)$$

其中 \max, \min 表示所有像斑中归一化互信息的最大值和最小值, $SNMI(X, Y)$ 表示拉伸后的归一化互信息。为了简便, 本文中像斑拉伸后的归一化互信息统一称为像斑的归一化互信息。像斑的归一化互信息的值越大, 表明两个像斑之间的相关性越强, 发生变化的可能性越小。当像斑的归一化互信息的值为 0 时, 表明两个时期像斑之间没有任何关系, 是相互独立的, 而该值为 1 时, 表明两个时期像斑是完全一样的, 没有发生任何变化。

对于多光谱影像, 可以依次计算各个波段的归一化互信息, 然后计算这些归一化互信息的平均值, 将这个平均值作为像斑的归一化互信息。

2.4 划分阈值的获取

获得各像斑的归一化互信息后, 本文借鉴决策树对参与分类的特征进行阈值划分的方法^[11], 利用条件熵最小的方法获取阈值。在没有划分阈值之前, 每个像斑的变化与否是未知的, 包含的不确定性很大, 因此信息熵很大。在给定了划分阈值之后, 每个像斑的变化情况成为已知, 此时包含的不确定性会减少。给定阈值 A 后, 所有像斑包含的不确定性计算公式为:

$$H(S | A) = - \sum p(I, A) \log_2 p(I | A) \quad (9)$$

其中 $H(S|A)$ 为条件熵, 表示在已知阈值 A 的条件下, 所有像斑 S 包含的信息熵, $p(I|A)$ 表示在给定阈值下, 像斑属于类别 I 的条件概率。类别 I 包含两类: 变化或者未变化。给定阈值后, 条件熵越小, 则说明阈值 A 对分类提供的信息越多。因此最佳阈值 A_0 应该对应条件熵最小时阈值 A 的值, 即:

$$A_0 = \arg \min_A H(S|A) \quad (10)$$

3 实验与分析

3.1 实验

本文的实验数据为武汉地区 2002 年和 2005 年的快鸟影像, 包括红、绿、蓝、近红外 4 个波段, 分辨率为 2.44m。影像分割采用 eCognition 软件的快速制图模式, 利用分割模块进行分割。图 3(a) 为 2002 年数据, (b) 为 2005 年数据, (c) 为分割结果图, (d) 为分割矢量化结果。

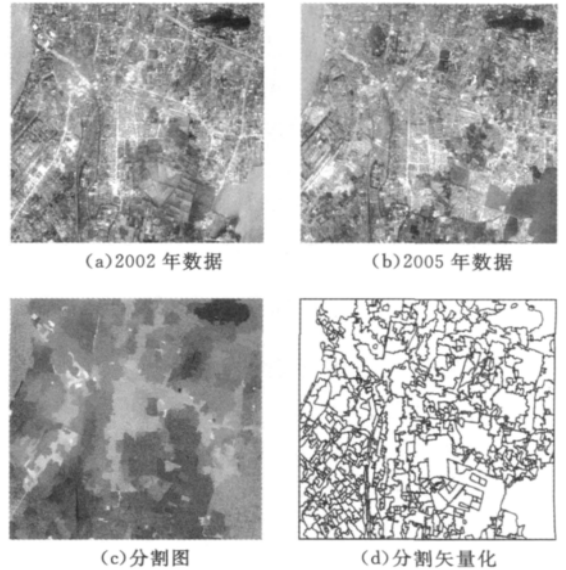


图 3 实验数据及分割结果

经过分割, 总共获得 617 个像斑。统计各个像斑在 T_1, T_2 时期的灰度直方图及联合直方图, 然后计算归一化互信息, 再通过线性拉伸得到拉伸后的归一化互信息, 然后依据条件熵最小原则, 确定了最佳划分阈值为 0.54。选取 0.54 为划分阈值, 对所有像斑进行了变化划分。为了便于对变化结果进行评价, 本文采用人工解译的方式, 利用两个时期的影像制作了标准变化结果。为了对比, 本文也采用了相关系数法进行变化检测, 在最佳划分阈值 0.65 的情况下, 对所有像斑也进行了变化划分。3 种变化结果如图 4 所示, 其中黑色区域为变化像斑。图 4(a) 为相关系数划分阈值为 0.65 时的检测结果, 图 4(b) 为归一化互信息划分阈值为 0.54 时的检测结果, 图 4(c) 为标准变化结果。从图 4 中可以看出基于归一化互信息的变化检测结果好于基于相关系数的变化检测结果, 与标准变化结果较为接近。分析原因如下: 相关系数法是对线性关系的一种度量, 而由于大气辐射、配准误差等的影响, 导致不同时期的像斑之间的线性关系会被减弱, 因此用相关系数法

进行变化检测,误检率会较高,而归一化互信息是对两个变量统计相关性的一种度量,是一个统计量,具有一定的鲁棒性,可以同时度量线性关系和非线性关系,因此可以提高正确率。

分析检测出的变化像斑类型,可以发现基于归

一化互信息的方法对于线状地物的变化检测的精度很低,而对于建筑用地、绿地、森林、水体等面状地物的检测精度较高,其主要原因是线状地物存在着大量的混合像元,并且灰度直方图分布比较集中,提供的信息较少,利用该方法很难识别出线状地物的变化。

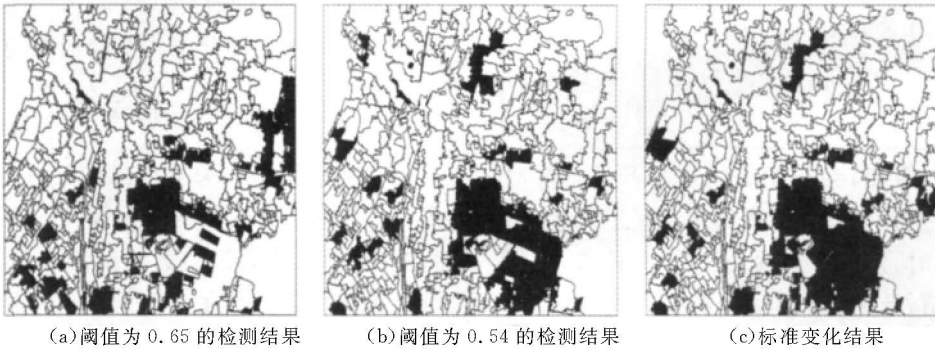


图4 变化检测结果

3.2 精度评价

3.2.1 结果精度评定

变化检测的精度评价主要有3个指标:正确率、漏检率、误检率。设样本区域中像斑总数为 C_t ,检测出来的变化像斑总数为 C_d ,检测出的实际变化像斑个数为 C_{td} ,检测出的实际未变化像斑个数为 C_{tu} ,实际变化但检测为未变化的像斑数为 C_{ld} 。则变化检测正确率、误检率、漏检率的计算公式为:

$$\begin{aligned}
 p_t &= \frac{C_{td} + C_{tu}}{C_t} \times 100\% \\
 p_f &= \frac{C_d - C_{td}}{C_d} \times 100\% \\
 p_l &= \frac{C_{ld}}{C_t - C_d} \times 100\%
 \end{aligned} \tag{11}$$

当归一化互信息阈值设置为0.54时,所有像斑变化检测结果的各项精度如表1所示:

表1 像斑变化检测结果精度表

实际检测 \ 变化	变化	未变化	总计	误检率 UC/DC=26.26%
变化	CC=73	CU=37	TC=110	
未变化	UC=26	UU=481	TU=507	
总计	DC=99	DU=518	W=617	
漏检率	CU/DU=7.14%			
正确率	(CC+UU)/W=89.79%			

继续对像斑进行分析,当阈值取在[0,1]区间上时,测试样本变化检测各项精度指标如图5所示:

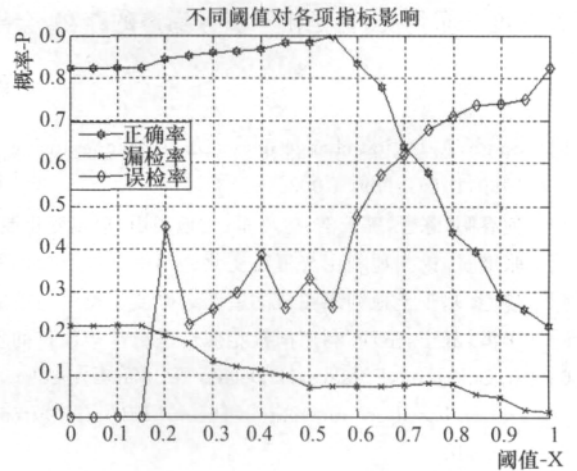


图5 归一化互信息阈值分析

从图中可以看出像斑的最佳划分阈值为0.55,此时正确率达到最高的90.05%,漏检率为6.94%,误检率为25.51%;当阈值低于0.15时,阈值设置无意义,此时认为所有像斑均未发生变化;当阈值高于0.15时,误检率开始上升,同时漏检率开始下降,总体正确率开始上升。在经过最佳划点后,误检率开始显著上升,同时正确率开始急速下降。从图中可以看出,利用最小条件熵原则获取的最佳阈值0.54及其接近实际最佳划分阈值0.55。

3.2.2 灰度级对精度影响

灰度级越多,像素值分布越分散,影像包含信息熵就越多,影像信息熵同灰度级之间存在一定的正比关系,但是归一化互信息同灰度级之间不存在简单的正比关系。表2给出了变化检测的精度同灰度级之间的关系。

表 2 变化检测各项指标同灰度级关系

灰度级	正确率	漏检率	虚检率
256	0.8233	0.1738	0.4286
128	0.8266	0.1721	0.3857
64	0.8299	0.1661	0.3333
32	0.8703	0.0979	0.3256
16	0.8979	0.0714	0.2626
4	0.8503	0.1167	0.3750

从表中可以看出,当灰度级从 256 开始下降时候,正确率开始上升,漏检率,虚检率都呈下降趋势;当灰度级为 16 时,正确率达到最大值,漏检率,虚检率都达到最小值;此后,继续减小灰度级,正确率呈减少趋势,漏检率,虚检率都开始上升。因此可以得出结论:当灰度级很大时,确实能够十分准确地描述影像灰度分布情况,但是由于影像噪声的存在,会导

致不同时期像斑的灰度直方图相差很大,从而导致误判,随着灰度级的减小,实际上相当于对原始影像做了滤波处理,降低了噪声对灰度直方图的影响,可以更加突出反映整体的相似性而忽视噪声产生的变化,因此正确率会升高,灰度级太小,影像的细节被忽略太多,不能充分利用原始影像的灰度信息,导致正确率反而下降。因此本文实验选取的灰度级为 16。

4 结束语

本文分析了有关互信息的研究进展情况,并且将归一化互信息应用到基于像斑的遥感影像变化检测中,依据条件熵最小的原则选取最佳阈值。同时研究了灰度级对变化检测精度的影响,提高了变化检测的精度。然而本文仍存在较多不足,如没有充分利用像斑的纹理信息等,这些都将在今后的研究工作中不断完善。

参考文献

- [1] Singh, A. Digital change detection techniques using remotely sensed data[J]. International Journal of Remote Sensing, 1989, 10(6): 989-1003.
- [2] 何春阳,陈晋,陈云浩,史培军. 土地利用/覆盖变化混合动态监测方法研究[J]. 自然资源学报, 2001, 16(3): 255-262.
- [3] 张继贤. 论土地利用与覆盖变化遥感信息提取技术框架[J]. 测绘科学, 2003, 28(3): 13-16.
- [4] 佟彪. 基于土地利用图斑的遥感影像变化检测与更新[D]. 武汉大学, 2005. 5.
- [5] 李雪,舒宁,王琰. 利用向量相似性进行基于像斑的土地利用变化检测[J]. 遥感信息, 2009(6): 7-10.
- [6] A. Collignon, F. Maes, D. Delaere, D. Vandermeulen, P. Suetens, and G. Marechal. Automated multitemporal image registration based on information theory[EB/OL]. <https://mirc.uzleuven.be/download/public/MIRC/publication/qzq/paper.pdf>.
- [7] P. Viola, W. M. Wells. Alignment by maximization of mutual information[C]//inProc. 5th Int. Conf. Computer Vision, Cambridge, MA, 1995: 16-23.
- [8] Barbara Zitova, Jan Flusser. Image registration methods: A survey[J]. Image and Vision Computing, 2003(21): 977-1000.
- [9] Z. F. Knops, J. B. A. Maintz. Normalized mutual information based registration Using k-means clustering and shading correction[J]. Medical Image Analysis, 2006(10): 432-439.
- [10] Studholme C, Constable RT. Accurate alignment of functional EPI data to Anatomical MRI using physics-based distortion model[J]. IEEE Trans on Medical Imaging, 2000, 19(11): 1115-1127.
- [11] Chandra, B., Paul V, P.. A robust algorithm for classification using decision trees[C]//IEEE Conference. 2006: 1-5.

国产高精度对地观测卫星影像图库制作完成

2011年11月3日,中国资源卫星应用中心系统总体部在各部门的配合下经过6个月的奋战,完成了国产高精度对地观测卫星影像图库的制作。

国产高精度对地观测卫星影像图库作为第一个基于国产遥感卫星影像高精度图库,将会在国土资源调查、测绘、农业、林业等国家基础地理资源调查中发挥巨大作用,并以中国资源卫星应用中心作为统一数据处理和分发中心,充分发挥国产遥感卫星数据的优势,逐步完善和丰富各类遥感地理信息系统,为我国的对地观测卫星数据应用事业做出贡献。