

# 一种基于统计分析的图像变化检测方法\*

胡岩峰<sup>1,3</sup> 刘波<sup>2</sup> 李峰<sup>1,3</sup> 李立钢<sup>1,3</sup> 丘江<sup>4</sup>

(1 中国科学院电子学研究所,北京 100080)

(2 中国科学院高技术发展局,北京 100864)

(3 中国科学院西安光学精密机械研究所,西安 710068)

(4 武警工程学院通信工程系,西安 710086)

**摘 要** 为了更准确地从两幅同一地区不同时间的遥感图像中检测出地物的变化情况,提出一种基于统计分析的方法,即:统计检验方法. 这种方法是将局部回归方法应用于两幅不同时间遥感图像中的同一感兴趣矩形区域,当回归系数表现出较大的差异时,这些图像区域被分割成更小的子区域. 与传统的变化检测方法相比,统计检验法不仅与脉冲噪音无关,而且也不受传感器灵敏度降低引起的外部变化和光源位置变化的影响.

**关键词** 统计检验;变化检测;图像差

**中图分类号** TN391.41 **文献标识码** A

## 0 引言

一幅多波段遥感图像不仅包含了所观测区域的光谱信息,而且还包含了所观测区域地物的形状信息. 因此,在获得了同一地区不同时段图像后,可以获得本地区地物变化的信息.

同一地区不同时段之间的变化不仅包括实际地物变化,而且还包含外部变化. 实际地物变化是指地物在不同时期由于使用情况的不同而引起的地物状况的实际变化;外部变化则是指由光源方向、传感器位置以及在探测和传输过程中的误差引起的变化.

绝大部分传统变化检测方法都是基于逐像素处理的,因此这些方法都无法避免上面提到的外部变化的影响. 这样,在传统的变化检测方法中,用于确定所研究地域是否存在实际变化的阈值通常是由经验来确定的,这样会使得变化检测的结果出现不确定性<sup>[1-3,10]</sup>.

本文提出了一种新的变化检测方法——统计检验变化检测法. 这种方法是基于统计学的检验理论,它很好地克服了上面提到的不确定性问题<sup>[4]</sup>.

与传统的变化检测方法相比,统计变化检测法有以下优点. 第一、由于统计检测方法的整个过程都是基于局部区域操作的,所以它克服了脉冲噪音的影响;第二、因为统计变化检测法不仅考虑了局部变化,而且还把整个图像的亮度变化也考虑进去,这样就将由传感器灵敏度降低引起的外部变化或是由光源局部变化引起的外部变化误识别为地物实际变化的概率大大降低. 第三、统计变化检测法中用于变化识别的阈值是通过“余数平方和”来确定的.

因此,统计变化检测法可以产生确定性的检测结果.

## 1 原理

如图 1 所示,在两幅经过精确配准、不同时间的多波段(假设有  $p$  个波段)图像中,相对应波段上的大部分像素都存在一种线性关系. 如果两幅图像是在相同条件下(如相同的光源位置,相同的传感器灵敏度)获得,则各波段的回归线斜率可以设定为  $\beta_{ii} = 1 (i = 1, 2, \dots, p)$ . 如果传感器灵敏度降低或者由于光源的位置的变化而引起照射在传感器上的光照质量下降,那么  $\beta_{ii} < 1$ . 相反,如果照射在传感器上的光照质量提高,那么  $\beta_{ii} > 1$ .

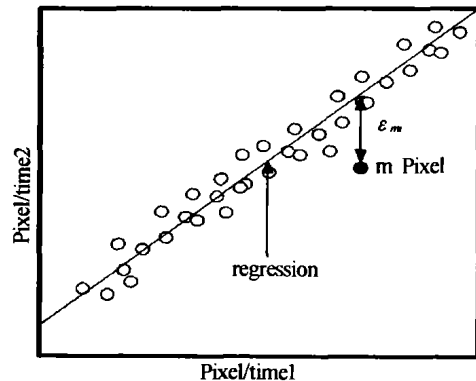


图 1 不同时间同景图像的像素值间关系图  
Fig. 1 Relation of the pixel values between different time at the same region

如图 2(a) 所示,当不同时段的图像中的地物没有发生变化时,则回归线  $\beta_{ii}$  和它的偏移回归线  $\beta_{io}$  (由整幅图像和图像的任意子区域估计得到回归系数间的偏移构成)的斜率差很小. 相反,当某一区域地物有变化发生时,从该区域估计得到的回归系数与其相邻区域估计得到的回归系数之间存在很大差异(如图 2(b) 所示). 在图 2 中,整个图像的像素亮度值和变化子区域的像素亮度值分别用圆形

\* 国家 863 计划(项目编号:2003AA131152)资助项目  
Email: huliuhu@sina.com  
收稿日期:2004-05-17

(○)和矩形(□)来表示.

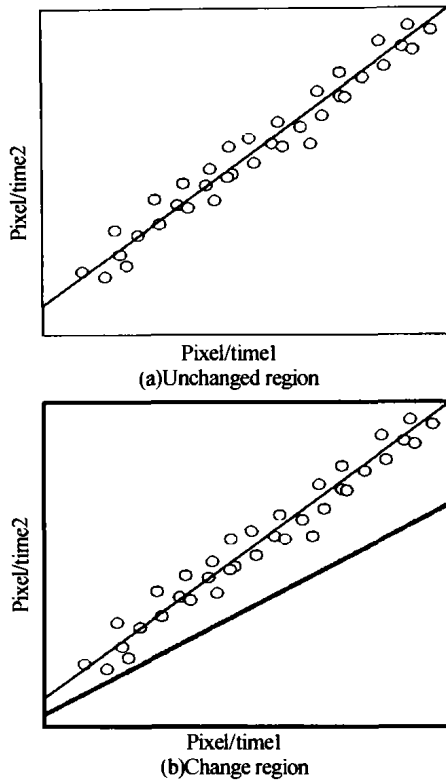


图2 图2 不同时间图像象素值的关系  
Fig.2 Relation of pixel values between different times

图2 中的实线和虚线分别表示从整幅图像估计得到的回归线和由变化子区域估计得到的回归线.

统计变化检测法将整幅图像分解成回归系数彼此不同的子区域. 变化区域被定义成回归系数与整幅图像的回归系数存在很大差异的子区域. 通过统计检验方法来确定两个区域的回归系数间是否存在很大差异.

### 1.1 统计模型

文献[5,6]中,对于同一地区不同时间的两幅多波段(假设由  $p$  个波段)图像中的区域  $R$  ( $R$  中存在  $n$  个值),假设在时间2和时间1上区域  $R$  中象素的亮度值分别为  $\bar{Z}_2$  和  $\bar{Z}_1$ ,它们之间的关系可以由式(1)来表示

$$\bar{Z}_2 = \bar{Z}_1 \bar{\beta} + \bar{\varepsilon} \bar{\varepsilon} \sim (0, \bar{\Sigma}) \quad (1)$$

式中,  $\bar{Z}_2$  由区域  $R$  中象素的光谱向量  $\bar{Z}_{2m}$  ( $m = 1, 2, \dots, n$ ) 组成.  $\bar{\beta}$  是由每个波段向量  $\beta_t$  ( $t = 1, 2, \dots, p$ ) 组成的回归系数向量,  $\bar{\varepsilon}$  是在每个象素获得的局部回归模型中的误差量  $\varepsilon_m$  ( $m = 1, 2, \dots, n$ ) 组成的,即

$$\bar{Z}'_2 = \{Z_{21}, Z_{22}, \dots, Z_{2n}\} \quad (2)$$

$$Z'_{2m} = (z_{2m1}, z_{2m2}, \dots, z_{2mp}) \quad (3)$$

$$\bar{\beta}' = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p\} \quad (4)$$

$$\bar{\beta}_i = (\beta_{i0}, \beta_{i1}) \quad (5)$$

$$\bar{\varepsilon}' = \{\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n\} \quad (6)$$

$$\bar{\varepsilon}'_m = (\varepsilon_{m1}, \varepsilon_{m2}, \dots, \varepsilon_{mp}) \quad (7)$$

这里,  $A'$ 表示矩阵  $A$  的转置.  $\bar{Z}$  的转置可表示为

$$\bar{Z}'_1 = \{Z_{11}, Z_{12}, \dots, Z_{1m}, Z_{1n}\} \quad (8)$$

$$Z_{1m} = \begin{pmatrix} Z_{1m1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & Z_{1m2} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & Z_{1mp} \end{pmatrix} \quad (9)$$

式(9)中的对角线元素是由式(10)给出的向量  $Z_{1m}$  ( $t = 1, 2, \dots, p$ ) 构成

$$Z_{1m} = (1, z_{1m}) \quad (10)$$

式(10)中  $z_{1m}$ 是时间1图像的波段  $t$  ( $t = 1, 2, \dots, p$ )

中象素  $m$  ( $m = 1, 2, \dots, n$ )的亮度值.  $\bar{\varepsilon}$  中的  $\bar{\Sigma}$  项是由  $n$  个在图像中获得的  $p \times p$  阶协方差矩阵  $\Sigma$  在  $n$  阶对角位置上组成的.

$$\bar{\Sigma} = \begin{pmatrix} \Sigma & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \Sigma & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \Sigma \end{pmatrix} \quad (11)$$

协方差矩阵  $\Sigma$  可以由象素  $m$  ( $m = 1, 2, \dots, n$ )的误差向量  $\varepsilon_m$  获得. 通过最小均方差法获得的象素亮度和回归线之间的向量均值误差如图1. 其中,矩阵的第  $(ij)$  项  $\sigma_{ij}$  ( $i, j = 1, 2, \dots, p$ ) 可以表示为

$$\sigma_{ij} = \frac{1}{n-1} \sum_{m=1}^n \varepsilon_{mi} \varepsilon_{mj} \quad (12)$$

### 1.2 回归系数间的差值的重要度检验

由文献[7]可知,如果  $\bar{\Sigma}$  是已知的,而且它的逆方根矩阵  $\bar{\Sigma}^{-\frac{1}{2}}$  存在,则式(13)是正态分布的.

$$(\bar{Z}'_1 \bar{\Sigma}^{-1} \bar{Z}_1) \hat{\beta} = \bar{Z}'_1 \bar{\Sigma}^{-1} (\bar{Z}_1 \bar{\beta} + \bar{\varepsilon}) = \bar{Z}'_1 \bar{\Sigma}^{-1} \bar{Z}_2 \quad (13)$$

式(13)用来最小化余数平方和(此值是时间2上标准化的  $\bar{\Sigma}^{-\frac{1}{2}} \bar{Z}_2 \hat{\beta}$  和由时间1数据得到的时间2的估计值得到). 在这种情况下,  $\hat{\beta}$  的估计值  $\hat{\beta}$  和它的统计分别可表示为

$$\hat{\beta} = \bar{\beta} + \bar{Z}'_1 \bar{\Sigma}^{-1} \bar{Z}_1)^{-1} (\bar{Z}'_1 \bar{\Sigma}^{-1} \bar{\varepsilon}) \quad (14)$$

$$\hat{\beta} \sim [\bar{\beta}, (\bar{Z}'_1 \bar{\Sigma}^{-1} \bar{Z}_1)^{-1}] \quad (15)$$

这样,子区域  $R_1$  和  $R_2$  的回归系数  $\hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2$  间差值的统计分布可表示为

$$\hat{\beta}_1 - \hat{\beta}_2 \sim N[\bar{\beta}_1 - \bar{\beta}_2, (\bar{Z}'_{11} \bar{\Sigma}_1^{-1} \bar{Z}_{11})^{-1} + (\bar{Z}'_{12} \bar{\Sigma}_2^{-1} \bar{Z}_{12})^{-1}] \quad (16)$$

只有在子区域  $R_i$  中,式(16)中  $\bar{\Sigma}_i$  和  $\bar{Z}_{1i}$  ( $i = 1, 2$ ) 才可以分别表示为  $\bar{\Sigma}$  和  $\bar{Z}_1$ . 这样,两个回归系数的 Mahalanobis 距离可以表示为

$$(\hat{\beta}_1 - \hat{\beta}_2)' \bar{\Sigma}_0^{-1} (\hat{\beta}_1 - \hat{\beta}_2) \sim \chi^2(pk) \quad (17)$$

它遵从以  $pk$  为自由度的  $\chi^2$  分布,其中  $k$  是回归系数

向量  $\beta_t (t=1,2,\dots,p)$  的元素个数,  $\tilde{\Sigma}_0$  可以表示为

$$\tilde{\Sigma}_0 = (\tilde{Z}'_{11}\tilde{\Sigma}_1^{-1}\tilde{Z}_{11})^{-1} + (\tilde{Z}'_{12}\tilde{\Sigma}_2^{-1}\tilde{Z}_{12})^{-1} \quad (18)$$

如式(17)所示, Mahalanobis 距离服从  $\chi^2$  分布, 那么距离的重要度就可以通过  $\chi^2$  检验法来实现统计意义上的检测. 统计检验结果很好的显示出子区域  $R_1, R_2$  间变化模式差的重要度. 这里所描述的检验是通过对比式(17)所表示的 Mahalanobis 和某一确定阈值  $Th$  之间的比较来完成的(阈值  $Th$  在下面一节中将做详细描述).

### 1.3 用于重要度检验的阈值确定

在统计变化检测方法中, 用于重要度检验的阈值确定<sup>[5,8]</sup>被描述成为一个模型选择问题, 在模型选择时, 把局部回归系数的“余数平方和”作为决策的准则. 通过使用期望值, 对子区域  $R_1, R_2$  的回归系数进行比较的统计量可定义为

$$\tilde{\Delta} = \tilde{\beta}_1 - \tilde{\beta}_2 \quad (19)$$

式(19)中,  $\tilde{\Delta}$  存在两种模型:

1) 模型 1:  $\tilde{\Delta} \neq 0$  ( $\tilde{\beta}_1, \tilde{\beta}_2$  不相等);

2) 模型 2:  $\tilde{\Delta} = 0$  ( $\tilde{\beta}_1, \tilde{\beta}_2$  相等);

两种模型的估计值分别为

$$\hat{\tilde{\Delta}} = \hat{\tilde{\beta}}_1 - \hat{\tilde{\beta}}_2 \quad (\tilde{\Delta} \neq 0) \quad (20)$$

$$\hat{\tilde{\Delta}} = 0 \quad (\tilde{\Delta} = 0) \quad (21)$$

从式(16)可知, 因为  $\hat{\tilde{\Delta}}$  的方差与式(18)中的矩阵  $\tilde{\Sigma}_0$  相等, 则标准化的均方误差可表示为

$$E_1 = E[(\hat{\tilde{\Delta}}_1 - \tilde{\Delta})' \tilde{\Sigma}_0^{-1} (\hat{\tilde{\Delta}}_1 - \tilde{\Delta})] \quad (22)$$

$$E_2 = \tilde{\Delta}' \tilde{\Sigma}_0^{-1} \tilde{\Delta} \quad (23)$$

对于式(22), (23), 如果使用式(24)

$$E[\hat{\tilde{\Delta}}' \hat{\tilde{\Delta}}] = \tilde{\Delta}' \tilde{\Delta} - Var[\hat{\tilde{\Delta}}] \quad (24)$$

则估计值  $E_1, E_2$  可表示为

$$\hat{E}_1 = pk \quad (25)$$

$$\hat{E}_2 = \hat{\tilde{\Delta}}_1' \tilde{\Sigma}_0^{-1} \hat{\tilde{\Delta}}_1 - pk \quad (26)$$

当  $\hat{E} = \hat{E}$  时, 针对于以上模型的阈值便可以确定, 并可以得到式(27)

$$S \equiv (\hat{\tilde{\beta}}_1 - \hat{\tilde{\beta}}_2)' \tilde{\Sigma}_0^{-1} (\hat{\tilde{\beta}}_1 - \hat{\tilde{\beta}}_2) = 2pk \quad (27)$$

所以, 比较方程(27)和(17)中表示的 Mahalanobis 距离, 统计变化检测法中  $\chi^2$  检验的阈值便可以由下面方程获得:

$$Th = 2pk \quad (28)$$

## 2 实验

以下对同一地区、相同传感器在不同时间获得的两幅图像分别使用统计变化检测方法和经典的基于图像差的变化检测方法检测同一地区在不同时间的变化情况.



图3 (a)、(b)为某一地区分别在1975和1987年的遥感图像;(c)使用本文提出的统计变化检测方法得出的变化检测结果;(d)使用图像差方法得出的变化检测结果

Fig.3 (a),(b)remotely sense images at 1975 and 1987;(c)the result using statistical test method;(d)the result using image difference

由实验结果可以看出, 统计变化检测方法可以比较清晰的检测出图像中的变化情况; 而经典的图像差方法检测出的图像变化情况比较模糊. 由于实验所用图像的中包含的外部变化和噪音都不是很明显, 因此在上面的实验结果中, 统计变化检测方法比经典的变化检测方法的优越性并没有很好的体现出来; 只有当所包含的外部变化和噪音情况比较明显时, 这种优越性才表现的比较突出<sup>[11]</sup>.

## 3 结论

本文提出的统计变化检测方法对变化存在性的

确定是通过统计检验来实现的, 这样与传统的变化检测方法相比较, 此方法对操作者经验的依赖性减小, 而且统计变化检测方法最大程度的减小了图像中外部变化(由颗粒噪音、传感器灵敏度的降低或是光源方向的变化引起的)的影响. 但是这种统计变化检测方法对于被检测图像配准度的依赖性比较大; 此外, 用本变化检测方法得出的结果有一定的突变性, 这使得对实际变化的判定有一定偏差. 在进一步的研究中, 将对突变性的影响做改进<sup>[12]</sup>.

### 参考文献

1 Singh A. Digital change detection techniques using remotely-

- sensed data. *Int J Remote Sensing*, 1989, **10**(8):989 ~ 1003
- 2 Takeuchi S, Kimura H, Mukai Y, *et al.* A method for detection of annual change using LANDSAT data. *Proc 5th SICE* (The Society of Instrument and Control Engineers, Japan) Remote Sensing Symposium 1979, **4**(5):95 ~ 98
  - 3 Yokota T, Matsumoto Y. Seasonal and long-term change detection in land cover from Landsat MSS images. *Proc 14th SICE Remote Sensing Symposium*, 1988, **10**(3):129 ~ 132
  - 4 Hanaizumi H, Okumura H. A method for change detection of multi-spectral images using statistical test. *Proc 22nd SICE Hokkaido Symposium*, 1990, **2**(3):5 ~ 6
  - 5 Hanaizumi H, Okumura H, Tsubaki H, *et al.* A method for the clustering of remotely sensed multispectral images by using statistical test for spatial uniformity. *Trans SICE*, 1989, **25**(7):517 ~ 523
  - 6 Tsubaki H, Okuno t, Yasuoka Y. Data analysis in remote sensing with special reference to applications of regression models. *Remote Sensing J Japan*, 1983, **11**(2):31 ~ 43
  - 7 Rao C R. Linear statistical inference and its application. John Wiley & Sons, 1973. 121 ~ 135
  - 8 Rao C R, Mitra S K. Generalized inverse of matrices and its applications. John Wiley & Sons, 1971. 37 ~ 41
  - 9 Musha T, Okamoto Y. Inverse problems and its solution. Ohm Press, 1992. 56 ~ 63
  - 10 丘江, 杨静, 刘波. 基于矩和小波变换的目标图像识别. *光子学报*, 2001, **30**(7):836 ~ 840  
Qiu J, Yang J, Liu B. *Acta Photonica Sinica*, 2001, **30**(7):836 ~ 840
  - 11 丘江, 杨静, 胡岩峰, 等. 二维轴对称图像高阶胡氏不变矩快速算法的改进. *光子学报*, 2002, **31**(12):1491 ~ 1496  
Qiu J, Yang J, Hu Y F. *et al.* *Acta Photonica Sinica*, 2002, **31**(12):1491 ~ 1496
  - 12 丘江, 刘波, 杨静. 基于高阶胡氏矩的多目标识别算法研究. *光子学报*, 2001, **30**(9):1141 ~ 1145  
Qiu J, Liu B, Yang J. *Acta Photonica Sinica*, 2001, **30**(9):1141 ~ 1145

## An Image Change Detection Method Using Statistical Analysis

Hu Yanfeng<sup>1,3</sup>, Liu Bo<sup>2</sup>, Li Feng<sup>1,3</sup>, Li Ligang<sup>1,3</sup>, Qiu Jiang<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Institute of Electronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080

<sup>2</sup> Bureau of High Technique and Development, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100864

<sup>3</sup> Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academia of Sciences, Xi'an 710068

<sup>4</sup> Armed Police Force Engineering College, Xi'an 710086

Received date: 2004-05-17

**Abstract** In order to detect the actual changes from two remotely sensed multispectral images gained at the same location and at different times, a statistical method is created—Statistical Test. In the method, local regression is applied to the areas of interest from the two images which are gained from two times. And when the difference of regression coefficients are very large, these areas of interest are subdivided into more smaller areas. Compared with the conventional methods, the proposed method is not only independent of the impulse noise, but also the method is not influenced by the apparent changes caused by the sensitivity degradation in sensors or the location changes of the light source.

**Keywords** Statistical test; Change detection; Image difference



**Hu Yanfeng** was born in 1975. He received his B. S. degree in Xidian University in 1999. Now he is a Ph. D. candidate on image processing and change detection techniques in Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Academia Sinica. His current research interest is computer vision, image processing and image recognition.