

光谱影像的灰度矢量相关特征与边缘特征提取

杜辉强¹ 舒 宁²

(1 越南科学院海洋研究院, 越南河内)
(2 武汉大学遥感信息工程学院, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

摘要: 提出了多光谱图像像元特征矢量之间的极小互相关系数、极大互相关系数及互相关差值和相关密度的概念。在对模拟图像进行矢量相关分析及其对边缘提取的有效性分析基础上, 提出对多光谱图像采取像元特征矢量相关分析并提取边缘信息的方法, 对 TM 图像进行试验分析的结果说明了此方法的有效性。

关键词: 像元特征矢量; 相关分析; 极小互相关系数; 多光谱图像边缘

中图法分类号: P231.5; TP751

1 多光谱影像的矢量相关特征

1.1 多光谱数字图像与像元特征矢量

多光谱数字图像有 p 个波段, 每幅图像的大小为 $m \times n$ 。可以用 p 个二维矩阵来表示图像中的每个像元的灰度值, 即

$$\mathbf{G}^k = \begin{bmatrix} \mathbf{G}^k[0, 0] & \cdots & \mathbf{G}^k[0, n-1] \\ \mathbf{G}^k[1, 0] & \cdots & \mathbf{G}^k[1, n-1] \\ \cdots & & \cdots \\ \mathbf{G}^k[m-1, 0] & \cdots & \mathbf{G}^k[m-1, n-1] \end{bmatrix}$$

式中, k 为波段名, $k=1, \dots, p$ 。

遥感图像的光谱特征通常以地物在多光谱图像上的亮度显示, 不同地物在同一波段图像上表现的亮度一般互不相同, 同时, 不同地物在各个波段图像上的亮度变化规律也不同。在理想的情况下, 属于同一地物类别的各地物点应具有相同的图像亮度值, 即完全相同的光谱响应。假设每个波段属于相应的一维光谱空间, 则通过多维光谱空间, 每个地物类别可以用多光谱特征矢量来表示, 如:

$$\mathbf{G}[i, j] = \mathbf{G}^1[i, j] \mathbf{S}_1 + \mathbf{G}^2[i, j] \mathbf{S}_2 + \cdots + \mathbf{G}^p[i, j] \mathbf{S}_p$$

$$\mathbf{R}_{ij}^1 = \frac{(1/p) \sum_{s=1}^p (\mathbf{G}^s[i, j] - \mathbf{G}[i, j]) (\mathbf{G}[i-1, j] - \mathbf{G}[i-1, j])}{\sqrt{(1/p) \sum_{s=1}^p (\mathbf{G}^s[i, j] - \mathbf{G}[i, j])^2} \sqrt{(1/p) \sum_{s=1}^p (\mathbf{G}^s[i-1, j] - \mathbf{G}[i-1, j])^2}}$$

式中, \mathbf{S}_k 光谱空间的单位矢量, $k=1, \dots, p$; i, j 为多光谱图像中的行与列指数。

1.2 多维互相关

每个像元的特征矢量和它周围的像元特征矢量都有一定的相关程度。假设用不同维空间来表示每方向矢量相关的空间变化, 则求得的各方向的互相关系数称为多维的互相关。对于某个位置 (i, j) , 像元特征矢量 $\mathbf{G}[i, j]$ 都有 p 个分量: $\mathbf{G}[i, j] = \{\mathbf{G}^1[i, j], \mathbf{G}^2[i, j], \dots, \mathbf{G}^p[i, j]\}$ 。这个特征矢量与 8 个邻近像元特征矢量相关系数值为 $\mathbf{R}_{ij}^1, \mathbf{R}_{ij}^2, \mathbf{R}_{ij}^3, \mathbf{R}_{ij}^4, \mathbf{R}_{ij}^5, \mathbf{R}_{ij}^6, \mathbf{R}_{ij}^7, \mathbf{R}_{ij}^8$ 。

$$\mathbf{R}_{ij}^1 = \mathbf{R}(\mathbf{G}[i, j], \mathbf{G}[i-1, j])$$

$$\mathbf{R}_{ij}^2 = \mathbf{R}(\mathbf{G}[i, j], \mathbf{G}[i+1, j])$$

$$\mathbf{R}_{ij}^3 = \mathbf{R}(\mathbf{G}[i, j], \mathbf{G}[i, j-1])$$

$$\mathbf{R}_{ij}^4 = \mathbf{R}(\mathbf{G}[i, j], \mathbf{G}[i, j+1])$$

$$\mathbf{R}_{ij}^5 = \mathbf{R}(\mathbf{G}[i, j], \mathbf{G}[i-1, j-1])$$

$$\mathbf{R}_{ij}^6 = \mathbf{R}(\mathbf{G}[i, j], \mathbf{G}[i-1, j+1])$$

$$\mathbf{R}_{ij}^7 = \mathbf{R}(\mathbf{G}[i, j], \mathbf{G}[i+1, j-1])$$

$$\mathbf{R}_{ij}^8 = \mathbf{R}(\mathbf{G}[i, j], \mathbf{G}[i+1, j+1])$$

对于第一方向的互相关系数, $\mathbf{R}_{ij}^1 = \mathbf{R}(\mathbf{G}[i, j], \mathbf{G}[i-1, j])$ 的计算公式为:

式中, $\mathbf{G}[i, j] = (1/p) \sum_{s=1}^p (\mathbf{G}^s[i, j])$; $\mathbf{G}[i-1, j] = (1/p) \sum_{s=1}^p (\mathbf{G}^s[i-1, j])$ 。

同理, 以像元特征矢量 $\mathbf{G}[i, j]$ 为中心, 可以求出另外 7 个方向的互相关系数 $R_{ij}^2, R_{ij}^3, R_{ij}^4, R_{ij}^5, R_{ij}^6, R_{ij}^7, R_{ij}^8$ 。

1.3 极小多维互相关系数

在多光谱图像上的每个像元特征矢量求极小互相关系数, 从而可得极小互相关系数图:

$$R_{ij}^{\min} = \min\{R_{ij}^1, R_{ij}^2, R_{ij}^3, R_{ij}^4, R_{ij}^5, R_{ij}^6, R_{ij}^7, R_{ij}^8\}$$

可以用 R_{ij}^{\min} 来寻找和评价在多光谱图像上的边缘(相关系数小)。对一定的分类标准, 相关系数大的点可能属于同一类。

1.4 极大多维互相关系数

在 p 个光谱图像上的每个像元求极大互相关系数, 从而得到极大互相关系数图:

$$R_{ij}^{\max} = \max\{R_{ij}^1, R_{ij}^2, R_{ij}^3, R_{ij}^4, R_{ij}^5, R_{ij}^6, R_{ij}^7, R_{ij}^8\}$$

可以用 R_{ij}^{\max} 来分析影像中的矢量间类似程度或属于同一类的可能性。数值越大, 表明每像元的特征矢量和周围的特征矢量的相似程度越高, 类内的相关性越高。

1.5 多维互相关的差值

对于多维互相关差值图, 每个值对应极大多维互相关系数和极小多维互相关系数的差值。对于每一位置 (i, j) , 多维互相关差值为:

$$\Delta R_{ij} = R_{ij}^{\max} - R_{ij}^{\min}$$

多维互相关差值可以用来表明某类中所有像元特征矢量的相关性或它与相邻类间相关性的最大差别。

1.6 相关密度

建立相关密度图的主要目的是用来评价相关变化程度和其数量在全图上的比例。假设在相关图上的相关值变化范围从 $R(1) \sim R(k)$, 用 R 来表示相关图上的所有的值, 则 $R = \{R(1), R(2), \dots, R(k)\} = \{R(i)\}_{i=1, \dots, k}$ 。用 $N_{R[i]}$ 来表示相关值 $R[i]$ 在相关图中的数量, $m \times n$ 作为相关图的像元总数, 那么 $N_R = \sum N_{R[i]} = m \times n$ 。对每个相关值 $R(i)$, 利用公式 $f[i] = N_{R[i]} / N_R$ 来计算相应的相关密度值。对上述多维互相关特征, 计算相应的相关密度值, 从而可以表示为极小互相关密度图、极大多维互相关密度图和互相关差值密度图。用这个结果可以定性地分析在研究区域中的灰度矢量相关特征。

2 相关特征模拟分析

利用模拟影像对多维互相关特征进行试验分析, 其主要目的是考虑上述提到的相关参数的变化特性, 以及评价多光谱图像中灰度特征矢量间的关系。

假设在地面上存在 22 个类别, 如图 1 所示。为了避免噪声影响, 笔者设计了一个模型, 其中同类别所有的矢量都有同样的光谱特征。根据假设地物类别的反射率计算对应灰度, 模仿影像 TM 的 6 个波段的灰度图 (TM1, TM2, TM3, TM4, TM5, TM7)。在模仿多光谱图像数据时, 为了得到比较典型的数据, 模仿影像要满足两个条件: ① 每个类别在同一个波段的灰度值都互不相同; ② 确保所有不相同类别的相应灰度值在 0~255 之内。最终模仿影像 TM 的 6 个假设波段的灰度图像如图 2 所示(模型大小为 220 像元 \times 40 像元)。

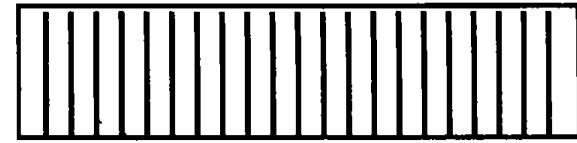


图 1 地面类别分布模型

Fig. 1 Distribution Model of Ground Features

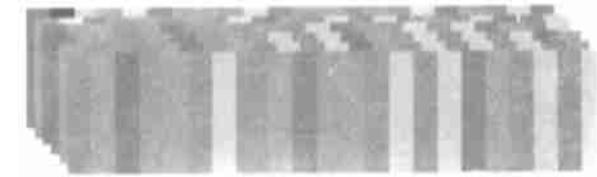


图 2 地面类别分布的多光谱模型

Fig. 2 Multi-spectral Model of Ground Features

2.1 极小多维互相关和极大多维互相关密度

极小多维互相关值的变化范围从 0.62~1.00(图 3)。极小多维互相关密度值的变化范围从 0.0046~0.9(图 4)。其中, 相关值范围从 0.62~0.97 反映的是类别间的边缘。

分析图 4 中所有值的变化, 当极小多维互相关密度值为 0.0046 时, 反映的是类别的边缘, 其相应的极小多维互相关值变化范围为 0.62~0.97。针对每个位置是否有边缘, 能看出边缘数是 21, 在每个边缘上的像元数大概占整个图像的像元总数的 0.46%。0.9 表示不属于边缘的所有像元的密度。

上述分析的结果表明, 极小多维互相关图表示某个像元处于两类别的边界, 所以这个结果

可以在多光谱图像上用来提取边缘, 而相应的密度图用来定性地分析多光谱相关特征如何变化与分布。

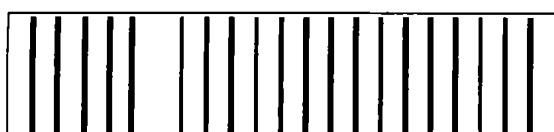


图 3 极小多维互相关

Fig. 3 Minimum of Multi-dimensional Co-correlation Coefficients

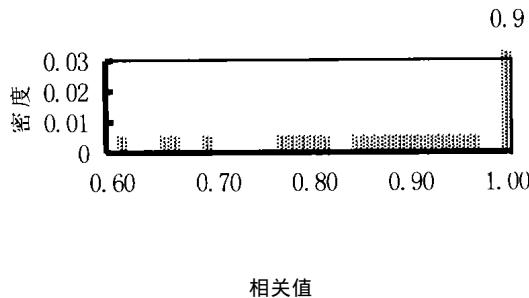


图 4 极小多维互相关密度

Fig. 4 Density of Minimum of Multi-dimensional Co-correlation Coefficients

2.2 极大多维互相关和极大多维互相关密度

极大多维互相关值和极大多维互相关密度值(图 5)都是 1.00。

分析图 5 和图 6 中的数值变化范围, 可以看出, 每个特征矢量都可以在它的 8 邻域方向上, 至少找到 1 个特征矢量与它一致。结果表明, 极大多维互相关图可以表示同类别本身的多光谱互相关性。

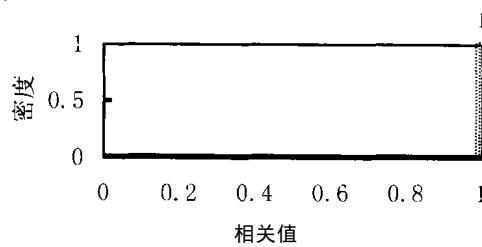


图 5 极大多维互相关密度

Fig. 5 Density of Maximum of Multi-dimensional Co-correlation Coefficients

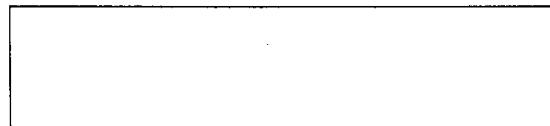


图 6 极大多维互相关

Fig. 6 Maximum of Multi-dimensional Co-correlation Coefficients

2.3 多维互相关差值和多维互相关差值密度

多维互相关差值的变化范围为 0~0.38, 多

维互相关差值密度的变化范围为 0~0.9(图 7)。

分析图 7 中所有数值的变化, 可以看出: 互相关差值为 0.03~0.38 时, 它反映的是类别间的边缘。差值密度 0.0046 反映的是类别的边缘, 相应的多维互相关差值的变化范围为 0.03~0.38。每条边缘的像元数大概占整幅图像的像元总数的 0.46%。

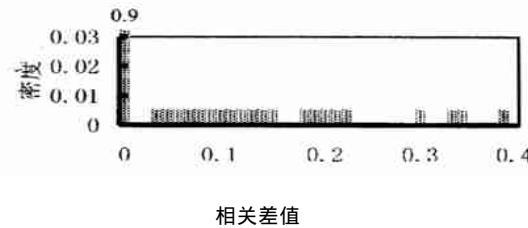


图 7 多维互相关差值密度

Fig. 7 Density of Difference of Multi-dimensional Co-correlation Coefficients

2.4 类别的边缘显示

从图 3 和图 8 可以看出, 在边缘区, 极小多维互相关值变化为 0.6~0.96, 多维互相关差值变化为 0.03~0.38。如果在极小多维相关图选 0.9 作为边缘相关阈值时, 那么边缘数可显示为 15 (所有相关值小于 0.9 的被显示)。当边缘相关阈值等于 0.97(大于 0.96 及小于 1)时, 那么所有的边缘都能被显示出来, 如图 9 所示。



图 8 多维互相关的差值

Fig. 8 Difference of Multi-dimensional Co-correlation Coefficients



图 9 边缘分布

Fig. 9 Edges Distribution Map

3 实际计算结果分析

在模拟分析的基础上, 利用 TM 影像作试验分析, 以进一步探讨矢量相关分析方法在边缘提取中的有效性。

3.1 灰度矢量相关特征与分析方法

实际计算的互相关特征有极小多维互相关

(图 10)与相应的密度图(图 11)、极大多维互相关(图 12)与相应密度图(图 13)、多维互相关差值(图 14)与相应密度图(图 15)。

因为地物类别的种类非常丰富, 所以实际多光谱特征表示比较复杂。根据上述提到的计算方法, 互相关特征客观地随着多光谱特征的变化而变化。

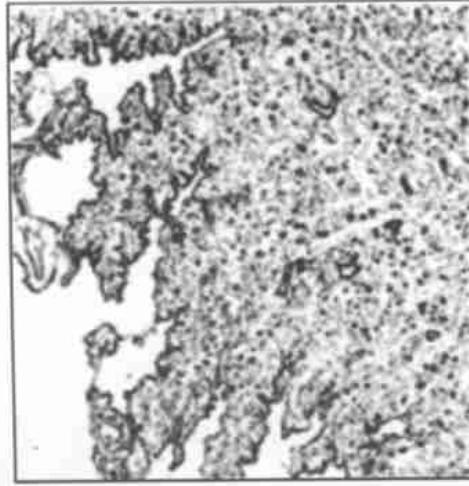


图 10 极小多维互相关

Fig. 10 Image for Minimum of Multi-dimensional Co-correlation

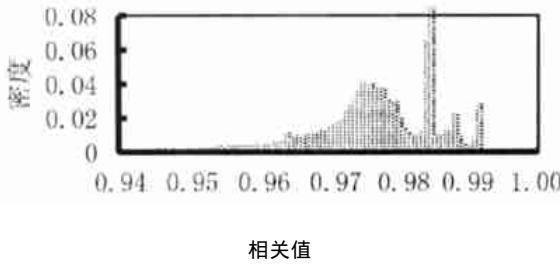


图 11 极小多维互相关密度

Fig. 11 Density of Minimum of Multi-dimensional Co-correlation

从多维互相关密度图中可以看出多维互相关值的变化范围(图 11 为 0.94~1、图 13 为 0.96~1、图 15 为 0~0.04)、极值的分布与相应波峰的宽度。利用这些特征值作为确定阈值的依据对多维互相关图(图 10、图 12、图 14)进行显示分析, 可以得到属于地物的互相关特征分布图(图 16、图 17)和边缘显示图(图 18)。

3.2 互相关特征的结果分析

图 16(a)中表示土地的面积大概占 20%; 图 16(b)表示土地的面积大概占 45%, 从这些图中可以看出, 所反映的土地类比较完整。

从这些图所涉及的多维互相关值可以为边缘分析提供选取极小多维互相关值阈值的依据。

从相关密度图(图 11, 图 13, 图 15)可以明显

地看出, 属于水体的各类别相关性比较稳定, 体现在相关密度图中的分布都很窄(图 15); 属于土地(非水体)的各类别的相关性变化比较大, 体现在相关密度图的分布都很宽。

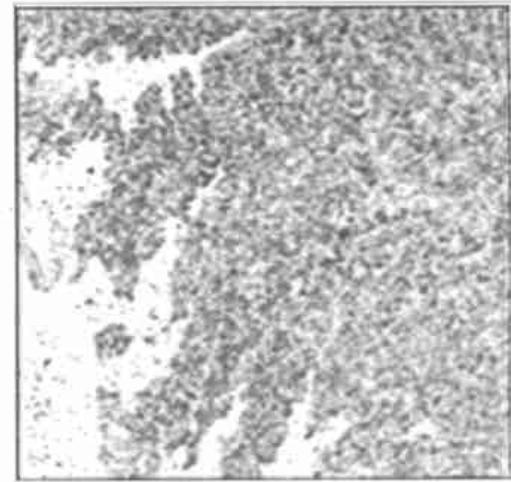
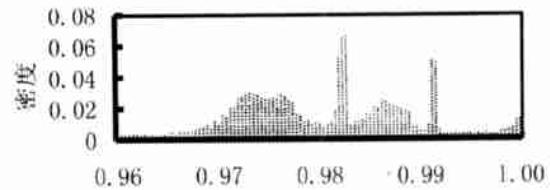


图 12 极大多维互相关

Fig. 12 Image for Maximum of Multi-dimensional Co-correlation



相关值

图 13 极大多维互相关密度

Fig. 13 Density of Maximum of Multi-dimensional Co-correlation

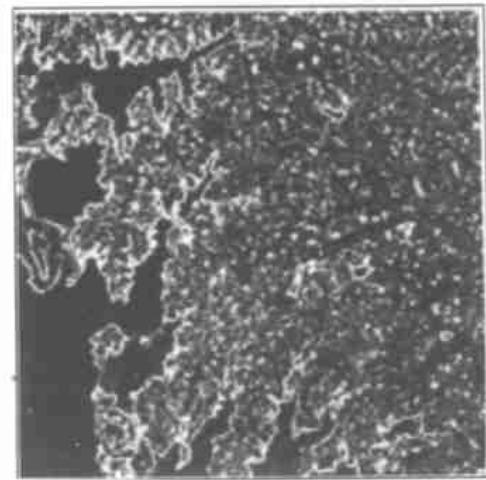


图 14 多维互相关差值

Fig. 14 Image for Difference of Multi-dimensional Co-correlation

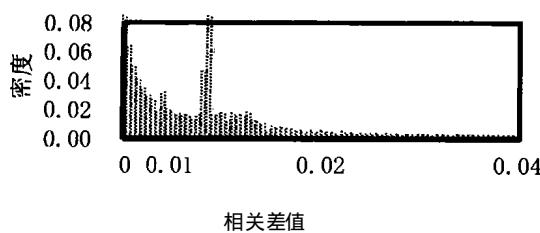
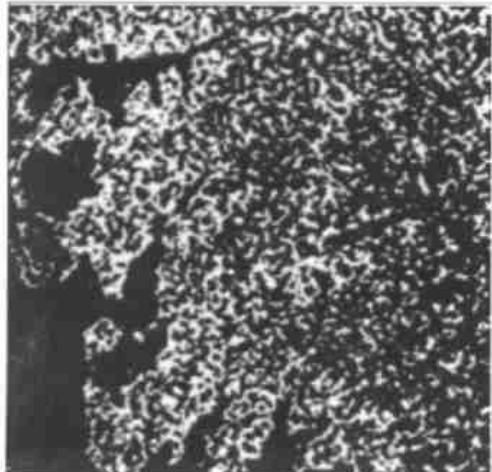


图 15 多维互相关差值密度

Fig. 15 Density of Difference of Multi-dimensional Co-correlation



(a)



(b)

图 16 多维互相关分析(土地)

Fig. 16 Analysis of Multi-dimensional Co-correlation Map (Soil)

3.3 互相关边缘提取

用来寻找边缘的算子很多,如梯度算子、Roberts 算子、Sobel 算子、Laplacian 算子、Kirsch 算子、Rosenfeld 算子、Prewitt 算子等。还有用模型去局部拟合灰度图像函数,进而求导检测边缘的方法,如 Facet 模型方法。为了边缘图定位准

确,线条光滑,没有虚假边缘,不少研究者提出了解决方法,如通过各种滤波器,图像变换($K-L$ 变换、小波变换)、多尺度算子、多矢量算子、最佳边缘检测的准则等方法,但针对遥感多光谱图像的边缘分析,一般不能直接采用以上方法。

利用相关理论与其性质以及在遥感多光谱图像中的地物类别特征完全可以寻找出边缘。用相关技术来提取边缘时,被提取出来的边缘都包含着相关特性。用矢量相关特征来进行边缘提取的实际计算结果表明,提取的边缘具有如下特点。

1) 相关性与边缘位置。属于边缘的各点的互相关性较差。

2) 边缘强度。边缘的强度是指相关性的高低。属于边缘的位置,互相关值越低(极小互相关图),边缘强度越高。

3) 边缘宽度。根据多光谱图像的光谱特征(或地物特征)和寻找边缘的算法,可以看到边缘的宽度较复杂。地物类别的性质(或多光谱图像中的光谱变化特征)和它的分布特征就决定了边缘的宽度。地物类别和它的分布越复杂,边缘的连续性越差,也就是说边缘的宽度越复杂。

4) 边缘方向。用多维互相关技术来寻找边缘,能发现在八方向的边缘,并且垂直于边缘方向的互相关性最低。

5) 边缘显示。根据计算结果和地物类别特征分析能看出,在试验区中,水体类和土地类之间的边缘强度最高。为了提取试验区中比较明显的边缘,选择极小多维互相关图和多维互相关差值图作为边缘图,用阈值 $R^* = 0.98$ 为例,如图 17 所示。

图 17 互相关边缘提取($R < 0.98$)

Fig. 17 Image for Co-correlation Edges ($R < 0.98$)

参 考 文 献

- 1 孙家炳, 舒 宁, 关泽群. 遥感原理方法与应用. 北京: 测绘出版社, 1997
- 2 周成虎. 遥感影像地学理解与分析. 北京: 科学出版社, 1999

- 3 王润生. 图像理解. 长沙: 国防科技大学出版社, 1994
- 4 John A R. Remote Sensing Digital Image Analysis 1994
- 5 Kenneth R C. 数字图像处理. 北京: 电子工业出版社, 2000

作者简介: 杜辉强, 博士生。研究方向为多光谱影像分析。
E-mail: dhuong-nest@vnn.vn

Analysis with the Correlation Between Grey Level Vector of Multi-spectral Image and Its Application for Edge Extraction

DO Huycuong¹ SHU Ning¹

(1 National Centre for Science and Technology, Hanoi Institute of Oceanology, Hanoi, Vietnam)

(2 School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan, China 430079)

Abstract: This paper proposes the concepts of multi-dimensional co-correlation coefficients and density of co-correlation coefficients between pixels of remotely sensed multi-spectral image. The applications of these concepts to simulative images show that the edge information can be extracted. The minimum co-correlation coefficients and the difference of them can provide evidently the information of the position and strength of edges, which implies that the analysis with co-correlation coefficients can be used for edge extraction of multi-spectral image. The further experiments have been performed using TM images. The different results with different value ranges of minimum co-correlation coefficients and the difference of them indicate that we should select the rational threshold of co-correlation coefficients for edge extractions. Finally the paper concludes that the analysis with co-correlation coefficients for edge extraction of remotely sensed multi-spectral images is quite effective.

Key words: gray level vector of pixels; correlation analysis; minimum co-correlation coefficients; edges of multi-spectral images

About the author: DO Huycuong, Ph. D candidate. His research interest is in the field of multi-spectral image analysis.

E-mail: dhuong-nest@vnn.vn

欢迎订阅 2003 年《武汉大学学报·信息科学版》

《武汉大学学报·信息科学版》即原《武汉测绘科技大学学报》，是以测绘为主的专业学术期刊。其办刊宗旨是：立足测绘科学前沿，面向国际测量界，通过发表具有创新性和重大研究价值的测绘理论成果，展示中国测绘研究的最高水平，引导测绘学术研究的方向。本刊为中国核心期刊，中国测绘行业唯一的国家优秀期刊，并入选中国期刊方阵。

本刊主编为李德仁院士，主要栏目有院士论坛、学术论文、科技新闻等，内容涉及摄影测量与遥感、大地测量与物理大地测量、工程测量、地图学、图形图像学、地球动力学、地理信息系统、全球定位系统等。收录本刊论文的著名国际检索系统包括 EI、SCI、PKU、ZfV、国际大地测量文献题录等。其影响因子名列中国高校学报第 1 位。

本刊国内外公开发行，读者对象为测绘及相关专业高级研究人员。本刊为双月刊，A4 开本，128 页，逢双月 5 日出版。邮发代号：38-317。本刊定价 8 元/册，欢迎订阅。