

基于支持向量机的滑坡灾害信息遥感图像提取研究

傅文杰^{1,2},洪金益¹

(1. 中南大学地学与环境工程学院,长沙 410083;2. 莆田学院,莆田 351100)

摘要:阐述了基于支持向量机的滑坡灾害信息遥感图像提取的基本原理和方法,并结合实例说明了这种方法的有效性。通过研究,试图找到一种新的滑坡地质灾害信息提取方法,为滑坡地质灾害信息的快速提取、分析滑坡地质灾害发生的激发因素奠定基础。

关键词:支持向量机;遥感图像;滑坡;提取

中图分类号:P642. 22;TP79

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2006)04-0120-02

Discussion on Application of Support Vector Machine Technique in Extraction of Information on Landslide Hazard from Remote Sensing Images

FU Wen jie^{1,2}, HONG Jin yi¹

(1. College of Geology and Environmental Engineering, South China University, Changsha 410083, China;

2. Putian College, Putian 351100, China)

Abstract: The principles and methods of using support vector machine technique to extract the information of landslide hazard are discussed. Its effectiveness is illustrated with an example. Through this research, the authors try to find a new method for abstracting information of landslide hazard, providing the fundament for analyzing the stimulating factors of landslide hazard.

Key words: Support Vector Machine; remote sensing image; landslide; abstract

1 引言

滑坡是危及人类生存和生产的一种严重的自然灾害。它不仅能直接成灾,而且经常为泥石流、崩塌等灾害提供物源,形成更大的自然灾害,威胁工程设施和生命财产的安全^[1]。现代遥感技术和航天技术的发展为地球资源与环境监测研究开辟了广阔的前景,也为滑坡地质灾害的调查和研究提供了崭新的手段。在我国,在滑坡灾害调查和研究中,遥感技术已发挥了一定的作用,有的已成为重要手段。遥感图像可以应用于滑坡地质灾害的分析中,它可以评价滑坡产生的地质背景、地理分布和强度,从宏观上进行了致灾成因分析和发展趋势预测^[2]。目前,滑坡遥感解译主要是根据滑坡及其要素的形态特征,在卫星图像上以目视方法进行解译,但由于卫星图像的空间分辨率有限,目视解译卫片上的滑坡、泥石流时,主要根据地物的色彩、色调、纹理、阴影等所形成的几何形态特征,并未考虑地物波谱特性。解译需要有经验的判读人员,所以,利用目视解译方法被公认为是低效率的、令人疲惫的方法,包含着大量信息的遥感数据未能得到充分的发掘和提取,难以满足灾害调查的急迫要求。支持向量机是近几年在统计学习理论的基础上发展起来的一种新的模式识别方法,它在解决小样本、非线性及高维模式识别问题中表现出许多特有的优势,并能够推广应用到函数拟合等其他机器学习问题中。目前 SVM 已经成为国际上机器学习领域新的研究热点,它已广泛地用于趋势分析和模式识别以及遥感图像的分类。本文以莆田市的滑坡地质灾害调查为例,介绍支持向量机在滑坡

灾害遥感图像提取中的应用。

2 支持向量机基本原理

支持向量机完整的数学描述见文献[3, 4],这里我们只对这个算法进行简单描述。支持向量的基本思想可用图 1 说明。图中,实心点和空心点代表两类样本, H 为分类线, H_1 、 H_2 分别为过各类中离分类线最近的样本且平行于分类线的直线的,他们之间的距离叫做分类间隔。假设训练样本集为 $(x_i, y_i), i = 1, \dots, n, x \in R^d$, 式中: x ——输入向量; i ——样本数; y ——输入向量所属的类别,对于两类的分类问题, $y \in \{+1, -1\}$ 。 D 维空间中线性判别函数的一般形式为 $g(x) = w \cdot x + b$, 分类面方程为:

$$w \cdot x + b = 0 \quad (1)$$

我们将判别函数进行归一化,使两类所有样本都满足 $|g(x)| \geq 1$,即使离分类面最近的样本的 $|g(x)| = 1$,这样分类间隔就等于 $2/|w|$,因此使间隔最大等价于使 $|w|^2$ 最小;而要求分类线对所有样本正确分类,就是要求它满足约束条件:

$$y_i [(w \cdot x_i) + b] - 1 \geq 0, i = 1, \dots, n \quad (2)$$

考虑到有些训练样本是线性不可分的,Vapnik 和 Cortes 等人^[5]引入了非负的松弛变量,将(2)式放宽为:

$$y_i [(w \cdot x_i) + b] - 1 - \xi_i \geq 0, i = 1, \dots, n \quad (3)$$

显然,当划分出现错误时 ξ_i 就会大于零。因此在求分类平面的同时, ξ_i 的值也希望愈小愈好。所以原本目标函数是求 $|w|^2/2$ 的最小值,会变成求目标函数 $|w|^2/2$

* 收稿日期:2005-07-12

基金项目:国家“十五”科技攻关计划项目(2003BA612A-04)

作者简介:傅文杰(1967-),男,福建莆田市人,中南大学国土资源信息工程博士研究生,主要从事遥感图像处理研究。

+ C(α_i) 的最小值;其中 $C>0$ 是一个常数,是可调的参数,控制对错样本惩罚的程度, C 越大表示对错误的惩罚越重。这是一个二次规划问题,其对偶形式为:

$$\max_{i=1}^n \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^n \alpha_i \alpha_j y_i y_j (x_i \cdot x_j) \tag{4}$$

$$st. 0 \leq \alpha_i \leq C \quad i = 1, \dots, n \tag{5}$$

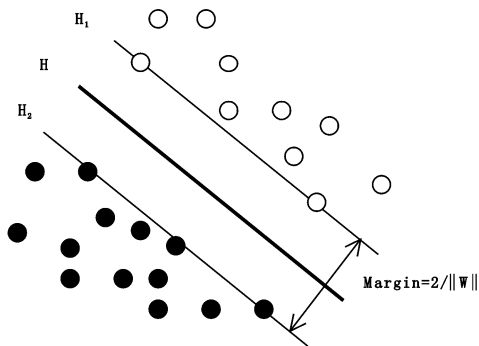


图 1 支持向量机的基本思想
求解这个对偶问题得到最优分类函数:

$$f(x) = \text{sgn} \left\{ \sum_{i=1}^n \alpha_i y_i (x_i \cdot x_j) + b \right\} \tag{6}$$

式中: α_i ——Lagrange 乘子, α_i 不为零的样本点就称作支持向量,即位于 H_1 、 H_2 上的样本。这些向量充分描述了整个训练样本集数据的特征,使得对支持向量集的线性划分等价于对整个数据集的分类。

对于非线性可分样本,支持向量机构造分类决策函数的方法是,首先将训练数据从原始模式空间经过特定核函数的非线性变换,映射到多维特征空间^[6]。然后,在特征空间中,寻找最优分类超平面,该超平面实际上对应着原始模式空间中的非线性分类面。因此,支持向量机在处理非线性情况时,仅比线性情况多了一个非线性映射环节。假定该非线性映射为:

$$x \rightarrow \phi(x) \tag{7}$$

则(4)的对偶形式就转变为

$$\max_{i=1}^n \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^n \alpha_i \alpha_j y_i y_j K(x_i \cdot x_j) \tag{8}$$

而非线性支持向量机的分类决策函数变为:

$$f(x) = \text{sgn} \left\{ \sum_{i=1}^n \alpha_i y_i K(x_i \cdot x_j) + b \right\} \tag{9}$$

在上面的问题中只涉及训练样本之间的内积运算,这样,在高维空间实际上只需进行内积运算,可以用原空间中的函数实现的,甚至没有必要知道变换的形式。根据泛函的有关理论,只要一种核函数 $K(x_i \cdot x_j)$ 满足 Mercer 条件,它就对应某一变换空间中的内积^[7]。因此,在最优分类面中采用适当的内积函数 $K(x_i \cdot x_j)$ 就可以实现某一非线性变换



图 2 原图

后的线性分类,而计算复杂度却没有增加。

常用核函数主要有以下几种:

(1) 多项式核函数:

$$k(x, x_i) = [(x_i \cdot x_j) + 1]^d$$

(2) 径向基函数:

$$k(x, x_i) = \exp \left\{ - \frac{|x_i - x_j|^2}{2} \right\}$$

(3) Sigmoid 函数:

$$k(x, x_i) = \tanh [v(x_i \cdot x_j) + a]$$

3 应用实例

3.1 试验数据

莆田市位于福建东南沿海,人多地少,且山地面积占全市总面积的 70% 以上,山体斜坡普遍发育。山区村民建房、修路及水利水电工程建设等工程活动较频繁,地表破坏较为严重,为地质灾害的发育创造了有利条件,但其发生的诱发因素绝大多数都是台风暴雨引发。仅 1999 年 10 月 8 日台风暴雨造成的滑坡就有 56 处,其中特大型 2 处,重大型 6 处。作者因此选择了莆田市 1999 年 10 月 25 日的 landsat7 ETM 数据,共有 8 个波段。在对图象进行几何校正、投影变换处理后,将全色波段与 1、2、3、4、5、7 波段进行了主成分变换法的空间分辨率的融合处理,融合后的影像既保留了 TM 影像的原始彩色,同时又具有高分辨率的处理细节。该试验区范围长 37.8 km,宽 36 km,图像大小为 2 648 × 2 531 像元。

3.2 应用 SVM 提取滑坡灾害信息

作者分别取滑坡点中心点周围一定数量的点,选取原则根据滑坡点的象元面积,象元面积小于四个的不取,共提取了 126 个滑坡样本点,然后从研究区中选取了 200 个稳定的点作为另一类,这 326 个点组成总的样本集。每个样本点有六个属性(即六个波段的灰度值),样本被随机划分成训练样本集(160 个样本)和测试样本集(166 个样本)。先选择核函数,通过对比试验发现较好的模型为多项式核函数,利用交叉校验 (cross-validation) 方法获取支持向量机的初始参数,利用这个初始模型对 160 个训练样本进行 SVM 训练学习,然后对 166 个测试样本进行测试,并计算识别正确率。修改支持向量机模型的参数,再重复以上训练和测试步骤,直到取得较满意的识别正确率。最终得到一组参数为 $d=3$, $C=17$,支持向量为 59 个,识别正确率达 83.62%。最后应用该模型对整个研究区进行滑坡信息提取,提取结果及原图见图 2、3。对比研究区的实际灾害发生图,本次采用 SVM 提取的滑坡灾害信息,其信息范围,基本上覆盖了已知的滑坡点,但具体位置在个别地方有点偏移,在滑坡点的范围偏大或偏小。这个结果表明滑坡灾害信息提取的支持向量机方法是一种快速、准确、可行的方法。



图 3 SVM 滑坡提取结果

15 根桩同时开挖之后的模型见图 1,此工况下的稳定系数为 1.03。从剪应变增量等值线(图 7)看,由于挖孔的几何尺寸和整个坡体相比是很小的,开挖对潜在滑动面位置的影响甚微,在 y 方向上略有前移。一个值得注意的问题是:此工况下,坡体破坏时的最大位移为 0.49 m,而天然状态下坡体破坏时的最大位移为 1.18 m。这固然和折减系数 1.04 小于天然状态下的折减系数 1.08 有很大关系,但我们也可以得到一个初步的认识——挖孔可能使得坡体破坏时的位移征兆变小,坡体更“脆性”。图 9 右部分为 $F_s = 1.04$ 时计算过程中最大不平衡力,同样的折减系数下,在未开挖时解是收敛的,开挖之后解不收敛。

(3) 间隔一孔开挖时的稳定系数。间隔一孔开挖求得的稳定系数为 1.06,与天然状态下的 1.07 和全部同时开挖时的 1.03 相比,这种施工方案对边坡的扰动较小,较为合理。

(4) 其它工况。该边坡的左边部分相对稳定,因此首先开挖左边 5 孔,得到的稳定系数是 1.07,与未开挖时一样。若首先开挖右边 5 孔,安全系数为 1.04。

将以上的分析结果列于下表:

表 2 各种工况安全系数

工况	天然状态	全部同时开挖	间隔 1 孔开挖	首先开挖左边 5 孔	首先开挖右边 5 孔
安全系数	1.07	1.03	1.06	1.07	1.04
最大位移/m	1.18	0.49	0.69	1.18	0.32

2.3 抗滑桩施工合理的开挖顺序

通过以上的分析,制定的施工方案为:首先开挖左边 5 孔,待抗滑桩起到对边坡的加固作用后,再采取间隔 1 孔开挖的方式施工中间和右边的 10 根抗滑桩,同时加强监测。如此流程将施工对边坡的扰动减到最小,保证了施工期的安

参考文献:

- [1] 张鲁渝,郑颖人,赵尚毅,等. 有限元强度折减系数法计算土坡稳定安全系数的精度研究[J]. 水利学报,2003,(1):21-27.
- [2] M G Saterbo Glamen, S Nordal, A Emdal. Slope Stability Evaluation using the Finite Element Method[R]. NGM 2004.
- [3] 孙伟,龚晓南. 土坡稳定分析强度折减有限元法[J]. 科技通报,2003,19(4):319-322.
- [4] 连镇营,韩国城,孔宪京. 强度折减有限元法研究开挖边坡的稳定性[J]. 岩土工程学报,2001,23(4):407-411.
- [5] 迟世春,关立军. 基于强度折减的拉格朗日差分方法分析土坡稳定性[J]. 岩土工程学报,2004,26(1):42-46.
- [6] Ugai K. A method of calculation of total factor of safety of slopes by elastic-plastic FEM[R]. soils and foundations, 1989,29,2.
- [7] Dawson, E M, W H Roth, A Drescher. Slope Stability Analysis with Finite Element and Finite Difference Methods[M]. Gotechnique,1998.

(上接第 121 页)

4 结论与展望

本文首次提出用 SVM 进行滑坡灾害信息遥感图像提取,该方法是切实可行的。SVM 方法应用于滑坡灾害信息提取是一个新的尝试,试验结果是令人鼓舞的。今后,基于

参考文献:

- [1] 牛宝茹. 滑坡灾害遥感调查与分析[J]. 公路,2002,(10):15-17.
- [2] 唐新建,陶章袁. 利用遥感图像对滑坡进行调查和监测分析研究[J]. 岩石力学与工程学报,2002,(S1):2510-2515.
- [3] Vapnik V N. The Nature of Statistical Learning theory[M]. New York: Springer Verlag,1995.
- [4] Vapnik V N. Statistical Learning theory[M]. New York: Wiley,1998.
- [5] Cortes C, Vapnik V N. Support-Vector Networks[J]. Machine Learning,1995,20(3):273-297.
- [6] Scholkopf B, Mika S, Burges C. Input space vs. feature space in kernel-based methods[J]. Transactions on Neural Networks,1999,10(5):1000-1017.
- [7] Boser, Guyon, Vapnik V. A Training Algorithm for Optimal Margin Classifiers[M]. Fifth Annual Workshop on Computational Learning Theory,1992,144-152.

全。

3 结论

通常采用抗滑桩治理的对象都是已有明显变形迹象的边坡、斜坡,稳定系数较低,其稳定性关系到人民的生命财产、各种工业民用建筑、交通设施等等的安全,因此在施工过程中应做到小心翼翼,采取合理的开挖顺序,尽可能减少对边坡的扰动,分析中采用本文论述的方法是有效的。

治理工程影响因素较多,与当地的工程地质和水文地质条件密切相关。但普遍看来,结合以上分析,有以下结论:

(1) 将强度折减技术用于分析边坡稳定系数是适宜的、有效的方法,不过仍处在探讨阶段,将得到的稳定系数应用到实际工程还有待于相关理论的发展和实践中的检验。但用于分析本文类似的稳定系数降低的相对数值应是可行的。

(2) 同样的抗滑桩工程,不同的施工顺序会不同程度的降低边坡的稳定系数。实际工程建设中应分析后选取最佳的方案。

(3) 间隔 1~2 孔分批施工是有效的减小施工风险的措施。

(4) 应先施工稳定性相对较高部分坡体中的抗滑桩,待起到对边坡的加固作用后再施工稳定性相对较低部分坡体中的抗滑桩。

(5) 不经分析的乱挖桩孔,使坡体稳定系数降低很多,而且坡体更加“脆性”,失稳前的位移征兆变得不明显,破坏更加突然。

(6) 本文考虑的施工因素仅仅是开挖,实际工程建设中还有堆载、机械等其他因素,所以斜坡稳定系数降低值应更大,制定合理的施工方案更为必要。

SVM 的滑坡灾害信息遥感图像提取在以下几个方面需要进一步深入:(1) 优化 SVM 训练模型,降低计算量,提高判别效率;(2) 基于 SVM 多源空间数据的集成;(3) 核函数的类型和参数选择。