

基于 Hough 变换和数学形态学的 遥感影像城区道路提取

刘小丹, 刘 岩

(辽宁师范大学计算机与信息技术学院, 辽宁 大连 116081)

[摘要] 根据高分辨率遥感影像城区道路的分布特点和几何特征, 提出一种基于 Hough 变换和数学形态学的高分辨率遥感影像城区道路提取方法. 用 Hough 变换检测主要道路的方向及道路宽度, 以此构造相应的数学形态学线性结构元素. 将 Hough 变换用在数学形态学的结构元素选取上, 解决了城区道路提取中直接用 Hough 变换方法不能精确提取较短道路和微小弯曲道路问题, 克服了多尺度全方位结构元素方法的误判现象.

[关键词] Hough 变换, 数学形态学, 遥感影像, 城区道路提取, 结构元素

[中图分类号] TP 751 [文献标识码] A [文章编号] 1001-4616(2010)04-0128-06

Urban Road Extraction From Remote Sensing Image Based on Hough Transform and Mathematical Morphology

Liu Xiaodan, Liu Yan

(School of Computer and Information Technology, Liaoning Normal University, Dalian 116081, China)

Abstract According to the distribution and geometric characteristics of urban road in high-resolution remote sensing image, this paper presents an approach to extract the urban road from high-resolution remote sensing image based on hough transform and mathematical morphology. The method uses hough transform to detect the direction and width of main road, constructs mathematical morphology linear structural elements. Using the hough transform to choose the mathematical morphology structural elements, we can solve the problem that the hough transform method cannot extract short curved roads and minor roads accurately, and can overcome a situation of roads misjudgment with the method of Multiscale Omnidirectional structural elements.

Key words hough transform, mathematical morphology, remote sensing, urban road extraction, structural elements

数学形态学用于遥感影像道路提取是一种很有效的方法, 有不少学者进行了研究^[1-4]. 数学形态学对图像的分析处理主要依据于特定的形状变换, 而形状变换的特性由具体的运算和结构元素的几何特征决定, 并且形状变换的复杂度直接依赖于结构元素的形状、大小, 因此运用数学形态学进行图像处理的关键在于结构元素的选择. 随着城市的发展以及遥感影像空间分辨率的提升, 地物的形状结构和纹理信息变得十分丰富, 使得结构元素的选择更加困难.

关于结构元素设计对遥感影像目标特征提取的影响, 已有不少的研究. 刘生、王潇宇^[5]结合高空间分辨率遥感影像的特点, 用数学形态学方法, 设计了具有不同尺度和包含全部方向的结构元素, 指出全方位结构元素多级加权滤波去噪算法很好地抑制了图像中的噪声, 并保留了图像细节, 但有盲目选择结构元素的缺点. 吕建刚、韦春桃^[6]提出了基于 Hough 变换的高分辨率遥感影像城市直线道路提取方法, 能有效地提取城市的直线道路. 但 Hough 变换提取效果受直线长度阈值选取的影响, 如果阈值选取较大, 则不能提取出较短的直线以及微小弯曲的线; 若阈值选取较小, 则会检测出许多非道路线段, 比如建筑物等. 我们把 Hough 变换用在数学形态学结构元素的选择上, 这样就避免了直接用 Hough 变换方法不能判断较短和微

收稿日期: 2010-06-10

基金项目: 辽宁省高等学校优秀人才支持计划基金 (200811833).

通讯联系人: 刘小丹, 教授, 研究方向: 图像处理、数字化印刷技术. E-mail: liuxiao8866@sina.com

小弯曲目标的缺点, 同时也解决了多尺度全方位结构元素方法盲目选择结构元素造成的无关方向上道路提取的误判现象.

1 用 Hough 变换获取城区道路特征

1.1 城区道路特征

虽然遥感影像相对比较复杂, 但城区道路在影像中常表现为直线. D B L Bong K C Lai 等人^[7]对道路基本特征做了描述, 在此基础上, 根据城区道路的分布特点, 我们对道路的特征进一步描述如下:

- (1) 道路由有限个道路段互相连接而成, 多数为正交和平行两种状态;
- (2) 每个道路段内的灰度变化较小;
- (3) 每个道路段都具有自己的方向, 且曲率较小;
- (4) 道路段的宽度变化较小, 且长度远远大于其宽度.

由于图像分辨率、道路类型以及地物的密集度等原因, 使得一些特征发生变化. 比如: 树木和建筑物的阴影使得道路内部光谱发生变化; 道路中间的斑马线、分道线和车辆会使道路发生断裂; 建筑物顶部的光谱往往和道路的光谱一致, 会形成具有道路特征的平行线. 这些都是导致错误道路提取的原因.

为了能检测到各个方向的道路, 我们需要构造多方位的形态学算子. 多尺度全方位结构元素方法能够检测每个方向的线段, 但并不是每个方位都存在道路, 因此会出现过提取现象. 我们根据上述城区道路特点, 用 Hough 变换检测图像中道路所在直线的方向以及该方向上道路的宽度, 然后根据得到的结果构造相应的结构元素, 该方法能够很好地提取道路信息.

1.2 Hough 变换

Hough 变换是一种线描述方法, 将笛卡儿坐标空间中的线变换为极坐标空间中的点. 如 x, y 是像素的笛卡儿坐标, 用 r 代表直线距原点的法线距离, θ 为该法线与 X 轴的夹角, 则笛卡儿坐标空间中的一条直线 $y = mx + b$ 可用极坐标表示为: $r = x \cos \theta + y \sin \theta$ 其中, (r, θ) 定义了一个从原点到该直线最近点的向量, 这个向量与该直线垂直. 考虑一个以参数 r 和 θ 定义的二维空间. xoy 平面的任意一条直线对应了该空间的一个点. 如图 1 所示, 图 1(a) 中的线对应于图 1(b) 中的点.

为了找出道路所在的方向以及该方向上道路的宽度, 应先用 Hough 变换检测出这些直线, 再根据道路特征判断直线的关系从而测量道路的宽度.

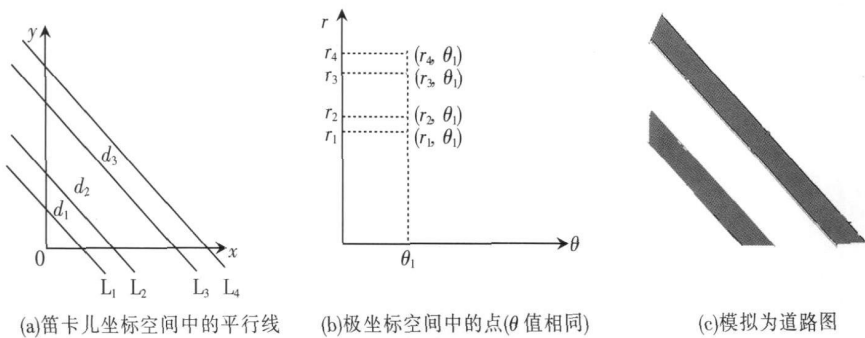


图 1 笛卡儿坐标空间中的线对应极坐标空间中的点

Fig.1 The line in cartesian coordinate space corresponds to the point in polar coordinate space

处理过程为:

- (1) 将空间 (r, θ) 量化成许多小格, 并相应设置一个二维累加器矩阵. 累加器中的每个元素描述了 (r, θ) 平面上的离散点. 将图像中的每个像素点 (x_0, y_0) 代入 θ 的量化值, 算出对应的 r . 计算所得值落在某个小格内, 便对空间累加器进行加 1. 当全部 (x, y) 点变换后, 得到累加器 $\text{accarray}(r, \theta)$.
- (2) 记录 $\text{accarray}(r, \theta)$ 大于某一个值时所对应的 θ 值与 r 值, 并存入 A 和 B 两个数组中.
- (3) 通过对数组 A 和 B 的统计, 得出每个 θ 值对应的所有 r 值, 并存入数组 C 中, 将 θ 值存入数组 C 的第一行, r 值依次存入对应的 θ 值所在的列中.
- (4) 对数组 C 每一列进行由大到小排序 (第一行除外). 计算相邻数之间的差值, 存入数组 D 中. D 数

组中第一行存储 θ 对应的列中存储差值.

(5) 按道路特征描述, 根据数组 D 确定道路方向与宽度.

如图 1(a) 所示, l_1, l_2, l_3, l_4 为两两互相平行的直线. 在 (r, θ) 中表现为 θ 值相同、 r 值不同的点的集合, 如图 1(b). 通过不同的 r 值, 我们可以得到 d_1, d_2, d_3 . 根据道路特征描述, 道路两边缘线平行且距离远小于平行线长度, 可以得到道路的宽度 d_1, d_3 以及道路之间的宽度 d_2 , 最终可得到道路模拟图像, 如图 1(c).

2 基于特征的数学形态学道路提取

城区道路在遥感影像上常表现为直线. 对于直线识别, 通常使用的是 Hough 变换, 其方法是利用图像全局特性对目标轮廓进行直线检测. 在没有噪声的条件下, 利用 Hough 变换可以很好地提取这些直线. 由于图像获取时会带入一定的噪声, 并且遥感影像很复杂, 道路不可能完全表现为直线. 对于较短和稍微弯曲的道路, Hough 变换不能检测出来. 在处理这类问题时, Hough 变换有一定的局限性. 数学形态学是用具有一定形态的结构元素度量和提取图像中对应形状以达到分析和识别的目的, 可以提取较短和稍微弯曲的道路信息.

2.1 构造结构元素

结构元素是数学形态学运算的核心, 其形状和大小的选择将直接影响目标信息提取的结果. 考虑目标对象的多尺度特性, 可采用不同尺寸的结构元素; 考虑目标对象的多方向性, 可采用不同方向的结构元素. 由于数学形态学运算对结构元素的结构和形状十分敏感, 必须选择合适的结构元素^[8]. 我们主要采用线性结构元素:

$$SE = \text{strel}('line', x, y), \tag{1}$$

式 (1) 中 SE 表示结构元素, $\text{strel}()$ 表示创建结构元素的函数, 其中 'line' 表示线性结构元素, x, y 的取值决定结构元素的大小和方向. 其中线性结构元素中, x 与 y 有如下关系:

$$\begin{cases} x = 2N + 1, & N = 1, 2, 3, \dots \\ \theta = 90/(x - 1), & \theta \text{ 为 单位 角度} \\ y = n * \theta & n = 0, 1, 2, \dots, 4N - 1 \end{cases} \tag{2}$$

由公式 (2) 可以得出, 尺度为 $(2N + 1) \times (2N + 1)$ 的全方位结构元素有 $4N$ 个.

当 $N = 2$ 时, $x = 5$ 该尺度结构元素分别对应的角度 $y = 0^\circ, 22.5^\circ, 45^\circ, 67.5^\circ, 90^\circ, 112.5^\circ, 135^\circ, 157.5^\circ$, 共有结构元素 8 个.

Hough 变换可以得到主要道路的方向及宽度. 根据该道路方向和宽度, 我们可以构造相应方位及相应尺度的结构元素. 如图 2(a), 图像大小为 191×176 通过 Hough 变换后可以构造如下结构元素 SE_1, SE_2, SE_3, SE_4 . 如图 2(b) ~ (e) 所示.



图 2 根据 Hough 变换构造的结构元素

Fig.2 Construct structural elements based on hough transform

2.2 道路提取

为了提高道路提取的准确度, 先对图像进行对比度增强, 再对增强后图像进行二值分割. 对分割后的图像用数学形态学方法进行道路提取. 具体步骤如下.

- (1) 使用基于灰度分布直方图的对比度拉伸方法增强图像.
- (2) 根据图像灰度分布设定二值化分割阈值 T 对图像进行分割, 得到二值图像 BW , 如图 3(a) 所示.
- (3) 由 Hough 变换确定主要道路的方向 θ 和道路宽度 d 存入数组 D 中;

- (4) 从数组 D 中依次找出 d 和 θ 由式 (1) 构造结构元素 $SE_i, i = 1, 2, \dots, n$
- (5) 对所有确定的结构元素:
 - a 用结构元素 SE_i 对 BW 进行腐蚀, 得到该方向的道路段子图 BW_i ;
 - b 对 BW_i 进行滤波去噪, 得到子图 $BW1_i$;
 - c 再用结构元素 SE_i 对 $BW1_i$ 进行膨胀, 得到子图 $BW2_i$;
- (6) 对各方向子图 $BW2_i$, 如图 3(b)、图 3(e), 进行合并, 得到道路提取结果, 如图 3(f).

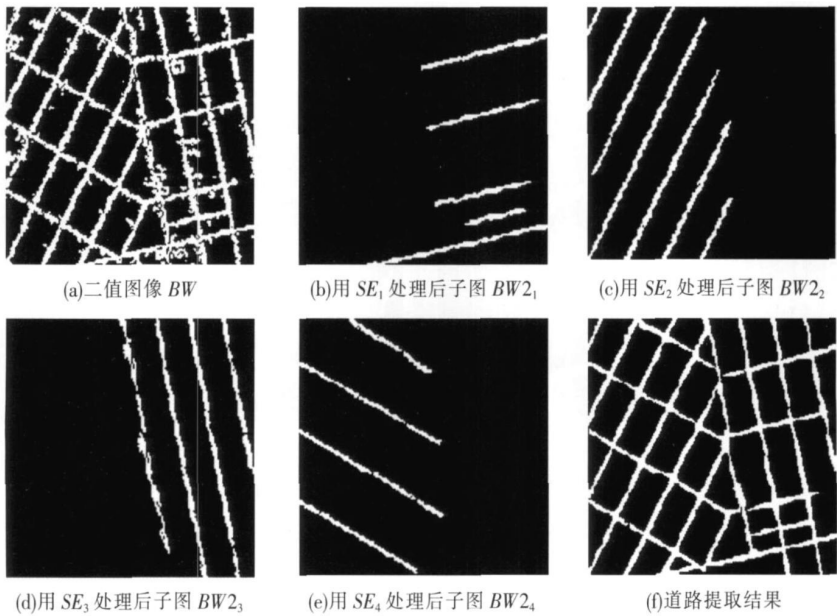


图 3 整个算法过程

Fig.3 The procedure of the whole algorithm

在图 3(a)中, 容易看出该图像有 4 个方向的主要道路段. 用 Hough 变换可以得到图像中道路的 4 个方向以及道路宽度, 以此来构造结构元素. 采用某一特定角度和特定长度的线性结构元素对图像进行腐蚀和膨胀, 能够提取与结构元素方向以及尺度相关的道路信息. 一些较大的非道路目标以及那些与主要道路段不平行或不正交的目标很难完全腐蚀. 因此, 我们可以用目标形状指数、面积阈值等手段去除这些噪声. 在腐蚀过程中, 道路可能被中断, 相关尺度的膨胀处理可以连接中断的道路. 最后, 使用“OR”运算, 简单合并各个方向的子图, 就可得到最终的道路提取结果.

3 实验结果与分析

实验样本取 3 组城镇高分辨率遥感影像: 第一组实验数据为北京某城区的 SPOT5 全色影像, 实验区大小为 353×428 像素, 如图 4(a) 所示; 第二组实验数据为上海某城区的 SPOT5 全色影像, 实验区大小为 315×313 像素, 如图 5(a) 所示; 第三组实验数据为大连某城区的 SPOT5 全色影像, 实验区大小为 283×301 像素, 如图 6(a) 所示. 分别进行了基于 Hough 变换和数学形态学的道路提取实验、基于多尺度全方位结构元素的数学形态学道路提取实验、基于 Hough 变换的道路提取实验. 实验环境为 Matlab 2006b, 实验结果如图 4 图 5 图 6 所示.

在图 5(c)、图 6(c)中, 基于多尺度全方位结构元素的数学形态学道路提取方法提取出来一些小的非道路段. 原因有两个: 一是没有考虑道路方向与主干道路相关问题; 二是人工选取结构元素尺度, 如果尺度选取较小则不能去掉一些噪声和毛刺, 如果尺度选取较大则会丢掉一些道路信息.

在图 4(d)、图 5(d)中, 基于 Hough 变换的道路提取方法不能准确提取出来较短的直线道路. 在图 6(d)中, 对于一些稍微弯曲的道路, 该方法同样提取不出来. Hough 变换是将累加器中的几个局部极大值进行 Hough 反变换. 若直线阈值选取较大, 对于较短的直线, 累加器中的值小, 这样就检测不出来较短的道路; 若直线阈值选取较小, 较短的道路能够提取出来, 但一些与道路特征相似的建筑物也被提取出来. 由于弯曲道路各像素不在一条直线上, 所以得出的是各个方向上的值, 累加器中各个值比较小, 所以不能检

测出来弯曲的道路.

我们提出的方法, 根据 Hough 变换得到主要道路方向及宽度, 并用来构造结构元素, 能够提取与结构元素方向和尺度相关的道路以及具有较小曲率的道路, 如图 4(b)、图 5(b)和图 6(b)所示. 基于 Hough 变换的道路提取方法提取出来的直线道路目标效果非常好, 但对于较小弯曲道路以及比较短的道路则检测不出来, 出现漏判现象, 如图 4(d)左中部和左上角、图 5(d)右下角、6(d)左下角、左上角和右下角. 基于多尺度全方位结构元素的数学形态学道路提取方法虽然没有出现漏判现象, 却出现了过提取现象, 如图 6(c)右侧和左侧和图 5(c)全部. 我们提出的方法, 将上述两种方法的优点相结合, 在道路提取的正确率和完全率上有了明显提高.

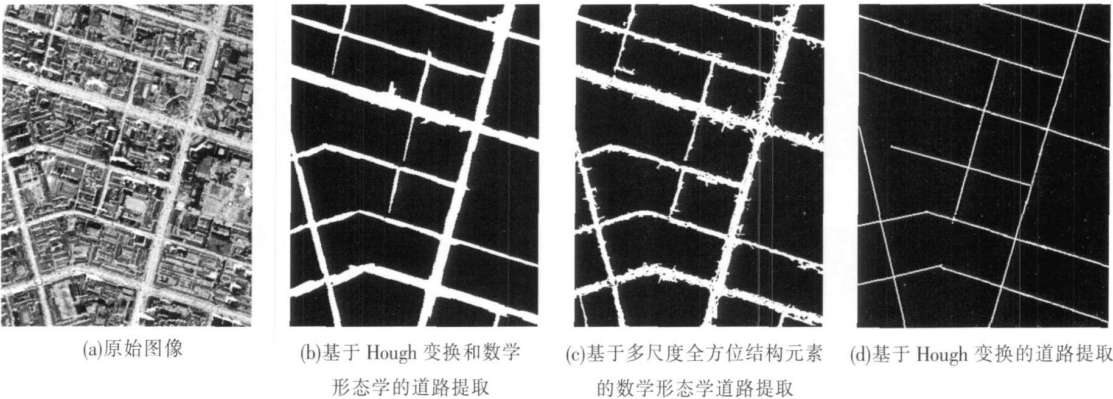


图 4 第一组数据的实验结果
Fig.4 The experimental results of the first set of data

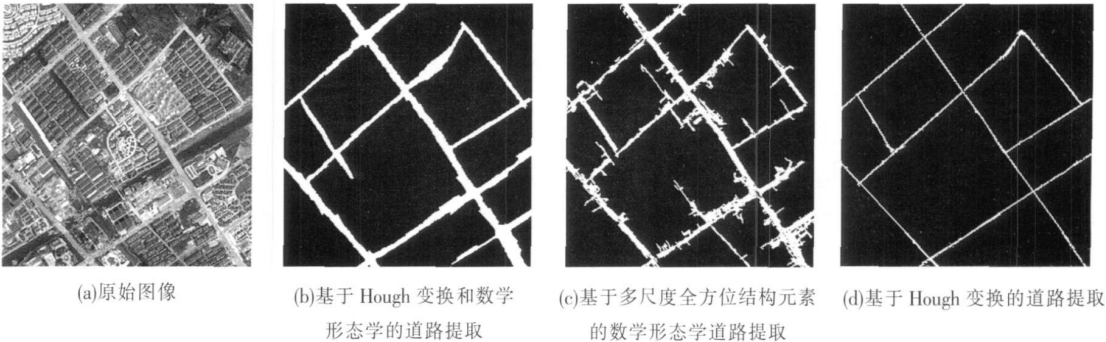


图 5 第二组数据的实验结果
Fig.5 The experimental results of the second set of data

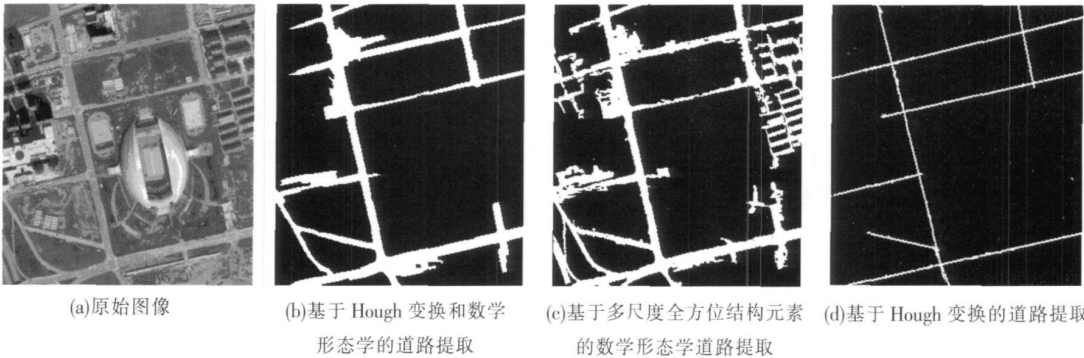


图 6 第三组数据的实验结果
Fig.6 The experimental results of the third set of data

4 结论

根据高分辨率遥感影像中城区道路的特性, 我们先用 Hough 变换检测道路所在直线的方向和道路的

宽度,用检测到的结果构造数学形态学线性结构元素,用数学形态学运算实现道路的提取.结构元素方向和尺度两个参数根据图像本身自适应得到.该方法使结构元素方向随遥感影像中主体道路方向变化,保证了所有主要方向上的道路都能提取;结构元素尺度随遥感影像主体道路宽度变化,保证了合适尺度的道路能被准确提取.实验结果表明,用 Hough 变换得到的道路特征来构造结构元素能够使数学形态学更好地提取高分辨率图像中的城区道路.对于城区道路中存在的立交桥等曲率比较大的道路,本文提出的方法还不能很好地提取,这将是下一步的研究工作.

[参考文献]

- [1] Ma Hongbin Zhao Yahong He Qun Road extraction from high resolution remote sensing image based on mathematics morphology and seed growth[C] // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 2008 523-526
- [2] Letitia S. Elwin Chandran onie Segmentation of urban road network from satellite images using fuzzy mathematical morphology[J]. IGST-GVIP, 2008 8(4): 27-32
- [3] 潘建平, 邬明权. 基于数学形态学的道路提取[J]. 计算机工程与应用, 2008 44(11): 232-233
- [4] 安如, 冯学智, 王慧麟. 基于数学形态学的道路遥感影像特征提取及网络分析[J]. 中国图像图形学报, 2003 8(7): 798-804
- [5] 刘生, 王潇宇. 基于数学形态学的高空间分辨率遥感影像几何特征提取[J]. 地球信息科学, 2008 10(2): 251-256
- [6] 吕健刚, 韦春桃. 基于 Hough 变换的高分辨率遥感影像城市直线道路提取[J]. 遥感应用, 2009(3): 15-18
- [7] Bong D B L, Lai K C, Joseph A. Automatic road network recognition and extraction for urban planning[J]. World Academy of Science, Engineering and Technology, 2009 41(53): 209-210
- [8] 徐春燕, 冯学智, 赵书河, 等. 基于数学形态学的 KONOS 多光谱图像分割方法研究[J]. 遥感学报, 2008 12(6): 980-986

[责任编辑: 孙德泉]

(上接第 127 页)

- [16] Wu S H, Lin K P, Chen C M. Asymmetric support vector machines: low false positive learning under the user tolerance [C] // Proceeding of the 14th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining New York, 2008
- [17] 张青青, 陈松灿. 非平衡类的异常检测研究[D]. 南京: 南京航空航天大学信息科学与技术学院, 2010
- [18] Zhou Zhuhua Li Nan Multi information ensemble diversity[C] // Proceedings of the 9th International Workshop on Multiple Classifier Systems Cairo Egypt 2010
- [19] Tao Dacheng Tang Xiaou Li Xuebing et al Asymmetric bagging and random subspace for support vector machines based relevance feedback in image retrieval[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2006 28(7): 1088-1099
- [20] Liu Xuying Wu Jianxin Zhou Zhuhua Exploratory undersampling for class imbalance learning[J]. IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics-part B Cybernetics 2009 39(2): 539-550
- [21] Huang Faliang Xie Guoqing Xiao Ruliang Research on ensemble learning[C] // Proceeding of the International Conference on Artificial Intelligence and Computational Intelligence Shanghai 2009
- [22] Yu Leang Wang Shouyang Kin Keung Lai Investigation of diversity strategies in SVM ensemble learning[C] // Proceedings of the 4th International Conference on Natural Computation Jinan 2008 39-42
- [23] Yeung D S Wang D Ng W W Y, et al Structured large margin machines sensitive to data distributions[J]. Machine Learning 2007 68(2): 171-200
- [24] Xue H, Chen S Yang Q. Structural support vector machines[C] // Proceedings of the 15th International Symposium on Neural Networks Beijing 2008
- [25] He Habu, Eduardo A Garcia Learning from imbalanced data[J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering 2009 21(9): 1263-1284

[责任编辑: 孙德泉]