

文章编号: 2095-2163(2021)04-0082-06

中图分类号: TP 391.41

文献标志码: A

基于图像识别的路侧停车位数目检测方法研究

陈文¹, 应捷¹, 杨海马¹, 何施晶²

(1 上海理工大学 光电信息与计算机工程学院, 上海 200093; 2 上海领旌信息科技有限公司, 上海 201306)

摘要:为了解决路侧停车位数目检测问题,本文采用基于图像识别的方法,将复杂的动态视频信息转化为简单的静态图像信息。首先,采用中值滤波、伽马变换和形态学处理等方法对感兴趣区域进行图像预处理;接着采用基于 PPHT 与直线聚类的方法检测停车位标记线;其次,采用二次方递减图像拼接的方法将该路段所有停车位拼接在一幅图像上,既防止了停车位数量的错检,又简化了处理流程;最后,采用轮廓提取算法对拼接图上的停车位计数。使用 4 个不同路段的停车位对所提出的方法进行了定量评估,结果表明,该方法的准确率为 98.53%,优于以往的方法。

关键词: 图像识别; PPHT; 直线聚类; 图像拼接; 轮廓提取

Research on the Detection Method of the Number of Roadside Parking Spaces Based on Image Recognition

CHEN Wen¹, YING Jie¹, YANG Haima¹, HE Shijing²

(1 School of Optical Electrical and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China; 2 Shanghai Lingjing Information Technology, Co., Ltd, Shanghai 201306, China)

[Abstract] In order to solve the problem of detecting the number of parking spaces on the roadside, this paper adopts a method based on image recognition to convert complex dynamic video information into simple static image information. First, use median filtering, gamma transformation, and morphological processing to preprocess the image of the region of interest; then use PPHT and linear clustering to detect parking space marking lines; then use the method of quadratic decreasing image stitching. All the parking spaces on the road section are spliced onto one image, which prevents the wrong detection of the number of parking spaces and simplifies the processing flow. Finally, the contour extraction algorithm is used to count the parking spaces on the mosaic map. The proposed method is quantitatively evaluated using parking spaces on four different road sections. The results show that the accuracy of the method is 98.53%, which is better than previous methods.

[Key words] Image recognition; PPHT; Linear clustering; Image stitching; Contour extraction

0 引言

随着汽车保有量的不断增加,停车难成为城市可持续发展面临的严峻问题之一^[1]。目前各城市停车位严重不足,实时检测并掌握停车位的数目,根据需求合理增加或者减少停车位,充分提升现有停车位的运营效率是解决停车位不足的重要手段。

停车位检测的方法可以分为 4 种:基于用户界面的、基于自由空间的、基于槽标记的和基于基础设施的^[2]。本文的目的是为了识别停车位并记录停车位数目,显然采用基于槽标记的方法最合适。几乎所有基于槽标记的方法都使用摄像机,但是复杂多变的环境因素对摄像机采集视频和图像有很大的

影响^[3]。此外还有一些影响因素亟待解决,例如:标记线年久褪色、侵蚀、标记线严重缺失等。

针对停车位标记线的检测,可以简单的将以往的方法概括为:Jung 等人首次提出了识别各种类型标记线的方法,通过设置感兴趣区域,采用交叉点模式分类识别、定位以及目标位置建立的方案达到了目的^[2];Suhr 等人通过使用分层树结构自动检测各种类型的停车位标记,缺点是对照明条件敏感^[3];Suhr 等人提出通过估计平行线对来检测停车位,利用车载传感器克服了光照条件的约束,但缺陷是只能处理单一类型的停车位标记线^[4];Zong 等人采用改进的 LSD 直线提取器和 L 型角点提取器克服了光照条件的约束,对空置停车位检测的效果很

基金项目: 国家自然科学基金联合基金(U1831133)。

作者简介: 陈文(1996-),男,硕士研究生,主要研究方向:图像处理和模式识别;应捷(1973-),女,博士,副教授,主要研究方向:图像处理、模式识别、智能检测;杨海马(1979-),男,博士,副教授,主要研究方向:数字信号分析和处理、模式识别系统开发、符号滑块可变结构控制;何施晶(1989-),男,硕士,中级工程师,主要研究方向:软件开发、图像处理与模式识别。

通讯作者: 陈文 Email:cw18756039436@163.com

收稿日期: 2020-12-16

好^[5];Hsu等人也是采用环视摄像机采集图像,再通过采用提取车位线特征、随机采样、区域生长法、边缘检测等算法检测标记线,该算法也取得了令人满意的效果^[6]。本文的目的是标记出标记线,方便进行图像拼接以及轮廓提取。因此,首先进行图像预处理,再利用基于叶贝斯分类器的概率霍夫变换检测出标记线。

在检测出标记线后,本文采用基于图像拼接的算法进行停车位数目检测,将所有停车位都显示在一张拼接图上,既防止了错检,又简化了处理流程。有关图像拼接领域,Xiong等人利用小内存,采用颜色校正、动态规划、图像混合实现了对全景图像的快速拼接^[7];Wang等人针对图像拼接中的接缝问题,采用曲线小波变换,有效的消除了接缝^[8];Fang等人采用保形半投影法、颜色混合方法、加权坐标差值、超像素分割,在无人机拍摄的重叠图像上取得了较好的拼接效果^[9];Chen等人采用局部保持匹配、鲁棒弹性曲翘函数、全局射影保持,获得了高精度的

无人机图像的合成全景图^[10]。上述诸多图像拼接算法在各自运用场景都取得了显著成效。为了解决现有图像拼接算法在停车位数目检测领域运用效果不佳、处理速度慢的问题,本文采用基于二次方递减的图像拼接算法进行图像拼接,不仅节省时间,也大幅提升了拼接效果。

1 停车位数目检测方法

本文进行停车位数目检测方法的整体方案如图1所示。先选取有停车位的路段进行视频采集,由于采集的视频包含信息量巨大,因此根据采集路段的不同设置不同的间隔帧数提取图像,剔除视频中包含的大量无用图像信息,减少计算量;再对提取的图像预处理后采用PPHT与直线聚类算法检测出停车位标记线;采用二次方递减图像拼接算法进行拼接,把动态视频问题转化为静态图像问题,便于后续处理;对拼接图中的停车位进行轮廓提取,得出停车位数目。

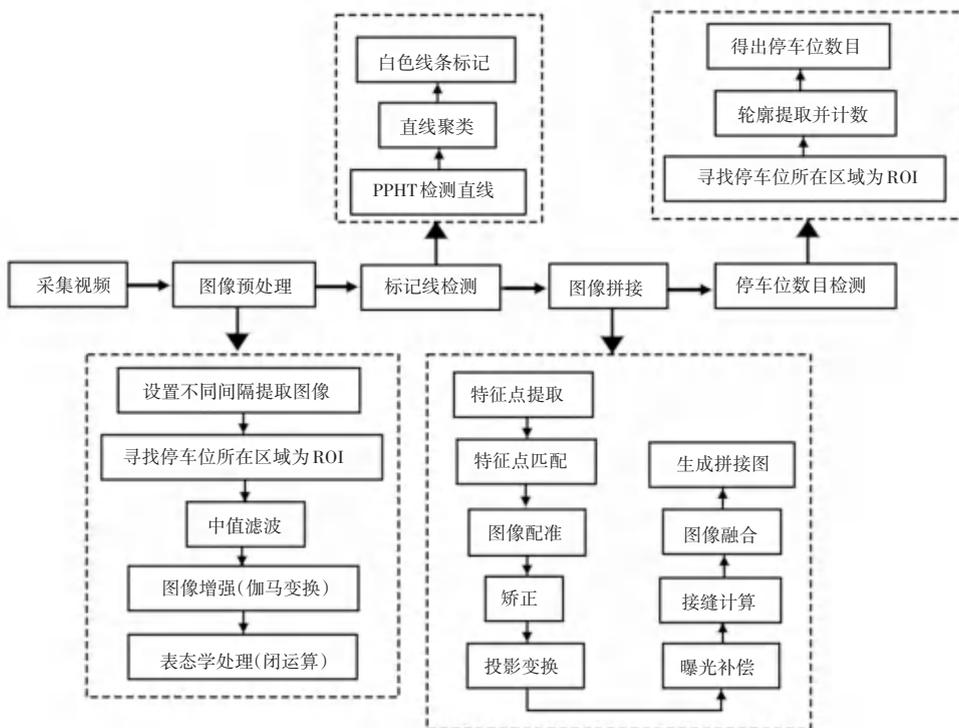


图1 整体方案图

Fig. 1 Overall plan

1.1 图像预处理

从采集的视频中提取图像 $f(x,y)$,寻找停车位所在的部位为感兴趣区域(Region Of Interest, ROI),在采集、传输、处理视频时,不可避免的会产生噪声,采用中值滤波去除噪声。在视频采集的过程中也存在过曝或者曝光不足的情况,采用伽马变

换(Gamma transform)进行图像增强。在经过伽马变换后,ROI变得层次分明、色彩均匀,有利于后续形态学操作。鉴于道路旁停车位的标记线大多存在年久褪色、缺失等问题,采用闭运算(Closing Operation)将标记线轮廓平滑并填充缺失部位,同时改善图像质量,对感兴趣区域进行图像预处理的结

果如图2所示。

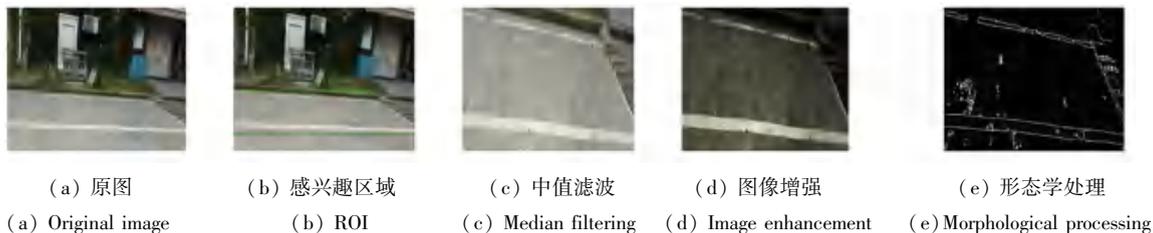


图2 图像预处理

Fig. 2 Image preprocessing

1.2 基于PPHT与直线聚类的方法检测停车位标记线

在对ROI预处理后,标记线轮廓清晰的呈现出来,方便进行直线检测。采用渐进概率霍夫变换(Progressive Probabilistic Hough Transform, PPHT)检测直线,仅随机抽样处理,节约了时间及计算量。采用PPHT检测直线关键在于如何设置参数使得检测结果最优。本文设置5个参数来检测平行标志线对,分别为:最佳阈值(OT)、最短可视直线值(MLL)、同一直线各点允许最大间隙值(MAG)、相邻线段之间的距离($\Delta\rho$)及相邻线段的方向角($\Delta\theta$)。具体的直线聚类算法规则见表1。检测出平行标志线对的位置作为预选停车位,并用白色标记线标出,线检测效果如图3所示。

表1 直线聚类算法

Tab. 1 Linear clustering algorithm

输入: PPHT 直线检测结果

输出: 平行标志线对

步骤1 遍历每一条根据PPHT算法检测到的直线段,设定一个阈值OT,先根据该阈值将小于该阈值的线过滤;

步骤2 初始化新的直线类,并设置flag为false;

步骤3 遍历新的直线类,设定最短可视直线值MLL和同一直线各点允许最大间隙值MAG,相邻线段之间的距离小于 $\Delta\rho$,相邻线段的方向角小于 $\Delta\theta$,设置flag为true,重新计算新直线的起点和终点;

步骤4 如果flag为false,将得到的新直线放入直线类集合中。



图3 使用PPHT与直线聚类在ROI检测标记线

Fig. 3 Use PPHT and linear clustering to detect parking space marking lines in the ROI

1.3 基于二次方递减的图像拼接

首先,采用SURF算法进行特征点提取;利用标

记出的停车位标记线进行特征点匹配;RANSAC(random sample consensus)算法进行图像配准。在图像矫正后,利用柱面投影变换后曝光补偿,再使用动态规范法对拼接图像,进行拼缝计算消除接缝,利用羽化融合算法对图像融合,生成拼接图。

SURF算法检测特征点具有稳定、计算量少、匹配实时性等优点。通过计算图像 $f(x,y)$ 的二阶海森矩阵来生成所有的兴趣点,图像 $f(x,y)$ 在位置 (x,y) 和尺度 σ 的海森矩阵定义为式(1):

$$H[x,y,\sigma] = \begin{pmatrix} \frac{\partial^2 h_{xx}(x,y,\sigma)}{\partial x^2} & \frac{\partial^2 h_{xy}(x,y,\sigma)}{\partial x \partial y} \\ \frac{\partial^2 h_{xy}(x,y,\sigma)}{\partial x \partial y} & \frac{\partial^2 h_{yy}(x,y,\sigma)}{\partial y^2} \end{pmatrix}. \quad (1)$$

改为行列式的形式可表示为式(2):

$$\det(H) = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y}. \quad (2)$$

根据 $\det(H)$ 取值的正负选取感兴趣点。为了计算的便捷,采用盒滤波器来近似 $H[x,y,\sigma]$,近似结果表示为式(3):

$$\det(H_A) = A_{xx} A_{yy} - (\omega A_{xy})^2. \quad (3)$$

其中, ω 取值为0.9,用于平衡盒滤波器的相对权重。接着构建尺度空间,提取兴趣点,对其定位和主方向分配,再使用一阶哈尔小波提取描述子,滤除不稳定的和错误的兴趣点,得到最终稳定的特征点。对特征点的匹配需建立点对点的一一映射关系,利用顺序性约束条件,采用动态规范的方法。为了进一步获取较多的最优匹配点采用Lowe's算法, ratio取值为0.6。最后使用2NN算法进行图像配准。对特征点的提取、匹配、配准如图4所示。

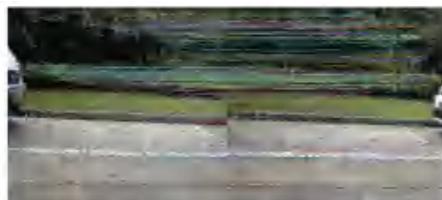


图4 特征点的提取、匹配、配准

Fig. 4 Feature point extraction, matching and registration

由于遮挡效应、约束原则缺乏严格性,导致在交

叉区域存在误匹配,需要采用零交叉校正算法对配准后的图像进行矫正。为了将两幅图像拼接在一起,需要对图像进行投影变换。采用柱面投影法,将两幅图像投影到一个平面上,再对图像进行曝光补偿便得到原始拼接图如图5所示。



图5 原始拼接图

Fig. 5 Original stitching image

由于原始拼接图存在明显的接缝和失真,因此要进行拼缝计算与图像融合。采用动态规划法寻找接缝线,该方法不仅能够快速的找到最佳接缝线,且分配内存少。图像 $f_1(x, y)$ 和 $f_2(x, y)$ 重叠部分误差函数定义为式(4):

$$e = \| \ddot{f}_1(x, y), \ddot{f}_2(x, y) \|_F \quad (4)$$

其中, $\ddot{f}_1(x, y), \ddot{f}_2(x, y)$ 表示两幅图像各自的重叠区域, $\| \cdot \|_F$ 代表 Frobenius 范数。

鉴于接缝线是垂直的,横向遍历 e 值,计算能够到达像素 (x, y) 路径的累积最小误差值,式(5):

$$E_{x,y} = e_{x,y} + \min(e_{x-1,y-1}, e_{x-1,y}, e_{x-1,y+1}) \quad (5)$$

采用动态规划算法可以很好的求取式(5)的解,求取的结果便是最优接缝线。对接缝线两侧的图像羽化融合处理,消除接缝不连贯和视觉上的突兀。羽化融合算法只对接缝线两侧的边界区域平滑虚化,达到自然衔接的效果,表示为公式(6):

$$R = \frac{I_1(x, y) \omega_1 + I_2(x, y) \omega_2}{\omega_1 + \omega_2} \quad (6)$$

其中, R 表示羽化后的新图像; $I_1(x, y), I_2(x, y)$ 表示图像 $f_1(x, y)$ 和 $f_2(x, y)$ 在接缝线两侧边界区域内的部分; ω_1, ω_2 分别代表 $I_1(x, y)$ 和 $I_2(x, y)$ 的加权值。经过拼缝计算与羽化融合后,图像接缝线消失,如图6所示。



图6 拼缝计算与羽化融合

Fig. 6 Seam calculation and feather Blending

当采集的视频包含停车位数目过多时,提取出

的图像 $L_i (i = 1, 2, \dots, n, n \in N^*)$ 将会很多,这时如果采取累进式顺序拼接将会异常耗时,计算机性能不佳时甚至得不到拼接结果,因此本文提出采取相邻两张拼接的二次方递减拼接方案,方案流程如图7所示。每一次循环中只对相邻两张图像进行拼接,每张图像只拼接一次,如果图像数目为奇数,则最后一张在本次循环中不参与拼接。每次循环后都要验证一下图像数目,如果图像数目不为1,则继续进行下一轮循环;如果图像数目为1,则跳出循环,图像拼接完成。虽然这种拼接方案的拼接次数并不比累进式少,但是拼接时所需内存大幅度减少、耗时成指数下降、对计算机性能要求较低。

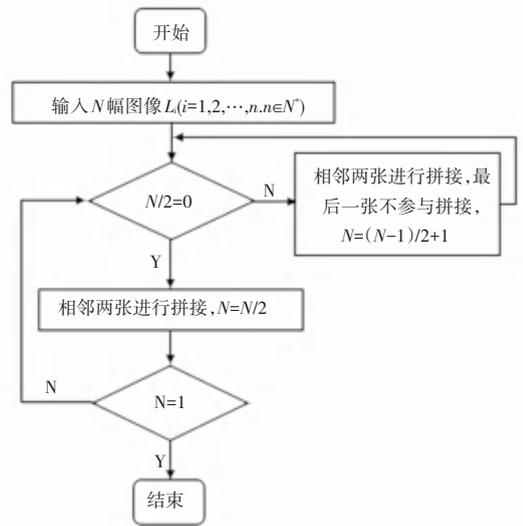


图7 二次方递减拼接方案

Fig. 7 Quadratic decreasing order splicing scheme

1.4 轮廓提取并计数

鉴于拼接图中的停车位已经被白色线条标记,因此只要提取出被标记出的停车位标记线对就可得到该路段停车位数目。用 Lagrange 函数跟踪提取轮廓, Lagrange 函数可表示为式(7):

$$L(x, y) = V(x, y) - \alpha [|I(x, y) - I_0| - T_1] - \beta \frac{\nabla V(x, y)}{V_0} \quad (7)$$

其中, α 和 β 均为正数; T_V 为边缘点数阈值; T_1 为灰度差阈值。

当检测的信息满足式(8)的两个约束条件时,则跟踪并提取出了轮廓信息。

$$\begin{cases} \frac{V(x, y)}{V_0} > T_V, \\ |I(x, y) - I_0| < T_1. \end{cases} \quad (8)$$

对提取出的停车位轮廓采用 RGB 色彩模式标记垂线段,利用循环函数记录调用颜色标记的次数

减1便可得到停车位数目,在颜色标记时,每一次标记的各颜色通道都是利用随机函数产生的0~255的一个随机值,可表示为式(9):

$$Color(R,G,B) = \{rng(0,255),rng(0,255),rng(0,255)\}. \quad (9)$$



(a) 路段 1
(a) Road 1

(b) 路段 2
(b) Road 2

(c) 路段 3
(c) Road 3

(d) 路段 4
(d) Road 4

图 8 轮廓提取并计数

Fig. 8 Contour extraction and counting

2 实验结果

本文实验测试所使用的视频来源于自行拍摄,拍摄地点为上海理工大学校内路侧的停车位。测试软件采用 Visual Studio 2019,配置 opencv3.4.8 和 opencv_contrib-3.4.8,计算机处理器为 Intel Core (TM) i7-4790,CPU 主频 3.6GHz,8GBRAM,操作系统是 64 位 Windows10 系统。

对 4 个路段进行试验的结果见表 2,采用准确率作为性能指标进行判断。准确率定义为式(10):

$$precision = \frac{DN}{RN}. \quad (10)$$

其中, DN 为检测出的停车位数目, RN 为真实数目。

与此同时,本文将一种融合基于空闲空间的方

其中, rng 表示随机函数, $rng(0,255)$ 表示随机产生一个 0~255 之间的整数。

如图 8 所示,(a)图和(b)图中检测到一个停车位,(c)图中检测到 4 个停车位,(d)图中检测到 3 个停车位。

法和基于停车位标记的方法^[4]、一种融合超声波传感器的视觉停车区检测方法^[5]和一种基于环视监控的车位检测方法和车位空置分析算法^[6]运用于检测路侧停车位数目,得出的实验结果见表 3。虽然这些检测空停车位的方法在各自运用领域都有很好的结果,但是在路侧的停车位检测领域却差强人意,也可以看出本文的方案有明显的优势。

表 2 本文方案实验结果

Tab. 2 Experimental results of the project

路段	停车位数目	检测	准确率
1	10	10	100.00%
2	12	12	100.00%
3	13	13	100.00%
4	33	32	96.97%
Total	68	67	98.53%

表 3 文献方案试验结果

Tab. 3 Test results of the References

方法	路段	检测结果	准确率	总准确率
融合基于空闲空间的方法和基于停车位标记的方法	1	9	90.00%	86.76%
	2	12	100.00%	
	3	10	76.92%	
	4	28	84.85%	
融合超声波传感器的视觉停车区检测方法	1	10	100.00%	94.12%
	2	12	100.00%	
	3	12	92.31%	
	4	30	90.91%	
基于环视监控的车位检测方法和车位空置分析算法	1	9	90.00%	88.24%
	2	12	100.00%	
	3	10	76.92%	
	4	29	87.88%	

3 结束语

本文针对现有线检测的不足,提出了基于PPHT与直线聚类结合检测标记线的算法,对标记线的检测取得了很好的效果。针对直接在视频中计数存在的错检,以及处理流程复杂,提出图像拼接的方案,将检测路段所有停车位拼接在一幅图像上。鉴于累进式拼接的异常耗时、错位、占内存等问题,提出了二次方递减式拼接方案,同时也对拼接算法进行了优化。对于拼接图中的停车位,鉴于停车位标记线已经被标记,采用轮廓提取算法提取出平行标记线对,得出停车位数目。经实验验证行之有效,准确率高,可以大规模推广在市政部门使用。但是本文的方案也有很多不足之处,难以解决标记线严重缺失和褪色的情况,也难以解决标记线被完全遮挡的情况。另外,二次方递减拼接已经节约了大量时间,但是由于计算次数多还是很耗时,后续将对该方案的不足做出进一步的研究,继续提高准确率。

参考文献

- [1] SHIN J H, JUN H B. A study on smart parking guidance algorithm [J]. *Transp. Res. C, Emerg. Technol.*, 2014, 7(44): 299-317.

- [2] JUNG H G, LEE Y H, KIM. Uniform user interface for semiautomatic parking slot marking recognition [J]. *IEEE Trans. Veh. Technol.* 2010, 59, 616-626.
- [3] SUHR J K, JUNG H G. J. S. A universal vacant parking slot recognition system using sensors mounted on off-the-shelf vehicles [J]. *Sensors* 2018, 18, 12-13.
- [4] SUHR J K, JUNG H G. Automatic Parking Space Detection and Tracking for Underground and Indoor Environments [J]. *IEEE Trans. Ind. Electr.* 2016, 63, 5687-5698.
- [5] ZONG W H, CHEN Q J. A Robust Method for Detecting Parking Areas in Both Indoor and Outdoor Environments [J]. *Sensors*, 2018, 18(6): 1903.
- [6] HSU C M, CHEN J Y. Around View Monitoring-Based Vacant Parking Space Detection and Analysis [J]. *Applied Sciences - Basel*, 2019, 9(16): 3403.
- [7] Xiong Yingen, Pulli, Kari. Fast Panorama Stitching for High-Quality Panoramic Images on Mobile Phones [J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2010, 56(2): 298-306.
- [8] WANG Z B, YANG Z K. Seam elimination based on Curvelet for image stitching [J]. *Soft Computing*, 2019, 23(13): 5065-5080.
- [9] FANG Faming, WANG Tingting, FANG Yingying, et al. Fast Color Blending for Seamless Image Stitching [J]. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2019, 16(7): 1115-1119.
- [10] CHEN J, WAN Q, LUO L B, et al. Drone Image Stitching Based on Compactly Supported Radial Basis Function [J]. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2019, 12(11): 4634-4643.

(上接第81页)

4 结束语

现实世界中属性值分类是普遍存在的,其在层次决策规则获取中具有重要作用。利用VDM-AVT学习器处理数据可以生成AVT集合,将其用于泛化约简的VDM-AVT-AGR模型可以有效提高决策表的分类性能,可以使数据在属性数量和属性值数量方面都变得更加简洁,相比利用原始数据提取的规则,利用泛化约简后提取的规则复杂程度更低、规则数量更少,同时规则支持度更高,进而说明VDM-AVT学习器是有效的。

参考文献

- [1] ZHANG J, KANG D K, SILVESCU A, et al. Learning accurate and concise naive bayes classifiers from attribute value taxonomies and data [J]. *Knowledge and Information Systems*, 2006, 9(2): 157-179.
- [2] CHEN YEN-LIANG, WU YU-YING, CHANG RAY-I. From data to global generalized knowledge [J]. *Decision Support Systems*, 2012, 52(2): 295-307.
- [3] HAN Jia-wei, FU Yong-jian. Mining Multiple-level association

- rules in large databases [J]. *IEEE Trans on Knowledge and Data Engineering*, 1999, 11(5): 798-805.
- [4] HONG Tzungpei, LIN ChunE, LIN JiannHorng, et al. Learning cross-level certain and possible rules by rough sets [J]. *Expert Systems with Applications*, 2008, 34(3): 1698-1706.
- [5] HONG Tzungpei, LIU Yanliang, WANG Shyueliang. Fuzzy rough sets with hierarchical quantitative attributes [J]. *Expert Systems with Applications*, 2009, 36(3): 6790-6799.
- [6] FENG Qingrong, MIAO Duoqian, CHENG Yi. Hierarchical decision rules mining [J]. *Expert Systems with Applications*, 2010, 37(3): 2081-2091.
- [7] YE Mingquan, WU Xindong, HU Xuegang, et al. Knowledge reduction for decision tables with attribute value taxonomies [J]. *Knowledge-Based Systems*, 2014(56): 68-78.
- [8] 汤效琴,戴汝源. 数据挖掘中聚类分析的技术方法 [J]. *微计算机信息*, 2003, 19(1): 3-4.
- [9] 谷淑化,吕维先,马于涛. 关于数据挖掘中聚类分析算法的比较 [J]. *现代计算机*, 2005, 207(3): 26-29.
- [10] HUANG X D. Clustering analysis and application in data mining [J]. *Journal of Minjiang University*. 2004, 25(5): 44-47.
- [11] 张燕,杜红乐. 基于异构距离的集成分类算法研究 [J]. *智能系统学报*, 2019, 14(4): 732-742.
- [12] 叶明全,胡学钢,胡东辉,等. 基于属性值分类的多层次粗糙集模型 [J]. *模式识别与人工智能*, 2013, 26(5): 481-491.