

融合色彩和轮廓特征的火焰检测

严云洋^{1,2}, 唐岩岩², 郭志波³, 高尚兵¹

(1 淮阴工学院 计算机工程学院, 江苏 淮安 223003; 2 江南大学 物联网工程学院, 江苏 无锡 214122;

3 扬州大学 信息学院, 江苏 扬州 225009)

摘 要: 基于图像的火焰检测能适应大空间和恶劣环境火灾预防应用的需要, 首先分析了火焰图像的色彩及轮廓信息等重要特征, 然后提出了基于连通区域面积阈值化的单像素宽度目标轮廓特征的抽取方法, 再应用所建立的火焰检测色彩模型, 融合火焰色彩和边缘轮廓动态变化等特性, 实现了在视频序列图像中火焰的自动检测. 实验结果显示, 该方法能实时检测火焰, 误判率低.

关键词: 特征抽取; 火焰检测; 特征融合; 色彩模型; 轮廓提取

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2011)10-0137-05

Fusion of Flame Color and Its Contour for Fire Detection

YAN Yun-yang^{1,2}, TANG Yan-yan², GUO Zhi-bo³, GAO Shang-bing¹

(1 Faculty of Computer Engineering, Huaiyin Institute of Technology, Huaian 223001, China;

2 School of Internet of Things Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China;

3 School of Information Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

Abstract: Fire detection based on sequences of images is more suitable for the need in big room or badly environment. Color and contour are the important features of a flame image. A new color model used to detect flame in an image is found. The method to extract the contour feature of a flame image is also developed based on threshold of flame area. According to the color distribution and comparability of the edge of flame in image sequences, flames in video sequences are detected by fusion of its color information and dynamic contour. Many experiments show that the system is able to work well and get high detection rate with a low false positive rate.

Key words: feature extraction; flame detection; feature fusion; color model; contour extraction

1 引言

火焰检测是火灾预防的一个重要手段, 燃烧时火焰的色彩分布或灰度图灰度值的分布, 及火焰的边缘轮廓等都有一定的特征. 因此可以用图像识别的方法, 对现场图像进行处理、分析进而识别是否有火焰. 基于图像的火灾监测由于采用非直接接触方式, 保证了图像监测技术既可以在较恶劣(多粉尘、高湿度)的室内环境中使用, 也可以在室外环境中使用, 适合于室外仓库和大型室内仓库等大空间场合, 而且不易受外界干扰, 并且更直观, 处理结果能够存

储, 便于事后进一步分析处理. 因此基于视频序列图像的火焰检测, 从 1980 年代开始, 越来越得到重视, 已取得很多研究成果.

Healy 等^[1]则利用颜色加运动来区分火焰区域, 但需要人为初始化相机视窗, Toreyin 和 Chen 等^[2-3]从颜色空间模型中提取火焰颜色区域, 并且总结出 3 条火焰颜色必须满足的表达式, Horng 和 Yamagishi 等^[4-5]从颜色模型中分析火焰的颜色, 通过大量的实验, 总结出 4 条规则, Lu 等^[6]用 logistic regression 方法去建立颜色模型, 该模型可以预言出火焰颜色的概率. Yamagishi 等^[5, 7]人提出了一

种根据色彩及轮廓的彩色图像的火焰检测算法,依据序列图像中火焰颜色区域的色调与饱和度的连续变化来分割火焰区域,用边缘算子和极坐标变换提取区域轮廓. Turgay 等^[8]在对火焰像素的颜色分量进行统计后,找出了火焰像素各分量值的分布模型,并采用不同颜色分量之间的相对值,即比值,来消除光照的影响,建立了火焰的彩色模型. 程鑫等^[9]同样基于 RGB 彩色空间,先将像素的三个颜色分量表示在自定义的二维空间中,在这种二维空间的颜色表示中,每个像素的三个颜色分量都对应二维图上的三个点. 目前火焰检测方法漏检率较高,速度较慢.

本文基于 RGB 彩色空间,经过线性变换,得到正交彩色特征,经过统计归纳建立了火焰的彩色模型,并提出了基于连通区域面积阈值化的单像素宽度目标轮廓特征的抽取方法(Area-based Contour Extraction, ACE),融合火焰图像的色彩分布特征,及火焰序列图像的边缘不稳定和相似性等动态变化特征,实现了在视频序列图像中火焰的自动检测. 实验结果显示,火焰检测效果好,误判率低.

2 火焰图像的特征抽取

火焰的可视特征有静态特征和动态特征两类,静态特征又主要包括火焰的光谱信息和空间结构两方面^[10-11]. 光谱信息主要指亮度和颜色,空间结构主要是具有火焰颜色的像素区域的内部结构和边缘轮廓. 火焰的动态特征最具特色也最复杂,表现为火焰闪烁、区域形变、边缘的随机运动和抖动等. 火焰静态特征与动态特征之间紧密相关,对火焰的特性分析与建模必须综合考虑两者的存在.

2.1 火焰的色彩特征

Turgay 等^[8]建立了基于 RGB 空间的火焰色彩模型,但对视频中的每帧图片需首先计算 R 分量的平均值,然后再逐个像素检测判断. 严云洋等^[12]对色彩模型进行了改进,使用 RGB 线性变换后的正交彩色特征建立了火焰色彩模型. 由 RGB 线性变换后,得到的正交彩色特征如式(1)所示,其中, I_1 是最佳特征, I_2 是次佳特征.

$$I_1 = (R + G + B) / 3$$

$$I_2 = (R - B) / 2$$

$$I_3 = (2G - R - B) / 4 \quad (1)$$

而火焰的正交彩色特征中, I_1 和 I_2 的特征已很明显,为减少计算量,就用 I_1 和 I_2 的特征,其分布是:

$$I_1 \in [100, 200] \quad (2)$$

$$I_2 \in [15, 120] \quad (3)$$

采用不同颜色分量之间的相对值特征,即比值 G/R 、 B/R 、 B/G ,来消除光照的影响,火焰图像像素的三种颜色分量存在以下关系的特征.

$$0.4 \leq G(x, y) / (R(x, y) + 1) \leq 0.8 \quad (4)$$

$$0 \leq B(x, y) / (R(x, y) + 1) \leq 0.5 \quad (5)$$

所建立的火焰色彩模型,抽取特征时不用对每个像素点进行彩色空间变换,计算简单快速.

2.2 焰的轮廓特征

图像中的阳光或类似火焰颜色的其他光源如白炽灯的灯光等具有与火焰类似的色彩分布,但火焰区域还具有特定的动态特性,如火焰区域的形状、大小和颜色分布都在不断的变化当中,呈现为云状的变形区域. 表现如下:

(1) 火焰面积呈连续扩展性增加趋势.

(2) 火焰的边缘存在抖动特性,而其他高温物体、灯光和稳定火焰边缘比较稳定.

(3) 从摄像机摄入的火焰的连续图像看,虽然火焰呈不断发展变化的趋势,但在形体变化、空间变化及空间分布上都有一定的相似性,特别是间断较短的连续帧图像来说,每幅连续帧图像上述特性有着一定的相似度.

因此可根据火焰的动态特征进一步检测和验证火焰区域,即进行火焰图像的边缘检测和轮廓提取,抽取其动态特征,如边缘变化、面积变化规律等.

2.2.1 边缘检测和轮廓提取

边缘检测是图像分割的基本方法,常用的方法有 Roberts 算子、Sobel 算子、Prewitt 算子、Canny 算子和 Laplacian 算子. 应用这些方法检测边缘时,噪声的影响通过检测算子被扩散,而且检测出的轮廓一般粗细不一,边缘不连续之处过多,为此在检测出图像中物体的轮廓后,还要花费大量的时间来进行轮廓的细化处理,再把不连续的轮廓连接起来,由于图像中噪声的存在,这在实际应用中既很难实现,实时性也很差^[13].

虽然噪声消除可使用腐蚀和膨胀的方法,但由于噪声区域有大有小,难以人为设定腐蚀的次数,也影响实时性.

(1) ACE 算法流程

由于火焰的光度较强,火焰本身色彩分布也有变化,所以会产生很多噪声现象,为此针对火焰图像的特点,提出一种基于连通区域面积阈值化的目标轮廓提取算法(Area based Contour Extraction,

ACE),可以同时实现噪声消除与火焰轮廓提取.

设数字化的序列图像为 $\{f_i(x,y)\}, i = 1 \cdots N$, $f_i(x,y)$ 为第 i 帧图像, (x,y) 为图像中各个像素的坐标, N 为图像序列的帧数. ACE 算法过程如下:

Step1: 将 $f_i(x,y)$ 转换成灰度图像, 为 $Bf_i(x,y)$

Step2: 在灰度图像 $Bf_i(x,y)$ 上用最佳阈值迭代选取方法选取阈值^[14]. 用该阈值对灰度图像进行二值化处理, 得到黑白图像.

Step3: 扫描该二值图像, 把该二值图像中所有灰度值为 1 的像素点加入到以 PixelLine 为头节点的链表中.

Step4: 对 PixelLine 链表中的像素点进行分类处理, 产生每个连通区域所对应的集合, 并为每一个集合建立一个链表.

Step5: 对得到的每一个以链表形式表示的连通区域, 统计其面积(用该区域所包含的像素点的数量来表示), 再选取适当的面积值作为阈值对图像进行过滤, 超过面积阈值的连通区域被完整的保留下来, 面积较小的连通区域则被作为噪声而消除.

Step6: 最后再采用挖空法, 就可以得到目标物体的单像素宽度的连续轮廓且不会出现轮廓交叉的情况.

(2)实验结果

从网上下载了一些火焰图像进行实验, 火焰轮廓提取的实验效果如图 1 所示. 各种算法检测时间比较如表 1 所示.

从图 1 和表 1 可以看出本文方法轮廓提取的效果比其他传统边缘检测算法都好, 检测到的边缘具有连续性, 且仅有一个像素的宽度, 而且所用时间也并不多. 实验基本环境 CPU P4-2.4 GHz, Memory 1 GB, MATLAB7.

表 1 各种算法检测时间比较(图片大小) s

	Sobel	Gauss-Laplace	Roberts	Prewitt	Canny	本文方法
所用时间	0.076	0.085	0.066	0.071	0.346	0.069

2.2.2 相似度计算

火焰在燃烧过程中, 边缘会跳动, 因此相邻帧同一可疑区域的大小即面积会发生变化, 但轮廓相似. 设数字化的序列图像为 $\{f_i(x,y)\}, i = 1 \cdots N$, $f_i(x,y)$ 为第 i 帧图像, (x,y) 为图像中各个像素的坐标, N 为图像序列的帧数, 在实际系统中, N 应大

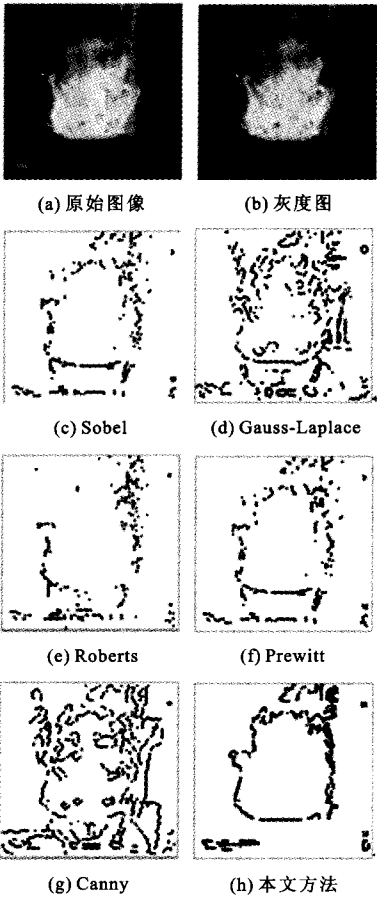


图 1 火焰轮廓提取效果图

于 2. 对于每帧数字图像有 $(x,y) \in \Omega_i, \Omega_i$ 为第 i 帧图像的面积(目标物体的面积可用其所包含的像素点的数量来表示). 在视频图像序列中, 设当前图像 $f_i(x,y)$ 中检测到疑似目标如火焰的轮廓 L_i . 为进一步验证可疑区域是否为火焰, 分别再计算 $f_{i-1}(x,y), f_{i-2}(x,y), f_{i-3}(x,y), f_{i-4}(x,y), \cdots, f_{i-n}(x,y)$, 连续 n 帧图像的目标轮廓 $L_p(p = i-1, i-2, \cdots, i-n)$. 然后再计算 L_p 和 $L_i(p = i-1, i-2, \cdots, i-n)$ 的面积差和相似度, 记为 $S(p,i)$ 和 $\text{Sim}(p,i)$. n 一般取不小于 3 的值, 因为有的火焰燃烧较慢, 相邻比较帧数取的较少, 如仅取 1 ~ 2 帧时, 火焰面积变化不大, 会被认为是静止光源而漏检.

图像的相似度定义为(其中 Ω 为图像区域):

$$\text{Sim}(p,i) = \frac{\sum_{(x,y) \in \Omega} L_p(x,y) \cap L_i(x,y)}{\sum_{(x,y) \in \Omega} L_p(x,y) \cup L_i(x,y)}$$

(6)

对于各个 $\text{Sim}(p,i)$, 统计其均值:

$$\text{Sim} = \frac{1}{n} \sum_{p=i-n}^{i-1} \text{Sim}(p,i)$$

(7)

给定阈值 Th_1, Th_2 , 若 $S(p,i) \geq \text{Th}_1$, 且 Sim

$\geq Th_2$, 则变化区域为可疑的火焰区域. 面积差和相似度的阈值可结合具体场景和可能的火焰信息选择, Th_1 取值太大不容易检测到小火焰, 容易漏检; 太小误检率会上升, 非火灾性火焰如打火机、蜡烛的火苗等也会被检测到. Th_2 取值太大则对快速燃烧的火焰, 火焰变化快, 相似度会较低, 容易漏检; 太小误检率则会上升.

3 实验结果

从视频文件中截取了两个含有火焰的片段 Movie1、Movie2 进行测试, 片段 Movie1 整体色彩偏亮, 火焰图像帧数较少, 片段 Movie2 整体色彩偏红、暗, 火焰图像帧数较多, 还截取了一个不含火焰的片段

Movie3, 实验结果如表 2 所示. 实验中, 面积差阈值取 16, 相似度阈值则取 0.4, 对疑似火焰的图像帧分别与前面连续 5 帧的图像进行比较, 即式(8)中的取值 5. 实验中, 先利用火焰的颜色特征粗检, 然后再根据火焰轮廓及面积变化的动态特征排除伪火焰区域.

实验基本环境 CPU P4—2.4 GHz, Memory 1 GB, MATLAB7. 表 2 中, 动态检测火焰的帧数, 是指在用色彩粗检后的疑似火焰的帧中, 再使用面积差和相似度细检, 确认含有火焰的图像的帧数. 误检和漏检都是指仅用色彩检测的情况. Movie1 中漏检的 16 帧是因为火焰不具备偏红的色彩特征, 而看似白色图像块, Movie2 误检的 11 帧则刚好相反, 其中的灯光很象火焰.

表 2 测试结果(与相邻 5 帧比较 $Th_1=16$ 、 $Th_2=0.4$)

视频图像	总帧数	用色彩检测的含火焰的帧数	误检帧数	漏检帧数	动态检测火焰的帧数	检测时间/s
Movie1	220	149	0	16	105	25.453
Movie2	548	542	11	0	526	88.219
Movie3	178	0	0	0	0	9.625

从表 2 可以看出, 含有火焰的图像帧数占总帧数的比例越大, 需要细检的帧数越多, 需要的处理时间就越长; 火焰区域的面积越大, 需要处理的数据量越大, 所需要的处理时间也越长. Movie3 中不包含火焰, 检测速度达到了 19 帧/s; Movie1 中包含的火焰较少, 占 67% 以上, 其检测速度较快达 9 帧/秒; Movie2 中包含的火焰较多, 占到 96% 以上, 检测速度也就相对较慢, 但本算法在 Movie2 中, 检测速度还能达到近 6 帧/s, 可见算法速度较快. 在实际视频图像序列中, 紧紧相邻的两帧变化不大, 可以隔帧采样, 或减少比较面积差和相似度的相邻帧数量, 从而使检测速度适应视频采集速度. 比较面积差和相似度的相邻帧数量及其对速度的影响如表 3 和表 4 所示.

表 3 Movie1 比较相邻帧的数量对速度的影响
($Th_1=16$ 、 $Th_2=0.4$)

比较的相邻帧数量	5 帧	4 帧	3 帧	2 帧	1 帧
检测到火焰帧数	105	104	98	89	63
检测时间/s	25.203	22.750	20.219	17.703	15.188
帧速率/(帧/s)	9	10	11	13	15

表 4 Movie2 比较相邻帧的数量对速度的影响
($Th_1=16$ 、 $Th_2=0.4$)

比较的相邻帧数量	5 帧	4 帧	3 帧	2 帧	1 帧
检测到火焰帧数	526	521	517	509	411
检测时间/s	88.219	78.766	69.828	60.735	51.469
帧速率/(帧/s)	6	7	8	9	11

从表 3 和表 4 可以看出, 当火焰燃烧较慢时, 相邻帧变化不大, 因此在检测火焰的动态特征时, 如果比较的相邻帧数量较少, 就会感觉不到相邻帧的变化, 使得一些火焰图像帧可能被漏检, 当然比较的帧数越少, 检测速度越快. 如表 3 中所示, 与前 1 帧的同与前 5 帧的相比, 漏检了 42(即 $105-63$) 帧, 但时间节省了 10.015 s(即 $25.203-15.188$ s).

在视频序列图像中检测火焰的动态特征时, 火焰的起始帧会被漏检, 因为前面几帧无火焰, 所以与前面几帧的相似度接近于零, 因而被当成非火焰而漏检, 但下一帧即被检测为火焰. 另外燃烧面积变化相对较大的帧, 由于与前面几帧的相似度太小, 也容易被漏检, 这种情况可调整面积差和相似度阈值, 减低漏检数, 控制检测火焰大小的尺度. 面积差和相似度阈值的改变会影响检测结果.

本文算法与 Turgay 和程鑫等算法的实验结果对比如表 5 和表 6 所示. 表中误检和漏检都是指用色彩模型检测的结果.

从表 5 和表 6 可以看出, Turgay 和程鑫等方法漏检的火焰帧数很高, 本文方法在 Movie2 上的误检数较多. 误检的火焰在动态检测时可以被排除, 但漏检的帧数就无法被再检测到. 可见, 本文方法优于对比方法.

表 5 Movie1 测试结果(与相邻 5 帧比较 $Th_1=16$ 、 $Th_2=0.4$)

算法	用色彩检测的含火焰的帧数	误检帧数	漏检帧数	动态检测火焰的帧数	检测时间/s
文献[8]	153	39	51	90	27.359
文献[9]	106	12	71	101	24.218
本文方法	149	00	16	105	25.453

表 6 Movie2 测试结果(与相邻 5 帧比较 $Th_1=16$ 、 $Th_2=0.4$)

算法	用色彩检测的含火焰的帧数	误检帧数	漏检帧数	动态检测火焰的帧数	检测时间/s
文献[8]	463	4	72	445	83.016
文献[9]	494	0	37	487	86.750
本文方法	542	11	0	526	88.219

4 结束语

火焰检测算法的性能主要从检测速度和准确率两个方面衡量,但目前火焰检测没有得到大家公认的用于训练和测试的数据库,由于不同的算法基于的火焰对象并不同,所以对各种算法的性能进行客观评价比较困难.本文所提算法虽然取得了较好效果,但相似度等阈值的确定没有统一的准则,还依赖于实验方法.目前各算法都存在一定的漏检和误检.在实验中也发现,当火焰图像背景太亮、火焰同背景的亮度差别不很明显等情况存在时,比较容易造成误判.综合国内外的火焰图像检测技术,目前的漏报、误报率往往比较高,同时系统的鲁棒性、适应性比较差,这也是困扰计算机视觉研究人员的难题.在抽取和融合更有效的火焰静态和动态特征方面还可以开展很多研究,有待于进一步提出新的算法.

参考文献:

[1] Healey G, Slater D, Lin T, et al. A system for real-time fire detection[C]//IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. New York: IEEE,1993:605-606.

[2] Toreyin B U, Dedeoglu Y, Cetin A E. Flame detection in video using hidden markov models[C]//proceedings of IEEE ICIP. [s. l.]:IEEE,2005:11-14.

[3] Chen T, Kao C, Chang S. An intelligent real-time fire-detection method based on video processing[C]//Proceedings of IEEE 37th Annual 2003 International Car-nahan Conference on Secur-ity Technology. Taiwan: IEEE, 2003:104-111

[4] Horng W B, Peng J W, Chen C Y. A new image-

based real-time flame detection method using color analysis[C]//Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control. Tuc-son, Arizona, USA: IEEE,2005:100-105

[5] Yamagishi H, Yamaguchi J. A contour fluctuation data processing method for fire flame detection using a color camera[C]// IEEE 26th Annual Conferenceo n IECON of the Industrial Electronics Society. Nagoya, Japan: IEEE,2000: 824-829

[6] Lu T, Peng C, Horng W, et al. Flame feature model development and its application to flame detection[C]// Proceedings of the First. International Conference on In-novative Computing, Information and Control. Beijing: IEEE,2006:158-161.

[7] Yamagishi H, Yamaguchi J. Fire flame detection algo-rithm using a color camera[C]// Proceedings of 1999 In-ternational Symposium on Micromechatronics and Hu-man Science. Nagoya, Japan: IEEE,1999:255-260

[8] Turgay C, Deminel H, Ozkaramanli H, et al. , Fire de-tection using statistical color model in video sequences [J]. Journal of Visual Communication and Image Repre-sentation, 2007, 18(2): 176-185.

[9] 程鑫,王大川,尹东良. 图像型火灾火焰探测原理[J]. 火灾科学, 2005, 14(4): 239-244.

[10] 严云洋,高尚兵,郭志波, et al. , 基于视频图像的火灾自动检测[J]. 计算机应用研究, 2008, 25(4): 1075-1078.

[11] 严云洋,盛明超,杨静宇. 单像素宽度目标轮廓提取的实现[J]. 微计算机信息, 2007, 23(7): 284-286.

[12] 严云洋,郭志波,王红艳. 基于色彩特征的火焰检测 [C]// proceedings of the 2009 Chinese Conference on Pattern Recognition, CCPR 2009, Nanjing, China: the

将计算结果与最小加权支持度进行比较:若小于最小加权支持度,则将其删除;否则,计入频繁 K 项集的候选集.

(6) 重复上述步骤,与最小加权支持度比较,产生更高层次的频繁项的集合,再结合产生下一级候选项集,直到不再产生新的候选项集为止.

4 算法在超市商品捆绑销售中的应用

以某超市数据为例,应用算法说明加权关联规则在商品捆绑销售中的应用.

商品分别为: A(洗衣皂), B(牙膏), C(酱油), D(食用油), E(抽纸)

事务数据库如表 1 所示.

表 1 事务数据库

T_{id}	A	B	C	D	E
1	1	0	1	1	0
2	1	0	1	0	1
3	1	1	1	0	1
4	0	1	0	0	1

依次为每种商品 ABCDE 分配权值为: 0. 6, 0. 1, 0. 5, 0. 9, 0. 8,取最小加权支持度 $Wmin-sup=6\%$

计算得到频繁 1 项集 $L_1 = \{A,C,D,E\}$.

频繁 2 项集 $L_2 = \{AC,AD,AE,CD,CE\}$.

频繁 3 项集 $L_3 = \{ACE\}$,即{洗衣皂,酱油,抽纸},算法结束.

与传统关联规则相比,此算法挖掘出的数据更能满足商家的需要,而且更加迅速高效.

5 结束语

本文研究加权关联规则挖掘问题,根据超市

商品交易数据的特点,提出基于矩阵的加权频繁项集生成算法. 由于加权支持度和置信度的计算方法保证了向下封闭性,通过存储在矩阵中的数据,方便的计算出项集的支持度. 仅需一次扫描数据库,大大提高了算法的效率.

目前,数据挖掘技术在我国的应用还不太普遍,今后研究的重点将结合大型超市多维性、动态性、数据库超大规模性的特点,以期将研究成果应用于实际中.

参考文献:

[1] 于芳,马维忠. 关联分析在超市商品捆绑销售中的应用[J]. 商场现代化,2010, 599(1) : 33-34.
[2] Agrawal R, Imielinski T, Wami A S. Mining association rules between sets of items in large databases[C] // Proc of the ACM SIGMOD Conference on Management of Data, Washington: ACM,1993(05): 207-216.
[3] Cai Chun Hing, Fu Ada Waichee, Cheng Chunhung, et al. Mining association rules with weighted items [C]//Proc of International Database Engineering and Applications Symposium. Cardiff, Wales, UK: [s. n], 1998.
[4]李成军,杨天奇. 一种改进的加权关联规则挖掘方法[J]. 计算机工程,2010,36(7):55-57.

作者简介:

姜 薇 女,(1966-),副教授,硕士研究生导师. 研究方向为数据挖掘;
张学芹 女,(1977-),硕士研究生. 研究方向为数据挖掘.

(上接第 141 页)

1st CJK Joint Workshop on Pattern Recognition, CJK-PR. 2009; 349-353.
[13] 党向盈, 吴锡生,赵勇. 新的基于边缘检测提高图像质量的插值算法[J]. 计算机工程与设计, 2007, 28(15): 3636-3639.
[14] 章毓晋, 图象工程(下册)- 图象理解与计算机视觉 [M], 北京: 清华大学出版社. 2000.

作者简介:

严云洋 男,(1967-),博士,教授. 研究方向为数字图像处理、模式识别;
郭志波 男,(1975-),博士,副教授. 研究方向为模式识别,数字图像处理;
高尚兵 男,(1981-),博士研究生,讲师. 研究方向为计算机视觉、模式识别;
唐岩岩 女,(1986-),硕士研究生. 研究方向为数字图像处理、模式识别.