

文章编号:1007-2780(2018)12-1033-07

基于特征域聚类下 Radon 变换的火车票图像 方向检测算法研究

许亚杰, 韦海成*, 肖明霞

(北方民族大学 电气信息工程学院, 宁夏 银川 750021)

摘要:随着我国交通服务行业的发展, 火车票票面信息的自动化识别已经成为提升铁路服务效率的重要手段, 针对票面信息识别系统中获取火车票方向不一致的问题, 本文提出了一种基于特征区域聚类下 Radon 变换的方向检测算法。首先, 算法通过 k 均值聚类对火车票图像进行聚类分块, 消除复杂背景的干扰, 提取到火车票信息区域; 然后, 通过数字形态学闭运算结合图像块操作保留能够反映火车票位置信息的图像方向特征区域; 最后, 利用改进的 Radon 变换检测出火车票的倾斜角度。实验结果表明: 该算法的矫正正确率为 97.8%, 矫正的时间为 16.79 s; 该算法能够消除图像复杂背景、方向特征区域领域像素点对方向检测的干扰, 能够对全角度任意方向的火车票图像进行方向检测, 具有较高的实用价值。

关键词: 火车票图像; 方向检测; 图像方向特征区域; k 均值聚类; Radon 变换

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20183312.1033

Direction detection algorithm of train ticket images based on Radon transform with feature area clustering

XU Ya-jie, WEI Hai-cheng*, XIAO Ming-xia

(School of Electrical and Information Engineering, North Minzu University,
Yinchuan 750021, China)

Abstract: With the development of transportation service industry in China, automatic identification of railway ticket information has become more important to improve the efficiency of railway service. In order to solve the problem of inconsistency in train ticket direction acquisition in ticket surface information recognition system, a direction detection algorithm is proposed in this paper which is based on Radon transform with feature area clustering. Firstly, the algorithm classifies train ticket images by

收稿日期: 2018-06-07; **修订日期:** 2018-09-03.

基金项目: 宁夏自然科学基金项目 (No. NZ17104); 宁夏双一流学科与科研项目 (电子科学与技术 No. NXYLXK 2017A07); 国家自然科学基金项目 (No. 61461001, No. 61861001); 北方民族大学智能感知及控制校级重点实验室; 北方民族大学研究生创新项目 (No. YCX18071)

Supported by Natural Science Foundation of Ningxia (No. NZ17104); Ningxia First-class Discipline and Scientific Research Projects (Electronic Science and Technology No. NXYLXK2017A07); National Natural Science Foundation of China (No. 61461001; No. 61861001); Key Laboratory of intelligent perception control in North Minzu University; Research and Innovation of Postgraduates in North Minzu University (No. YCX18071)

* 通信联系人, E-mail: wei_hc@sina.com

K-means clustering, eliminates the interference of complex background and extracts the railway ticket information area. Then, the image direction feature area which can reflect the train ticket position information is preserved through digital morphology closed operation combined with image block operation. Finally, the tilted angle of train ticket is detected by the improved Radon transform. The experimental results show that the correction accuracy of the algorithm is 97.8%, and the correction time is 16.79 s. By the algorithm, it can eliminate the interference of the image complex background and neighborhood pixels of direction feature area to the direction detection, and detect the direction of train ticket image in any direction with full angles, which are of high practical value.

Key words: train ticket image; direction detection; image direction feature area; K-means clustering; Radon transform

1 引言

火车票票面信息自动化识别是改善铁路检票服务模式和提升铁路服务效率的一个主要途径^[1]。在票面信息自动化识别系统中,由于旅客放置待检火车票的位置与角度存在差异性,会导致采集到的火车票图像方向有差别,对票面信息区域的定位与切割处理增加了难度,降低了车票识别率。为此,需要找到一种有效的火车票图像方向检测与矫正处理的算法。

当前,针对图像的方向检测,学者们已经有了很多深入的研究:吴丽丽等人通过 Sobel 算子提取字符的边缘并结合 Radon 变换检测图像的倾斜角^[2]。余明扬等人针对轨道图像矫正,采用 canny 算子提取图像的边缘,结合 radon 变换提取图像的直线,计算原轨道的坐标对图像进行矫正^[3]。蒋超等人针对直线钢轨的识别问题,提出了基于 radon 变换提取直线角度差与平均距离筛选出钢轨边缘直线,实现直线钢轨的识别^[4]。加春艳等人提出了结合频谱的边缘检测与 radon 相结合的改进算法估计运动模糊图像的方向^[5]。魏武等人提出利用小波变换突出桥梁的纹理特征,结合 radon 变换获得的特征值对桥梁裂缝进行识别^[6]。侯和平等人提出基于 Radon 变换与灰度投影积分极值的方法对矩形检测^[7]。该类算法主要通过检测图像中的直线(铁路轨道、桥梁裂痕、运动轨迹、矩形框等),结合 Radon 变换对各个方向进行方向投影提取投影最大值,对直线进行方向检测。算法能够对于 $(0^\circ, 180^\circ)$ 直线方向检测;但在对图像进行直线提取时,会出现伪方向特征直线的存在,若直

线起始点不同,会得到相似的投影结果,对检测结果造成干扰,造成检测效果不佳。对于图像背景较为简单的工业器件实用性强,且对图像拍摄质量要求高。对于火车票图像获取环节,拍摄处于开放式环境,拍摄质量易受影响,且火车票本身背景复杂提取矩形边框易出现提取错误的问题。

为此,本文针对复杂背景的倾斜全角度 $(0^\circ, 360^\circ)$ 的火车票图像,本文提出了一种基于特征区域聚类下 Radon 变换的方向检测算法对全角度的火车票图像进行方向检测,进而实现图像的矫正。

2 特征域聚类算法

相对于常规图像方向检测,火车票图像具有背景复杂、信息分布不均匀、图像的直线特点不明显等特征。在对该类火车票图像进行直线提取时,由于图像背景灰度值分布较为集中,造成图像对比度差,导致直线提取过程复杂,易出现伪方向特征直线。

另外,由于火车票的信息印刷版次不同,导致印刷的火车票信息与火车票票面本身的方向存在一定的角度偏差,通过图像边缘检测提取到火车票边缘直线,该直线无法精确反映火车票信息倾斜角度,同时,提取的直线通过 Radon 变换进行方向检测时,不能够实现全角度的方向检测。

总之,这些因素造成难以通过提取直线特征,结合 Radon 变换对火车票图像方向检测。因而,本文提出通过特征域聚类提取火车票方向特征区域。

2.1 火车票的基本特征分析

经过对火车票进行对比分析,本文将火车票图像具备的基本特征总结如下:

(1)火车票的整个票面区域包含着复杂的背景颜色、形状底纹以及“中国铁路 CR”等字样,另外,由于印刷版次的不同,火车票背景颜色也不同。

(2)在经过灰度化处理后,这些复杂的背景颜色与底纹相比于火车票的信息区域灰度值比较低。

(3)火车票的方向特征区域为其二维码区域。针对火车票图像直线特点不明显的特征,相对于分布散乱的字符信息,对字符通过 Radon 变换得到的 Radon 曲线分布无规律性,难以从字符的方向性提取图像的方向;而对于图像的方向特征区域,该区域形状大小位置相对固定,对拍摄环境、图像拍摄的质量要求不高,通过 Radon 变换检测图像方向可行性高,另外,由于火车票印刷方式的原因,该区域的方向性能够间接的反映火车票文字信息的方向性;故将二维码区域代表火车票的方向特征区域。

2.2 火车票方向特征区域粗提取

K 均值聚类的聚类特点有利于任意方向的火车票图像分割处理。该分割算法训练模式属于无监督学习的分类训练模式^[8],是图像处理常用的分割方法^[9,10]。不依据图像放置的角度而影响图像的聚类效果,对于任意方向的火车票图像,该聚类方法有利于任意方向的火车票图像分割处理。

灰度图像 K 均值聚类的基本原理:

(1)在输入灰度图像后,选取 K 个灰度值合适的像素点作为聚类的初始中心点;

(2)计算聚类中心点与灰度图像中各像素点灰度值之间的欧式距离,判断各像素点的分类,进而将像素点划分为 k 类;

(3)对于这 k 类像素点,将每一类取平均形成新的聚类中心点;

(4)计算新的聚类中心点与灰度图像像素点灰度值之间的欧式距离,并重新聚类成 K 类。

(5)循环(3)、(4),直到达到标准测度函数达到收敛的条件,得到的聚类结果即是该灰度图像的 k 均值聚类效果。

在上述步骤中,将像素点进行分类的依据:图

像像素点与 k 个聚类中心点的欧式距离最近的聚类中心点即是像素点的聚类结果。欧氏距离见式(1)。

$$d = |x_i - m_j|, \quad (1)$$

其中: x_i 表示图像中像素点 i 的灰度值, m_j 表示聚类中心点 j 的灰度值。 d 表示两点的欧氏距离。

聚类结束的条件是标准测度函数,标准测度函数收敛,则聚类结束。标准测度函数用图像像素点与聚类中心点的协方差来表示,表达式见式(2)。

$$Cov = \sum_{i=1}^k \sum_{x \in c_i} |x - m_i|^2, \quad (2)$$

其中: Cov 表示图像的协方差之和, x 为聚类 c_i 中的第 i 个像素点, m_i 为聚类 c_i 的均值, k 表示聚类的类数。

聚类中心点为 3 的均值聚类示意图如图 1 所示。其中,图(a)表示指定初始聚类中心点后,原始数据与聚类中心点的聚类结果;图(b)表示在图(a)聚类间求平均值形成新的聚类中心点后,原始数据与新的聚类中心点的聚类结果;图(c)表示在图(b)聚类结果中,形成新的聚类中心点,原始数据与新聚类中心点的聚类结果;经过数次图(b)与图(c)的聚类过程,最终形成 3 均值的聚类结果图(d)。

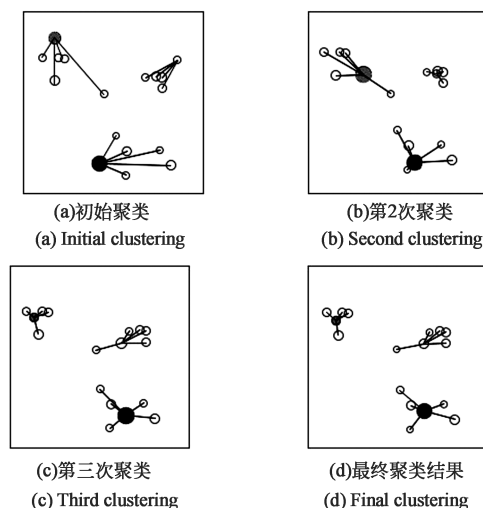


图 1 3 均值聚类的示意图

Fig.1 Schematic diagram of 3-means clustering

利用聚类中心点为 3 的均值聚类对火车票图像进行图像分割。通过对预处理后的火车票图像

进行 3 均值聚类,经仿真试验,能够将火车票所在的大背景的像素点聚类到高灰度级部分,将火车票的背景像素点聚类成中间灰度级部分,将图像的信息区域的像素点聚类成低灰度级,基于聚类块之间的灰度值差异性,通过设定灰度阈值将聚类后火车票所在的大背景与火车票背景灰度值取 1,仅保留低灰度级的信息区域^[11]。

2.3 火车票特征区域精提取

本文采用数字形态学闭运算结合图像块操作对图像聚类结果中的图像方向特征区域进行精确提取。利用数字形态学闭运算操作,对于分布较为散乱的字符信息,该操作可以消除字符段之间黏连的小结构体,对于方向特征区域,该操作可以将方向特征区域的空洞进行填充。经过闭运算处理后的图像,会将图像分为大大小小的块状区域,方向特征区域的块状结果远远大于其他块状结构,基于此特点,利用图像块操作,通过设定阈值,将块区域像素点小于阈值的块区域进行删除,保留块区域最大的方向特征区域,实现对方向特征区域的精提取。

3 Radon 变换方向估计算法

对于仅保留火车票图像位置信息的方向特征区域,其形态接近于正方形结构,该结构与直线存在显著性差异,另外,对于火车票特征区域精提取时采用形态学闭运算处理,会在特征区域领域某一方向上会产生新的像素点,该像素点对火车票图像利用传统的 Radon 变换方向估计进行方向检测会产生干扰,使得检测方向偏向于该像素点与方向特征区域像素点所形成的最长直线,由于领域像素点方向位置不固定,导致该直线方向不固定,导致检测的方向无法表征图像的方向。经仿真测试,检测效果不佳,故而利用传统的 Radon 变换进行直线方向预估显然已经不合适。

所以,在此基础上,需要对 Radon 变换用于方向的估计进行改进,以利于火车票的方向检测。

3.1 Radon 变换

传统的方法查看图像的灰度值分布看灰度直方图,而 Radon 变换的目的是从角度 $\theta(0^\circ, 360^\circ)$ 看图像像素点灰度值为 1 的分布情况。Radon 变换主要的思想是投影积分,对于二值化图像,Radon

变换是将图像坐标轴旋转相应的角度,在新的坐标系下对图像灰度值为 1 的像素点进行积分,其积分结果又叫做 Radon 曲线^[12]。火车票图像的 Radon 变换示意图如图 2 所示,其中, $f(x, y)$ 表示火车票图像的示意图,其黑色方块区域表示火车票的方向特征区域,通过将图像的坐标轴旋转角度 θ ,形成新的坐标系 x' 、 y' ,在新坐标系下,对图像 $f(x, y)$ 进行积分投影得到 $R_\theta[f(x, y)]$ 。

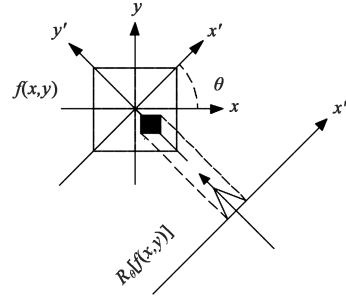


图 2 火车票图像 Radon 变换

Fig.2 Radon transform of train ticket image

本文利用 Radon 变换对二值化的火车票图像进行方向检测,因此只需要二维的 Radon 变换就可以,其变换的数学表达式如式(3)所示。

$$R_{(r, \theta)}[f(x, y)] = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x, y) \delta(r - x \cos \theta - y \sin \theta) dx dy, \quad (3)$$

$$\delta(x) = \begin{cases} 0 & x \neq 0 \\ 1 & x = 0 \end{cases}, \quad (4)$$

其中: $f(x, y)$ 表示二值化的图像矩阵; r 取值范围是 $(-\infty, +\infty)$, 表示积分线到坐标原点的垂直距离; θ 取值范围是 $(0^\circ, 360^\circ)$, 表示 Radon 变换坐标轴相对于 $f(x, y)$ 坐标原点的旋转角度; δ 表示狄拉克函数, 表达式如式(4), 该函数使得 $f(x, y)$ 沿着直线 r 进行积分^[13]。 r 的数学表达式如式(5)所示。

$$r = x \cos \theta + y \sin \theta. \quad (5)$$

传统的 Radon 变换通过提取 Radon 曲线的峰值点进行直线方向检测。Radon 变换通过将图像坐标轴进行角度 $\theta(0^\circ, 180^\circ)$ 的旋转, 将各个方向角度的图像在旋转后的坐标系下进行投影积分, 最终会形成 Radon 曲线。其矩阵表示为 $R_{(r, \theta)}[f(x, y)]$, 该矩阵为二维矩阵, 矩阵横坐标表示旋转角度 θ , 纵坐标表示图像在坐标系旋转 θ 角度后, 像素点在 x 轴方向上的投影, 矩阵

中每一点的数值大小表示在该旋转后的坐标系下图像在该点的积分强度,强度值越大投影积分的面积越大。相关研究表明积分强度值最高点对应的横坐标值表示直线的方向^[14-15]。

3.2 改进的 Radon 变换方向估计

改进的 Radon 变换对火车票图像进行方向检测。通过统计 Radon 曲线各个点的积分强度值大于阈值 T 的元素,在列方向上,计算其积分强度值与该元素行数乘积的累加和,最终,形成一个横坐标表示角度 θ 、纵坐标表示累加和数值大小的波形图。取波形图峰值点对应的横坐标即是图像的倾斜角度,其该波形图的数学表达式如式(6)。

$$p(\theta) = \sum_{i=1}^m R_{(r,\theta)}[f(x,y)] * i$$

$$R_{(r,\theta)}[f(x,y)] > T, \quad (6)$$

其中: $R_{(r,\theta)}[f(x,y)]$ 表示 Radon 曲线, T 表示阈值。 i 表示元素的值大于阈值 T 的元素点所对应的行数,本文 Radon 曲线强度值范围 $0 \sim 750$, 阈值 T 的取值为 210。

该改进的 Radon 变换方向估计相对于从传统的 Radon 曲线方向估计,该算法能够消除图像特征区域邻域像素点的干扰,对角度的识别精度高。同时,该改进的 Radon 变换用于方向估计能够拓展 Radon 变换用于方向检测的使用范围,对于直线特征不明显的图像,通过提取图像的方向特征区域,结合改进的 Radon 变换方向估计法检测图像的倾斜角度。

通过对倾斜角处于 4 个象限中的 60° 、 120° 、 210° 以及 330° 的火车票图像进行倾斜角度测试,测试结果见图 3。该改进的方向估计算法能够对于任意倾斜角的火车票图像进行方向估计。

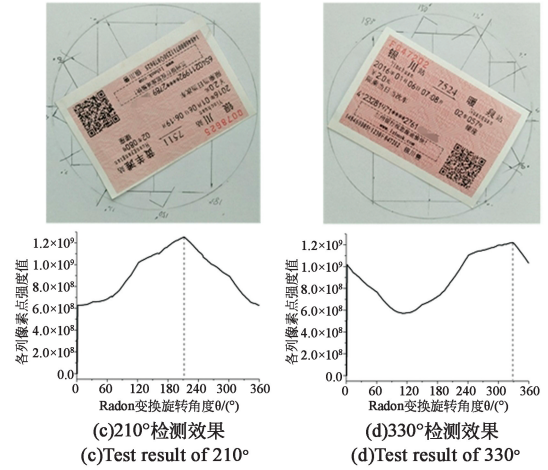
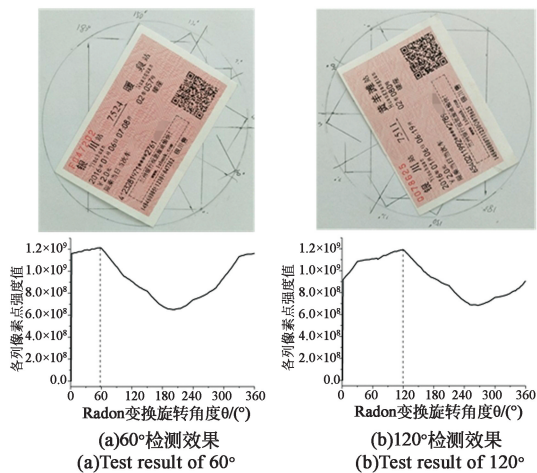


图 3 四个象限的方向检测效果图

Fig.3 Direction detection renderings of four quadrant

4 仿真与实验结果

为了进一步验证该火车票方向检测算法的准确性,对 91 张任意方向的火车票图像进行仿真分析,图像是大小为 $4\ 608 \times 3\ 456$ 、JPEG 格式的火车票图像,实验是在 Matlab R2015a 的仿真环境下展开,计算机配置的主频为 3.60intel(R) CORE(TM)i7-4 790CPU、4GB RAM。

图 4 中(a)~(f)展示了倾斜了 120° 的火车票图像进行倾斜矫正的流程图,图(a)为倾斜 120° 的火车票灰度图像,图(b)为对图(a)进行 3 类的均值聚类效果图,通过对图(b)进行灰度阈值设定,消除背景颜色与图像的底纹等,保留信息区域,通过图像形态学闭运算得到图(c),图(d)是对图(c)

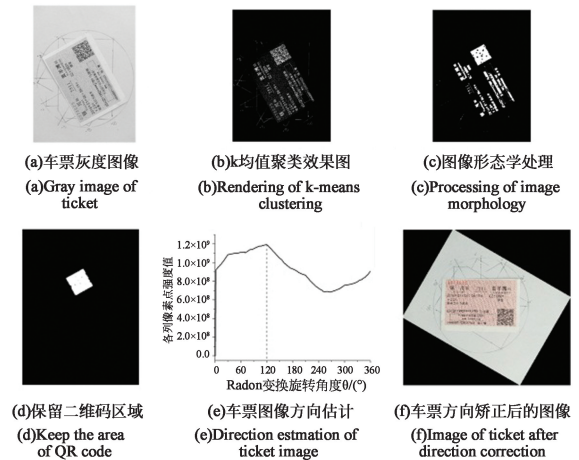


图 4 方向检测与矫正的算法流程

Fig.4 Algorithm flow of direction detection and correction

进行块操作,保留方向特征区域。经过对图(d)进行 Radon 变换,结合本文改进的方向检测,得到图像方向预估图如图(e),通过图像的几何变换对图像进行相应角度的旋转得到图(f)。

为了能够验证算法的性能,本文采用两种不同的方法对不同方向角度的 91 张火车票图像进行仿真分析,这两种方法分别是:(1)利用文献[1]的方法,通过 Sobel 算子对火车票图像进行水平检测边缘,结合 Radon 变换提取 Radon 曲线非零值相加的峰值点,检测图像的方向并进行矫正。(2)本文算法 K 均值聚类与改进的 Radon 变换检测图像方向并进行矫正。

设容错值为 3° ,通过统计每种算法对倾斜图像进行矫正,矫正容错值内的火车票数,得到每种算法正确矫正率,如表 1 所示。从实验结果来看,

表 1 不同算法矫正结果的比较

Tab.1 Correction results comparison of different algorithm

	文献[2]	本文算法
矫正正确数/张	22	89
矫正错误数/张	69	2
矫正率/%	24	97
运行时间/s	31.37	16.79

综合正确矫正率与时间消耗,本文提出的算法优于文献[2]的方向检测的算法,本文算法可行且有效。

5 结 论

本文针对火车票图像背景复杂和火车票直线特征不明显的情况,利用传统的 Radon 变换检测直线方向确定火车票倾斜角度效果不理想,提出了一种基于特征区域聚类下 Radon 变换的方向检测算法用于全角度任意方向的火车票方向检测。

实验结果表明,该算法能够拓展 Radon 变换用于方向检测的角度范围,对全角度 $0\sim360^{\circ}$ 度的火车票图像进行方向检测与矫正,能够消除图像本身复杂背景、方向特征区域领域像素点对方向检测的干扰,正确矫正率为 97.8%,方向检测与矫正的时间为 16.79 s,有利于票面自动化识别系统中信息区域的定位与切割。同时,该算法对于图像中具有非直线的方向特征区域的其他票面图像(电影票、发票等)的方向矫正有着参考作用。

参 考 文 献:

[1] 宋建中.图像处理智能化的发展趋势[J].中国光学,2011,4(5):431-440.
SONG J Z. Development trend of image processing intelligence [J]. *Chinese Optics*, 2011, 4(5): 431-440. (in Chinese)

[2] 吴丽丽,余春艳.基于 Sobel 算子和 Radon 变换的车牌倾斜校正方法[J].计算机应用,2013,33(S1):220-222.
WU L L, YU C Y. Tilt correction method of license plate based on Sobel operator and Radon transform [J]. *Journal of Computer Applications*, 2013, 33(S1): 220-222. (in Chinese)

[3] 余明扬,朱齐果,王一军.基于 Canny 算子和 Radon 变换的轨道图像校正方法[J].计算机应用,2017,37(S2):92-94,133.
YU M Y, ZHU Q G, WANG Y J. Correction method of track image based on Canny operator and Radon transform [J]. *Journal of Computer Applications*, 2017, 37(S2): 92-94, 133. (in Chinese)

[4] 蒋超,牛宏侠.基于改进 Radon 变换的直线钢轨识别算法[J].铁道标准设计,2017,61(4):19-22.
JIANG C, NIU H X. Linear rail recognition algorithm based on improved radon transform [J]. *Railway Standard Design*, 2017, 61(4): 19-22. (in Chinese)

[5] 魏武,王俊杰,蔡钊雄.基于小波和 Radon 变换的桥梁裂缝检测[J].计算机工程与设计,2013,34(9):3151-3157.
WEI W, WANG J J, CAI Z X. Bridge crack detection based on wavelet and Radon transform[J]. *Computer Engineering and Design*, 2013, 34(9): 3151-3157. (in Chinese)

[6] 加春燕,崔丽.基于频谱边缘检测和 Radon 变换估计运动模糊图像的方向[J].图学学报,2016,37(3):434-438.
JIA C Y, CUI L. Direction estimation of motion blurred images based on edge detection of spectrum and radon

- transform[J]. *Journal of Graphics*, 2016, 37(3): 434-438. (in Chinese)
- [7] 侯和平,郭凯铭,刘凯,等.基于 Radon 变换与灰度投影积分极值方法的矩形检测[J].西安理工大学学报,2014,30(2):133-138.
- HOU H P, GUO K M, LIU K, *et al.* Rectangle detection based on Radon transform and gray projection integral extreme value method [J]. *Journal of Xi'an University of Technology*, 2014, 30(2): 133-138. (in Chinese)
- [8] 王爱莲,伍伟丽,陈俊杰.基于 K-means 聚类算法的图像分割方法比较及改进[J].太原理工大学学报,2014,45(3): 372-375.
- LI A L, WU W L, CHEN J J. Comparison and improvement of image segmentation based on K-means [J]. *Journal of Taiyuan University of Technology*, 2014, 45(3): 372-375. (in Chinese)
- [9] 赵文昌,李忠木.融合改进人工蜂群和 K 均值聚类的图像分割[J].液晶与显示,2017,32(9):726-735.
- ZHAO W C, LI Z M. Image segmentation algorithm based on improved artificial bee colony and K-mean clustering [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2017, 32(9): 726-735. (in Chinese)
- [10] ŽALIK K R. An efficient k' -means clustering algorithm [J]. *Pattern Recognition Letters*, 2008, 29(9): 1385-1391. (请核对文献类型)
- [11] 王丽.融合底层和中层字典特征的行人重识别[J].中国光学,2016,9(5):540-546.
- WANG L. Pedestrian re-identification based on fusing low-level and mid-level features [J]. *Chinese Optics*, 2016, 9(5): 540-546. (in Chinese)
- [12] CARLSON B D, EVANS E D, WILSON S L. Errata: search radar detection and track with the Hough transform [J]. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 2003, 39(1): 382-383.
- [13] 刘新亮,李星野.基于 Radon 变换的多尺度虹膜特征提取算法[J].光电子·激光,2008,19(4):532-536.
- LIU X L, LI X Y. A multi-scale iris feature extraction algorithm based on radon transform [J]. *Journal of Optoelectronics · Laser*, 2008, 19(4): 532-536. (in Chinese)
- [14] 马婧,徐守时,陈克.基于 Radon 变换的图像角点角度提取算法[J].光电工程,2009,36(2):126-131.
- MA J, XU S S, CHEN K. Method of angles picked-up of corners in images based on radon transform [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2009, 36(2): 126-131. (in Chinese)
- [15] 贤光,颜昌翔,张新洁.运动模糊图像点扩散函数的频谱估计法[J].液晶与显示,2014,29(5):751-755.
- XIAN G, YAN C X, ZHANG X J. Motion-blurred image point spread function estimation method based on spectral analysis [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2014, 29(5): 751-755. (in Chinese)

作者简介:许亚杰(1991—),女(汉族),河南周口人,硕士研究生,主要研究方向:图像识别、机器视觉。E-mail: xu_yj1991@163.com

韦海成(1974—),男,宁夏银川人,博士,副教授,毕业于西安交通大学,并获得工学博士学位,主要研究方向:平板显示、数字图像处理。E-mail: wei_hc@sina.com