

利用傅里叶变换边缘曲线法进行 W 型轮廓的快速匹配

王 洋 张 琴

(西安交通大学软件学院 西安 710049)

摘 要 W 型轮廓标靶是一种用于汽车四轮定位的定位标靶,在一幅定位图像中能够快速检索出与其一致的目标轮廓非常重要。传统的 H_u 矩、成对几何直方图算法运算速度慢,鲁棒性差。而一些适用于商标图像检索的傅里叶描述子却可以很好地适用于快速轮廓匹配,但是由于在一幅图像中进行目标轮廓的检索引入了过多的轮廓干扰,因此利用形状图像的傅里叶变换提取出轮廓的频谱特征,通过检查目标轮廓对模板轮廓频谱特征的干扰性大小来进行轮廓的相似性度量,并进行算法简化,从而达到轮廓快速匹配的目的。并且其抗干扰能力强,轮廓查找效率高。这说明利用傅里叶变换边缘曲线法进行轮廓形状匹配具有很好的适用性。

关键词 图像,傅里叶描述子,轮廓匹配

中图法分类号 TP391.4 文献标识码 A

Using Contour Edge Curve's Fourier Transform Method to Faster Match W-Shaped Pattern

WANG Yang ZHANG Qin

(School of Software Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract The "W" pattern target is a kind of four-wheel alignment's calibration target. It is very important to search the right contour in a positioning image quickly. The Hu moment and the pair-wise geometric histograms algorithm are traditional methods, and they are low in speed and poor in robustness. Some Fourier descriptor for trademark image retrieval can be well applied to quick contour matching. But searching a target contour in an image may introduce too much interference of many contours. In this paper, we used the Fourier transform to extract the contour's spectrum characteristics, then measured the similarity by examining the disruptive of target contour to the template contour, and simplified the algorithm to achieve the goal of fast matching. Its anti-interference ability is strong, and searching efficiency is high. This suggests that the method of Fourier transform of edge curve to match contour has good applicability.

Keywords Image, Fourier descriptor, Contour matching

基于形状特征的轮廓匹配,对于轮廓检索来说非常重要,常用的形状特征主要有边界特征和区域特征两类。形状描述指的是通过一些方法生成数值描述子来进行形状描述,描述子应尽可能对目标的平移、旋转和尺度变化不敏感。W 型标靶是四轮定位的一种简易定位标靶,它具有封闭的轮廓曲线,在实际应用中也不存在遮挡问题,而其产生的旋转、平移和放缩是现实应用下的常态。

紧密度、矩、Fourier 描述子、小波描述子等都是常用的形态描述子^[1]。基于不变矩的模板匹配,其模板本身要具有足够的信息量或需要自适应窗口等算法进行补充^[2]。基于边缘的模板匹配对光照、遮挡、噪声等有较好的适应性^[3,4],是常用的模板匹配方法。

采用图像轮廓的傅里叶描述子对图像轮廓进行描述,从而进行商标图像的检索,其中引入了极坐标转换,使得商标检索达到了很好的效果^[5],而在给出模板图像的情况下直接进行形状和区域特征的傅里叶算子描述,则具有较高的鲁棒性^[6]。基于区域特征的图像形状检索,其算法通常比较复杂,

例如利用人类的视觉感知特性,对离散曲线轮廓进行简化并将其分解成视觉部件而后进行匹配^[7],或者利用具有旋转不变性的形状描述符对轮廓区域进行划分编码^[8]。

考虑在一幅图像中检索出目标轮廓,传统的 H_u 矩、成对几何直方图算法运算速度慢,鲁棒性差,在极坐标转换时固定轮廓的旋转属性,则匹配相似度度量不够精确^[6]。文献^[6-8]的方法给出了两个轮廓间的匹配准则,鲁棒性好,但是算法复杂度高,它们更适用于商标图像的检索。本文使用傅里叶描述子进行轮廓描述,将大量的运算集中在模板的特征提取中,从而能够对目标轮廓进行快速的查找。该方法提取出图像轮廓傅里叶变换后的频谱特征,通过目标轮廓对模板轮廓频谱特征的干扰性进行相似性度量,用于 W 型标靶轮廓查找,匹配效率高,有效解决了模板旋转、平移和放缩带来的匹配问题,并且该算法抗干扰能力强,对一般轮廓的匹配也具有普适性。

1 图像预处理

在一幅真彩图像中匹配出与模板形状最相似的轮廓,首

王 洋(1991—),男,硕士生,主要研究方向为图像处理、机器视觉等,E-mail:wyidea@163.com;张 琴(1960—),女,高级工程师,主要研究方向为图像处理、人工智能、机器学习等,E-mail:zqzt@mail.xjtu.edu.cn。

先要尽可能地提取出图像中所有可能的轮廓。二值化后的图像 $P(x, y)$ 仅仅通过黑色和白色两种像素来表征形状, 这其中, 匹配的结果可能在黑色的部分中, 也可能在白色的部分中, 所以需要对图像进行两次轮廓提取。图 1 是对给定的一幅图像进行两次轮廓提取的结果(其中, 黑色为背景, 白色为目标轮廓)。

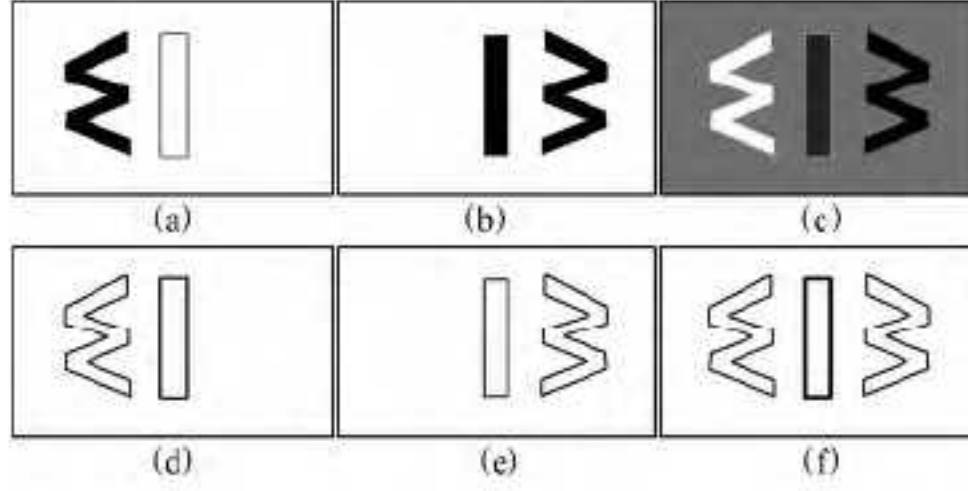


图 1 (a)、(b) 为 (c) 的二值化图像, (d)、(e) 分别为 (a)、(b) 进行轮廓提取的结果, (f) 为轮廓 (d) 和 (e) 的并集

对于求得的图像的某一个轮廓序列可表示为向量 x , 其中 p 为轮廓上的一点。对含有 N 个轮廓像素点的模板进行轮廓提取的结果为:

$$c = [p_1 \ p_2 \ \dots \ p_N] \quad (1)$$

对含有 N 个轮廓的目标图像进行轮廓提取的结果为:

$$c = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_N] \quad (2)$$

其中, $x_i = [p_{i1} \ p_{i2} \ \dots \ p_{ik}]$, $k \geq 500$ 。为了方便数学计算和降低运算量, 对目标轮廓进行等比缩放。

$$x' = [p_1 \ p_2 \ \dots \ p_M] \quad (3)$$

$$c' = [x_1' \ x_2' \ \dots \ x_N'] \quad (4)$$

其中, $x_i' = [p_{i1} \ p_{i2} \ \dots \ p_{iM}]$, $M = 500$ 。

2 中心距离变换与中心角度变换

以目标轮廓 x_{ij} 为例(其中 i 为轮廓的序号, j 为轮廓 i 中点的序号), 以中心点(轮廓的重心)到每一个轮廓点的射线为基建立极坐标系, 并将第 i 个轮廓的 M 个轮廓点从笛卡尔坐标系转换到极坐标系下。

指定轮廓点 x_k , 计算轮廓序列中的点 x_i 到轮廓中心 o 的距离, 构成序列 $L(k)$, 称为轮廓距离曲线; 计算线段 ox_i 与线段 ox_k 的夹角, 构成序列 $K(k)$, 称为轮廓相位曲线(其中 $i = k, \dots, M, 1, \dots, k-1$)。W 型图案的轮廓距离曲线与相位曲线如图 2 所示, W 型图案如图 3 所示。

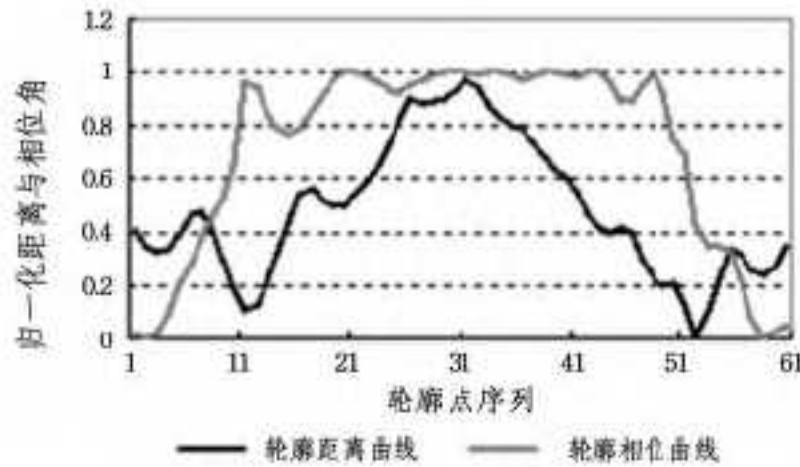


图 2 W 型轮廓模板的轮廓距离与相位曲线(归一化)

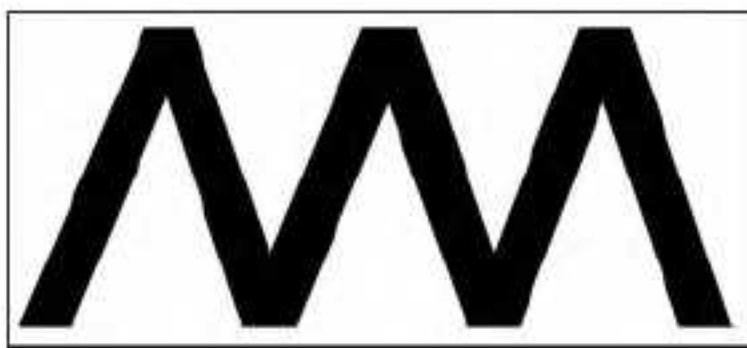


图 3 W 型轮廓模板

极坐标变换以轮廓重心为中心点进行编码, 解决了平移

问题, 轮廓点数的缩放解决了放缩问题, 依次指定射线 ox_k 为极坐标坐标轴, 进行坐标转换, 解决了旋转问题。为了减少运算, 将各坐标变换结果集中到一个矩阵中进行统一运算。在模板轮廓编码中, 主要是提取 L 和 K 两个矩阵, 如式(5)、式(6)所示。

$$L = [L(1) \ L(2) \ \dots \ L(M)]^T \quad (5)$$

$$K = [K(1) \ K(2) \ \dots \ K(M)]^T \quad (6)$$

$$o = \left(\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M p_i, x \quad \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M p_i, y \right) \quad (7)$$

其中:

$$L[i] = \sqrt{(p_{(k+i) \% M}, x - o, x)^2 + (p_{(k+i) \% M}, y - o, y)^2}, \quad i = 1, 2, \dots, M \quad (8)$$

$$K[i] = a \cos(p_{(k+i) \% M}, y / \sqrt{p_{(k+i) \% M}, x^2 + p_{(k+i) \% M}, y^2}), \quad i = 1, 2, \dots, M \quad (9)$$

3 轮廓匹配

采用轮廓距离曲线与轮廓相位曲线对轮廓进行描述, 并不能直接用来进行轮廓匹配。首先要对获得的矩阵 L 和 K 的每一行进行归一化。其次, 采用 L 和 K 的增广矩阵进行傅里叶算子提取, 即傅里叶变换系数的计算, 这些系数表示着不同频率的正弦线的振幅。模板矩阵 L 和 K 的增广矩阵 L_{model} 和 K_{model} 如下:

$$L_{model} = [L \ L], K_{model} = [K \ K] \quad (10)$$

对 L_{model} 和 K_{model} 的每一行进行行的傅里叶变换, 得到傅里叶算子 F 。其中 $r = 0, 1, \dots, M$ 为 F 的行号, $m = 0, 1, \dots, 2M$ 为 F 的列号:

$$F_L[r][m] = \frac{1}{2M} \sum_{i=1}^{2M} L_{model}(i) \exp[-j \frac{\pi m k}{M}] \quad (11)$$

$$F_K[r][m] = \frac{1}{2M} \sum_{i=1}^{2M} K_{model}(i) \exp[-j \frac{\pi m k}{M}] \quad (12)$$

为了简化运算, 将目标轮廓进行坐标转换并且归一化后, 和 L, K 合成目标轮廓的增广矩阵 L_{target} 和 K_{target} , 其中 L' 和 K' 都是 $M \times M$ 的目标轮廓矩阵:

$$L_{target} = [L' \ L], K_{model} = [K' \ K] \quad (13)$$

$$L' = [L'(1) \ L'(1) \ \dots \ L'(1)]^T \quad (14)$$

$$K' = [K'(1) \ K'(1) \ \dots \ K'(1)]^T \quad (15)$$

其中, $L'(1)$ 和 $K'(1)$ 为从图像中获取的轮廓的默认顺序经过极坐标转换和归一化后的结果。同理, 由式(11)和式(12)的方法计算出目标轮廓增广矩阵的傅里叶算子 F_L' 和 F_K' 。模板轮廓与目标轮廓间的相似度度量为:

$$Dis(C_{model} \ C_{target}) = \min((F_L'^2 - F_L^2) \cdot I + (F_K'^2 - F_K^2) \cdot I) \quad (16)$$

其中, I 为 $2M \times 1$ 的全 1 矩阵。 C_{model} 为模板轮廓, C_{target} 为目标轮廓。相似度值 Dis 越小, 两个轮廓越相似。

4 实验结果与分析

实验 1: 为了比较本文方法和成对几何直方图方法在不同条件下的 W 型标靶轮廓的匹配效果, 将采集的 300 张不同环境下的标靶图像进行 W 型图案轮廓匹配。其中包括简单背景标靶样本 100 个(标靶占像素比约 7%)、有多边形图形干扰背景标靶样本 100 个(标靶占像素比约 15%)、复杂场景下模糊标靶样本 100 个(标靶占像素比约 7%), 分别为样本 1、

(下转第 138 页)

Shape Descriptor[C]// 2013 10th International Conference Computer Graphics, Imaging and Visualization, 2013:1-2

- [8] 刘珠峰. 基于手绘草图的三维建模研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2010
- [9] 马翠霞. 概念设计中基于笔式手势的交互计算研究[J]. 软件学报, 2007, 17(4): 304-308
- [10] 杨海燕. 基于草图界面的设计方案复用研究[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2010, 21(4): 784-787
- [11] 巩应奎. 基于手势输入构造三维概念模型研究[J]. 计算机辅助

设计与图形学学报, 2008, 20(8): 1079-1083

- [12] Jayanti S, Lou Kui-yang. Three-dimensional shape searching: state-of-art review and future trends[C]// Purdue Research and Education Center for Information Systems in Engineering PRE-CISE, School of Mechanical Engineering, Purdue University, West Lafayette, IN 47907, USA, 2010: 300-305
- [13] Wang Feng, Lin Lan-fen. A new sketch-based 3D model retrieval approach by using global and local features[J]. Graphical Models, 2014, 76(3): 128-139

(上接第 117 页)

样本 2、样本 3, 部分匹配结果如图 4 所示。

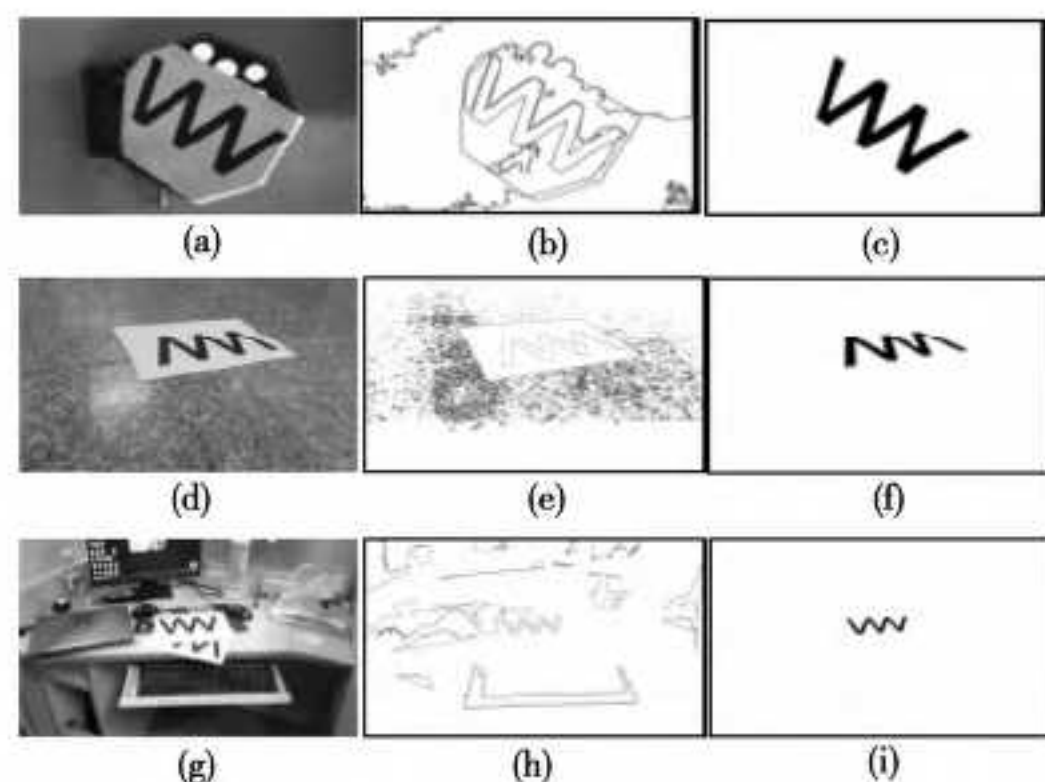


图 4 图像总像素不变, W 型轮廓匹配部分结果图

图 4(a)为 W 型标靶的常用场景, 图 4(d)为多边形干扰样本, 图 4(g)为复杂背景小型标靶样本。可以看出, 图 4(a)、图 4(d)、图 4(g)中 W 型轮廓的占比越来越小, 而这并没有影响算法检测的准确性。

本文方法和成对几何直方图方法的匹配率与匹配平均时间如表 1、表 2 所列。

表 1 不同轮廓检测方法的检测结果

检测方法	样本 1(%)	样本 2(%)	样本 3(%)	总检测率(%)
PGH	0.99	0.50	≈0	0.50
本文方法	0.96	0.99	0.82	0.93

表 2 不同轮廓检测方法的检测结果

	样本 1(s)	样本 2(s)	样本 3(s)
PGH 检测时间	2.01	2.02	9.96
本文方法检测时间	0.09	0.09	0.11

匹配结果显示, PGH 受外界图形的干扰较大, 对模糊的样本检测率也较为低下。本文的检测方法对 W 型标靶的总的检测率在 93% 以上, 且检测方法可行高效, 具有很好的适应性。

实验 2: 利用该算法进行某行政版图的匹配。具体做法是采集 100 张类似版图及其经旋转、平移、放缩变换后的图像进行逐一匹配, 并进行相似度的比较。

匹配结果是相似度由高到低的排序, 如图 5 所示。其中图 5(a)是模板图像, 其他为部分匹配结果, 图像按相似度大小依次排列。

从图 5 可以看出, 利用新的相似度度量方法对轮廓的相似度度量有一定的特点: 图 5(b)、图 5(c)、图 5(e)、图 5(g) 轮廓的相似度排序显示, 轮廓的相似度与目标图像的旋转、放缩有一定的联系; 图 5(d)和图 5(e)、图 5(f)和图 5(g) 的相似度

比较结果显示, 具有正确细小特征的轮廓相似度也较高, 但其对轮廓的相似度影响并不明显, 例如图 5(e) 的相似度仅次于图 5(d), 图 5(g) 仅次于图 5(f)。

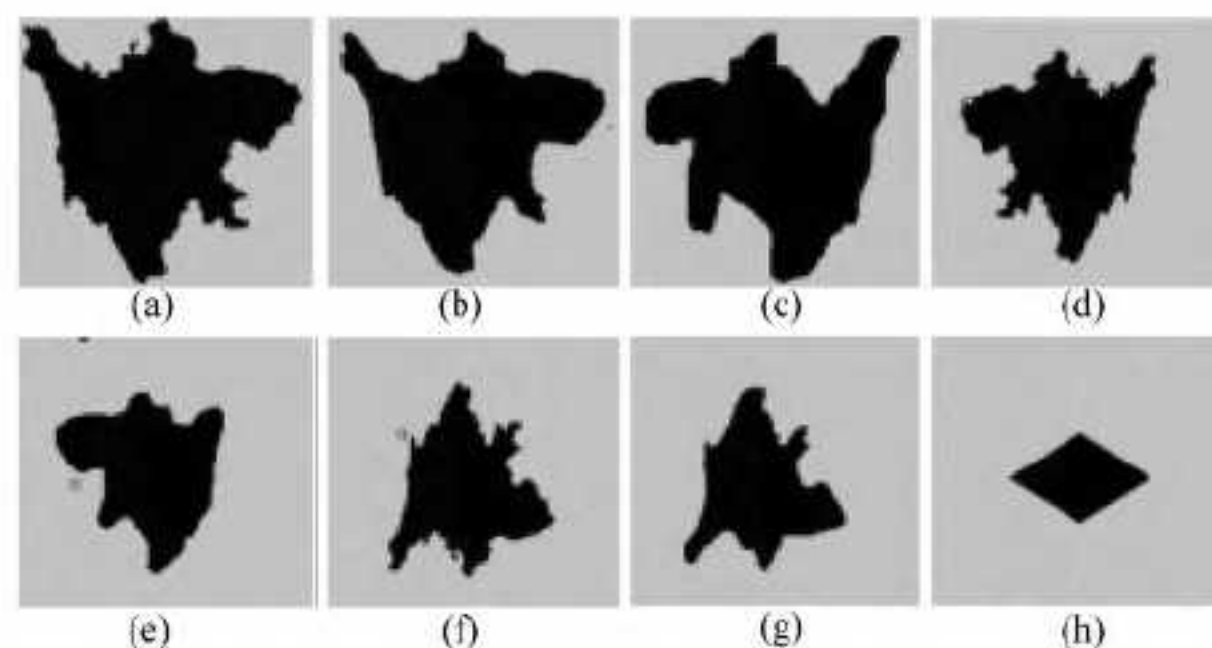


图 5 某行政版图匹配的部分结果

实验二的结果证明新的轮廓匹配算法具有一定的抗干扰能力, 对一般轮廓的匹配也具有普适性。

结束语 使用本方法进行 W 型目标轮廓的查找, 检测准确率高, 达到了 93%, 其与图像是否受外界干扰、是否模糊等关系不大, 同时又具有一定的普适性。该方法用于四轮定位系统, 可以缩短四轮定位的定位时间, 同时无需红外摄像头, 节省了系统成本, 降低了复杂度。在图像背景复杂并需要进行快速轮廓匹配的情况下, 本文算法也非常有效。本文方法不适用于目标轮廓受到遮挡的情况。

参考文献

- [1] 丁险峰, 吴洪, 张宏江, 等. 形状匹配综述[J]. 自动化学报, 2001, 27(5): 678-693
- [2] 张京明, 张宇晗, 等. 基于不变矩和灰度匹配的汽车跟踪算法[J]. 农业装备与车辆工程, 2015, 53(6): 13-15
- [3] Li L. Building an accurate 3D model of a circular feature for robot vision[J]. Opto-Electronics Review, 2012, 20(2): 120-125
- [4] Chu Jun, Zheng An, Lu Guo, et al. Chessboard corner detection under Image physical coordinate[J]. Optics and Laser Technology, 2013, 48: 599-605
- [5] 朱科铃, 卢章平. 基于极坐标和傅里叶描述子的二值商标图像检索[J]. 农业机械学报, 2006, 37(11): 100-121
- [6] 范春年, 傅德胜. 一种改进的二维傅里叶描述子在基于形状的图像检索中的应用[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2004, 28(2): 266-269
- [7] 罗磊. 基于轮廓的形状匹配方法研究[D]. 长沙: 国防科技大学, 2008
- [8] Kim H K, Kim J D. Region-based shape descriptor invariant to rotation scale and translation[J]. Signal Processing: Image Communication, 2000, 16(1/2): 87-93