

引用格式: 卢胜男, 李小和. 基于对称 FAST 特征的车辆目标检测方法[J]. 微电子学与计算机, 2020, 37(2): 37-42. [LU S N, LI X H. Vehicle detection method using symmetrical FAST feature[J]. Microelectronics & Computer, 2020, 37(2): 37-42.]

基于对称 FAST 特征的车辆目标检测方法

卢胜男, 李小和

(西安石油大学 计算机学院, 陕西 西安 710065)

摘 要: 针对动态复杂环境下车辆目标识别和定位问题, 提出一种基于对称 FAST 特征的车辆目标识别方法. 利用车辆的对称特征, 采用水平镜像矩阵构造 FAST 特征描述矢量, 检测具有对称特性的 FAST 特征点对, 以此为车辆特征聚类的约束条件, 确定车辆中心线位置, 并结合车辆底部阴影特征对车辆目标进行识别和定位. 实验结果表明, 该方法提取的目标车辆区域位置准确, 平均检测准确率高达 93.2%.

关键词: 车辆检测; 对称特征; FAST 特征点; 特征描述; 阴影特征

中图分类号: U495

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2020)02-0037-06

Vehicle detection method using symmetrical FAST feature

LU Sheng-nan, LI Xiao-he

(School of Computer, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, China)

Abstract: Aiming at the problem of moving vehicle detection and recognition, this paper proposed a vehicle detection algorithm based on vehicle symmetrical FAST feature. Based on the vehicle symmetrical feature, a novel symmetrical FAST points extraction algorithm is presented by constructing FAST descriptor. Then the vehicle symmetrical features are extracted using this method, which is also used to locate the central position of vehicle. At last, the vehicle will be recognized combining with the shadow features of the target. The experiment results show that the proposed method can detect vehicle area accurately, which can reach an average accurate detection rate of 93.2%.

Key words: vehicle detection; symmetrical feature; FAST feature points; feature description; shadow feature

1 引言

针对当前普及应用的固定单目相机构成的交通监控系统, 基于视频的交通参数和事件检测、行为分析和安全预警已成为智能交通领域的研究热点^[1]. 目前采用大量的独特的算法^[2-11]实现对车辆有效检测和跟踪. 现有算法中的对称特征检测都是建立在目标车辆的精确分割基础之上的, 然而从复杂的交通背景中精确地分割出跟踪目标有着较大的难度. 而传统的以底层特征为基础的分割方法在实际应用过程中往往很难取得理想的效果. 因此, 本文提出一种基于对

称 FAST 特征的车辆目标检测方法. 该方法利用局部特征的集合来描述车辆目标, 在提取车辆的 FAST 特征点基础上, 构造 FAST 特征描述算子, 结合最近邻搜索算法, 提取具有对称特性的 FAST 特征点对, 并在后续的聚类分析的过程中选择对称性作为核心特征, 以此为基础确定车辆中心线. 最后, 按照车辆底部阴影形态实现对目标车辆的跟踪和检测.

2 对称特征提取

2.1 FAST 特征点提取

在本研究中, 为了进一步提升特征点的检测效

率,目标的局部特征采用 FAST 特征点. Rosten 等在文献[12]中首次给出了 FAST 角点的定义:如果某像素与其周围邻域内足够多的像素点相差较大,则该像素,那么该点就有可能是图像的角点. 通常其邻域选取周长为 16 个像素点(半径为 3 的 Bresenham 圆),如图 1 所示.

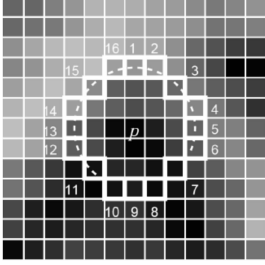


图 1 FAST 特征点检测原理

FAST 特征点检测步骤为:

(1)对阈值 T 加以定义,计算中心像素点 p 和周围像素点 p_1 、 p_9 的像素差,若 $|p-p_1| < T$ 且 $|p-p_9| < T$,那么可以确定 p 非特征点;反之则将该点纳入候选集合;

(2)若 p 被纳入候选集合,则需要进一步计算像素点 p 和像素点 p_1 、 p_5 、 p_9 、 p_{13} 的像素差绝对值,如果 T 小于其中任意 3 个计算结果,则纳入候选集合,否则,将其删除;

(3)若 p 为候选特征点,计算周围 16 个像素点和中心 p 的像素差,若其绝对值中至少有 9 个大于 T ,则当做特征点,否则,将其删除.

2.2 FAST 特征描述

作为一种特征点检测算法,FAST 本身并未包含特征描述的相关内容. 本文引入 Haar 小波响应值来对特征点进行描述. 首先,构建一个以特征点为中心的 16×16 图像区域,平均分成 4×4 个子窗口,在每个子窗口中,以大小为 2×2 的 Haar 小波模板分别沿 x 和 y 方向滑动并统计其响应值. 然后,计算 $\sum dx$ 、 $\sum dy$ 、 $\sum |dx|$ 和 $\sum |dy|$ 的值,从而获得每个子窗口的特征矢量 $V_i = [\sum dx, \sum dy, \sum |dx|, \sum |dy|]$. 由于总共有 4×4 个子窗口,因此该特征描述算子的维数为 $4 \times 4 \times 4 = 64$.

2.3 对称特征点提取

采用 FAST 算法进行特征点检测时,虽然速度较快,但无法有效地检测出对称特征点对. 本文利用车辆本身的对称特性,对具有对称特性的特征点对进行分析,构造其特征矢量,实现对称特征点的提

取,具体算法步骤如下所示:

如式(1)所示, A_o 和 A_m 分别表示以特征点为中心的一个大小为 16×16 图像区域及其水平镜像矩阵,如下式所示.

$$A_o = \begin{bmatrix} a_{0,0} & \cdots & a_{0,15} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{15,0} & \cdots & a_{15,15} \end{bmatrix} \quad A_m = \begin{bmatrix} a_{0,15} & \cdots & a_{0,0} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{15,15} & \cdots & a_{15,0} \end{bmatrix} \quad (1)$$

将 A_o 和 A_m 进一步划分为 4×4 子窗口,并且所有的子窗口大小均为 4×4 ,那么我们即可得到如式(2)所示的子窗口矩阵:

$$A_o = \begin{bmatrix} A_{00}^o & A_{01}^o & A_{02}^o & A_{03}^o \\ A_{10}^o & A_{11}^o & A_{12}^o & A_{13}^o \\ A_{20}^o & A_{21}^o & A_{22}^o & A_{23}^o \\ A_{30}^o & A_{31}^o & A_{32}^o & A_{33}^o \end{bmatrix} \quad A_m = \begin{bmatrix} A_{03}^m & A_{02}^m & A_{01}^m & A_{00}^m \\ A_{13}^m & A_{12}^m & A_{11}^m & A_{10}^m \\ A_{23}^m & A_{22}^m & A_{21}^m & A_{20}^m \\ A_{33}^m & A_{32}^m & A_{31}^m & A_{30}^m \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中,

$$A_{ij}^o = \begin{bmatrix} a_{4i,4j} & a_{4i,4j+1} & a_{4i,4j+2} & a_{4i,4j+3} \\ a_{4i+1,4j} & a_{4i+1,4j+1} & a_{4i+1,4j+2} & a_{4i+1,4j+3} \\ a_{4i+2,4j} & a_{4i+2,4j+1} & a_{4i+2,4j+2} & a_{4i+2,4j+3} \\ a_{4i+3,4j} & a_{4i+3,4j+1} & a_{4i+3,4j+2} & a_{4i+3,4j+3} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$A_{ij}^m = \begin{bmatrix} a_{4i,4j+3} & a_{4i,4j+2} & a_{4i,4j+1} & a_{4i,4j} \\ a_{4i+1,4j+3} & a_{4i+1,4j+2} & a_{4i+1,4j+1} & a_{4i+1,4j} \\ a_{4i+2,4j+3} & a_{4i+2,4j+2} & a_{4i+2,4j+1} & a_{4i+2,4j} \\ a_{4i+3,4j+3} & a_{4i+3,4j+2} & a_{4i+3,4j+1} & a_{4i+3,4j} \end{bmatrix} \quad (4)$$

进一步将子窗口单元划分为 4 个 2×2 的小块并求取其平均数,表示为 $b_{2i,2j}$ 、 $b_{2i,2j+1}$ 、 $b_{2i+1,2j}$ 和 $b_{2i+1,2j+1}$. 具体如式.

$$A_{ij}^o = \begin{bmatrix} b_{2i,2j} & b_{2i,2j+1} \\ b_{2i+1,2j} & b_{2i+1,2j+1} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} dx &= b_{2i,2j+1} + b_{2i+1,2j+1} - b_{2i,2j} - b_{2i+1,2j} \\ dy &= b_{2i+1,2j} + b_{2i+1,2j+1} - b_{2i,2j} - b_{2i,2j+1} \end{aligned} \quad (6)$$

完成上述矩阵构建后,利用上文 1.2 节所提供的描述方法,计算特征响应值,结果如式(6)所示. 可知该窗口的特征矢量 $V_i^o = [dx, dy, |dx|, |dy|]$.

由式(1)可以看出,具有水平对称特征的特征点,其窗口的特征矢量呈现水平对称性,那么,其对称点的特征矢量即为 $V_i^m = [-dx, dy, |dx|, |dy|]$. 不难看出,利用 V_i^o 的简单变换即可得到 V_i^m . 在这里 V_i^m 和 V_i^o 的距离定义可以表示为:

$$D(p, q) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (p(i, j) - q(i, j))^2 \quad (7)$$

根据以上算法表示和定义,基于对称特征的特征点对提取算法具体步骤如下:

(1) 提取给定帧中的所有 FAST 特征点,其特征向量表示为集合 $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$;

(2) 计算所有特征点的对称特征向量 $P^m = [p_1^m, p_2^m, \dots, p_n^m]$,其中 p_i^m 为特征点 p_i 的对称矢量。

(3) 选取特征点 p_i ,统计其与其它所有对称 FAST 特征点之间(除其本身的对称特征点)的最小距离和次最小距离,分别用 $\text{Min}(p_i)$ 和 $\text{MinSec}(p_i)$ 表示, $\text{Min}(p_i)$ 计算公式如下:

$$\text{Min}(p_i) = \min_{p_j^m \in P^m, j \neq i} D(p_i, p_j^m) \quad (8)$$

(4) 若特征点 p_i 和 p_j 满足以下两个条件:

$$\frac{\text{Min}(p_i)}{\text{MinSec}(p_i)} < T \quad (9)$$

$$|p_i \cdot y - p_j \cdot y| < n \quad (10)$$

式中, T 为阈值; n 表示行数; $p_i \cdot y$ 和 $p_j \cdot y$ 分别是特征点 p_i 和 p_j 的 y 坐标值; 摄像机视角决定 n 的取值范围。如果存在满足以上条件的 p_i 和 p_j , 则两者互为对称特征点;

(5) 重复步骤(3)和(4),确定目标范围内所有对称特征点对。

3 车辆目标检测与识别

3.1 车辆检测

本文利用车辆的对称特征进行疑似目标检测和定位,大大简化了特征聚类的过程,检测效率明显提高。其算法流程如图2所示。首先通过直方图法统计已有特征点对的中心点位置,确定疑似车辆区域中线,并以此为依据对疑似车辆目标区域的底部阴影进行检测,由此判断是否为车辆目标。为了进一步提升检测速度,在检测工作开始之前,需要手动设置如图3所示的 ROI 区域。

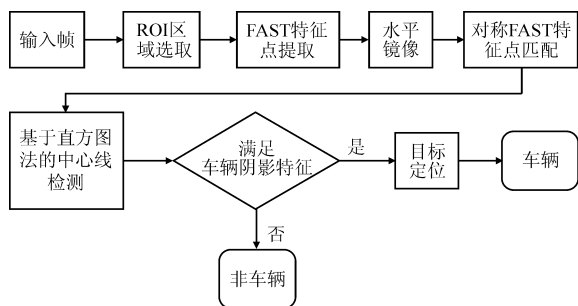


图2 车辆检测算法流程

检测车辆中心线的具体步骤为:

(1) 统计对称特征点对 $p \leftrightarrow q$ 的中心位置



图3 ROI 区域提取

$C_{p \leftrightarrow q} = \{C_{p \leftrightarrow q}^1, C_{p \leftrightarrow q}^2, \dots, C_{p \leftrightarrow q}^n\}$ 横坐标的直方图;

(2) 选择图中最大值所对应的点作为我们所需要的中心线起始位置 x_{vehicle} , 并对其左右两边一定范围内的 x 方差值 $\sigma_{\text{vehicle}}^2$ 进行计算;

(3) 按照式(11)中所提供的方法判断 $p \leftrightarrow q$ 是否属于中心线 x_{vehicle} , 进而判定这两点是否处于同一辆车上, 其中, $C_{p \leftrightarrow q}^i \cdot x$ 表示对称特征点对中心位置的 x 坐标;

$$|C_{p \leftrightarrow q}^i \cdot x - x_{\text{vehicle}}| < 3\sigma_{\text{vehicle}}^2 \quad (11)$$

(4) 统计步骤(3)中得到的 $C_{p \leftrightarrow q}^i \cdot x$ 的坐标平均值 μ_{vehicle} , 从而获得车辆的中心线位置;

(5) 在直方图上寻找距离 μ_{vehicle} 超过 $3\sigma_{\text{vehicle}}^2$ 的区域, 该区域内如果存在峰值, 跳转至步骤2), 反之算法结束。

在上述工作基础上, 将各条中心线作为检测中心, 以对称特征点下方区域作为 ROI, 判定该区域是否为车辆底部阴影, 从而实现车辆目标的识别。本研究中利用车辆底部阴影的色彩、亮度以及几何尺寸等信息进行建模, 训练在不同时间和天气情况下采集到的阴影样本, 计算其均值 μ_{shadow} 和方差 σ_{shadow} , 由此得到阴影区域的高斯混合模型, 如式(12)和(13)所示。其中, p_i 表示被测像素点, T_{shadow} 表示阴影样本的均值。

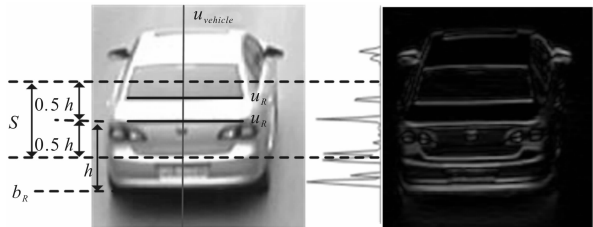
$$G_{\text{shadow}}(p_i) = \exp\left(-\frac{(p_i - \mu_{\text{shadow}})^2}{\sigma_{\text{shadow}}^2}\right) \quad (12)$$

$$G_{\text{shadow}}(p_i) > T_{\text{shadow}} \quad (13)$$

3.2 车辆目标定位

为了实现车辆目标的有效跟踪, 仅确定目标的中心线位置显然是不够的, 仍需要对车辆目标区域进行进一步地定位。按照上一节中我们确定的中心线位置, 设定目标区域为 $R = (l_R, r_R, u_R, b_R)$, 其中, l_R 和 r_R 分别代表以 μ_{vehicle} 为中心线的目标区域的左侧边界值和右侧边界值, 类似地, 目标区域的上、下边界值分别用 u_R 和 b_R 加以表示。

b_R :对阴影区域内的像素个数进行逐行统计,以像素值个数最大值作为 b_R 的宽度.由该宽度及车辆底部阴影上方区域构造目标区域,并采用垂直 Sobel 算子提取该区域的图像边缘,如图 4 所示.其中, b_R 的位置由车辆底部阴影和后保险杠之间的中心线确定.



(a) 车辆目标参数表示 (b) 车辆水平边缘提取及投影

图 4 车辆目标区域参数表示示意图

r_R 和 l_R :这两个参量的取值可以直接由中心线和 b_R 的宽度来获得,如式(14)所示.但是如果被测目标存在部分遮挡或受天气、树荫等外界因素影响, b_R 的宽度显然是存在误差的.因此,采用这种方法进行度量时,其准确率容易受到外部环境的影响.针对这个问题,本研究采用了文献[11]中所提出的方法,利用固定摄像机下图像标定方法获得如式(15)所示的实际车宽和图像车宽之间的线性关系公式.其中, w_v 表示图像车宽, W_v 表示实际车宽. h 、 α 和 f 分别表示摄像头高度、视角和焦距.可以看出,图像车宽从本质来说是一个基于参数 y 的线性变化函数,可用式 $w_v(y) = ay + b$ 表示.经过参数训练后,式(14)可以进一步转化为式(16)所示情形.

$$l_R = \mu_{\text{vehicle}} - \text{width}(b_R)/2$$

$$r_R = \mu_{\text{vehicle}} + \text{width}(b_R)/2 \quad (14)$$

$$w_v = \frac{W_v}{h}(f \sin \alpha - y \cos \alpha) \quad (15)$$

$$l_R = \mu_{\text{vehicle}} - w_v(b_R)/2$$

$$r_R = \mu_{\text{vehicle}} + w_v(b_R)/2 \quad (16)$$

u_R :本研究中, u_R 位置的确定主要是通过车辆后视窗下边缘或者行李箱边缘来实现的.这里我们假设车辆的高度为 h ,并且车辆的宽和高满足比例关系 $h = \gamma(r_R - l_R)$,其中 γ 通过一组车辆数据训练获得.然后以此为基础,按照式(17)设置搜索范围 S ,在该区域内,采用垂直 Sobel 算子提取图像边缘,并统计其水平投影,如图 4(b)所示.若其水平投影直方图用 $P(y)$ 表示, $P(y)$ 在 $y \in [b_R + 0.5h, b_R + 1.5h]$ 范围内的峰值所在处即为 u_R 的位置.由图 4 可以看出,图中车辆水平边缘强度最大处位于行李

箱盖边沿.

$$S = [b_R + 0.5h, b_R + 1.5h] \quad (17)$$

$$u_R = \max_{y \in S} P(y) \quad (18)$$

经过上述计算过程之后, b_R 、 l_R 、 r_R 和 u_R 的取值均已确定,根据 $R = (l_R, r_R, u_R, b_R)$ 完成最终定位.

4 实验结果与分析

本文为了验证提出算法的准确度和可靠性,分别针对对称特征点提取算法和车辆目标检测算法进行分阶段测试与仿真.

4.1 对称特征提取分析

本文分别选取具有水平对称特征的车辆图片和非车辆图片进行对比测试分析.匹配过程中,阈值设定为 0.7,检测结果如图 5 所示.可以看到,虽然存在部分干扰,但本文所提出的算法能够较为有效的检测出具有水平对称特征的点,而且检测速度快,得到的水平对称点对能够反映出被测目标的对称特性.



(a) 非车辆目标

(b) 车辆目标

图 5 对称特征点提取

4.2 车辆目标检测分析

第二部分实验主要采用实际交通场景中的车辆测试该检测算法的有效性,并对复杂交通场景下的车辆检测准确性进行测试和对比.实验中所采用的图片为校园实景拍摄或截取自项目组自行录制的西安市部分路段交通场景视频,其分辨率为 1280×720 ,帧速为 $30f/s$.

为了验证本算法的鲁棒性和可靠性,分别选取不同路段和具有不同视角的车辆目标图片进行测试.由实验结果可以看出,该算法能够准确地检测出目标车辆,定位准确,整个运算过程简单,既适用于静态图片中的车辆检测,也适用于视频中运动车辆的检测.不过通过测试也发现,如果车辆偏角过大,该算法将无法提取其水平对称性特征,容易出现漏检问题.针对这一问题,本文中进一步选择了不同偏转角度的车辆加以验证.验证结果表明,当车辆的偏角在 $-15^\circ \sim 15^\circ$ 范围内的时候,该算法仍然能够较

准确地检测出目标,然而,如果偏移角度过大,那将无法通过对称特征识别车辆目标。

同时,考虑到本文所提算法的通用性,研究中采用同时测试车辆前脸的方式,提取前脸特征,检测结果表明,该算法在检测车辆前脸对称特征点对方面也同样有着较为理想的性能表现。

4.3 算法性能对比分析

本文选择自行录制的交通视频为样本,对其中所包含的 654 个车辆目标进行测试,其中训练样本 150 辆,测试样本 504 辆。

本研究中采用了如图 6 所示的虚警率、准确率以及漏检率三项指标来从整体上评价算法的优劣。其中,漏检车辆个数用 FN 表示,FP 表示误检的车辆个数,TP 则为正确检测到的车辆个数。准确率定义为 $P=TP/(TP+FP)$,表示正确检测到的车辆结果相对实际检测到的车辆结果的准确率;虚警率定义为 $FA=FP/(TP+FP)$,反映了错误检出车辆与实际检测到的车辆的比例情况;而这里我们所使用的漏检率定义为 $MA=FN/(TP+FN)$,用来表示漏检的车辆目标数量占实际车辆目标数量的比例。

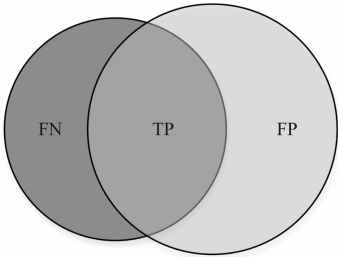


图 6 评价指标解释图

类似地,文献[9]~[11][13]针对车辆的对称特征,提出了不同的方法对车辆目标进行检测。本研究中将分别采用虚警率、准确率以及漏检率三项指标来对上述方法及本文所提出算法的优劣性进行整体评价和分析,得到如表 1 所示结果。

表 1 基于对称特征的车辆检测算法性能对比

	Unno, et al[9]	Dai, et al[12]	Tech. et al[10]	Cheon, et al[11]	本文算法
准确率	67.88%	76.81%	88.35%	91.26%	93.24%
虚警率	8.61%	10.49%	3.65%	2.92%	2.16%
漏检率	9.51%	8.4%	2.3%	6.82%	1.56%

同样利用车辆的对称特征,文献[9]由于受到目标分割效果的影响,检测准确度比较低,而文献[13]准确度明显提高,该文献提出的采用多尺度窗口和根据阈值提取车辆中心的方法,在实际应用中,当目

标车辆发生一定程度形变时,虚警率较高。相较于文献[9]和[13],文献[10]在准确率方面有着明显的优势,但是在复杂交通环境下,受到边缘检测效果的影响,其虚警率较高。文献[11]利用车辆底部阴影特征确定候选车辆区域,然后结合 HOG 特征提取算子检测目标的对称特征,从而对车辆进行识别。该算法过分依赖车辆底部阴影特征进行疑似目标定位,容易受外部环境的干扰,漏检率较高。综上所述,本文提出的基于对称 FAST 特征的车辆检测算法在三项指标中均表现较理想,该算法既避免了复杂的运动车辆分割问题,又有效地简化了局部特征所需要的聚类问题,算法复杂度相对较低,检测效果好,能够满足实时应用的需求。

5 结束语

车辆目标的提取,是实现车辆目标跟踪识别的基础所在。但是,在复杂交通环境下准确地进行目标分割往往是非常困难的。以底层特征为基础的分割方法在实际的应用过程中,其效果很难令人满意。基于局部特征集合对目标加以描述,是解决该问题的有效方法。该方法具有较高的检测准确率,避免了复杂交通场景下的运动目标分割问题,在视频和静态图片条件下均可实现车辆的有效检测和识别。除此之外,由于该算法利用车辆的对称性对局部特征进行聚类,简化了聚类的复杂性,运算过程简单,适合车辆目标的实时检测。

参考文献:

[1] TIAN B, MORRIS B T, TANG M et al. Hierarchical and networked vehicle surveillance in ITS: A Survey [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2014,(99): 1-24.

[2] SIVARAMAN S, TRIVEDI M M. Looking at vehicles on the road: a survey of vision-based vehicle detection, tracking, and behavior analysis [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2013, 14(4): 1773-1795.

[3] ARRÔSPIDE J, SALGADO L. A study of feature combination for vehicle detection based on image processing[J], The Scientific World Journal, 2014, 1-13.

[4] ARRÔSPIDE J, SALGADO L, NIETO M, et al. On-board robust vehicle detection and tracking using adaptive quality evaluation [J]. 15th IEEE International Conference on Image Processing, 2008.

[5] BUCH N, VELASTIN S A, ORWELL J. A review of

- computer vision techniques for the analysis of urban traffic[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2011, 12(3): 920-939.
- [6] GAO T, LIU Z G, GAO W C, et al. A robust technique for background subtraction in traffic video[J]. in Advances in Neuro-Information Processing. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2009, 736 - 744.
- [7] NUEVO J, PARRA I, SJOBERG J, et al. Estimating surrounding vehicles' pose using computer vision [J]. 13th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, 2010, 1863 - 1868.
- [8] HSIEH J W, YU S H, CHEN Y S, et al. Automatic traffic surveillance system for vehicle tracking and classification[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2006, 7(2): 175 - 187.
- [9] UNNO H, OJIMA K, HAYASHIBE K, et al. Vehicle motion tracking using symmetry of vehicle and background subtraction[J]. 2007 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 2007, 1127 - 1131.
- [10] TEOH S, BRUNN T. Symmetry-based monocular vehicle detection system[J]. Machine Vision and Applications, 2011, 23(5): 831 - 842.
- [11] CHEON M, LEE W, YOON C Y, et al. Vision-based vehicle detection system with consideration of the detecting location[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2012, 13(3): 1243 - 1252.
- [12] ROSTEN E, PORTER R, DRUMMOND T. Faster and better: a machine learning approach to corner detection[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2010, 32(1): 105-119.
- [13] DAI B, FU Y, WU T. A vehicle detection method via symmetry in multi-scale windows[J]. 2007 2nd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, 2007, 1827 - 1831.

作者简介:

卢胜男 女, (1982 年), 博士研究生, 讲师. 研究方向为图像技术及其在智能交通系统中的应用.

E-mail: lushengnan@xysu.edu.cn

李小和 男, (1974 年), 博士研究生, 讲师. 研究方向为图像处理与模式识别.