

基于模型的车辆检测与跟踪

胡 钢 杨静宇

(南京理工大学, 南京 210094)

摘 要 车辆检测算法是汽车辅助驾驶系统中的核心算法之一。为了对摄像机抖动下的目标进行鲁棒跟踪,提出了一种新的基于投影的曲线模型匹配方法,利用投影的完整性、匹配点相对于模型的偏移量期望和方差的加权和作为相似性度量。在此基础上建立模型匹配算法,利用车辆模型匹配进行车辆的检测和跟踪。实验结果表明,该算法具有良好的适应能力,对不同车型、大小、颜色的车辆都能够进行很好的检测和跟踪,并能够在车辆颠簸造成摄像机抖动的情况下保持目标的稳定跟踪。

关键词 模型匹配 车辆检测 跟踪

中图法分类号: TP391.4 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2008)03-0450-06

Model Based Vehicle Detection and Tracking

HU Yin, YANG Jing-yu

(Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094)

Abstract Robust and reliable vehicle detection is the first step in automotive driver assistance systems. In this paper, a new approach of model matching based on curve projection is presented. The similarity measurement is based on the weighted sum of integrity of projection, offset expectation and variance of matched point. A scheme for vehicle detection and tracking is presented based on model matching. Results for natural traffic scenes demonstrate high reliability of the proposed method.

Keywords model matching, vehicle detection, tracking

1 引 言

车辆检测算法是汽车辅助驾驶系统中的核心算法之一。车辆检测是自主导航、碰撞避免等应用不可缺少的环节。由于车辆不仅自身的形状、尺寸、颜色各不相同,而且外观随着姿态而变化,户外环境引起光照条件的变化,复杂的背景并随着摄像机的运动不断变化,路面车辆检测一直是计算机视觉领域一项极富挑战性的任务。目前车辆检测的方法主要有以下几类:(1)基于特征的方法;(2)基于运动分析的方法;(3)基于模型的方法。在基于特征的方法中,利用前方车辆图像中的一些显著特征来将车辆从背景中分割出来,常用的特征有阴影、对称性、边缘等。

运动分析的方法通过分析图像序列中的相邻帧计算光流场,利用被检车辆运动造成的光流场与摄像机运动造成的背景光流的不一致确定被检车辆的位置。基于模型的方法建立车辆的3维或2维模型,与待检测图像进行匹配从而达到车辆检测的目的。

Charkari等人利用柏油马路上车辆底部的阴影作为车辆的特征进行车辆检测^[1]。Hoffman等人利用阴影和对称性作为车辆的特征进行检测^[2]。李斌等人利用了阴影、边缘特征和对称特性来确认识别目标车辆,以提高识别的准确性^[3]。多种特征的融合是基于特征方法的发展方向。由于前方距离较远的车辆的相对运动较小,无法将车辆运动造成的光流变化和摄像机运动造成的背景光流区分开来,因此基于运动分析的方法通常用来检测从旁边超过

基金项目:江苏省科技计划高技术研究项目(BG2005008)

收稿日期:2006-08-04;改回日期:2006-11-06

第一作者简介:胡钢(1973~),男,南京理工大学计算机系计算机应用专业在读博士研究生。主要研究方向为运动目标检测及跟踪。

E-mail: huyinyx@163.com

的车辆^[4-6]。Bensrhair 等人在 ARGO 实验车^[7]中利用 2 维矩形作为车辆模型,通过搜索矩形的 4 个角的方法进行模型匹配,并利用透视和尺寸作为约束条件。Collado 等人建立了较为精细的车辆 2 维几何模型^[8],利用构造能量函数的方法进行匹配操作,能量函数中包括了对称性、形状和阴影的信息,并利用遗传算法进行搜索匹配。在文献[9]中,采用了两种车辆模型,近距离车辆的矩形模型和远距离车辆的 U 形模型,利用 PETS2001 提供的图像序列进行了初步的实验。在德国慕尼黑大学的 VaMoRs 实验车中^[10],采用了 3 维模型匹配的车辆检测方法。本文提出了一种新的曲线模型匹配和相似性度量方法,并在此基础上进行车辆模型的匹配。

2 曲线模型及相似度量

图像与模型的匹配是基于模型的检测方法的关键。常用的匹配方法是基于 Hausdorff 距离的匹配。Hausdorff 距离定义了模型点集到图像点集的距离度量方法。计算 Hausdorff 距离需要计算正向 Hausdorff 距离和反向 Hausdorff 距离,取其大者为最终距离。不管是正向距离还是反向距离都要进行匹配点的搜索,计算量非常大,难以用在实时系统中。另外 Hausdorff 距离依赖于两个点集中最不匹配点的距离,这使得它对噪声点非常敏感。

这里提出一种基于曲线投影的模型匹配方法,利用曲线的完整度、相对于模型的偏移量期望值和方差的加权和作为实际曲线与模型的相似度量。这里所说的曲线不是数学意义上的曲线,而是具有一定宽度,允许有偏斜、不完整的物理意义上的曲线。如图 1 所示,给定曲线模型 M ,长度为 L_M ,宽度为 e ,

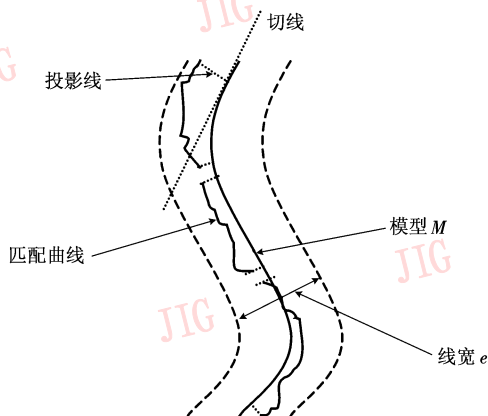


图 1 曲线与模型的匹配

Fig. 1 Model matching

模型宽度实际上是匹配点相对于模型点的允许偏移范围。定义实际曲线和模型的相似度为

$$S = w_1 I + w_2 (1 - |O|) + w_3 (1 - V) \quad (1)$$

式中, I 为曲线的完整度, O 为归一化的偏移量期望, V 为归一化的偏移量方差。 w_1, w_2, w_3 为权值;完整度、归一化的偏移量期望值和方差由下式给出:

$$I = L_p / L_M \quad (2)$$

$$O = \frac{1}{e L_p} \int \pm 2 h d s \quad (3)$$

$$V = \frac{1}{e^2 L_p} \int (2 h - e O)^2 d s \quad (4)$$

式中, P 是曲线在模型上的投影, L_p 为曲线到模型的投影长度; h 为曲线点到模型投影点的距离, $h \leq \frac{e}{2}$,符号定义如下:模型两边的匹配点具有不同的符号,同一侧的匹配点的距离符号相同,定义沿模型起点向终点方向行走,左手边为负,右手边为正;完整度 I 是曲线在模型上的投影长度和模型长度的比值,反映了实际曲线相对于模型的完整程度;归一化的偏移量期望值 O 反映曲线偏离模型的程度;归一化的偏移量方差 V 是实际曲线点相对于模型的离散程度。对于给定的匹配点集,可以直接使用投影的方法进行匹配。若未给定匹配点,则采用在图像中搜索匹配的方法,就是沿模型曲线的法线方向以模型点为中心进行搜索,取离模型点距离最近的点作为匹配点。

3 曲线模型匹配算法

根据曲线模型匹配和相似度量方法,给出模型与灰度图像边缘轮廓点进行匹配的算法如下:如图 2 所示,给定边缘检测的亮度阈值 t_1 ,斜率阈值 t_s 。

步骤 1 搜索匹配点 将模型等间距分为 n 个点,从模型的起始点到结束点,重复以下步骤:

(1) 取以模型点为中心沿法线方向向两边搜索

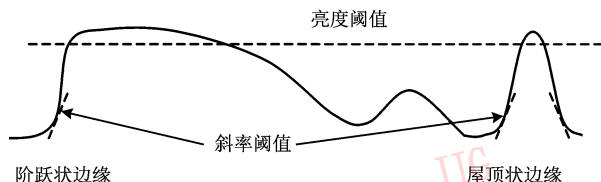


图 2 边缘检测的阈值

Fig. 2 Threshold for edge detection

亮度超过亮度阈值 t_1 的点,搜索宽度为 $e/2$;若找到多个点,则取离模型点最近的点。若没有找到,则认为没有找到匹配点,转结束。

(2) 以找到的亮度极大点为中心沿模型法线方向向两边搜索斜率大于斜率阈值 t_s 的点,搜索范围同样为以模型点为中心两边宽度为 $e/2$;若找到斜率大于斜率阈值 t_s 的点,则认为找到匹配点。否则认为没有找到匹配点。

(3) 结束。

步骤 2 计算相似度 设模型点数为 n ,找到的匹配点数为 k ,匹配点到对应模型点的距离为 h_i ;将式(2)~(4)离散化得到:完整度 $I = \frac{k}{n}$;归一化的偏离量期望值 $O = \frac{1}{ek} \sum_{i=1}^k \pm 2h_i$;归一化的方差 $V = \frac{1}{e^2 k} \sum_{i=1}^k (2h_i - eO)^2$;相似度 $S = w_1 I + w_2 (1 - |O|) + w_3 (1 - V)$ 。

图 3 给出了几种人眼可感知的垂直线段,第 1 种是由一系列水平线段的端点组成的垂直线段;第 2 种是黑白方块之间的垂直间隔线;第 3 种是不完整和不平直的垂线;第 4 种是两段虚线的组合,我们可以把它看成是一条宽的垂线,也可以看成是两条垂直虚线,也可以看成是很多小的垂线段。图中数据是利用上面给出的模型匹配算法进行垂线段检测的结果。这里的结果是在鼠标点击处进行匹配的结果,并不是搜索得到的最佳匹配。设定垂线模型线宽为 5 个像素,模型长度为 50 个像素。和经典的 Hough 变换进行直线检测的算法进行比较,对于第 1 种和第 2 种垂线,Hough 变换根本无法检测出正确的结果,第 3 种直线 Hough 变换检测的结果是几条垂线,第 4 种 Hough 变换可以检测出 2 条直线。而利用本文中的模型匹配算法通过设置合适的模型宽度、长度等参数,可以得到和人眼感知完全相同的结果。

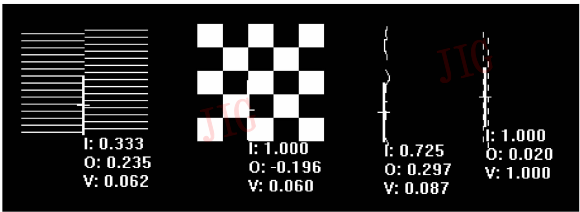


图 3 利用模型匹配进行直线检测

4 车辆检测

4.1 车辆模型

建立合适的车辆模型是基于模型匹配的车辆检测的基础。这里使用的车辆模型如图 4 所示。图中模型的阴影部分表示模型的线宽。模型 1 对于大多数车辆都适用,矩形代表车辆的外轮廓,矩形中的上面一条横线表示车窗的位置,下面的横线代表车辆尾部的保险杠。模型 2 适用于卡车和大客车;模型 3 是油罐车的模型。模型的线宽设定为 5 个像素,矩形的上下边以及车窗的位置和保险杠的模型线宽设的略大,以适应不同的车型变化。

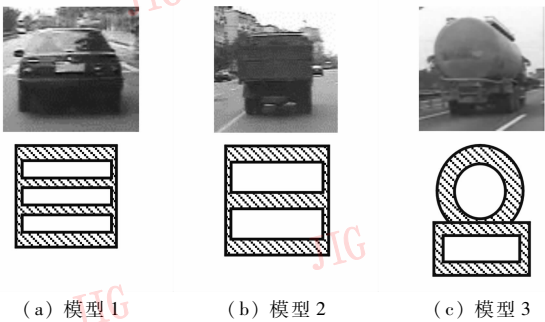


图 4 车辆模型
Fig. 4 Vehicle model

4.2 确定感兴趣区域 ROI

为了缩小搜索匹配的范围,首先要确定感兴趣区域 ROI (Region of Interest)。这里利用车辆的阴影来确定感兴趣区域 ROI。车辆底部阴影的模式如图 5 所示。先将图像进行阈值化并灰度反转之后得到阴影区为 1 的二值图像。搜索匹配的方法如下:

(1) 从下至上同时搜索 3 行,若某一列 3 行中的点不全为 0,则作为可能的阴影起始列;然后从此列开始向右,同时搜索,直到找到 3 行全为 0 的列;

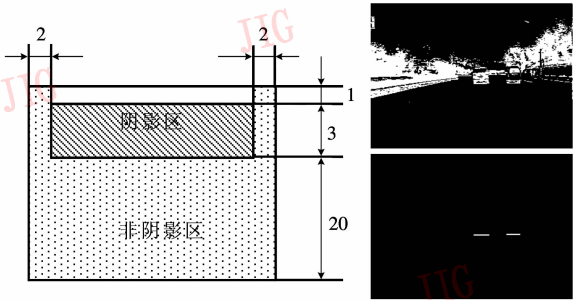


图 5 车辆阴影检测
Fig. 5 Vehicle shadow

Fig. 3 Straight line detection based on model matching

若搜索到的列数总和小于设定的阴影最小宽度,则认为此处不是阴影,继续搜索下一个3行不都为0的列。

(2)搜索左右非阴影区和底部非阴影区,要求非阴影区所有点都为0。阴影区和外围非阴影区匹配成功后则认为找到车辆阴影。由于实际阴影并不像所给出的模式那样完整,对于阴影区,将每一列的像素进行或操作,只要所有列的结果都为1则认为阴影区匹配成功。阴影区的高度设为3个像素,底部非阴影区高度为20个像素,左右两侧非阴影区宽度为2个像素。检测到阴影之后,取阴影上方宽度略大于阴影宽度的正方形区域作为ROI。

4.3 模型匹配和跟踪

车辆检测的算法流程如图6所示。模型匹配是在利用Sobel算子得到的梯度边缘图像中进行的。搜索到ROI之后,在ROI区域内采用模型由大到小进行搜索匹配的方法。首先确定模型的初始大小,将阴影的宽度加上一增量作为模型的初始宽度,按比例逐步缩小模型进行搜索匹配,若模型匹配的相似度过预先设定的阈值,则认为检测到车辆。将3种模型依次进行匹配,取相似度最大的作为最佳匹配。

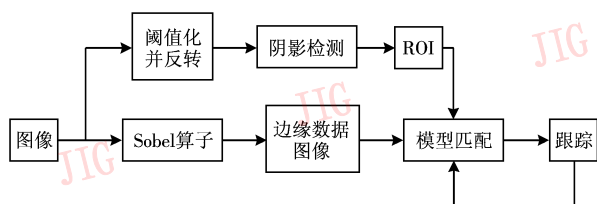


图6 基于模型匹配的车辆检测算法框图

Fig.6 Flow chart of vehicle detection algorithm

图7中可以看到3种模型的实际匹配结果。车辆边缘的白点是模型实际搜索到的匹配点。对于矩

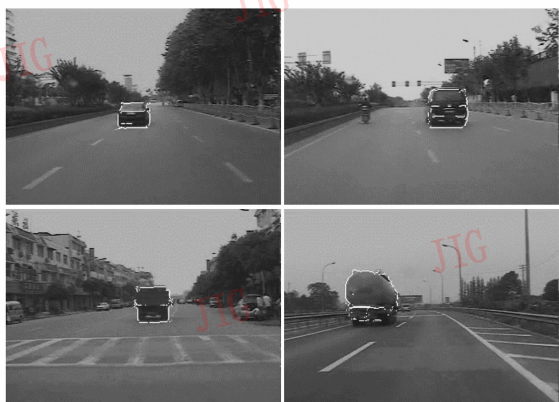


图7 模型匹配结果

Fig.7 Result of model matching

形的模型由于模型的线宽允许有一定的适应范围,所以对于有一定弧度的曲线也可以进行匹配,这和车辆的实际轮廓是相符的。完整度可以很好地反映由于光照变化、部分遮挡等原因造成的车辆边缘缺失,模型线宽可以适应不同车型外型长宽比例的变化以及车窗等结构位置的变化,这使得本文算法有较强的适应能力。采用多个模型不仅能够提高算法的适应性,而且根据匹配结果可以大致判断检测到的车型。

确定最佳匹配模型后,开始对检测到的车辆进行模型匹配跟踪。模型匹配跟踪的方法就是根据上一帧检测的车辆位置在以当前帧对应位置为中心的一定搜索范围内进行模型匹配,取匹配相似度最大的位置作为当前帧车辆的位置。为了适应车辆图像大小的变化,进行模型匹配时对模型进行按比例缩放,宽度变化范围在 ± 2 个像素之间,同样是取相似度最大的作为新的模型。跟踪的同时记录跟踪区域,再次检测时已经跟踪的区域就不再进行检测。

5 实验结果

下面给出利用模型匹配算法进行车辆检测和跟踪的实验结果。视频序列是利用安装在车辆前方的摄像头在路面行驶过程中采集的实际数据,帧图像大小为 320×240 像素。

实验系统在WinXP系统下利用VC++2003编写完成。在Pentium IV 2.8GHz PC系统,代码未进行优化的情况下,处理速度平均为每秒15帧。其中阈值化、灰度反转、搜索阴影区3项共耗时11ms, Sobel边缘检测23ms左右。因为目标大小不一,检测一个目标需10~30ms左右,跟踪一个目标大约10~20ms。

图8是利用本文算法进行各种车辆检测和跟踪的结果,可以看到模型匹配算法可以适应各种车型、颜色,对多个目标进行检测和跟踪。并且能够适应由于相对距离变化引起的车辆图像大小的变化,可检测的最小车辆宽度为15个像素宽,可跟踪的最小车辆宽度为10个像素宽。

图9是跟踪过程中的几段图像序列。图9(a)的第3帧图像可以看到由于车辆颠簸造成摄像机的剧烈抖动引起的图像模糊,该算法也能很好地适应没有引起跟踪的失败。从图9(b)中可以看到由于

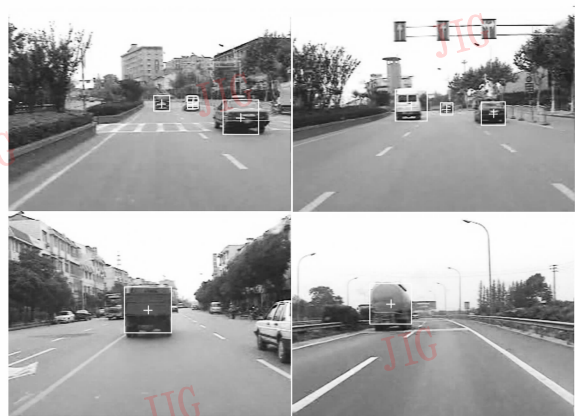
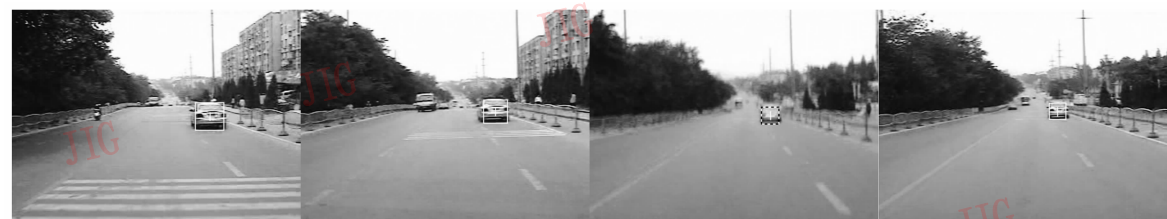


图 8 模型匹配可以很好地适应不同的车型、大小、颜色,进行多目标实时检测和跟踪

Fig. 8 Multiple targets detection and tracking based on model matching

车辆姿态的变化造成固定模型匹配相似度的降低,当匹配的完整度低于 0.7 时系统自动用虚线表示匹配结果,当车辆重新回到前方正常位置时模型又能够很好的匹配,并没有引起跟踪的丢失。图 9(c)显示了光照变化对跟踪的影响。由于光照的降低使得目标边缘变的模糊,致使模型的匹配度降低,从第 3 幅图可以看到,模型移动到目标上部较清晰匹配度相对较大的地方;当光照条件恢复时跟踪又回到正常状态。图 9(d)是由于光照条件的剧烈变化引起的跟踪丢失的情况。前面的小轿车由于进入隧道,其边缘模糊造成模型无法搜索到匹配点,造成跟踪丢失。对于这种情况可以采取当匹配相似度低于某一设定的阈值时就结束跟踪,当目标车辆重新出现时再次进行检测并跟踪。



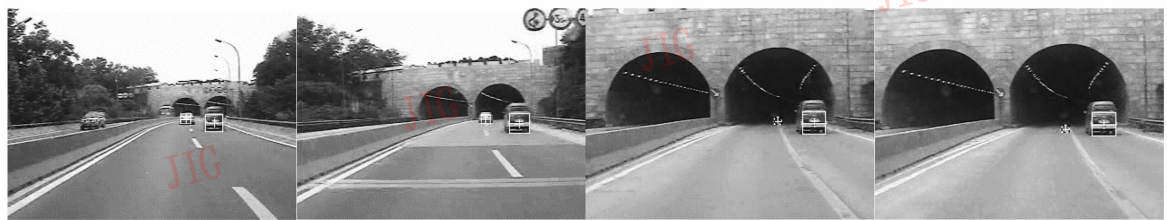
(a) 模型匹配可以适应车辆剧烈抖动造成的暂时图像模糊



(b) 车辆姿态的变化造成模型匹配相似度的降低



(c) 光照变化对跟踪的影响



(d) 光照条件的剧烈变化引起跟踪丢失

图 9 基于模型匹配的车辆检测和跟踪

Fig. 9 Vehicle detection and tracking based on model matching

6 结 论

提出了一种新的基于曲线投影的模型匹配方法,在此基础上利用构造的车辆模型进行模型匹配的车辆检测和跟踪。实验结果表明该基于模型匹配的车辆检测和跟踪算法具有良好的适应能力,对不同车型、大小、颜色的车辆都能够进行很好的检测和跟踪,并能够在车辆颠簸造成摄像机抖动的情况下保持目标的稳定跟踪。

模型与图像的匹配是基于模型方法的关键。在 Bensrhair 等人的方法中,由于使用的是矩形作为车辆模型通过搜索矩形的4个角的方法进行模型匹配,只是得到粗略的结果,而依靠立体视觉对结果进行修正。在 Collado 等人的方法中,由于没有模型线宽的概念,模型匹配的形状能量计算只是在一坐标点沿垂直和水平方向边缘点的累加,不能反映各种车辆真实的边缘形状。

进一步的工作包括对遮挡情况的处理,自适应模型算法以适应车辆姿态等的变化。为了提高跟踪的鲁棒性,可以考虑将对称性和跟踪区域的灰度统计特征与模型匹配相结合的方法。基于此模型匹配算法的通用形状检测算法,以及其他类型目标的模型检测跟踪也是下一步研究的算法。

由于3D建模和匹配算法的发展,基于模型的方法近年来在目标检测和跟踪、人体姿态分析、人脸检测、手势分析等各个方面得到了广泛的应用。基于3D模型的车辆检测也是研究的热点和发展方向。

参考文献 (References)

1 Charkari N M, Mori H. A new approach for real time moving vehicle detection[A]. In: Proceedings of the IEEE/RSJ International Con-

ference on Intelligent Robots and Systems[C], Yokohama, Japan, 1993, 1: 273 ~ 278.

2 Hoffman C, Dang T, Stiller C. Vehicle detection fusing 2D visual features[A]. In: IEEE Proceedings of Intelligent Vehicles Symposium[C], Parma, Italy, 2004: 280 ~ 285.

3 Li Bin, Wang Rong-ben, Guo Ke-you. Study on machine vision based obstacle detection and recognition method for intelligent vehicle [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2002, 19(4): 126 ~ 129. [李斌,王荣本,郭克友. 基于机器视觉的智能车辆障碍物检测方法研究[J]. 公路交通科技, 2002, 19(4): 126 ~ 129.]

4 Wang Jun-xian, Bebis G, Miller R. Overtaking vehicle detection using dynamic and quasi-static background modeling[A]. In: IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition[C], San Diego, California, America, 2005, 3: 64 ~ 71.

5 Gillner W J. Motion based vehicle detection on motorways[A]. In: Proceedings of the Intelligent Vehicles '95 Symposium[C], Detroit, MI, USA, 1995: 483 ~ 487.

6 Batavia P H, Pomerleau D E, Thorpe C E. Overtaking vehicle detection using implicit optical flow[A]. In: IEEE Conference on Intelligent Transportation System[C], Boston, MA, USA, 1997: 729 ~ 734.

7 Bensrhair A, Bertozzi M, Broggi A, *et al.* Cooperative approach to vision-based vehicle detection[A]. In: IEEE Proceedings of Intelligent Transportation Systems[C], Oakland, CA, USA, 2001: 207 ~ 212.

8 Collado J M, Hilario C, de la Escalera A, *et al.* Model based vehicle detection for intelligent vehicles[A]. In: IEEE Proceedings of Intelligent Vehicles Symposium[C], Parma, Italy, 2004: 572 ~ 577.

9 Zeng Zhi-hong. Lane detection and car tracking on the highway[J]. Acta Automatica Sinica, 2003, 29(3): 450 ~ 456. [曾智洪. 高速公路中的行车道检测和车辆跟踪[J]. 自动化学报, 2003, 29(3): 450 ~ 456.]

10 Schmid M. An approach to model-based 3-D recognition of vehicles in real time by machine vision[A]. In: Proceedings of the IEEE/RSJ/GI International Conference on Intelligent Robots and Systems' 94. 'Advanced Robotic Systems and the Real World', IROS'94[C], Munich, Germany, 1994, 3: 2064 ~ 2071.