

基于视频车辆轨迹模型的交通事件 自动检测方法研究*

赵有婷, 李熙莹, 罗东华

(中山大学智能交通研究中心//广东省智能交通系统重点实验室, 广东 广州 510275)

摘要: 研究了车辆违章逆行、停驻、掉头、倒退、变道五类具有潜在危险的交通(违章)事件, 并且运用了基于视频的交通事件自动检测技术所涉及的目标提取、车辆跟踪和事件理解与描述3个步骤实现交通事件的检测。着重研究并分析了车辆跟踪得到的行驶轨迹点, 将复杂的车辆轨迹分解为前行、反行、停滞、斜行四类轨迹元素, 并且根据4类轨迹元素对车辆的行驶行为进行数学建模, 最后通过模型制定合理的检测算法。实验表明, 该算法可以有效地区分正常车辆与事件车辆, 能够快速准确地检测上述5类交通事件。

关键词: 交通事件检测; 目标提取; 车辆跟踪; 车辆行驶行为模型

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579(2011)04-0056-06

Study on the Methods of Automatic Incident Detection based on the Video Vehicle Trajectory Model

ZHAO Youting, LI Xiyang, LUO Donghua

(Research Center of Intelligent Transportation System//Guangdong Provincial Key Laboratory
of Intelligent Transportation System, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Five dangerous traffic incidents including vehicle retrograding, parking, turning round, reversing, and changing lanes are studied. Object detection, vehicle tracking, incident apprehension and description are used to detect incident automatically based on video. The great emphasis is placed on analyses and researches of the vehicle's tracking trajectory. Complicated vehicle trajectory is separated into four elements: ahead, backward, stop, and left or right; then vehicle behavior model is built to analyze vehicle's motion based on them. Finally, reasonable algorithms to detect above five traffic incidents are proposed. Experiments show that the normal and the abnormal vehicles can be distinguished, and the five traffic incidents can be detected quickly and effectively by the algorithms.

Key words: traffic incident detection; object detection; vehicle tracking; vehicle behavior model

每年有无数起交通事故发生, 其中违章行驶是交通事故频繁产生的原因之一。目前国内高速公路、城市快速道路、特大型桥梁、隧道等交通设施均设置交通监控管理部门, 但是目前交通管理模式主要以人工监控图像为主, 一般情况下监控图像往往较多, 如广深高速有200多路监控视频, 一旦有违章交通事件发生, 而且值班人员的配备比较少的

话, 那么很有可能不能及时发现交通事件, 从而延误处理时间, 加大交通的滞留, 以至于造成更多的财产损失和生命伤害^[1-2]。所以, 如何采用交通事件自动检测系统(Automatic Incident Detection System, AIDS)对交通事件进行快速准确的检测, 已经成为越来越多人关心的问题。

国内外许多专家学者提出了描述交通事件检测

* 收稿日期: 2011-01-04

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51078362)

作者简介: 赵有婷(1986年生), 女, 硕士研究生; 通讯作者: 李熙莹; E-mail: chuanganqiyuanli@163.com

的算法。Ferryhough 等^[3]通过对序列图像中目标的跟踪结果学习出目标运动的时空区域, 通过定性的推理和统计分析, 自动构造出定性的事件模型, 从而实现事件的预测和异常事件的检测; Mohnhaupt 等^[4]建立了一个 3D 场景描述序列, 其包括交通场景中的检测数据, 例如时间序列的车辆行驶方向、位置等; Kumar^[5]利用运动目标与场景内静态设施及动态目标之间的相互关系识别行为活动。以上介绍的算法中, 都具有模型复杂, 运算量大, 实现起来比较复杂等的缺点。伍友龙^[6]提出了一种比较简便快捷的事件检测算法, 通过直线拟和, 把复杂的车辆跟踪轨迹曲线简化为直线组合, 以直线差角代替轨迹曲线曲率变化, 以此分析车辆行驶方向的变化, 最后判定事件的方法, 但是该方法不能实时地检测交通事件, 检测结果存在一定的滞后性。

本文采用数字图像处理技术和计算机视觉技术^[7-8], 主要研究逆行车辆、停驻车辆、掉头车辆、倒退车辆、变线车辆这 5 类交通事件的检测。目标车辆提取与车辆跟踪用了传统的基于背景差的目标提取方法与基于区域的跟踪方法。而对交通事件的理解与描述部分, 本文提出一种新的基于模型的事件检测算法, 先拟和轨迹, 接着把轨迹各段分成四类: 前行、反行、斜行、停滞, 然后根据 4 类轨迹建立模型参数, 最终得到车辆行驶行为数学模型, 以此检测出车辆的运动情况。

1 车辆检测与跟踪

车辆检测的目的是从连续的视频图像中提取车辆目标, 为后续车辆跟踪检测提供支持。本文采用了背景差分法进行车辆检测^[9], 使用了简单的背景模型, 即对一定时间内的帧数进行中值滤波得到背景^[10]。背景初始化公式为

$$B_i(x, y) = \begin{cases} B_{i-1}(x, y) + 1 & I_i(x, y) > B_{i-1}(x, y) \\ B_{i-1}(x, y) - 1 & I_i(x, y) < B_{i-1}(x, y) \end{cases} \quad (1)$$

式中 $B_i(x, y)$ 表示 i 时刻, 在 (x, y) 位置的像素点的背景灰度值; $B_{i-1}(x, y)$ 表示 $i-1$ 时刻, 在 (x, y) 位置的像素点的背景灰度值; I_i 为当前图像的灰度值。 i 时刻背景差分公式为:

$$D_i(x, y) = I_i(x, y) - B(x, y) \quad (2)$$

再对差分图像做二值化处理, 若阈值为 θ , 当输入图像为 $D_i(x, y)$, 输出图像为 $G_i(x, y)$, 则

$$G_i(x, y) = \begin{cases} 255 & D_i(x, y) \geq \theta \\ 0 & D_i(x, y) < \theta \end{cases} \quad (3)$$

此时, $G_i(x, y)$ 是目标图像为白色区域, 背景图像为黑色的二值图像。对二值化图像做形态学处理及连通区域最小外接矩形操作后, 可以得到车辆区域的外接矩形框。

当运动车辆被提取出来之后, 必须对车辆进行连续的跟踪, 才能知道每辆车的行驶轨迹等信息, 作为后续事件检测的依据。本算法采用传统的基于区域目标中心的跟踪方法进行车辆跟踪^[11-12], 即在车辆检测结果中识别出一个个像素连通区域, 用矩形区域表示检测出的车辆。如果在相邻帧中车辆矩形区域的中心点符合一定的匹配标准, 则认为车辆跟踪成功, 车辆跟踪的输出结果是每帧图像中车辆外接矩形框的中心坐标点值。这里将此点认为是车辆中心, 将车辆行驶过程中此点的轨迹变化作为车辆的行驶轨迹。

2 交通事件检测与跟踪

本文中所研究的交通事件是指高速公路上具有潜在事故危险的偶发性事件^[13], 如逆行、倒车、掉头、停驶、变道等交通违章行为, 通过研究分析车辆跟踪过程中车辆中心点坐标变化, 可以计算得到车辆的运动方向与每帧时间内的运动距离, 然后依据五种交通违章事件的属性规律进行具体检测。

2.1 车辆行驶行为分析

首先分析五类交通事件车辆行驶轨迹与正常行驶车辆轨迹的区别。车辆轨迹抽象如图 1 所示, 图中虚线代表车道, 实线表示车辆轨迹, 图中:

A 线条表示车辆的正常行驶轨迹, 其中 a_1 为车辆驶入点, a_2 为车辆驶出点;

B 线条表示车辆停驶时的轨迹, 其中 b_1 为车辆驶入点, b_2 为车辆停驶点;

C 线条表示车辆逆行的轨迹, 其中 c_1 为车辆驶入点, c_2 为车辆驶入点;

D 线条表示车辆掉头轨迹, 其中 d_1 为车辆驶入点, d_2 与 d_3 为车辆转弯点, d_4 为车辆驶出点;

E 线条表示车辆倒退行驶轨迹, 其中 e_1 为车辆驶入点, e_2 为车辆开始倒退点;

F 线条表示车辆变道行驶轨迹, 其中 f_1 为车辆驶入点, f_2 与 f_3 为车辆变道点, f_4 为车辆驶出点。

分析上述 6 类车辆行驶行为, 可以将以上几种车辆行为分解为前行、反行、停滞、斜行 4 种行驶轨迹元素^[14], 并且认为任何的车辆行驶行为都是由这 4 种轨迹元素构成, 如图 2 (a) 所示。图 2 (b) 为 4 类轨迹元素方向所在的坐标区域, 其中坐标的原点以及周边邻近区域为停滞元素所在的区域。

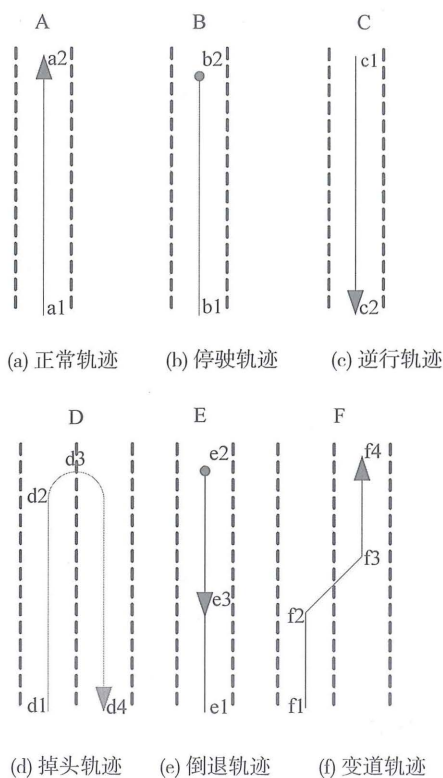
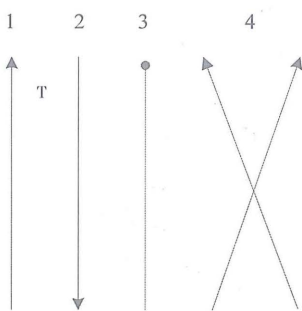
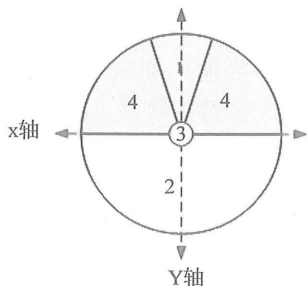


图 1 车辆行驶行为轨迹图

Fig. 1 Vehicle's motion trajectory figure



(a) 1.前行 2.反行 3.停滞 4.斜行



(b) 4类轨迹元素方向的坐标区域

图 2 4类轨迹元素

Fig. 2 Four trajectory elements

各类车辆行驶行为轨迹可以视为 4 类轨迹元素

的组合:

事件 A: 可视为“前行”轨迹;

事件 B: 可视为“前行-停滞”轨迹组合;

事件 C: 可视为“反行”轨迹;

事件 D: 可视为“前行-斜行-反行”轨迹组合;

事件 E: 可视为“前行-短暂停滞-反行”或者“前行-反行”轨迹组合;

事件 F: 可视为“前行-斜行-前行”轨迹组合。

2.2 车辆行驶行为数学模型

由于目标跟踪过程中可能伴随有遮挡、误跟及远近造成的投影变化等, 获取的轨迹有时是不完整的而且会有很多噪声, 这些都会影响进一步的轨迹分类、识别, 行为分析理解等。因此, 有必要进行轨迹的预处理。这里采用均值滤波的方法进行轨迹预处理, 如式 (4) 所示, 每隔 15 帧取一个平均值作为车辆中心点坐标。

$$\bar{p}[n] = (\sum_{i=15n}^{15n+14} p[i]) / 15 \quad n = 0, 1, \dots, N \quad (4)$$

其中 $p[i]$ 代表第 i 帧车辆跟踪框中心点的坐标值, $\bar{p}[n]$ 为每 15 个 $p[i]$ 点均值平滑后的中心点坐标值, N 为正整数。

为了更加准确地描述车辆运动轨迹的长度以及方向, 根据车辆运动轨迹的坐标点, 定义四个车辆行驶行为数学模型参数: 轨迹坐标链、轨迹角度链、轨迹路径链和轨迹斜率链。其中, 后三个参数都是根据第一个参数计算变换得到, 如式 (5)、(6)、(7) 所示。

1) 轨迹坐标链: $\bar{P}(\bar{p}[0], \bar{p}[1], L, \bar{p}[n])$;

2) 轨迹角度链: $G = \text{grans}(\bar{P}) = (g_0, g_1, L, g_n)$;

其中 $g_i = \text{atan}(\bar{p}[i].y - \bar{p}[j].y, \bar{p}[i].x - \bar{p}[j].x)$ (5)

g_i 表示平滑后车辆运动相邻轨迹点连线的方向; 计算结果以弧度表示并介于 $-\pi$ 到 π 之间。结果为正表示车辆的运动方向在 0° 到 180° 之间, 结果为负表示车辆的运动方向在 0° 到 -180° 之间。

3) 轨迹路径链: $L = \text{length}(\bar{P}) = (l_0, l_1, L, l_n)$;

其中

$$l_i = ((\bar{p}[i].x - \bar{p}[j].x)^2 + (\bar{p}[i].y - \bar{p}[j].y)^2)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

l_i 表示平滑后车辆运动相邻轨迹点连线的长度, 单位为像素数目。

4) 轨迹斜率链: $K = \text{slope}(\bar{P}) = (k_0, k_1, L, k_n)$

其中

$$k_i = \begin{cases} \frac{(\bar{p}[i].y - \bar{p}[0].y)}{(\bar{p}[i].x - \bar{p}[0].x)} & \bar{p}[i].x - \bar{p}[0].x \neq 0 \\ 1 & \bar{p}[i].x - \bar{p}[0].x = 0 \end{cases} \quad (7)$$

k_i 表示平滑后车辆运动轨迹坐标点与初始轨迹坐标点连线的斜率。

由于 k_i 参数相关于整个车辆行驶轨迹点，与车辆行驶轨迹线段没有直接联系，所以这里根据前三个模型参数将四类轨迹元素量化定义，如表 1 所示。前行轨迹其路径和角度都大于零；反行轨迹路径大于零，角度小于零；停滞轨迹路径约为零，角度不定，因为车辆在停驶的情况下，坐标位置不确定，前后左右都有可能出现；斜行轨迹路径大于零，角度也大于零，与前行相比较其轨迹角度与前行轨迹角度有一定的差值，其中 w 是阈值，具体数值可根据不同视频场景来调整。

表 1 四类轨迹元素的量化分析

Table 1 Quantization analysis of four trajectory elements

四类轨迹元素	前行	反行	停滞	斜行
路径	$l1 > 0$	$l2 > 0$	$l3 \approx 0$	$l4 > 0$
角度	$g1 > 0$	$g2 < 0$	$g3$ 不定	$g4 > 0; g1 - g4 > w$

分析车辆实际行驶过程，结合表 1 可以总结出车辆行驶行为的数学模型，如表 2 所示， m, k, h, l 分别是阈值，具体数值可根据不同视频场景来调整。其中掉头车辆行驶行为数学模型中，初始斜率链与后续斜率链之差大于一定阈值；而倒退车辆行驶行为数学模型中，初始斜率链与后续斜率链之差小于一定阈值。

表 2 车辆行驶行为的数学模型

Table 2 Vehicle behavior mathematical models

车辆行驶行为	车辆行驶行为数学模型
A 正常行驶车辆	$L > 0 \ \& \ G > 0 \ \& \ k_i - k_0 < m$
B 停驶车辆	$l_i, l_{i+1}, l_{i+2}, \dots \approx 0$
C 逆行车辆	$L > 0 \ \& \ G < 0$
D 掉头车辆	$L > 0 \ \& \ g_0 * g_i < 0 \ \& \ k_i - k_0 > k$
E 倒退车辆	$L > 0 \ \& \ g_0 * g_i < 0 \ \& \ k_i - k_0 < h$
F 变道车辆	$L > 0 \ \& \ G > 0 \ \& \ k_i - k_0 > l$

2.3 交通事件检测算法介绍

由表 2 得知各个交通事件有其不同的轨迹角度链、路径链以及斜率链，并且有明显的差异性，根

据其差异便可以区分检测各个交通事件。

图 3 是根据车辆行驶行为的数学模型所得到的交通事件检测逻辑判断流程图。

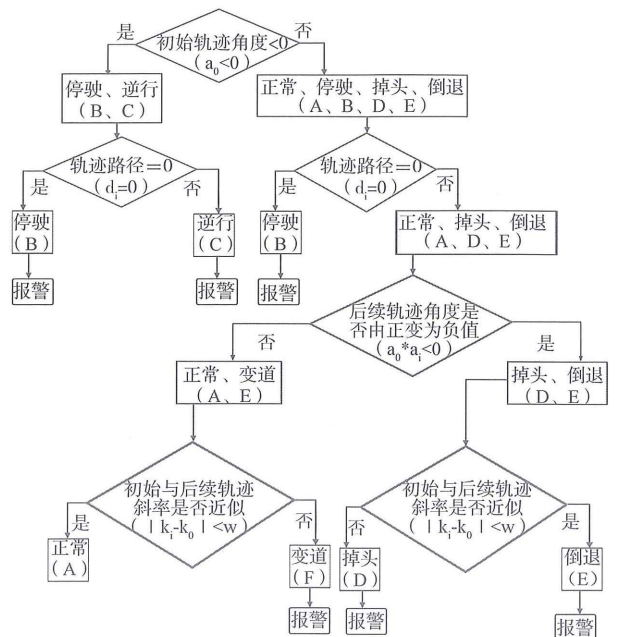


图 3 交通事件检测逻辑判断流程图

Fig. 3 Logic judgment flow chart of the incident detection

3 实验结果与分析

利用本文方法，采用开发工具 Visual C++ 与 OpenCV Beta4.0 图像开发包实现事件检测功能，对几段监控视频 (320 * 280, 25 fps) 进行交通事件检测处理，平均处理速度大约每帧 60 ms，由于其不满足实时处理的要求，故在实际应用中可以取隔帧图像或者隔两帧图像进行处理，以达到实时的要求。

检测结果如图 4 所示，图 4 (a) 为程序运行界面显示图，上方的两个窗口分别为车辆跟踪显示窗口与轨迹显示窗口，其中在车辆跟踪窗口中，车辆外部边框为车辆的外接矩形框，上面的数字为车辆编号；轨迹显示窗口中，每个节点为车辆每 15 帧的运动位置点，节点间的线段为车辆运动的路径长度，节点处的箭头为车辆的运动方向。下方为“报警模块”，包括：车辆驶入时间、报警时间、车辆编号、轨迹分析与事件报警五个部分，其中“轨迹分析”为三类轨迹元素的分析显示区域，不包括“前行”的状态，事件报警即为车辆运动的事件检测报警。

图 4 (a) 为车辆正常行驶时的情况，没有报警，故其轨迹分析默认为前行；图 4 (b) 显示了

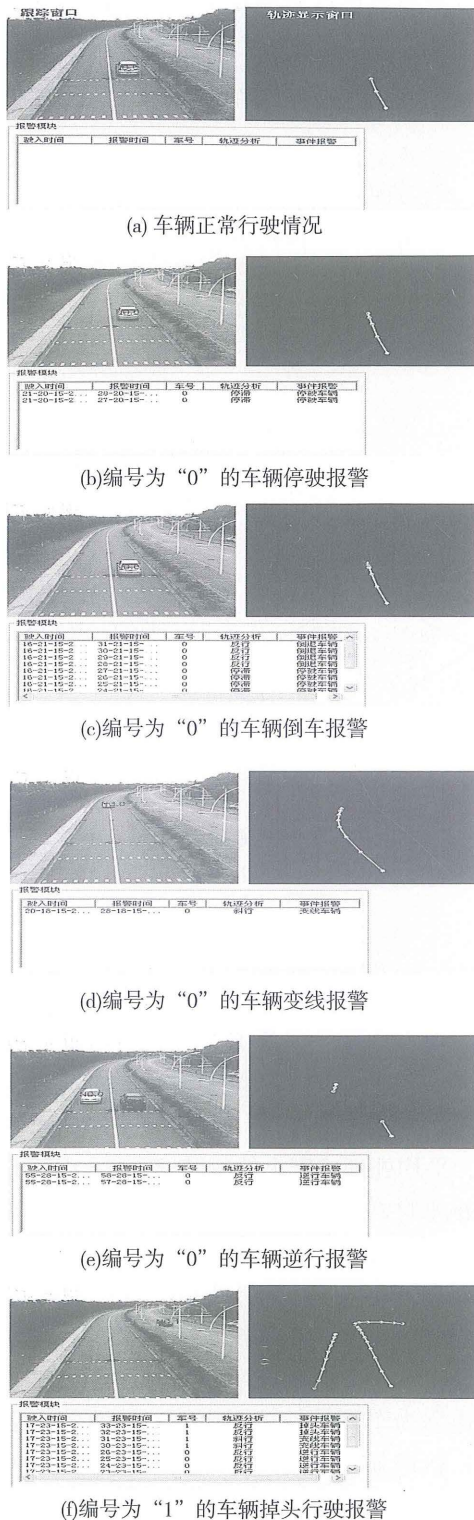


图4 视频交通事件检测报警结果

Fig. 4 Alarm results of the video incident detection

编号为“0”车辆的停驶报警,其“轨迹分析”为“停滞”;图4(c)显示了编号为“0”的车辆倒车报警,其“轨迹分析”为“反行”;图4(d)显示了编号为“0”的车辆变线报警,其“轨迹分

析”为“斜行”;图4(e)显示了编号为“0”的车辆逆行报警,其“轨迹分析”为“反行”;图4(f)显示了编号为“1”的车辆掉头报警,其“轨迹分析”为“斜行-反行”。

实验表明,本文提出的车辆行驶行为模型算法简单、耗时小、并且为各个事件的描述提供了统一的表达与检测标准。虽然本研究只考虑了5种交通事件,但是其他的交通事件都可以用本研究所提出的4个模型参数与4类轨迹元素来建模,具有一定的普及型。交通事件检测算法在车辆检测与跟踪的基础上,能够很好实现车辆停止、转弯、倒退等交通事件识别功能,从而自动检测车辆停驶、倒退、逆行、掉头、变线等事件。

4 结 语

通过分析高速公路中车辆运动的基本特征和规律对车辆事件进行检测,并且针对实际的路面状况,提出了交通事件判定方法,最终建立了车辆行驶行为数学模型。实验表明,模型对于交通事件描述具有普遍性,在此模型基础上实现的交通事件检测算法可以有效地检测到异常和突发交通事件。对于容易导致错误跟踪的目标部分遮挡、多个目标杂合等情况,将在车辆跟踪算法方面进一步完善。

参考文献:

- [1] VERSAVEL J. Road safety through video detection[C]// The Proceedings of the IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems, 1999:753-757.
- [2] 全洪波,陈锐祥. 城市道路交通拥堵自动判断算法研究[J]. 中山大学学报:自然科学版, 2008, 47(1): 42-45.
- [3] KAMIJO S, MATSUSHITA Y, IKEUCHI K, M, et al. Traffic monitoring and accident detection at intersections [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2000, 1(2): 108-118.
- [4] MOHNHAUPT M, NEUMANN B. On the use of motion concepts for top-down control in traffic scenes [C]// Proc. Eur. Conf. Computer Vision, Antibes, France, 1990: 598-600.
- [5] KUMAR P, RANGANATH S, HUANG Weimin, et al. Framework for real-time behavior interpretation from traffic video[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2005, 6(1): 43-53.
- [6] 伍友龙. 基于图像分析的高速公路交通事件检测算法研究[D]. 长沙:长沙理工大学, 2005.

(下转第64页)

- modulated optical properties [J]. *Solid State Commun*, 2005, 133(3): 145 - 150.
- [9] NIE Q L, YUAN Q L, WANG Q S, et al. In situ synthesis of $Zn_xCd_{1-x}S$ nanorod by a hydrothermal route [J]. *J Mater Sci*, 2004, 39(16/17): 5611 - 5612.
- [10] SHI J Y, YAN H J, WANG X L, et al. Composition-dependent optical properties of $Zn_xCd_{1-x}S$ synthesized by precipitable-hydrothermal process [J]. *Solid State Commun*, 2008, 146(5/6): 249 - 252.
- [11] SHI J Y, CHEN J, FENG Z C, et al. Time-resolved photoluminescence characteristics of sub-nanometer ZnO clusters confined in the micropores of zeolites [J]. *J Phys Chem B*, 2006, 110(51): 25612 - 25618.
- [12] SHI J Y, CHEN J, FENG Z C, et al. Photoluminescence characteristics of TiO_2 and their relations to the photo-assisted reaction of water and methanol mixture [J]. *J Phys Chem C*, 2007, 111(2): 693 - 699.
- [13] ZHOU H S, SASAHARA H, HONMA I, et al. Coated semiconductor nanoparticles: the CdS/PbS system's photoluminescence properties [J]. *Chem Mater*, 1994, 6(9): 1534 - 1541.
- [14] LEE J C, PARK D H. Self-defects properties of ZnS with sintering temperature [J]. *Mater Lett*, 2003, 57(19): 2872 - 2878.

(上接第 60 页)

- [7] 董凤. 基于视频跟踪的交通事件检测技术研究 [D]. 西安:长安大学, 2010.
- [8] 王宏义. 基于视频图像的交通事件检测系统研究与开发 [J]. *公路与汽运*, 2007, 5(3): 57 - 60.
- [9] 辛国江. 基于视频的运动物体检测与提取方法研究 [D]. 湖南:计算机与通信学院, 2006
- [10] 于成忠, 朱骏, 袁晓辉. 基于背景差法的运动目标检测 [J]. *东南大学学报*, 2005, 35: 159 - 161.
- [11] KATO J, WATANABE T, JOGA S, et al. An HMM/MRF-based stochastic framework for robust vehicle tracking [J]. *IEEE Transaction on Intelligent Transportation Systems*, 2004, 5(3): 142 - 154.
- [12] 郭博学. 运动车辆视频分割与跟踪技术研究 [D]. 西安:长安大学, 2009.
- [13] 张秀媛, 达庆东. 公路自动事件检测技术 [J]. *系统工程理论与实践*, 2001, 21(6): 118 - 124.
- [14] FRAILE R, MAYBANK S J. Vehicle trajectory approximation and classification [C]//*Proc. Brit. Machine Vision Conf*, Southampton, U. K. 1998: 832 - 84.