

基于动态感兴趣区域的光照无关车道线检测算法

鱼兆伟, 吴晓波, 沈 林

(后勤工程学院 后勤信息与军事物流工程系, 重庆 401311)

摘 要: 为保证自动驾驶的安全性和高效性, 基于 Hough 变换与投票法找到道路图像的消隐点, 以此建立动态感兴趣区域, 根据白色与黄色车道线的颜色特性设计光照无关车道线检测算法, 实现夜晚、隧道等复杂光照环境下的车道线区域检测。在此基础上, 设计极角约束算法对候选车道线进行筛选, 得到最终的有效车道线。实验结果表明, 该算法在复杂光照环境下具有较好的检测效果, 平均检测准确率达 93.5%。

关键词: 自动驾驶; 车道线检测; Hough 变换; 动态感兴趣区域; 光照无关; 极角约束

中文引用格式: 鱼兆伟, 吴晓波, 沈 林. 基于动态感兴趣区域的光照无关车道线检测算法[J]. 计算机工程, 2017, 43(2): 43-47, 56.

英文引用格式: Yu Zhaowei, Wu Xiaobo, Shen Lin. Illumination Invariant Lane Detection Algorithm Based on Dynamic Region of Interest[J]. Computer Engineering, 2017, 43(2): 43-47, 56.

Illumination Invariant Lane Detection Algorithm Based on Dynamic Region of Interest

YU Zhaowei, WU Xiaobo, SHEN Lin

(Department of Logistics Information and Logistics Engineering, Logistical Engineering University, Chongqing 401311, China)

[Abstract] In order to ensure the safety and efficiency of automatic driving, the vanishing points of road images are found based on Hough transform and voting method, thereby establishing the Dynamic Region of Interest (DROI). Then the illumination invariant lane detection algorithm is designed according to the features of white and yellow lanes to realize the detection of lane area under various complicated illumination conditions such as night and tunnel. On this basis, a polar angle constraint algorithm is designed to screen the candidate lanes to get the final effective lane. Experimental results show that the algorithm has a good detection effect which can reach an average accurate detection rate of 93.5% under various complicated illumination conditions.

[Key words] automated driving; lane detection; Hough transform; Dynamic Region of Interest (DROI); illumination invariant; polar angle constraint

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2017.02.008

0 概述

随着机动车的普及, 交通事故数量不断增长, 而许多事故的发生是由于驾驶员对道路状况的疏忽或受到其他视觉干扰, 因此, 先进的驾驶员辅助系统 (Advanced Driver Assistance System, ADAS) 作为智慧交通的重要组成部分应运而生^[1]。ADAS 作为自动驾驶技术的核心, 应用了大量传感器, 如摄像头、激光、雷达、全球定位系统等^[2]。其中基于摄像头的辅助系统以成本低和信息采集全面的优点而被广泛应用于自动驾驶领域, 其由车道线检测、偏离预警等基本模块组成, 能够在车道偏离、车前有障碍物等异常情况下及时提醒驾驶员, 从而保证驾驶安全^[3]。车道

线检测作为自动驾驶的关键环节成为目前的研究热点, 传统的车道线检测方法有逆视投影变换法、粒子滤波法、霍夫变换法等, 但这些方法都表现出计算量大、处理速度慢的缺点^[4], 且很多算法只能基于白天良好光照条件实现, 而在夜晚、隧道等复杂光照环境中会完全失效。

本文以自动驾驶的安全和高效为准则, 将提高处理速度和增强对光照的适应能力为目标, 提出一种实时的光照无关车道线检测算法, 并建立大量样本以测试车道线检测算法的性能。

1 研究现状

车道线检测是自动驾驶领域的研究热点, 目前

作者简介: 鱼兆伟 (1992—), 男, 硕士研究生, 主研方向为智能交通、模式识别; 吴晓波, 教授; 沈 林, 硕士研究生。

收稿日期: 2016-04-14 **修回日期:** 2016-06-28 **E-mail:** 623037109@qq.com

已有许多创新的检测方法被提出,本文将它们归为3类:1)基于灰度、边缘等基本的图像特征进行检测;2)基于几何信息进行检测;3)利用车道线的颜色特性进行检测^[5]。在第1)类中,边缘是众多特征中最重要的一种,正是车道线和路面颜色的反差让车道线变得醒目,用于检测边缘的经典算子有Canny算子、Robert算子、Sobel算子等。在检测完边缘后,引入Hough变换用于对边缘图像进行直线拟合^[6],从而寻找到车道线。在车道线检测对速度和稳定性要求较高的情况下,不断改进Hough变换算法^[7],目前众多改进的Hough变换算法都是基于白天良好的光照条件实现,没有考虑复杂光照条件带来的影响。第2)类方法利用相机和车道线的几何信息,运用卡尔曼滤波器和粒子滤波器预测车道线的信息,如文献[8]提出应用动态单应性矩阵估计法用于车道线检测。这类方法检测效果较好,但是由于车身颠簸导致相机震动和道路环境改变频率过快,使几何信息很容易改变,因此这类方法并不实用。第3)类方法利用车道线的颜色特性进行检测。这类方法为了直观描述车道线颜色信息而将图像从RGB空间转到其他空间,如HSI空间、YCbCr空间、Lab空间^[9],在转换后的颜色空间里对像素的各种参数分别建模。这类方法很好地解决了第1)类方法中对环境条件变化敏感的问题,增强了算法鲁棒性,但其仍存在计算量过大、实时性较差的问题^[10]。鉴于以上3类方法的优缺点,为适应较复杂的光照条件及满足实时性要求,本文提出一种改进的车道线检测算法。

2 车道线检测算法

图1展示了基于实时Hough变换的光照无关车道线检测算法流程。

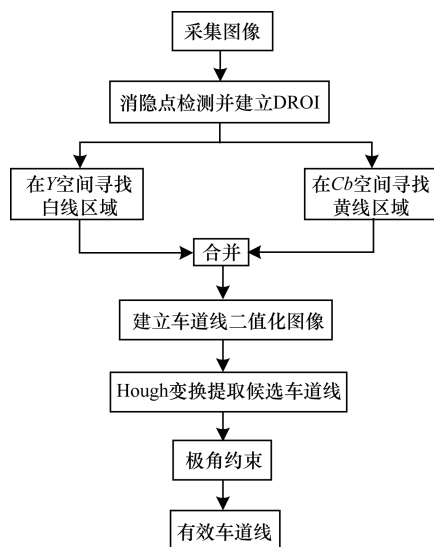


图1 车道线检测算法流程

车道线检测算法主要由三阶段组成:检测消隐点

并建立动态感兴趣区域(Dynamic Region of Interest, DROI);在YCbCr空间检测车道线(白和黄)区域;Hough变换提取候选车道线,并通过极角约束进行筛选^[11]。在第一阶段,本文通过Hough变换和投票法寻找到消隐点,并以此建立DROI,从而降低后续算法的计算量;在第二阶段,通过对白色和黄色在YCbCr颜色空间的光强和色度等参数分别建模,并根据模型在道路图像中准确识别出白色和黄色车道线区域,然后进行二值化;第三阶段对二值化图像进行Hough变换,提取出候选车道线,再结合极角约束算法与车道线的角度和长度等信息准确找到车道线。

2.1 消隐点检测

如图2所示,车载摄像头所拍图像主要由两大块组成,即图像下半部分的路面区域和图像上半部分的天空等无效区域,而车道线检测系统处理对象是路面,因此,有必要对图像进行分割,只保留路面区域。

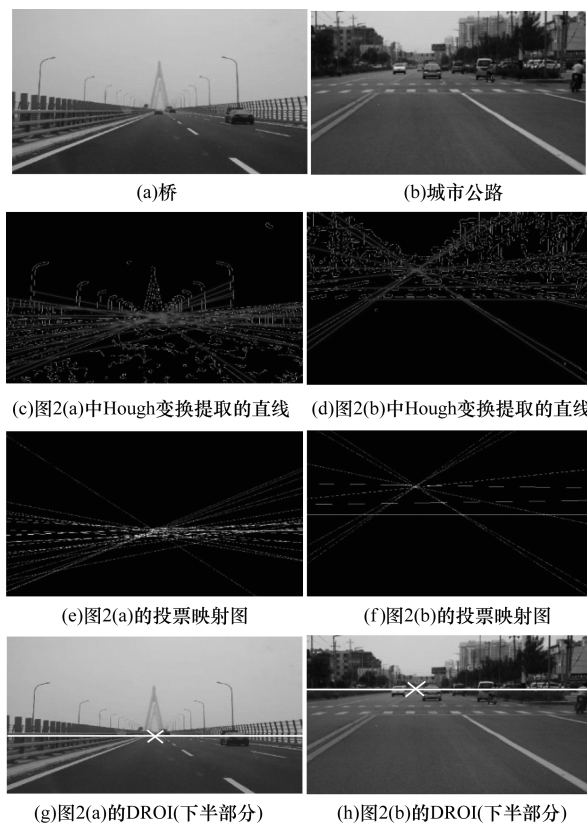


图2 DROI确定过程

已有研究在改进车道线检测算法时为了降低计算量,直接将图像一切为二,然后把图像上半部分剔除^[12]。而本文在采集样本过程中发现,当在行驶过程中遇到路面起伏较大或摄像头俯仰角发生较大变化时,路面区域占图像的比例会发生较大变化,此时“一切为二”可能会造成路面区域的大量丢失或无效区域的大量存在,从而使车道线检测效果变差。因此,本文提出动态感兴趣区域法,实时划定有效路面区域,剔除路面、天空等无效区域。

在图2中,动态感兴趣区域法分为两大步骤:1)边

缘检测,先对采集到的图像进行灰度转换,然后用 Canny 算子提取边缘,再对提取的边缘进行 Hough 变换提取直线(如图 2(c)、图 2(d)所示);2)根据 Hough 变换拟合直线的交点进行投票(如图 2(e)、图 2(f)所示),找出获得票数最多的一点,即为本文所提的消隐点(在图 2(g)、图 2(h)中用叉号表示),消隐点水平以下部分即为 DROI(在图 2(g)、图 2(h)中用叉号以下区域表示)。整个 DROI 可以表示为:

$$I_{\text{DROI}(x,y)} = \begin{cases} I(x,y), y \leq y_d \\ 0, \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

其中, y_d 表示消隐点的纵坐标; $I(x,y)$ 表示原图区域; $I_{\text{DROI}(x,y)}$ 表示动态感兴趣区域。

2.2 基于 YCbCr 颜色空间的车道线检测

车道线检测基于颜色识别,其运行效果很大程度上依赖于颜色模型,如 RGB 模型、YCbCr 模型、HSI 模型等。目前,许多研究都基于 RGB 模型,其算法简单、易于实现,且在白天光线均匀时效果较好,但其受亮度变化影响较大,当路面存在树影或夜晚路灯照射时,很难从路面中分离出车道线。因此,本文采用 YCbCr 模型,在 YCbCr 模型中,“Y”代表亮度、“Cb”代表蓝色色度分量、“Cr”代表红色色度分量,这样通过 YCbCr 模型能将图像亮度和色度进行分离。在本文所提的光照无关车道线检测算法中,按式(2)将图像从 RGB 颜色空间转换到 YCbCr 颜色空间,通过对车道线的亮度和色度分别建模,有效避免了复杂光照的影响。

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.169 & -0.331 & 0.500 \\ -0.500 & -0.419 & 0.500 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} \quad (2)$$

由于白色反射光线能力强,因此在相同光线环境下所有颜色的表现中,其亮度值 Y (见式(3))最高;黄色由红色和绿色按 1:1 比例组合而成,没有蓝色成分。因此,在相同光线环境下所有颜色的表现中,其蓝色色度分量值 Cb (见式(4))最低^[13]。

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B \quad (3)$$

$$Cb = -0.169R - 0.331G + 0.5B + 128 \quad (4)$$

综上,本文对白色和黄色车道线建立二值化模型,累积频率直方图、白色车道线二值化、黄色车道线二值化计算公式如式(5)~式(7)所示。

$$H_{\text{sum}}(k) = \sum_{i=0}^k \text{Hist}(k) \quad (5)$$

$$B_Y(x,y) = \begin{cases} 1, H_{\text{sum}}(Y(x,y)) > T_Y \\ 0, \text{其他} \end{cases} \quad (6)$$

$$B_{Cb}(x,y) = \begin{cases} 1, H_{\text{sum}}(Cb(x,y)) < T_{Cb} \\ 0, \text{其他} \end{cases} \quad (7)$$

其中, $H_{\text{sum}}(k)$, $\text{Hist}(k)$, $Y(x,y)$, $Cb(x,y)$, T_Y , T_{Cb} , $B_Y(x,y)$, $B_{Cb}(x,y)$ 分别代表累积直方图、直方图、点 (x,y) 的亮度值、点 (x,y) 的蓝色色度值、亮度值 Y 的阈

值、蓝色色度值 Cb 的阈值、白色车道线二值化结果、黄色车道线二值化结果。由常识得知:在标准结构化道路上行驶时,白色或黄色车道线在行车视野里所占面积比的范围是 1% ~ 3%^[14]。结合本文实验调试效果,本文设定 $T_Y = 0.98$, $T_{Cb} = 0.02$ 。以图 2(a) 的 DROI 为实验对象,得到如图 3 所示结果,其中图 3(a)、图 3(b) 分别是白色和黄色车道线区域二值化结果,图 3(c) 是白色和黄色车道线合并结果。

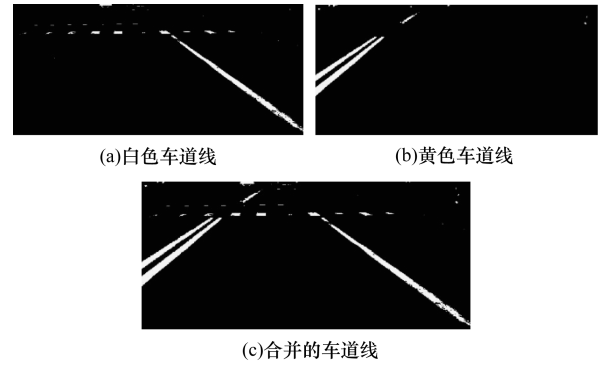


图3 YCbCr 颜色空间检测结果

2.3 Hough 变换拟合直线与极角约束

Hough 变换将直角坐标系下的像素点坐标转换到极角坐标下的参数坐标,其原理是直角坐标系下图像里共线的点转换到参数域后形成一系列相交于某一点的正弦曲线^[15],可用式(8)表示:

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (8)$$

其中, ρ 代表极径, $\rho \in (0, r)$, r 表示最大极径; θ 代表极角, $\theta \in (0, 180^\circ)$ 。Hough 变换的具体步骤如下:

步骤 1 在二值化图像区域中找到白色点 (x,y) 。

步骤 2 在 $\theta \in (0, 180^\circ)$ 范围内,根据式(8)求得对应的极径 ρ 。

步骤 3 进行投票,遇到点 (ρ, θ) 则为该点投票加 1,计算公式为 $P(\rho, \theta) = P(\rho, \theta) + 1$ 。

图 4 由图 2(h) 中 DROI 部分进行 Hough 变换后得到,可以看到在车道线被拟合的同时,图上方的斑马线也被当成候选车道线拟合出来,这显然不符合事实,需要予以剔除。通过对大量样本进行分析发现,在标准结构化道路上行驶时,视野里左右 2 条车道线的倾斜角度都在一定范围内,对应到参数域就是极角处于某一固定范围内。鉴于此,本文提出极角约束模型,通过限定极角的范围剔除虚假车道线,保留有效候选车道线。该算法模型如图 5 所示。



图4 Hough 变换提取的车道线

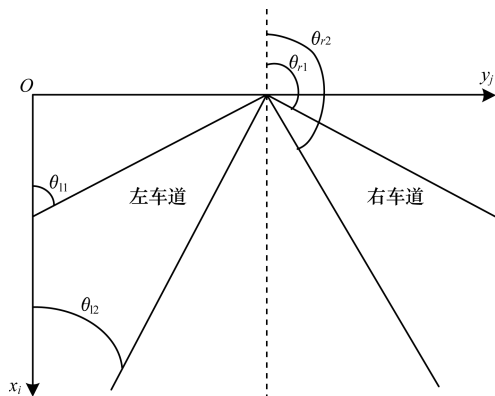


图 5 极角约束模型

在图 5 中,将左车道线区域的极角限定在 $\theta_l \in (\theta_{l1}, \theta_{l2})$,右车道线区域的限定在 $\theta_r \in (\theta_{r1}, \theta_{r2})$,根据本文采样样本分析可设定 $\theta_{l1} = 70^\circ$, $\theta_{l2} = 25^\circ$, $\theta_{r1} = 110^\circ$, $\theta_{r2} = 155^\circ$ 。通过极角约束可以筛选出合格的候选车道线,再根据长度和角度等信息对候选车道线进行最优选择,最终得到对左右车道线最佳的拟合直线,结果如图 6 所示。



图 6 基于极角约束的最佳拟合直线

3 实验结果与分析

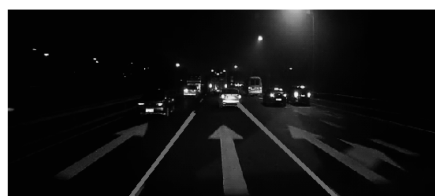
本文从光照条件出发,基于复杂光照环境中各种路况条件(白天与晚上、车道线虚线与实线、直道与弯道、隧道内和隧道外等),使用彩色 CMOS 摄像机拍摄了大量道路视频。在 VC++ 6.0 环境编写车道线检测算法程序,在联想笔记本电脑(Core i7 CPU 2.5 GHz,内存 4 GB)上运行,对道路视频进行处理,图像大小为 642 像素 $\times$ 478 像素。部分代表性结果如图 7 所示。



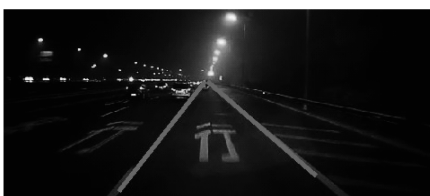
(a)检测结果1



(b)检测结果2



(c)检测结果3



(d)检测结果4



(e)检测结果5



(f)检测结果6



(g)检测结果7



(h)检测结果8

图 7 复杂光照环境和路况条件下的车道线检测结果

实验样本共有 7 860 帧图片,包含各种典型的道路状况,如白天公路、高架桥、路面存在标识、夜晚公路、隧道等。实验结果都显示了良好的检测效果,检测率高达 93.5%,且在算法改进后,平均每帧处理时间仅为 35.2 ms,基本满足实际需求。

本文统计了光照无关法和经典阈值法在各种路况下的检测率,对比结果如表 1 所示。可以看出,在白天公路、路面存在标识和高架桥路况中,2 种方法检测率基本持平;而在夜晚公路和隧道路况中,本文所提光照无关检测算法检测率明显高于经典阈值法。光照无关算法将图像亮度和色度分离出来,对光照变换的适应能力更强,在夜晚或隧道这样光照复杂多变的道路环境中都能较好地识别出车道线,而传统阈值法则更容易失效。

表 1 复杂光照环境和路况条件下的检测率比较 %

路况(帧数)	经典阈值法	光照无关法
白天公路(1 756)	95.1	96.5
夜晚公路(1 680)	73.6	92.3
路面存在标识(1 205)	93.6	92.1
隧道(1 530)	76.4	94.0
高架桥(1 689)	94.6	95.8

本文所提光照无关算法基于动态感兴趣区域法和极角约束模型进行优化,对每帧图像在优化前和优化后的平均耗时进行统计,对比结果如表 2 所示。表 2 显示经过优化后,图像处理的速度得到大幅提升,幅度约为 21%。动态感兴趣区域法不仅避免了天空和大部分树木房屋等无关对象对车道线检测的干扰,降低了算法的复杂程度,同时也减少了检测对象的像素点数量,从而提高车道线检测速度。极角约束模型使基于 Hough 变换的直线提取过程变得简单高效。这 2 种优化方法直接提高了图像的处理速度,从而为后续自动驾驶系统性能的提升打下了良好基础。

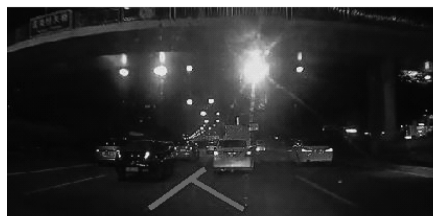
表 2 复杂光照环境和路况条件下的耗时比较 ms

路况(帧数)	优化前的耗时	优化后的耗时
白天公路(1 756)	42.2	33.5
夜晚公路(1 680)	43.9	36.2
路面存在标识(1 205)	46.1	36.5
隧道(1 530)	44.6	34.3
高架桥(1 689)	45.2	35.1

在检测过程中出现了部分错误,该错误主要由路面积水引起的强反光或正面直射的强光照导致(如图 8 所示),将在后续研究中引入车道线跟踪算法解决此类问题。



(a)雨天积水环境



(b)正面强光照环境

图 8 雨天积水和正面强光照环境下的错误检测结果

4 结束语

本文从提高检测速度和增强对光照的适应能力入手,提出一种基于动态感兴趣区域的光照无关车道线检测算法。基于动态感兴趣区域,在 YCbCr 颜色空间寻找黄色和白色车道线区域,最后结合 Hough 变换和极角约束算法准确提取出车道线。虽然在路面积水引起的强反光或正面直射的强光照影响下算法会短暂失效,但其在绝大多数光照情况下都能正常运行。下一步将通过引入车道线跟踪算法实现车道线检测算法失效期间的导引,使车道线检测算法在强反光、强光照等恶劣条件下也能够正常运行。

参考文献

- [1] Yoo H, Yang U, Sohn K. Gradient-enhancing Conversion for Illumination-robust Lane Detection [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2013, 14(3):1083-1094.
- [2] Gaikwad V, Lokhande S. Lane Departure Identification for Advanced Driver Assistance [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2014, 16(1):1-9.
- [3] 刘超,穆平安,戴曙光. 基于颗粒分析和骨架化的车道线检测方法[J]. 计算机应用与软件, 2014, 31(4):320-323.
- [4] Borkar A, Hayes M, Smith M T. A Novel Lane Detection System with Efficient Ground Truth Generation [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2012, 13(1):365-374.
- [5] You Feng, Zhang Ruirong, Zhong Lingshu, et al. Lane Detection Algorithm for Night-time Digital Image Based on Distribution Feature of Boundary Pixels [J]. Journal of the Optical Society of Korea, 2013, 17(2):188-199.
- [6] Southall B, Taylor C J. Stochastic Road Shape Estimation [C]//Proceedings of IEEE International Conference on Computer Vision. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2001:205-212.
- [7] Peng Sun, Chen Hui. Lane Detection and Tracking Based on Improved Hough Transform and Least-squares Method [C]//Proceedings of International Symposium on Optoelectronic Technology and Application. [S. l.]: SPIE, 2014:1-9.

(下转第 56 页)

- Problems Beyond Consistency and Deduplication[M]//Tannen V, Wong L. In Search of Elegance in the Theory and Practice of Computation. Berlin, Germany: Springer, 2013:237-249.
- [6] Fan Wenfei. Data Quality: Theory and Practice [C]//Proceedings of 2012 International Conference on Web-age Information Management. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2012:1-16.
- [7] Caballero I, Serrano M, Piattini M. A Data Quality in Use Model for Big Data [J]. Future Generation Computer Systems, 2015, 63(C):123-130.
- [8] Nie Tiezheng, Yu Ge, Shen Derong, et al. An Approach to Assess the Quality of Web Pages in the Deep Web[C]//Xu Jianliang, Yu Ge, Zhou Shuigeng. Database Systems for Adanced Applications. Berlin, Germany: Springer, 2011:514-525.
- [9] Ringler A T, Hagerty M T, Holland J, et al. Baker: The Data Quality Analyzer: A Quality Control Program for Seismic Data [J]. Computers & Geosciences, 2015, 76:96-111.
- [10] Wang Xin, Huang Linpeng, Zhang Yi, et al. A Solution of Data Inconsistencies in Data Integration-designed for Pervasive Computing Environment[J]. Journal of Computer Science and Technology, 2010, 25(3):499-508.
- [11] Wang Xin, Huang Linpeng, Xu Xiaohui, et al. A Solution for Data Inconsistency in Data Integration[J]. Journal of Information Science & Engineering, 2011, 27(2):681-695.
- [12] 李默涵, 李建中, 高 宏. 数据时效性判定问题的求解算法[J]. 计算机学报, 2012, 35(11):2348-2360.
- [13] 马 茜, 谷 峪, 张天成, 等. 一种基于数据质量的异构多源多模态感知数据获取方法[J]. 计算机学报, 2013, 36(10):2120-2131.
- [14] 余 伟, 李石君, 文利娟, 等. 基于数据质量的 Deep Web 数据源排序[J]. 小型微型计算机系统, 2010, 31(4):641-646.
- [15] 胡亚慧, 李石君, 余 伟, 等. 大数据环境下的电子商务商品实体同一性识别[J]. 计算机研究与发展, 2015, 52(8):1794-1805.
- [16] 余 伟, 李石君, 杨 莎, 等. Web 大数据环境下的不一致跨源数据发现[J]. 计算机研究与发展, 2015, 52(2):295-308.
- [17] 余 伟, 李石君, 洪 辉, 等. 基于覆盖关系的 Deep Web 数据源排名[J]. 计算机研究与发展, 2007, 44(z3):29-34.
- [18] Gan Lin, Liu Yongning, Yang Sha, et al. Web Temporal Inconsistency Modeling Based on Web Time Axis[J]. Journal of Computational Information Systems, 2012, 8(3):1063-1070.
- [19] Zhang Xiuzhen, Cui Lishan, Wang Yan. Commtrust: Computing Multi-dimensional Trust by Mining E-commerce Feedback Comments [J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2014, 26(7):1631-1643.
- [20] 韩京宇, 陈可佳. 基于事实抽取的 Web 文档内容数据质量评估[J]. 计算机科学, 2014, 41(11):247-251.
- [21] Dalip D H, Goncalves M A, Cristo M, et al. Automatic Assessment of Document Quality in Web Collaborative Digital Libraries [J]. Journal of Data and Information Quality, 2011, 2(3):1-30.

编辑 陆燕菲

(上接第 47 页)

- [8] Kang S N, Lee S, Hur J, et al. Multi-lane Detection Based on Accurate Geometric Lane Estimation in Highway Scenarios [C]//Proceedings of IEEE Intelligent Vehicles Symposium Proceedings. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2014:221-226.
- [9] Tran T T, Bae C S, Kim Y N, et al. An Adaptive Method for Lane Marking Detection Based on HSI Color Model[J]. Communications in Computer & Information Science, 2010, 93:304-311.
- [10] Dorj B, Lee D J. A Precise Lane Detection Algorithm Based on Top View Image Transformation and Least-Square Approaches[J]. Journal of Sensors, 2016, 2016:1-13.
- [11] Liu Weirong, Li Shutao, Huang Xu. Extraction of Lane Markings Using Orientation and Vanishing Point Constraints in Structured Road Scenes [J]. International Journal of Computer Mathematics, 2014, 91(11):2359-2373.
- [12] Cho J H, Tsogtbaatar E, Kim S H, et al. Improved Lane Detection System Using Hough Transform with Super-resolution Reconstruction Algorithm and Multi-ROI[C]//Proceedings of 2014 International Conference on Electronics, Information and Communications. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2014:1-4.
- [13] Zhang Weiwei, Song Xiaolin. Apartitioned Approach to Real Time Lane Detection at Different Weather Conditions[J]. Advanced Materials Research, 2013, 671-674:2870-2874.
- [14] Jung S, Youn J, Sull S. Efficient Lane Detection Based on Spatiotemporal Images [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2015, 17(1):1-7.
- [15] Ballard D H. Generalizing the Hough Transform to Detect Arbitrary Shapes [J]. Pattern Recognition, 1987, 13(2):111-122.

编辑 陆燕菲