

一种基于图像匹配的地面交通标志实时识别方法

王棚飞 刘宏哲 袁家政 陈丽

(北京市信息服务工程重点实验室 北京联合大学 北京 100101)

摘要 地面交通标志检测识别是智能驾驶领域的一个研究方向,实时性、准确率是该研究的重点。图像匹配的方法是常用的模式识别方法。文中介绍了一种结合先验知识和图像匹配的地面交通标志检测识别方法。算法包括两部分:预处理和检测识别。预处理阶段包括图像压缩、感兴趣区域提取、形态学处理、中值滤波和逆透视等步骤,实现图像降噪和正畸,为检测识别做准备。检测识别阶段包括轮廓提取、面积过滤、图像匹配等步骤,目的是判断待测图像是否含有地面交通标志及其种类。实验证明,该算法实时性好、鲁棒性强、准确率高。

关键词 地面交通标志,检测,图像匹配,识别

中图分类号 TP391 文献标识码 A

Method of Real Time Recognition of Ground Traffic Signs Based on Image Matching

WANG Peng-fei LIU Hong-zhe YUAN Jia-zheng CHEN Li

(Beijing Key Laboratory of Information Service Engineering, Beijing Union University, Beijing 100101, China)

Abstract Ground traffic sign detection and recognition are the hotspot of the intelligent driving. Timeliness and accuracy are the requirements of the study. Image matching method is commonly used in detection and identification. This article introduced a method for ground traffic sign detection and recognition combined with image matching and prior knowledge. Algorithm consists of two parts, preprocessing & detection and identification. Preprocessing stage includes image compression, region of interest extraction, morphological processing, median filtering and inverse filtering perspective, making image noise reduced and orthodontic so as to prepare for the detection and identification. Detection and identification stages include contour extraction, filtration area, image matching, in order to determine whether the test image containing ground traffic signs and its species. Experimental results show that the algorithm has a better performance.

Keywords Ground traffic sign, Detection, Image matching, Identification

1 引言

伴随着汽车数量的增加,一系列的交通问题、能源问题和环境问题随之产生。人们对汽车环保性、安全性、智能性提出了更高的要求,各种新技术不断出现,其中智能交通系统应运而生。智能交通系统是一个集检测、识别、控制、通信和计算机等技术为一体的综合信息系统。地面交通标志(导向箭头)的检测与分类是其研究内容之一^[1]。道路标志是重要的交通安全设施,可以向驾驶员、行人等传递准确的信息,指引车辆在规定区域内行驶。然而,许多驾驶员可能因各种原因,未及时留意到道路标志信息,导致道路交通事故的发生^[2]。准确地识别地面交通标志能够减少交通事故的发生。智能化是汽车发展的新趋势,识别道路标志、障碍物等是其研究重点。地面交通标志的准确检测,能够给予智能车准确的引导信息。

地面交通标志属于地面标线的一部分,对于地面标线的研究主要集中在车道线方面^[3-5],地面交通标志检测识别的文

章很少。

地面交通标志的检测识别通过地面交通标志的形状特征进行判断,取得了一定的成果^[6-8]。通过边缘检测算法识别标志的边缘,提取能显著代表地面标志的形状特征,从而进行识别。边缘检测算法中的 canny 算子,在图像边缘检测中取得了一定效果^[9-13],能够有效地检测地面交通标志的边缘。特征提取方面,地面交通标志的形状信息明显。Hu 不变矩是模式识别领域常用的信息提取方法,它具有尺度不变性和旋转不变性^[14-18]。视频采集设备采集到的地面交通标志,若产生一定的形状畸变,可以通过提取 Hu 不变矩特征来进行识别。

文献[6]中,提出了基于 Hu 不变矩和轮廓投影的路面标志识别方法。方法使用 7 个不变矩作为标志的主要信息,并使用路面标志在其各轮廓线段方向投影高度和轮廓线段方向进一步区分轴对称标志。文献[7]提出了以车道线为标准建立感兴趣区域,采取边缘检测、特征提取、设计分类器的思路,

到稿日期:2013-08-15 返修日期:2013-11-02 本文受国家自然科学基金:跨媒体社群图像语义理解(61372148),国家自然科学基金:基于超图形 XGML 的图像半结构化研究(61271369),北京市教育委员会创新团队项目(IDHT20140508,CIT&TCD20130513),北京市教育委员会科技面上项目:智能车实时交通标志识别关键技术研究(SQKM201411417004)资助。

王棚飞(1988—),男,硕士生,主要研究方向为数字图像处理,E-mail:feipengwang767@163.com;刘宏哲(1971—),女,博士,副教授,主要研究方向为语义计算、数字图像处理、分布式系统、人工智能、数字博物馆等,E-mail:liuhongzhe@buu.edu.cn(通信作者);袁家政(1971—),男,博士,教授,主要研究方向为图形图像处理、文物遗迹的数字化处理、数字博物馆等。

进行检测识别。特征提取过程中,改进了 Hu 不变矩,采用 SVM 分类器。两种方法都是针对静态图像进行处理,没有实际应用到运动的车辆上。

针对实时性、实用性的要求,地面交通标志检测识别主要的研究思路是在保证准确率的情况下,采取简易的识别算法,降低算法复杂度。采用图像匹配算法,可以降低算法复杂度。在保证检测识别速度的情况下,通过结合先验知识的图像匹配的识别判断方法,能够提高识别准确率,从而输出正确的指示信息,为智能系统实时输出准确的引导信息。

2 地面交通标志实时识别

基于图像匹配的地面交通标志实时识别算法主要包括:通过先验知识选取感兴趣区域,提取感兴趣区域中连通域,通过图像匹配的方式,识别交通标志。该算法适用于不同的环境、天气等条件,可以检测、识别地面交通标志种类,从而实时性地输出正确的引导信息给智能系统或者驾驶人员。

2.1 预处理

预处理阶段主要包括:图像采集、图像压缩、感兴趣区域提取、灰度变化、二值变化、形态学处理、滤波、逆透视变换等。

2.1.1 图像采集

通过车辆上固定的摄像机,以 30 帧/秒的帧率实时获取智能车辆前方道路的图像。

2.1.2 图像压缩

地面交通标志面积大,特征简单,在保证准确率的情况下,将待测图像适当压缩,能够减少数据量,提升检测识别速率。通过双线性插值方法,将采集到的图像进行压缩。

对于一个目的像素,设置坐标反向变换得到的浮点坐标为 $(i+m, j+n)$ 。其中 i, j 均为浮点坐标的整数部分, m, n 为浮点坐标的小数部分,是取值 $[0, 1)$ 区间的浮点数,则这个像素值得 $f(i+m, j+n)$ 可由原图像中坐标为 (i, j) 、 $(i+1, j)$ 、 $(i, j+1)$ 、 $(i+1, j+1)$ 所对应的周围 4 个像素的值决定,其中 $f(i, j)$ 表示源图像 (i, j) 处的像素值。

$$f(x+m, y+n) = (1-m)(1-n)f(x, y) + (1-m)nf(x, y+1) + m(1-n)f(x+1, y) + umnf(x+1, y+1) \quad (1)$$

2.1.3 选取感兴趣区域

对压缩后的图像进行剪切。采集的图像中,当前车道仅占据部分区域,若对图像整体检测、识别,会影响处理时间,增加算法复杂度。

截取压缩后的图像 $(0.5 * Height \sim 0.86 * Height)$ 部分,如图 1 所示。

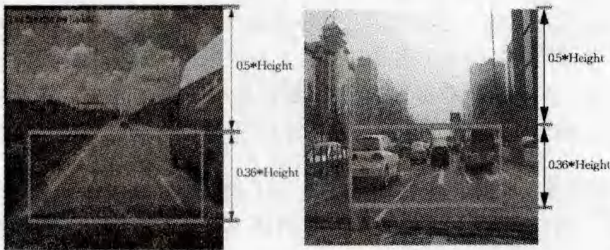


图 1 图像感兴趣区域高度范围图

拟选取部分图像的高度范围,由车载摄像机的角度、位置来决定。车载摄像机的位置将在实验部分给出。从图 1 中可

以看出,图像上部 1/2 位置内容多为天空,不含有地面交通标志,将此部分剪切掉。摄像机成像过程中,物体会产生形状畸变。通过实验我们发现,距离车辆较远的地面交通标志,在采集到的图像中无法准确检测。因为摄像机角度的关系,图像的下部 $0.14 * Height$ 为车辆的前车头图像,在采集到的图片中,将此部分剪切掉,从而得到高度范围。

根据国家规定,城市道路每车道宽度为 3.5 米,交叉路口分流车道每车道为 2.3~2.5 米,干线公路(包括高速公路)每车道宽为 3.75 米。通常,普通家用车辆宽度为 2 米左右。机动车道宽度宽于普通家用车辆。车辆行驶过程中,汽车在机动车道内行驶会出现 3 种情况:车辆中心线与车道线中心线所在平面垂直于水平面位置,车辆中心线左偏离车道中心线,车辆中心线右偏离车道中心线位置。此时采集到的图像中,当前车道在图像中的位置也不相同,在保证当前车道能被包含在选取的感兴趣区域中的同时尽可能减少感兴趣区域面积。我们从图像的左侧到右侧进行剪切,图像左侧为 $0 * width$,图像右侧为 $1 * width$,从 $0.2 * width$ 部分开始裁剪,到 $0.8 * width$ 截止,得到感兴趣区域 ROI 宽度部分。

摄像机摆放的位置和汽车在机动车道中行驶的位置都会影响感兴趣区域的选择。结合感兴趣区域的高度部分和宽度部分,感兴趣区域模拟图如图 2 所示,图中白色区域代表感兴趣区域 ROI。

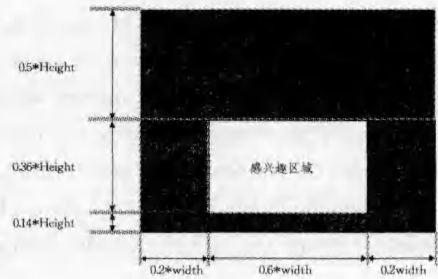


图 2 感兴趣区域模拟图

2.1.4 图像灰度化

地面交通标志颜色为白色,其周围环境(地面颜色)为黑色或青色。在地面交通标志检测识别过程中,可以将彩色图像转化成灰度图像,以减少数据量,降低算法复杂度。

灰度图像的描述与彩色图像一样仍然反映了整幅图像的整体和局部的色度和亮度等级的分布和特征。彩色图像中每个像素的颜色由 R, G, B 3 个分量决定。而灰度图像是 R, G, B 3 个分量相同的一种特殊的彩色图像,其中每一个像素点的变化范围为 255 种,所以先将各种格式的图像转变成灰度图像以减少后续图像的计算量。灰度化,就是求出每个像素点的 R, G, B 3 个分量的平均值,然后将这个平均值赋予给这个像素的 3 个分量。

$$\begin{cases} Gray = 1/3 \times (B+G+R) \\ B = Gray \\ G = Gray \\ R = Gray \end{cases} \quad (2)$$

2.1.5 图像二值化

地面交通标志颜色为白色,周围环境颜色为黑色或者青色,颜色存在显著差异。将灰度图像转化为二值化图像,更适合地面交通标志的检测和识别。在灰度化的基础上,将灰度值 $(0 \sim 255)$ 转化成 0 或者 255。传统的图像二值化方法,是

采用固定的阈值 T , 像素灰度值在阈值之下, 将像素灰度值设为 0; 像素灰度值在阈值之上, 灰度值设为 255。

$$\begin{cases} s(x,y)=255, & s(x,y) > T \\ s(x,y)=0, & s(x,y) < T \end{cases} \quad (3)$$

式中, $s(x,y)$ 为 (x,y) 位置像素点灰度值, T 为固定的阈值。

车辆通过桥洞、进入树荫等光线变化明显的区域时, 传统的固定阈值二值化方法不适用地面交通标志图像的检测和识别。本文中, 我们采用自适应阈值二值化的方法来克服光线变化的影响。

通过计算某个像素的一定邻域 $(n \times n)$ 范围内像素的灰度的均值 c , 减去预先设定的参数, 得到该像素二值化的阈值 $T(x,y)$ 。

$$c = \frac{\sum_{x=(n-1)/2}^{x+(n-1)/2} \cdot \sum_{y=(n-1)/2}^{y+(n-1)/2} s(i,j) - s(x,y)}{n^2 - 1} \quad (4)$$

$$T(x,y) = c - \alpha \quad (5)$$

$$\begin{cases} s(x,y)=255, & s(x,y) > T(x,y) \\ s(x,y)=0, & s(x,y) < T(x,y) \end{cases} \quad (6)$$

2.1.6 形态学处理

数学形态学处理被广泛应用于图像处理和计算机视觉中, 根据图像和结构元素的并集或交集, 可以得到两种基本的形态学运算——腐蚀和膨胀。本文对二值化后的图像进行腐蚀、膨胀操作。参与运算的对象有两个: 图像集合 A 和结构元素 B , 用 B 对 A 进行操作即为数学形态学运算。腐蚀, 即消除图像边界点, 使边界向内部收缩的过程。

B 对 A 的腐蚀用 $A \ominus B$ 表示, 指结构元素 B 在 A 上移动, A 包含于结构元素 B 的部分被保留。

$$A \ominus B = \{x | B_x \subseteq A\} \quad (7)$$

膨胀, 即把所有与图像边界接触的背景点合并到该图像中, 使图像的边界向外扩张。 B 对 A 的膨胀, 表示结构元素 B 的原点和 A 有重叠的部分都变为 1。用 $A \oplus B$ 表示。

$$A \oplus B = \{x | [B_x \cap A] \neq \emptyset\} \quad (8)$$

通过膨胀运算, 图像中比结构元素小的空洞和图像边缘处的断开部分将被填充。对二值图进行膨胀会加长或变粗其中的连通域。地面交通标志污损、油污情况较为普遍, 通过膨胀, 能够减少污损、油污对算法的影响, 提升准确率。

2.1.7 滤波

采集的图像存在大量噪声, 影响我们的检测和识别, 因此需要进行滤波处理。这里采用中值滤波的方式。中值滤波是一种非线性滤波方式, 其将一个像素点的灰度值设置为邻域像素点的灰度值中值。中值滤波具有保护边缘的特点, 适合地面交通标志图案的滤波。中值滤波过程如图 3 所示。

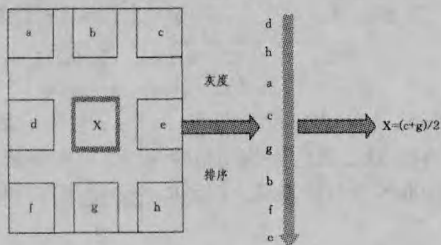


图 3 中值滤波过程图

2.1.8 逆透视变换

摄像机采集的图像存在形状畸变, 在预处理阶段, 需要对图像进行逆透视变换, 采用文献[19]中的逆透视转换方法来

减少采集的图像的畸变, 为后期检测识别做准备。

在欧氏空间中定义两个坐标系 W (世界坐标系) 和 I (图像坐标系):

$$W = \{(x, y, z)\} \in E^3 \quad (9)$$

$$I = \{(u, v)\} \in E^2 \quad (10)$$

逆透视转换关系如图 4 所示。

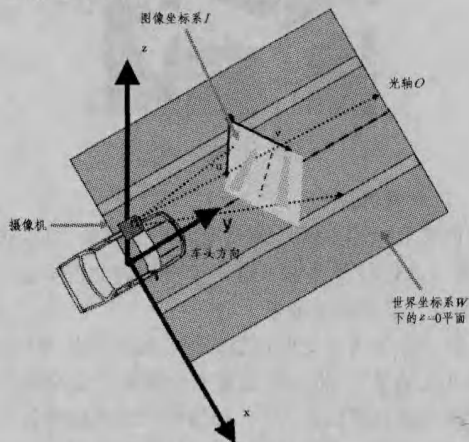


图 4 逆透视转换关系图

我们将车载摄像头安置在汽车中央后视镜处, 摄像机所在平面与水平面平行, 摄像机在水平面的投影为世界坐标系的原点。车载摄像机安装在车体中的位置, 在世界坐标系下的坐标为 $(0, 0, h)$, 摄像机标定的其他参数如下:

θ : 摄像机光轴 o 偏离 $Z=0$ 平面的角度, 本文中 $\theta=0$;

2γ : 摄像机的视角;

R_x : 摄像机水平方向的分辨率;

R_y : 摄像机垂直方向的分辨率。

本文中摄像机摆放位置固定, 部分摄像机标定的参数为 0。

世界坐标系下的 xoy 平面如图 5 所示, 世界坐标系下的 $yozy$ 平面图如图 6 所示。

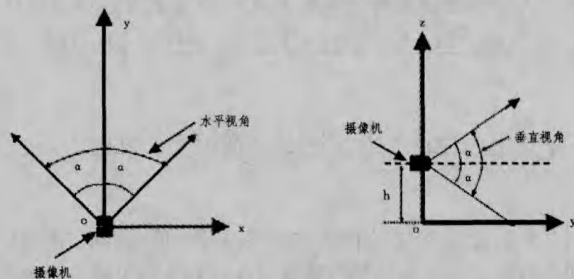


图 5 世界坐标系下的 xoy 平面 图 6 世界坐标系下的 $yozy$ 平面

图像坐标系到世界坐标系的逆透视变换关系如下:

$$x = h \times \text{ctg}\left(\frac{2\alpha}{R_y - 1} u - \alpha\right) \times \sin\left(\frac{2\alpha}{R_x - 1} v - \alpha\right) \quad (11)$$

$$y = h \times \text{ctg}\left(\frac{2\alpha}{R_y - 1} u - \alpha\right) \times \cos\left(\frac{2\alpha}{R_x - 1} v - \alpha\right) \quad (12)$$

$$z = 0 \quad (13)$$

2.2 地面交通标志检测识别

2.2.1 待匹配图像的设定

图像匹配过程中, 待匹配的图像的选择直接影响后期地面交通标志的识别。在经过预处理的图像中, 选择污损程度较少, 整体性完整的地面交通标志作为我们待匹配的图像。每一种地面交通标志选择一种待匹配的图像。手动截取各个地面交通标志平行于坐标轴的外接矩形内部区域。待匹配图

像如图 7 所示。图像此时不进行缩放处理。

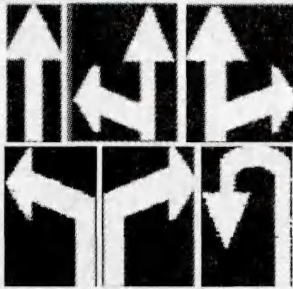


图 7 待匹配图像

2.2.2 边缘提取

地面交通标志主要是由规则的几何图形组成,边缘信息明显,可以通过检测边缘来进一步将地面交通标志与背景区分开,为进一步检测做准备。

二值图像的边缘提取过程的核心思想就是寻找像素灰度值急剧变化的位置,将这些位置上的像素灰度值置为 255,其他位置的像素灰度值置为 0。二值图像的边缘特征可以用数学算子进行检测,常用的边缘检测算子有 Laplacian 算子、Canny 算子、Sobel 算子等。本文中使用了 Canny 算子进行边缘提取。Canny 算子是一个一阶算子,其核心思想是把边缘检测问题转换成检测函数极大值的问题。

Canny 算子求取边缘点步骤如下:

用高斯滤波器平滑图像 $f(x,y)$ 。

$$h(x,y,\sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (14)$$

令 $g(x,y)$ 为平滑后的图像,用 $h(x,y,\sigma)$ 对图像 $f(x,y)$ 进行平滑的公式为:

$$g(x,y) = h(x,y,\sigma) * f(x,y) \quad (15)$$

其中, * 表示卷积。

计算 $g(x,y)$ 的梯度,可以使用一阶有限差分近似式来计算 x 与 y 偏导数的两个阵列 $f'_x(x,y)$ 与 $f'_y(x,y)$ 。

$$f'_x(x,y) \approx \frac{f(x+1,y) - f(x,y) + f(x+1,y+1) - f(x,y+1)}{2} \quad (16)$$

$$f'_y(x,y) \approx \frac{f(x,y+1) - f(x,y) + f(x+1,y+1) - f(x,y)}{2} \quad (17)$$

然后通过 2×2 空间内的有限差分均值,计算出图像中的同一点的 x 与 y 的偏导数梯度。此时将直角坐标系转换为极坐标系来表示幅值和方向。

$$M(x,y) = \sqrt{P^2(x,y) + Q^2(x,y)} \quad (18)$$

$$\theta(x,y) = \arctan \frac{Q(x,y)}{P(x,y)} \quad (19)$$

其中, $M(x,y)$ 表示图像边缘的强度; $\theta(x,y)$ 表示图像边缘的方向。图像边缘的方向就是强度最大值的方向。

2.2.3 轮廓提取

在提取边缘的基础上,压缩边缘水平的、垂直的和斜的部分,只保留它们的终点部分,来获得各个轮廓。

2.2.4 外接矩形

对每个轮廓进行平行于坐标轴的外接矩形求解。检测过程中,需要找出完整地面交通标志的轮廓外接矩形,从而将外接矩形内部区域截取出来。此时可以得到轮廓的外接矩形的坐标。该过程需要将不完整的图案轮廓滤除。在求解外接矩

形过程中,若外接矩形与待测区域图像边缘部分重合,将此图案滤除,保证获得完整的轮廓,过程如图 8 所示。

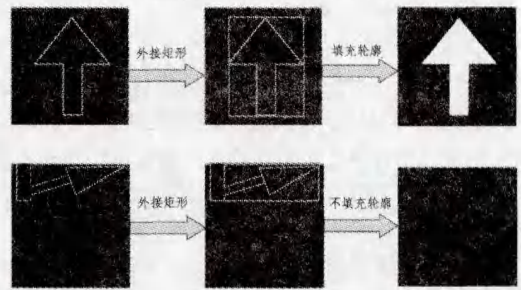


图 8 外接矩形保留完整标志过程

2.2.5 面积过滤

将保留的轮廓进行填充,得到连通域。二值图中的连通域面积是一个连通域中像素点的个数和。通过面积过滤,可以将部分噪声进行过滤,提升鲁棒性和准确率。

$$area = count\{S(x,y)\} \quad (20)$$

遍历二值图中所有连通域,求取所有连通域的面积。由于地面交通标志种类不同,因此选取不同条件下最远距离获得的面积最小值和最近距离获得的面积最大值作为阈值,面积满足 $[\min_area, \max_area]$ 阈值范围内的轮廓保留,对应的连通域予以保留。

$$\begin{cases} s(x,y) = 255, & \min_area \leq area \leq \max_area \\ s(x,y) = 0, & area \geq \max_area \text{ or } area \leq \min_area \end{cases} \quad (21)$$

2.2.6 宽高比过滤

地面交通标志外接矩形的宽度与高度比例在一定范围内。选取不同条件下 6 种地面交通标志在最远距离与最近距离之间的所有图像,计算其外接矩形宽度与高度之比,求取比例系数的并集,得出宽高比范围 $[\beta_min, \beta_max]$ 。外接矩形宽高比满足该范围的轮廓保留。

$$\beta = w/h \quad (22)$$

$$[\beta_min, \beta_max] = \beta_1 \cup \beta_2 \cup \beta_3 \cup \dots \cup \beta_6 \cup \dots \quad (23)$$

$$\begin{cases} s(x,y) = 255, & \beta_min \leq \beta \leq \beta_max \\ s(x,y) = 0, & \beta \geq \beta_max \text{ or } \beta \leq \beta_min \end{cases} \quad (24)$$

2.2.7 图像匹配

本文使用的图像匹配的方法是,通过计算待检测的地面交通标志图像与预先设定好的标准的地面交通标志图像之间的欧氏距离,来判断二者之间的相似度,相似度最高的一组,即认为二者之间匹配程度最高。预处理阶段,能够克服地面交通标志图像的形状畸变。

将所有保留的连通域的外接矩形框内部区域和所有的标准图像归一化为统一尺寸。计算已经设定的标准图像与保留的连通域的相似度。本文中,采用欧氏距离进行计算。

$$D = \sum \sum \sqrt{\frac{(diff_j(x) - templ_i_bw(x))^2 + (diff_j(y) - templ_i_bw(y))^2}{(diff_j(x) - templ_i_bw(x))^2 + (diff_j(y) - templ_i_bw(y))^2}} \quad (25)$$

式中, $templ_i_bw$ 为标准的图像, $diff_j$ 为待检测图像。 D 为度量函数,是二者之间的相似情况,当 D 取得最大时则认为该组标准图像与连通域之间的匹配程度最高,是最匹配的情况。

2.2.8 差值识别

在找到最匹配的连通域与标准图像之后,通过差值识别的方法,继续进行地面交通标志的识别。差值识别算法要求,两幅图像尺寸一致。

计算待标准图像 $templ_i_bw$ 和其最相似的检测图像

$diff_j$ 的像素差值。

$$Sum_i_r = |\sum \sum diff_j(x, y) - templ_i_bw(x, y)| \quad (26)$$

车辆由远及近驶向地面交通标志过程所采集的图像进行透视变换, 然后进行分割, 将其中的地面交通标志人为剪切出来, 做成新的图像。并与事先选定的相应标准图像进行图像相减, 求出像素差值的范围 (T_i_min, T_i_max), 作为我们的差值识别过程中的阈值范围。每一个标准图像对应一组范围。将图像像素差值 Sum_i_r 与预先设定的阈值 (T_i_min, T_i_max) 相比较, 若 Sum_i_r 在阈值 (T_i_min, T_i_max) 范围内, 则图像 Src_bw 中含有相对应的标准图像 $templ_i_bw$ 所代表的交通标志, 于是可以输出此时待匹配图像所含有的指示信息; 否则, 不含有相对应的指示信息。

3 实验结果与分析

算法在最简环境和实际环境下均作了大量实验, 取得了良好的效果。

3.1 实验设备

摄像机 Pike F-100B/C 是一款工业数字摄像机, 帧率可达 60fps。实验中测试图像为 1000×1000 分辨率, 采集速度 30 帧/每秒。

装有 1394 采集卡的工控机一台; 1394 接口数据线一根。工控机采用 GEMOTECH 系列, 具有耐高温高湿、抗震、防粉尘、电磁兼容性好、不间断工作等优点, 适合智能驾驶使用。

地面交通标志图案采用公路高强胶带制作, 与实际道路地面标志材料一致, 可以拆卸、组装。实验设备如图 9 所示。

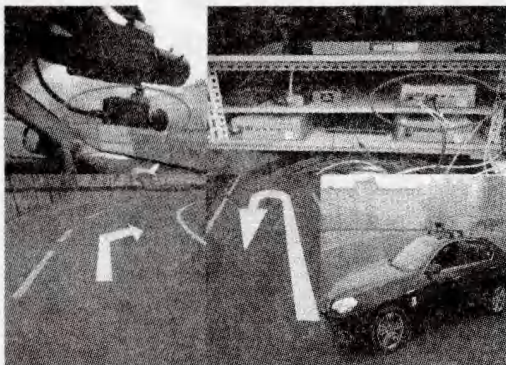


图 9 实验设备图

3.2 典型实验

我们选择了一幅具有代表性的路面图片进行检测识别, 说明整个算法流程。

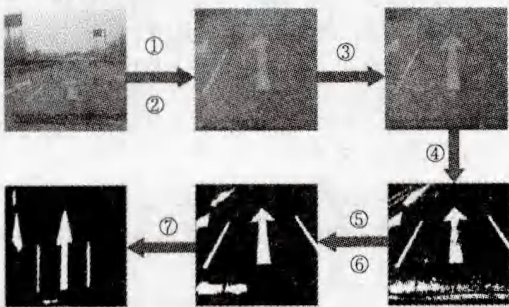


图 10 预处理过程图

预处理阶段如图 10 所示。图 10 中数字代表具体处理过程: ①图像压缩; ②感兴趣区域选取; ③图像灰度化; ④图像自

适应阈值二值化; ⑤形态学处理; ⑥滤波; ⑦逆透视。

检测识别阶段如图 11 所示。图 11 中数字代表具体处理过程: ⑧边缘提取; ⑨轮廓提取; ⑩求外接矩形; ⑪面积过滤; ⑫宽高比过滤; ⑬提取符合要求区域; ⑭归一化大小; ⑮图像匹配; ⑯差值识别。

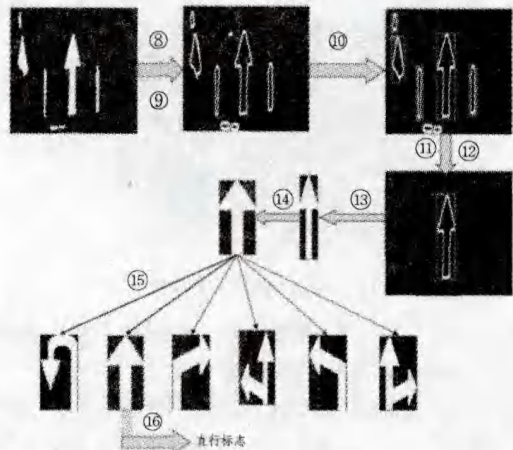


图 11 检测识别过程图

3.3 最简环境

最简环境用于模拟道路行驶环境。减少机动车、行人数量, 缩小道路常用设施数量规模, 实现智能驾驶基本功能。

最简环境实际图如图 12 所示。



图 12 最简环境实际图

在最简环境下, 针对 6 种地面交通标志做了足量实验。每种标志测试 600 次, 绕全场行驶 127 圈。在光线充足的情况下, 综合准确率达 100%。

最简环境下, 地面交通标志图案形状完整, 颜色清晰, 容易检测; 地面障碍物少, 采集的图像噪声少, 容易对地面交通标志进行检测识别。

3.4 实际环境

在最简环境下, 路面障碍物很少, 不存在大量的噪声干扰, 本文算法取得了良好的效果; 在实际环境中, 路面存在许多障碍物, 路面上的水渍、油渍等其他反射光线的物质均会影响检测识别。地面交通标志污损、遮挡也会影响识别结果。

实际环境中, 地面交通标志污损情况主要分为以下 3 种情况: 轻度污损、中度污损、重度污损, 如图 13 所示。



图 13 地面交通标志 3 种污损情况图

我们针对 3 种污损情况,选取不同的路段进行大量的实验来验证算法。通过摄像机实时采集地面图像,进行验证。每一种污损情况,选取测试图片 3500 张,其中,每一种标志 500 张,无标志图片 500 张。实验结果如图 14 所示。实际环境中,识别准确率低于最简环境。

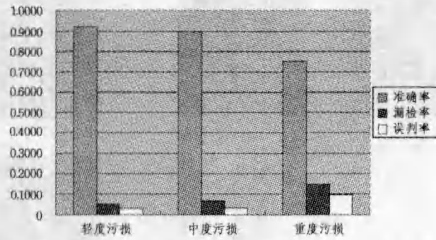


图 14 不同污损情况实验结果

实际环境准确率低于最简环境,原因是:存在大量噪声,增加识别难度;标志污损,影响结果。

轻度污损和重度污损对我们的检测结果有一定的影响,降低了准确率。对于轻度污损和中度污损的地面标志,我们通过二次膨胀处理,使得断开的边缘和空洞连接起来,以减少漏检和误判数量。

重度污损的地面交通标志下,误判和漏检情况很多。在求外接矩形过程中,无法准确求出外接矩形,严重影响准确率。通过二次膨胀处理,能够将部分空洞连接起来,但是效果不明显;自适应二值化过程中,选取的连通域适当大于轻度污损和中度污损的连通域,能够提高识别率,但效果不明显。

重度污损的地面交通标志下,轮廓信息模糊、二值化后图像内部缺失较为严重。通过边缘提取、轮廓提取来寻找外接矩形,效果较差。对于重度污损的地面交通标志,我们可以通过遍历二值图像来寻找图像中的连通域,通过判断连通域来进行地面交通标志检测识别。过程如图 15 所示。

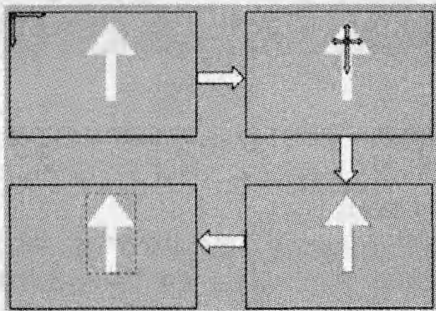


图 15 重度污损标志遍历扫描过程图

3.5 错误补偿机制

实际环境中,我们的算法对于轻度污损和中度污损的地面交通标志,准确识别率均大于等于 90%,对于重度污损的地面交通标志,准确识别率大于等于 75%。

为了准确地给智能驾驶系统传递地面交通标志的种类信息,对识别结果使用错误补偿机制进行处理,从而保证能给予智能驾驶系统准确的信息,通过以下 3 种方式实现。

(1)最大概率情况。实验中,在机车驶向地面交通标志过程中,算法实时处理地面信息,判断地面交通标志种类,这个过程中,统计判断识别的结果。当一个标志识别情况出现两种或者两种以上时,统计所有结果出现次数最多的情况,作为

识别结果,向系统传递准确信息。

(2)结合车道线检测与已经检测结果之间关系。同一车道上相同种类的地面交通标志出现次数大于等于 3 以后,有可能出现地面交通标志变化。将观察到的是否更改的车道信息以及统计的已经驶过的几个地面标志,作为新的标志判断的辅助信息。

(3)结合 GPS 的路口汇报功能进行判断。地面交通标志通常会在临近路口的时候出现变化,结合已经判断情况与 GPS 的路口汇报信息,同时进行判断。

通过以上 3 种方式,能够保证准确输出地面交通标志的种类信息。

3.6 距离测量

摄像机置于车内中央后视镜处,摄像机位置与水平面平行,位置固定。固定的摄像机能保证采集到的图片分辨率一致。摄像机高度为 1.2 米。摄像机模拟图如图 16 所示。图中红色区域为摄像机可采集到的地面图像范围。摄像机垂直视角为 30°。

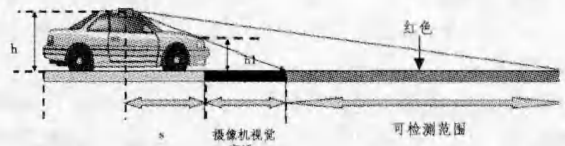


图 16 摄像机模拟图

摄像机视觉盲区由车辆车头自身高度 h_1 所致。图 15 中 h 代表摄像机高度, s_{\min} 代表摄像机在 xoy 平面投影距离车辆最前端的最短距离。视觉盲区距离为 x 。

$$x = \frac{h_1 \times s}{h - h_1} \quad (27)$$

本文中采用的实验车,其视觉盲区为 3.7 米。当摄像机距前方地面交通标志尾部距离小于等于视觉盲区 x 与摄像机在 xoy 平面投影位置距离车辆最前端的最短距离 s_{\min} 之和时,无法准确检测识别地面交通标志。准确检测识别地面交通标志的最小距离(摄像头在 xoy 平面的投影位置与地面交通标志尾部之间距离)需要大于等于 $s_{\min} + x$ 。

本文采用人为选择感兴趣区域进行检测的方式,结合摄像机的位置和角度,能够保证 ROI 均为地面图像。从而通过世界坐标系与图像坐标系之间的转换关系,测量出摄像机在 xoy 平面投影位置距离地面交通标志尾部的距离 l 。通过逆透视过后的图像的 y 坐标与逆透视过后图像的像素之间的距离与实际距离之间的比例关系 λ 之间乘积来计算。本文中距离地面标志的距离都以地面交通标志尾部中点在二维图像坐标系中的 (u, v) 来计算。

$$l = \sqrt{(x^2 + y^2)} \times \lambda \quad (28)$$

这里需要注意,逆透视转换过程,是针对世界坐标系的 $z = 0$ 平面进行计算的,所以对空中物体距离车辆实际距离的计算有误差存在。

本文提供 ROI 区域的选择范围,可以利用该范围参数计算地面标志首次可以被检测识别时,摄像头在 xoy 平面的投影位置距离地面交通标志最远的距离 S_{\max} 。

$$S_{\max} = \max(L) \quad (29)$$

当车辆以匀速 v_s 行驶时,从首次可以检测识别地面交通标志到车辆无法检测地面交通标志的时间为:

$$t_s = (S_{\max} - s - x) / v_s \quad (30)$$

结束语 基于该算法的软件已经成功应用于北京汽车工业控股有限责任公司 C70 和 C30 汽车上。成功行驶 500 小时以上,运行稳定,算法鲁棒性强,实时性好。对重度污损的地面交通标志的识别将是以后研究的重点。

参考文献

- [1] 李阳,丁辉,王云飞,等.多特征融合的交通标志检测与分类研究[J].光学技术,2012,38(5):564-568
- [2] 初秀民,严新平,毛焜.道路标志图案识别方法研究[J].汽车工程,2006,28(11):1051-1055
- [3] Yenikaya S, Yenikaya G, Düven E. Keeping the vehicle on the road: A survey on on-road lane detection systems[J]. ACM Computing Surveys (CSUR), 2013, 46(1): 2
- [4] Kucukyildiz G, Ocak H. Development and optimization of dsp based real time lane detection algorithm on a mobile robot platform[C]//Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 2012 20th, IEEE, 2012: 1-4
- [5] Zhou S, Jiang Y, Xi J, et al. A novel lane detection based on geometrical model and gabor filter[C]//Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2010 IEEE, IEEE, 2010: 59-64
- [6] 陈放.道路车道线检测识别与建图方法研究[D].上海:上海交通大学,2012
- [7] 韩月林.支持向量机在路面交通标志识别中的应用研究[D].大连:大连理工大学,2012
- [8] 方启龙.基于无人车辅助导航的交通标线识别方法研究[D].合肥:安徽大学,2012
- [9] Khan J F, Bhuiyan S M A, Adhami R R. Image segmentation and shape analysis for road-sign detection[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2011, 12(1): 83-96
- [10] Cao Y, Liu X, Cao Y, et al. Automatic Segmentation of Femoral Cartilage from MR Image Based on Hough Transform and Adaptive Canny Detection[J]. International Journal of Signal Processing, Image Processing & Pattern Recognition, 2013, 6(4): 265
- [11] Chen W, Cao L, Xiao J, et al. Surface Texture Detection for Composite Material Placement Based on Vision[J]. Advanced Materials Research, 2011, 186: 16-20
- [12] Gao J, Lei Z, Wang Z, et al. Canny-based Active Contour Accurate Locating[J]. Energy Procedia, 2011, 13: 4562-4566
- [13] Ogawa K, Ito Y, Nakano K. Efficient Canny edge detection using a GPU[C]//2010 First International Conference on Networking and Computing (ICNC). IEEE, 2010: 279-280
- [14] Hu M K. Visual pattern recognition by moment invariants[J]. Information Theory, IRE Transactions on, 1962, 8(2): 179-187
- [15] Wu J, Xiong S. Research of web image retrieval technology based on hu invariant moments[M]//Advances in Swarm Intelligence. Springer Berlin Heidelberg, 2012: 66-73
- [16] Xiang F, Yong H, Dandan S, et al. An Image Retrieval Method based on Hu Invariant Moment and Improved Annular Histogram[J]. Electronics & Electrical Engineering, 2013, 19(10): 114-118
- [17] Zhang R, Wang L. An image matching evolutionary algorithm based on Hu invariant moments[C]//2011 International Conference on Image Analysis and Signal Processing (IASP). IEEE, 2011: 113-117
- [18] Li C, Li J, Fu B, et al. Fingerprint Verification Based on DFB and Hu Invariant Moments[J]. Journal of Computational Information Systems, 2012, 8(4): 1407-1414
- [19] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [20] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [21] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [22] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [23] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [24] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [25] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [26] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [27] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [28] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [29] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [30] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [31] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [32] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [33] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [34] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [35] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [36] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [37] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [38] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [39] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [40] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [41] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [42] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [43] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [44] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [45] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [46] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [47] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [48] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [49] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [50] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [51] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [52] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [53] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [54] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [55] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [56] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [57] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [58] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [59] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [60] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [61] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [62] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [63] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [64] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [65] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [66] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [67] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [68] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [69] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [70] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [71] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [72] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [73] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [74] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [75] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [76] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [77] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [78] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [79] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [80] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [81] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [82] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [83] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [84] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [85] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [86] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [87] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [88] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [89] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [90] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [91] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [92] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [93] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [94] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [95] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [96] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [97] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [98] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [99] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [100] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238

(上接第 294 页)

- [2] Ariyur K, Fregene K. Autonomous tracking of a ground vehicle by a UAV[C]//ACC. 2008: 669-671
- [3] Sivakumar R, Zu W K, Raja S. Vision-Based following of structures using an unmanned aerial vehicle[R]. USA: UCB-ITS-RR-2006-1, 2006
- [4] Li Zhe-yuan, Liu Hong, Xu Chao, et al. Real-time human tracking based on switching linear dynamic system combined with adaptive Meanshift tracker[C]//2011 18th IEEE International Conference on Image Processing. 2011: 2329-2332
- [5] Tian Gang, Hu Rui-min, Wang Zhong-yuan, et al. Object tracking algorithm based on Meanshift algorithm combining with motion vector analysis[C]//2009 First International Workshop on Education Technology and Computer Science(ETCS), vol. 1, 2009: 985-988
- [6] 王晋疆,刘阳,吴明云,等.基于快速鲁棒特征的 CamShift 跟踪算法[J].计算机应用,2013,33(2):499-502
- [7] LI Yi-bo, Shen Xiao-ling, Bei Shan-shan, et al. Real-time tracking method for moving target based on an improved Cam-Shift algorithm[C]//2011 International Conference on Mech at-ronic Science, Electric Engineering and Computer. vol. 1, 2011: 978-981
- [8] Huang Yi-hu, Wang Jin-li, Jia Xi-mei, et al. Research of soccer robot target tracking algorithm based on improved CamShift[C]//Advanced Polymer Science and Engineering. Advanced Materials Research, Vol. 221, 2011: 610-614
- [9] Lowe D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91-110
- [10] 赵辉.基于点特征的图像配准算法研究[D].济南:山东大学,2006
- [11] Fischler M A, Bolles R C. Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography[J]. Comm. of the ACM, 1981, 24(6): 381-395
- [12] Chum O, Matas J. Matching with ProSAC-Progressive sample consensus [C]// IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2005 (CVPR 2005). vol. 1, 2005: 220-226
- [13] 廖斌.基于特征点的图像配准技术研究[D].长沙:国防科学技术大学,2008