

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.04.007

基于动态图像阈值的智能车辆路径导航*

李进¹ 陈杰平¹ 徐朝胜¹ 汪明磊² 王家恩²

(1. 安徽科技学院机电与车辆工程学院, 滁州 233100; 2. 合肥工业大学机械与汽车工程学院, 合肥 230009)

摘要: 使用机器视觉技术进行智能车辆道路路径识别时,其识别效果易受光照等外界因素的影响。考虑到条带状的导航路径在获取的路径图像中的宽度应该在一个固定范围内,可以根据使用某一图像阈值识别路径后该路径的横向宽度判定先前使用的阈值是否适合,并进行相应调整,从而获取到适合各种环境的动态阈值。在给出动态图像阈值的获取流程及实现方法的基础上,对智能车辆道路路径识别和跟踪系统进行了软硬件设计,并进行实车道路试验。试验结果表明,与一般最优阈值算法相比,提出的动态阈值方法能够在各种光照条件下,尤其是强光照下准确地识别导航路径,且路径跟踪具有较好的精确性和鲁棒性。

关键词: 智能车辆 视觉导航 路径识别 路径宽度标定 动态图像阈值

中图分类号: TP242.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)04-0039-06

Path Tracking of Intelligent Vehicle Based on Dynamic Image Threshold

Li Jin¹ Chen Jieping¹ Xu Chaosheng¹ Wang Minglei² Wang Jiaen²

(1. School of Mechanical Electronic and Automobile Engineering, Anhui Science and Technology University, Chuzhou 233100, China

2. School of Mechanical and Automotive Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: The path recognition for vision-guided intelligent vehicle is easily affected by environmental conditions such as illumination. Considering the width of the path in the captured image should be in a fixed range, the recognized path width could be used to determine whether the previously-used threshold was suitable or not. And then the threshold could be adjusted to a suitable value to recognize the path accurately. The process and method for acquiring the dynamic image threshold was presented, and the path recognition and tracking system was designed. The experiments showed the dynamic image threshold could recognize the path more efficiently than other common optimal threshold algorithm under different conditions, especially under strong illumination, and the intelligent vehicle can track the path accurately and robustly.

Key words: Intelligent vehicle Vision navigation Path recognition Path width calibration Dynamic image threshold

引言

基于视觉导航的智能车辆系统包括导航路径识别和路径跟踪两个关键技术^[1],即首先利用机器视觉获取智能车辆前方的路面环境信息,然后通过智能控制技术使智能车辆沿规划的路径行走。

在路径识别方面,国内外在视觉导航智能车辆方面已做了大量的研究工作^[2-8],这方面研究目前

面临的主要问题是机器视觉对各种路面环境的快速识别和理解能力较差,尤其是复杂情况下识别难度较大。一般的二值化阈值方法对光照条件较敏感,在光照条件变化时适应性较差;常用的边缘检测算子对于模糊边缘的路径检测效果不明显,且易产生大量噪声^[9];传统的 Hough 变换在检测直线时耗时严重^[10],不能满足路径识别实时性的要求,在有阴影干扰时会产生大量非路径线。

收稿日期: 2012-07-01 修回日期: 2012-07-09

* 国家自然科学基金资助项目(51075112)、安徽科技学院人才引进(稳定)资助项目(ZRC2011302)和安徽高校省级自然科学研究资助项目(KJ2013B074)

作者简介: 李进,讲师,博士,主要从事汽车电子与智能车辆研究, E-mail: region2008@163.com

本文提出一种基于路径宽度的动态图像阈值获取方法。通过判定先前使用的图像阈值在二值化路径图像后的宽度是否合理,并对该阈值进行相应调整,以获取到适应各种光照条件下的图像阈值。

1 导航路径识别

提出基于路径宽度的动态阈值识别方法,其思路 and 依据如下:①在获取的路径图像中,条带状的导航路径的宽度在一个固定范围内(合理范围),所以正确识别出的导航路径的左右边缘点之间的距离也应该在这一合理范围内。如果使用的二值化阈值偏大,则识别出的路径宽度与该范围相比偏小;反之,则偏大。因此,可以以识别出的路径宽度为依据,判定先前使用的二值化阈值是否适合,并进行相应调整,从而获取到适合的阈值。②能够正确识别导航路径的图像阈值不是某一个或几个数值,而是一个区间范围。只要采用的阈值在该区间内,就能得到有效的识别结果。因此,上述通过调整阈值识别路径的方法在操作上是容易实现的。③只要通过调整阈值使识别出的路径宽度在上述合理范围内,说明采用的阈值能够正确区分路径(目标)和路面(背景),其得到的路径宽度与实际路径宽度非常接近。

1.1 动态阈值获取

动态阈值的获取步骤如下:①对原始路径图像进行滤波;考虑到最优阈值对光照具有一定的适应性,以最优阈值作为初始阈值,二值化该路径。②如果识别出的路径左右边缘点之间的距离 d (路径宽度) 满足 $d_{\min} \leq d \leq d_{\max}$, 则认为当前阈值是合理的,其路径识别结果为最终结果。其中, d_{\min} 、 d_{\max} 分别为导航路径合理宽度的最小值和最大值;如果 $d < d_{\min}$, 说明先前采用的阈值偏大,将适当减小阈值并重新二值化路径;反之,如果 $d > d_{\max}$, 说明先前采用的阈值偏小,将适当增加阈值并重新二值化路径。③重复步骤②直到 d 满足 $d_{\min} \leq d \leq d_{\max}$ 或阈值的调整超出合理范围。前者说明通过阈值动态调整已能够识别出导航路径,后者说明在当前试验条件下没有识别出合理的导航路径(如导航路径已不存在),其流程如图1所示。

1.2 路径宽度标定

车道宽度的合理范围,即 d_{\min} 、 d_{\max} 的取值与采集图像大小、导航路径实际宽度、摄像机与导航路径相对位置等因素有关。其取值采用离线标定与在线调整相结合的方法确定。离线标定的 d_{\min} 、 d_{\max} 为初始值,仅在智能车辆系统开始启动,识别第1帧路径图像时使用;在智能车辆行驶过程中, d_{\min} 、 d_{\max} 由上一帧图像识别结果动态获取。

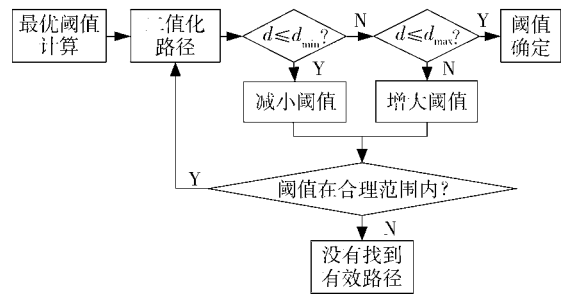


图1 动态图像阈值获取流程图

Fig.1 Process for acquiring dynamic image threshold

1.2.1 离线标定

在对路径进行标定时,先对路径图像进行纵向(Y轴方向)分区,然后对各个分区内的路径宽度进行标定,如图2所示。其理由是:各分区纵向长度较

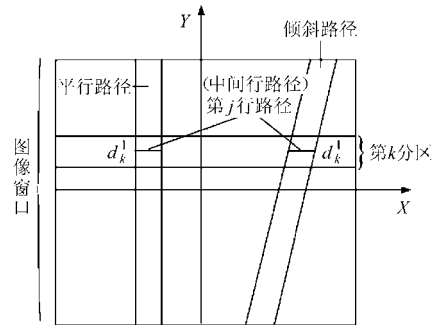


图2 路径图像分区及路径宽度范围标定

Fig.2 Image segmentation and path width measuring

小,分区内部各行路径的横向宽度变化不大,因此可以将标定出的同一分区内处于中间行位置的路径宽度近似为该分区的宽度,不必对整个图像中每一行的路径宽度依次进行标定,从而在基本不影响算法效果的前提下,减小了数据处理量,提高实时性。其标定步骤如下:①在平坦路面上铺设一条平直白色路径,光照条件良好,干扰很小。②对路径图像进行Y轴方向的分区,在各分区内分别采用最优阈值算法实时识别区域路径^[11]。此时识别效果良好,能够得到准确的路径识别结果。③根据路径识别的实时方向偏差移动导航路径^[12],使其与Y轴平行(图2);由此时识别出的各分区的路径左右边缘点,计算出第1帧图像第k分区的中间位置路径行的宽度 d_k^1 ,将 d_k^1 近似为第k分区的路径宽度。④根据 d_k^1 可以确定第1帧图像第k分区的路径宽度合理区间 $d_{k\min}^1$ 、 $d_{k\max}^1$,即

$$\begin{cases} d_{k\max}^1 = d_k^1 + p_1 d_k^1 \\ d_{k\min}^1 = d_k^1 - p_2 d_k^1 \end{cases} \quad (1)$$

式中 p_1 ——路径倾斜导致的路径宽度增加量

p_2 ——对步骤③中近似处理的修正量

1.2.2 在线调整

考虑到摄像机拍摄的相邻两帧路径图像在空间

位置上变化不大,可以根据上一帧已识别图像的各分区路径宽度 d_k^i 估计当前帧图像的路径宽度合理范围 $d_{kmin}^i, d_{kmax}^i (i=2,3,4\cdots)$,即

$$\begin{cases} d_{kmax}^i = d_k^{i-1} + p_3 d_k^{i-1} \\ d_{kmin}^i = d_k^{i-1} - p_4 d_k^{i-1} \end{cases} \quad (2)$$

式中 p_3, p_4 ——考虑到相邻两帧图像之间路径位置变化产生的修正系数

1.3 阈值调整算法

按照图1所示的处理流程,首先计算路径图像的最优阈值 T_0 ,并二值化该图像得到导航路径在图像中的宽度 d 。如果该宽度满足 $d_{min} \leq d \leq d_{max}$,则该最优阈值为最终阈值,其二值化路径图像的结果为最终结果。否则,对阈值进行动态调整,步骤如下:

(1) 确定阈值调整方向

$$A_i = \begin{cases} 1 & (d_{i-1} > d_{max}) \\ -1 & (d_{i-1} < d_{min}) \end{cases} \quad (i=1,2,3,\dots) \quad (3)$$

式中 A_i ——第 i 次调整的调整方向, $A_i = 1$ 时将增大阈值, $A_i = -1$ 时将减小阈值

d_{i-1} ——采用阈值 T_{i-1} 二值化路径图像后得到的路径宽度,当 $i=1, d_0$ 为采用最优阈值 T_0 时得到的路径宽度

(2) 计算阈值调整量

$$T_i^A = \begin{cases} \min\{T_0, 255 - T_0\} & (i=1) \\ T_{i-1}^A & (i \geq 2 \text{ 且 } A_{i-1}A_i = 1) \\ \frac{T_{i-1}^A}{2} & (i \geq 2 \text{ 且 } A_{i-1}A_i = -1) \end{cases} \quad (4)$$

式中 T_i^A ——第 i 次阈值调整的调整量
可见在 $i \geq 2$ 时,当临近两次阈值调整方向相同时,调整量不变;否则,调整量减半。

(3) 确定新阈值

$$T_i = T_{i-1} + A_i T_i^A \quad (5)$$

式中 T_i ——第 i 次调整后的阈值
由此得到整个导航路径图像的识别流程如图3所示。

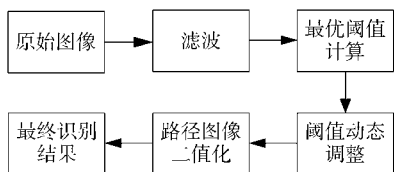


图3 导航路径识别流程图

Fig.3 Process for path recognition

2 导航路径跟踪

为减少道路曲率、预瞄距离等对跟踪控制效果

的影响以提高控制精度,在车辆与预瞄点之间实时规划虚拟路径,并基于虚拟路径产生期望横摆角速度。期望横摆角速度生成器根据坐标转换得到的车辆预瞄点相对位置和车身状态信息产生期望横摆角速度,并作为跟踪控制器的输入。横摆角速度跟踪控制器依据车辆七自由度非线性动力学模型及期望横摆角速度跟踪期望车辆状态,使车辆稳定跟踪目标路径,如图4所示^[13]。

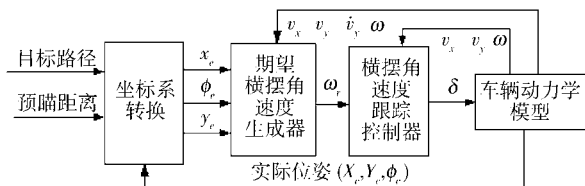


图4 路径跟踪系统控制流程图

Fig.4 Control process for path tracking

3 路径导航系统设计

整个智能车辆系统主要由智能车辆车体、道路图像信息采集系统、车身状态信息采集系统、上位机控制系统(LabView PXI8196)、下位机控制系统(TI DSP2812)及PC机监控系统组成,如图5所示。



图5 智能车辆道路试验系统

Fig.5 Intelligent vehicle system for path tracking

道路图像信息采集系统包括 CCD 摄像机和图像采集卡,负责采集道路图像;车身状态信息采集系统中,转角传感器实时获取智能车辆方向盘转角,陀螺仪测量车身横摆角速度及侧向加速度,安装在两个驱动轮上的轮速传感器测量车辆纵向车速;上位机控制系统对道路图像及车身状态信息进行处理,实现对路面导航路径的识别及车身状态信息的计算,并将计算出的车辆-预瞄点相对位置发送给下位机控制系统;下位机控制系统通过对智能车辆的转向控制完成对路径的跟踪;PC机监控系统实时监视车身传感器及车辆与道路相对位置信息^[5]。

4 实车试验

在完成导航路径识别系统和路径跟踪控制系统设计和调试后,进行路径导航实车试验。所有的设

备实现车载,设备所需电力由直流蓄电池及逆变器提供。

4.1 图像分区及路径宽度标定

摄像机获取的路径图像为 640 像素 × 480 像素,摄像机安装高度为 1.08 m,拍摄角度与水平面呈 18°,路径实际宽度为 4.8 cm。对路径图像采用全局最优阈值法、区域最优阈值法及前述动态阈值法。全局最优阈值法的阈值在整个路径图像中获取;对于区域最优阈值法,将整个路径图像在纵向分成 48 个 640 像素 × 10 像素的子区域,分别求取阈值并二值化图像;对于动态阈值法,与区域最优阈值法采用同样图像分区,并在各分区内分别确定路径合理范围,以及完成各自阈值的动态调整。

智能车辆刚开始运行时,路径宽度合理范围按式(1)计算。此时各分区中间位置路径宽度标定结果如图 6 所示,其中第一分区距离智能车辆最远。经试验测试, p_1 取 0.16(路径与 Y 轴之间最大角度按 30°计算), p_2 取 0.1 较为合适。之后,路径宽度合理范围根据路径识别结果按式(2)计算, p_3 取 0.1, p_4 取 0.1 较为合适。

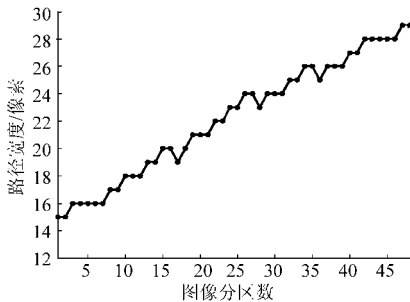


图 6 图像各分区路径宽度标定结果

Fig. 6 Path width of each image section

4.2 图像路径识别结果及分析

采用上述各种方法,对强光照(且存在阴影)、弱光照以及良好光照(光线温和、照射均匀)3种情况下的导航路径进行识别。

4.2.1 强光照下的路径识别

图 7 为强光照条件下的识别结果。由图 7 可知,全局阈值法识别效果最差,其阈值完全无法在当

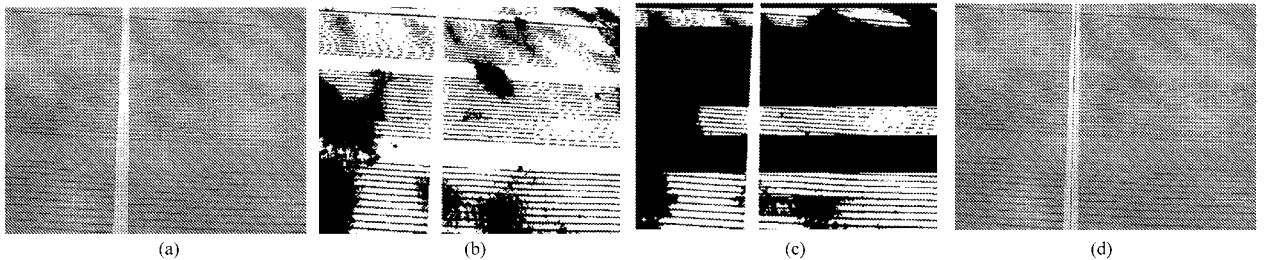


图 7 强光下路径识别结果

Fig. 7 Path recognition results under strong illumination

(a) 原图 (b) 全局阈值法 (c) 区域阈值法 (d) 动态阈值法

前环境下识别导航路径;区域阈值法在路径某些分区可以得到较好的识别结果,但识别结果仍然无法满足要求;动态阈值法的识别效果在整个图像区域内均较好,并将识别出的路径中心线用黑色表示。

图 8 和图 9 显示了强光照条件下采用区域阈值法和动态阈值法识别导航路径的各分区图像阈值及图像中各行路径的宽度曲线。由图 8 所示曲线可知,与动态阈值法获取的各阈值相比,采用区域阈值法获取的阈值在部分区间内明显偏小,这也解释了图 7c 中部分图像分区内导航路径无法有效识别的原因;而动态阈值法通过动态调整图像阈值,得到了正确的识别结果。图 9 中,采用动态阈值法得到的各行路径宽度在合理范围内,路径宽度整体上连续变化;而采用区域阈值法得到的路径宽度存在多处较大突变及不合理情况。

4.2.2 弱光照下的路径识别

图 10 为弱光照条件下的路径识别结果。可见,各种方法的识别结果差别不大,且动态阈值法识别效果最理想;全局最优阈值法和区域最优阈值法仅在图像的右上方存在小块的误识别区域。图 11 及图 12 显示了弱光照条件下采用区域阈值法和动态阈值法识别导航路径的各分区图像阈值及图像中各行路径的宽度曲线。图 11 中,两种方法获取的阈值仅在图像第 5 分区上存在差异;对应图 12 中,分区阈值法得到的路径宽度在第 5 分区内各路径行存在一个突变,且宽度明显偏大。

4.2.3 良好光照下的路径识别

图 13 显示了良好光照条件下采用各种方法得到的路径识别结果。由图 13 可知,各种方法的识别效果均较为理想。

由以上各图可知,提出的动态阈值法能够较好地适应外界光照条件的变化,尤其在强光照条件下其优点较为显著。因为在强光照射条件下,路面(背景)与路径(目标)的灰度差异较小,部分较亮的路面被误二值化为白色(图 7b、图 7c);而动态阈值法可以通过判断路径宽度自动增大识别阈值以得到

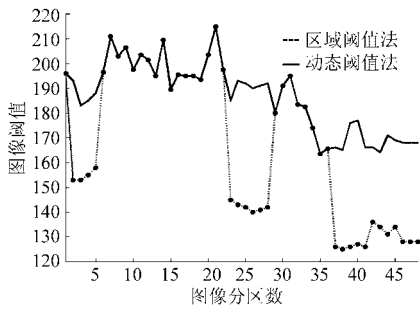


图 8 强光下各图像分区的二值化阈值
Fig. 8 Threshold values for image sections under strong illumination

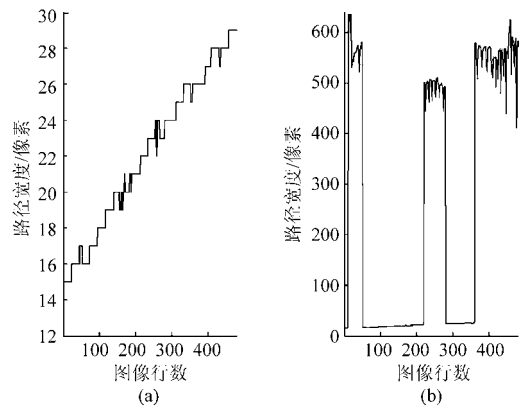


图 9 强光下图像中各行路径宽度
Fig. 9 Line widths of path in image under strong illumination
(a) 动态阈值法 (b) 区域阈值法

正确的识别结果。而在弱光和光照良好条件下,路径与路面灰度差异较明显,因此各种方法获取的二

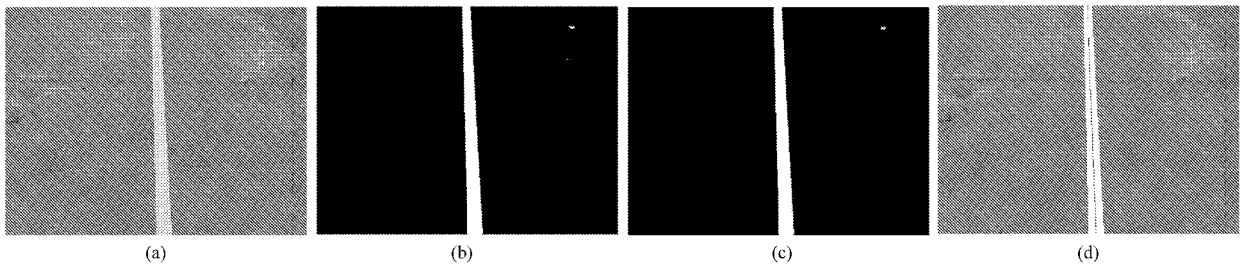


图 10 弱光下路径识别结果
Fig. 10 Path recognition results under weak illumination
(a) 原图 (b) 全局阈值法 (c) 区域阈值法 (d) 动态阈值法

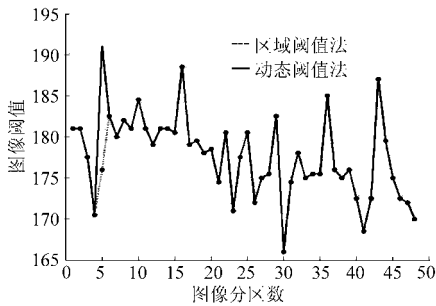


图 11 弱光下各图像分区的二值化阈值
Fig. 11 Threshold values for image sections under weak illumination

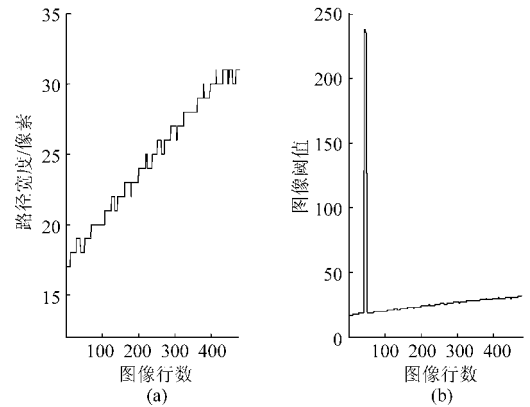


图 12 弱光下图像中各行路径宽度
Fig. 12 Line widths of path in image under weak illumination
(a) 动态阈值法 (b) 区域阈值法

值化阈值均较为准确,其识别效果差别不大。

4.3 路径识别的稳定性测试

为测试路径识别方法的稳定性,采用上述 3 种识别算法,对强光照、弱光照和良好光照 3 种情况下的路径识别进行了连续行驶 20 s(约 100 m)的多次道路实车测试。图像采集速度为 30 帧/s,20 s 内共采集 600 帧路径图像。表 1 显示了在这 600 帧路径图像中,各种方法在不同条件下能够正确识别的图像帧数及其正确率(均值)。可见,动态阈值法的效果最好,在各种情况下均能稳定识别导航路径,且其优势在强光照条件下较为明显。全局阈值法和区域阈值法在良好光照下效果良好;在弱光照下的识别正确率小于 90%,效果较差;在强光照下的识别正

表 1 路径识别的稳定性

Tab. 1 Stability of path recognition

光照条件	正确帧数			正确率/%		
	全局 阈值法	区域 阈值法	动态 阈值法	全局 阈值法	区域 阈值法	动态 阈值法
强	19	25	600	3.2	4.2	100
良好	600	600	600	100	100	100
弱	486	517	600	81.0	86.2	100

确率极低,根本无法完成识别任务。

4.4 路径跟踪

采用前述期望横摆角速度法,分别进行较大弯

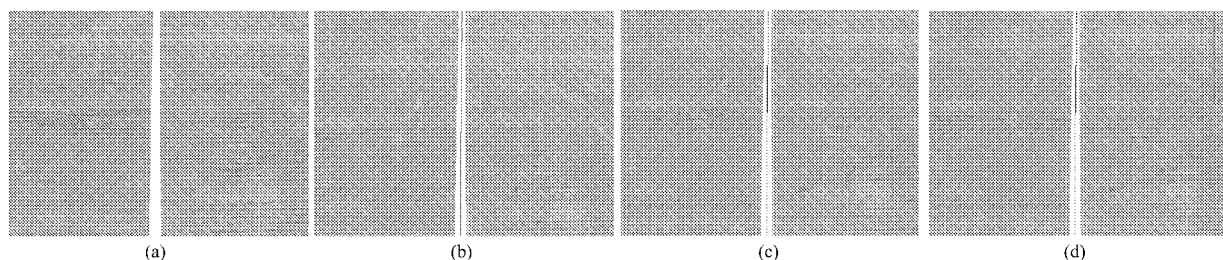


图13 良好光照条件下路径识别结果

Fig. 13 Path recognition results under good illumination

(a) 原图 (b) 全局阈值法 (c) 区域阈值法 (d) 动态阈值法

曲度的弧形车道路径跟踪和直线车道路径跟踪试验^[13]。结果表明其跟踪效果具有较好的精确性和稳定性。

5 结束语

针对智能车辆车道路径识别易受到光照条件

影响的问题,提出了基于路径宽度的动态图像阈值识别方法,以路径宽度为依据对阈值进行动态调整。道路实车试验结果表明,采用该方法得到的路径识别结果具有较好的环境适应性、实时性和稳定性。

参 考 文 献

- 李庆中,顾伟康,叶秀清,等. 移动机器人路径跟踪的智能预瞄控制方法研究[J]. 机器人,2002,24(3):252~255.
Li Qingzhong, Gu Weikang, Ye Xiuqing, et al. A study of intelligent preview control method for mobile robot road following[J]. Robot, 2002, 24(3): 252~255. (in Chinese)
- Kadakkal V, Cook G. Use of a preview control scheme with knowledge of future trajectory information for a lane tracking controller on a wheeled mobile robot[C]//34th IEEE Annual Conference on Industrial Electronics, 2008:1692~1697.
- 周罗善. 基于单目视觉的车道保持预警系统研究[D]. 上海:华东理工大学,2011.
Zhou Luoshan. Study of precautionary assistance system of lane keeping based on monocular vision[D]. Shanghai: East China University of Science and Technology, 2011. (in Chinese)
- Kim Z W. Robust lane detection and tracking in challenging scenarios[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation System, 2008,9(1):16~26.
- 李进,陈无畏. 基于自适应导航参数的智能车辆视觉导航[J]. 农业机械学报,2012,43(6):19~25.
Li Jin, Chen Wuwei. Navigation of vision-guided intelligent vehicle based on adaptive navigation parameters[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(6):19~25. (in Chinese)
- Fierro R, Lewis F L. Control of a nonholonomic mobile robot using neural networks[J]. IEEE Transactions on Neural Networks, 1998, 9(4):589~600.
- Tangrumsab S, Tsuboyama M, Kawewong A, et al. Mobile robot vision-based navigation using self-organizing and incremental neural networks[C]//Proceedings of International Conference on Neural Networks, 2009:3094~3101.
- 李进,陈无畏,李碧春,等. 自动导引车视觉导航的路径识别和跟踪控制[J]. 农业机械学报,2008,39(2):20~24.
Li Jin, Chen Wuwei, Li Bichun, et al. Road recognition and tracking control of an vision guided AGV[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(2): 20~24. (in Chinese)
- 李安安,何坤,詹晓倩,等. 多尺度下的噪声图像边缘检测[J]. 计算机工程与设计,2011,32(1):228~231.
Li An'an, He Kun, Zhan Xiaoqian, et al. Multiscale edge detection for noise image[J]. Computer Engineering and Design, 2011, 32(1):228~231. (in Chinese)
- Illingworth J, Kittler J. A survey of the Hough transform[J]. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1988,44(1):87~116.
- 李进. 基于DSP的视觉导航智能车辆路径识别[J]. 安徽科技学院学报,2012,26(1):46~50.
Li Jin. Road recognition of vision-guided intelligent vehicle based on digital signal processor[J]. Journal of Anhui Science and Technology University, 2012,26(1):46~50. (in Chinese)
- 陈无畏,李进,王檀彬,等. 视觉导航智能车辆的路径跟踪预瞄控制[J]. 机械工程学报,2008,44(10):277~282.
Chen Wuwei, Li Jin, Wang Tanbin, et al. Preview control for road following of vision guided intelligent vehicle[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2008, 44(10): 277~282. (in Chinese)
- 王家恩,陈无畏,王檀彬,等. 基于期望横摆角速度的视觉导航智能车辆横向控制[J]. 机械工程学报,2012,48(4):108~115.
Wang Jiaen, Chen Wuwei, Wang Tanbin, et al. Vision guided intelligent vehicle lateral control based on desired yaw rate[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2012,48(4):108~115. (in Chinese)