

视觉导引智能车的自适应路径识别及控制研究

张 毅¹, 高进可¹, 王 琪^{1,2}, 王爽杰¹, 袁明新^{1,2,3}

(1. 江苏科技大学(张家港)机电与动力工程学院, 江苏 张家港 215600; 2. 张家港江苏科技大学产业技术研究院, 江苏 张家港 215600; 3. 张家港市香樟树众创空间服务中心, 江苏 张家港 215600)

摘要: 为了提高智能循迹小车路径识别的精度与行驶速度, 提出了一种基于自适应阈值二值化的路径识别算法。首先采用 OTSU 算法计算出图像分割的最佳阈值, 利用此阈值二值化灰度图像; 然后提取二值化图像中赛道中心线, 得到智能车在赛道中所处位置信息。其次利用线性回归方程对丢失赛道边缘图像拟合直线, 根据图像特征完成路径识别。最后采用分段式 PID 算法实现方向控制, 使用增量式 PID 进行速度调节。测试结果表明, 此方法有效提高了不同路径的识别率以及对外界灯光环境的适应性。

关键词: 智能车; OTSU 算法; 路径识别; 图像处理

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8829(2017)11-0000-04

Research on Adaptive Path Recognition and Control of Visual Guided Smart Car

ZHANG Yi¹, GAO Jin-ke¹, WANG Qi^{1,2}, WANG Shuang-jie¹, YUAN Ming-xin^{1,2,3}

(1. School of Mechatronics and Power Engineering, Jiangsu University of Science and Technology, Zhangjiagang 215600, China; 2. Zhangjiagang Research Institute of Industrial Technology, Jiangsu University of Science and Technology, Zhangjiagang 215600, China; 3. Service Center of Zhangjiagang Camphor Tree Makerspace, Zhangjiagang 215600, China)

Abstract: In order to improve the accuracy and speed of path recognition of intelligent tracking car, a path recognition algorithm based on adaptive threshold binarization is proposed. First, the OTSU algorithm is used to calculate the optimal threshold of image segmentation, and the threshold is used to binarize the gray image. Then, the center line of the track in the binarized image is extracted to get the position information of the smart car in the track. Secondly, the linear regression equation is used to fit the missing edge of the track, and the path recognition is done according to the image feature. Finally, the sectional PID algorithm is used to realize the directional control, and the incremental PID is used to adjust the speed. The test results show that this method can effectively improve the recognition rate of different paths and the adaptability to the external lighting environment.

Key words: smart car; OTSU; path recognition; image processing

近年来, 汽车电子技术迅速发展^[1-3]。全国大学生“恩智浦杯”智能汽车竞赛在此背景下应运而生, 由高等学校自动化专业教学指导分委员会主办, 竞赛采用竞速制, 旨在培养大学生的创新能力以及从事科学研究的能力^[4]。竞赛规则为智能车在行驶区域内自

动行驶, 以跑完指定赛道的时间作为最终成绩。竞赛以传感器类别分为 3 组。摄像头组智能车能在固定轨迹上实现自动行驶, 是通过图像传感器获取车身前方的赛道信息。然后提取当前所处位置的图像中心线, 与赛道中心的标准值作差获得偏差量, 以此偏差值产生控制调节作用去消除位置偏差^[5]。张超等^[6]利用大津法计算最佳阈值进行图像分割, 同时将图像分块进行处理, 二值化效果好。但未能实现路径识别, 无法对特殊路径采取针对性控制策略, 难以在复杂的赛道上快速行驶。王立玲等^[7]使用逆透视变换的方法解决图像失真问题, 通过等间距标定实现路径识别, 但准确性不足。刘涛等^[8]采用跟踪边缘检测算法, 处理时

收稿日期: 2017-04-15

基金项目: 张家港江苏科技大学产业技术研究院对港质量提升工程项目(559916004); 张家港市香樟树众创空间服务中心入驻项目(XZS201601)

作者简介: 张毅(1996—), 男, 本科生, 江苏淮安人, 主要研究方向为汽车电子技术与图像处理; 高进可(1984—), 男, 内蒙古呼伦贝尔人, 硕士, 助教, 主要研究方向为机电一体化。

间短,响应快,但无法识别出路径的类型,且对外界灯光环境适应性差。鉴于上述方法在路径识别中的不足,笔者提出一种基于自适应图像二值化的路径识别方法,准确识别出路径类型,不受外界灯光环境的干扰,可显著提高路径识别率。实现路径识别后,辅以分段式 PID 算法进行方向控制,以及采用增量式 PID 实现速度控制,有效提升了智能车的行驶速度与竞赛成绩。

1 视觉导引智能车及其环境

智能循迹小车系统主要由传感器、控制器、电机驱动、电源模块组成。采用 OmniVision 数字 CMOS 摄像头 OV7620 作为图像获取设备,通过图像获取信息实现自动行驶。研究的环境为智能循迹小车行驶的赛道(如图 1 所示),赛道由白色面板的行驶区域以及蓝色的背景布组成。赛道类型包括图 1 中的大 S 弯道、小 S 弯道、直道,以及十字弯道。

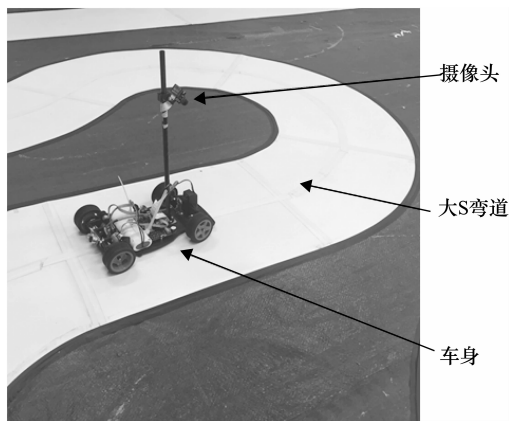


图 1 智能车实物图

OV7620 数字摄像头采用 NTSU 制式,帧率 60 f/s。OV7620 支持逐行扫描(progressive scan)及隔行扫描(interlaced scan)两种方式。图像数据输出由 3 个时序引脚控制。场中断信号是一帧图像采集完成的标志,低电平有效。行中断信号表示一行图像数据采集完成,高电平有效。像素同步信号输出 Y0 ~ Y7 的亮度值,即像素点灰度值,高电平有效。通过 SCCB 协议设置 QVGA 格式输出。为了便于快速处理图像,同时保证足够的信息完整性,使用均匀采集压缩图像,每隔 4 次行中断信号,4 次像素点中断采集一次,最终得到分辨率为 80 像素 × 60 像素的图像。

2 图像处理

2.1 自适应图像二值化

二值化过程的难点在于阈值的确定,传统静态阈值二值化法只需设置全局变量即可,计算过程简单。但静态阈值弊端亦非常明显,如对外界灯光环境适应性差,难以准确分割出图像中特征部分等^[9]。

采用基于 OTSU 算法的自适应图像二值化方法进行图像的初步处理。OTSU 算法(又称最大类间方差法)使用聚类的思想,将整幅图像的灰度值按灰度级分为前景与背景,使这两部分之间灰度值差异最大,每个部分之间灰度值差异最小,通过计算方差值找出最合适的灰度级来划分。首先,设定一个初始阈值 $threshold$ 分割图像,计算方差值。然后,从 256 个灰度级遍历 $threshold$,使得 $threshold$ 为某值时前景与背景的方差值最大,则此 $threshold$ 即为图像二值化的最佳阈值。实验效果如图 2 所示。方差计算公式为

$$\begin{cases} V = f_0 \times (g_f - g_v)^2 + f_1 \times (g_b - g_v)^2 \\ g_v = f_0 \times g_f + f_1 \times g_b \end{cases} \quad (1)$$

式中, V 为方差值; f_0 为前景像素点占图像的比例; g_f 为前景图像的平均灰度值; f_1 为背景像素点占图像的比例; g_b 为背景图像的平均灰度值; g_v 为图像的平均灰度值。

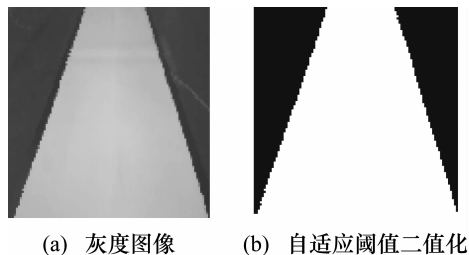


图 2 灰度图像自适应阈值二值化

2.2 提取赛道中心线

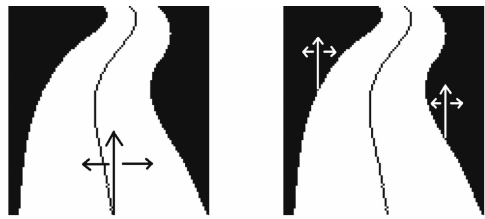
通过寻找赛道边界获得图像中心线。图像二值化后,赛道外区域与赛道区域产生黑白像素点突变边沿,即赛道的边界。根据检测起始点的不同分为中心向两边搜寻法和向上寻找突变边沿法。

中心向两边搜寻法以图像最后一行的中心点作为处理起始点,然后从此点开始分别向左向右寻找黑白突变点,得到的两个突变点即为此行赛道图像的左右边界点。通过计算左右边界点列坐标的平均值得到这一行实际中心点列坐标,并将此中心点的列坐标作为下一行向两边搜寻起始值,再依次向左向右寻找左右边界计算中心点坐标。以此循环一直到图像的第一行。

向上寻找突变边沿法先从图像最后一行的中心像素点分别向两边寻找第一个黑白突变点,即赛道的左右边界。图像中赛道边界在行与行之间不会有太大的横向距离偏差,以图像最后一行的左右边界作为检测起始点向上一行搜寻,确定一个合适的横向搜寻范围,在范围内找出黑白突变点,即为赛道边界点。依此循环,一直处理到图像顶端行结束。测试结果如图 3 所示,箭头指向为搜寻方向,黑线为提取的赛道中心线。

2.3 图像边缘直线拟合

十字弯道处的赛道信息比较特殊。智能车在车身



(a) 中心向两边搜寻法 (b) 向上寻找突变边沿法

图3 提取赛道中心线

不正的情况下驶入十字弯道时,极易发生提取中线错误,得到错误的位置信息,致使智能车跑窄道或直接跑出赛道。未处理的十字弯道图像(如图4所示)有多行图像边缘丢失,导致无法获得正确的位置信息。鉴于赛道边缘像素点的行坐标与列坐标之间存在线性相关关系,则由图像处理得到的赛道边缘点将散布在某一斜线周围。使用一元线性回归方程进行图像边缘直线拟合,根据有效边缘行的图像信息通过线性回归方程拟合边缘直线。



(a) 直线拟合前图像 (b) 直线拟合后图像

图4 十字弯道图像

首先,获取十字弯道图像中有效边缘信息,分别设定左右两边有效边缘阈值 L_l 和 R_l ,筛选图像中所有大于 L_l 值的左边缘像素点以及小于 R_l 值的右边缘像素点,并保存这些有效边缘像素点的行坐标与列坐标;其次,使用线性回归方程分别拟合左、右边缘的回归直线;最后,将图像中丢失赛道边缘的行坐标代入直线方程中,得到此行有效边缘的列坐标,并重新提取赛道中心线。线性回归方程为

$$\begin{cases} \hat{a} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \bar{x}^2} \\ \hat{e} = \bar{y} - \hat{a} \bar{x} \\ \hat{y} = \hat{a}x + \hat{e} \end{cases} \quad (2)$$

式中, x_i 对应着图像中有效边缘点的行坐标; y_i 对应着有效边缘点的列坐标; \bar{x} 为有效边缘像素点的行坐标平均值; \bar{y} 为有效像素点的列坐标平均值; n 为有效行的行数; \hat{a} 为回归直线的斜率; \hat{e} 为直线截距。

2.4 路径识别

路径识别主要依据不同路径各自独一无二的特特点,以这些特点作为逻辑判断条件,标志当前赛道信

息。判断条件包括以下几种因素:有效行数、图像边缘丢失、直线斜率。以二值化图像最底端行的中心点作为起始点向上一行搜寻,直至得到在此列的像素点为黑色,则停止向上搜寻,计算此行距离最底端行的长度,即为有效行数。遍历每一行左右边缘坐标,当左边缘坐标为0时,则左边缘丢失行数加1,当右边缘坐标为80时,则右边缘丢失行数加1。取第60行赛道中点坐标以及第30行赛道中点坐标构成直线,计算斜率。当图像有效行数为60行,边缘丢失行数为0,直线的倾斜角几乎为 90° ,则可判断当前路径为直道。当图像有效行数为60行,边缘丢失行数为0,直线倾斜角 $\theta \in [65, 80] \cup [100, 115]$,则当前路径为小S弯道。当图像有效行数为60行,左边缘丢失行数 $L_l \geq 10$,右边缘丢失行数 $R_r \geq 10$,则判断路径为十字弯道。当图像有效行数 $V_r \leq 40$,边缘丢失行数 $L_l \geq 10$ 或 $R_r \geq 10$,直线倾斜角 $\theta \in [0, 65] \cup [115, 180]$,则当前路径为S弯道。图5中黑色圆点为有效行终止点,黑色三角形标记图像边缘丢失。

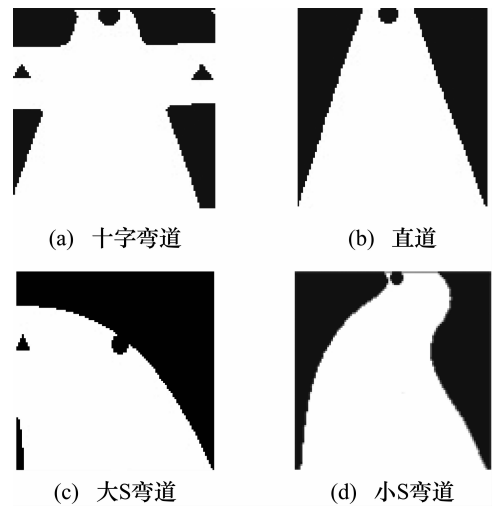


图5 路径识别

3 控制策略

控制策略步骤如下:

① 对图像进行自适应阈值二值化处理,通过提取赛道中心线获得当前位置信息。依据不同路径各自的特征因素,准确判断出当前行驶区域的赛道类型,实现路径识别。

② 识别出十字弯路径时,鉴于当前赛道信息特殊,进行丢失边缘的直线拟合,还原准确的赛道信息。然后再次提取赛道中心线,获取位置偏差值。

③ 通过路径识别算法,采用分段式PID控制器实现方向的模糊控制。当路径识别为直道、小S弯时,适当减小 P 值以避免过调引起的振荡。当路径为S弯

时,增大 P 值以提升响应速度。

④ 使用增量式 PID 算法控制 PWM 值输出,实现速度控制。将智能车的行驶速度与方向偏差值 ΔU 产生线性关联,动态调节速度期望值 V 。即: $V = V_e - K \times |\Delta U|^2$, (V_e 为速度期望初值, K 为调节系数)。车身偏离赛道中心越远,速度期望值越小,最终达到直道加速,弯道减速的效果。

4 测试结果与分析

为了验证在复杂赛道上自适应阈值二值化的路径识别算法(PRAATB,path recognition algorithm for adaptive threshold binarization)的有效性,智能循迹小车使用

基于 ARM Cortex-M4 的 Kinetis 系列 MK60DN512ZVLQ10 为核心控制芯片,通过 I/O 口外部中断检测摄像头输出的场中断信号、行中断信号,使用 DMA 模块传输数据存入二维图像数组中。在 IAR Embedded Workbench C-编译器平台上编写算法。

将 PRAATB 算法与基于逆透视变换的路径识别算法(PRABRPT,path recognition algorithm based on reverse perspective transformation^[2])进行比较,测试内容主要包括在不同的灯光环境、赛道类型条件下的循迹成功率。测试时智能车的平均速度为 2.7 m/s。测试结果如表 1 所示。智能车行驶在大 S 弯道时效果如图 6 所示。

表 1 赛道测试结果

赛道类型	日光灯条件循迹(成功数/实验数)		自然光条件循迹(成功数/实验数)		平均循迹成功率/%	
	PRABRPT	PRAATB	PRABRPT	PRAATB	PRABRPT	PRAATB
长直道	49/50	50/50	48/50	50/50	97	100
小 S 弯道	45/50	48/50	44/50	46/50	89	94
大 S 弯道	43/50	47/50	39/50	46/50	82	93
十字弯道	42/50	49/50	38/50	48/50	80	97

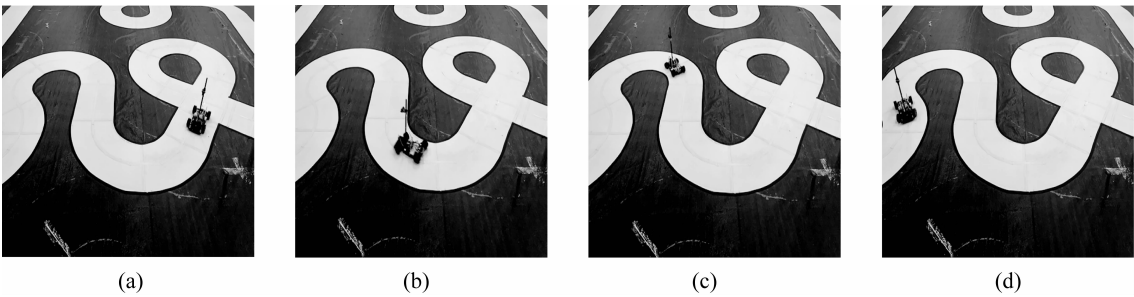


图 6 大 S 弯道实测图

从表 1 中数据来看,PRABRPT 算法受外界灯光环境影响较大,而 PRAATB 算法采用 OTSU 算法进行自适应阈值图像分割,几乎不受灯光环境的影响。智能车在高速行驶时,PRAATB 算法比 PRABRPT 算法具有更高的循迹成功率。尤其在十字弯道处,PRAATB 算法进行图像边缘的直线拟合,循迹成功率提高近 17%。

5 结束语

智能循迹小车系统通过图像传感器采集 QVGA 格式的路径灰度图像,均匀压缩图像,赛道信息完整且处理量小。通过 OTSU 算法计算分割图像前景与背景的最佳阈值,进行图像二值化处理。使用线性回归方程进行图像边缘的直线拟合,还原了特殊图像的真实信息。依据每种路径的特征因素实现路径识别,采用针对性的控制策略。试验表明,所提出的自适应路径识别方法对环境适应性较强,能够使基于图像传感器的智能循迹小车稳定、快速、准确地实现路径识别和循迹。

参考文献:

[1] 周传宏,柳新昌,齐飞. 二维码技术在 AGV 定位中的应用

研究[J]. 工业控制计算机,2017,30(1):49-51.
[2] 眭翔,王琪,薛朋骏,等. 基于 LabVIEW 的智能车综合信息监控系统开发[J]. 现代电子技术,2012,35(20).
[3] 陈鑫元,李筠,杨海马,等. 自适应阈值图像二值化及形态学处理的 FPGA 实现[J]. 电子测量技术,2016,39(7).
[4] 刘颖. 基于 K60 单片机的智能车控制算法的仿真与实现[D]. 西安:长安大学,2014.
[5] 董秀成,杨栩. 基于视觉的智能车道路检测与转向控制策略研究[J]. 西华大学学报(自然科学版),2010,29(2):135-140.
[6] 张超,彭金璋,刘纯鸽,等. 智能车跑道图像的大津阈值分割算法[J]. 吉首大学学报(自然科学版),2014,35(4):27-30.
[7] 王立玲,王建成,白跃. 基于 OV7620 智能车的路径识别及控制策略[J]. 河北大学学报(自然科学版),2014,34(6):668-672.
[8] 刘涛,吕勇,刘立双. 智能车路径识别与控制性能提高方法研究及实现[J]. 电子技术应用,2016,42(1):54-57.
[9] 柯其延,阙大顺,杨锦涛,等. 基于边缘检测算法的智能车循迹系统设计[J]. 电气自动化,2014(3):48-50.

