

## 智能汽车赛道图像识别技术的研究

范云飞<sup>1</sup>, 孙兴波<sup>1</sup>, 敬凯<sup>2</sup>

(1. 四川理工学院 a.自动化与电子信息学院 b.人工智能四川省重点实验室, 四川 自贡 643000;  
2. 西南大学 计算机与信息科学学院, 重庆 北碚 400715)



**摘要:** 改进现有边沿提取算法, 提出二阶绝对差分, 对智能汽车赛道中心线连续遍历, 计算各相邻三步的绝对信号跳跃斜率的绝对值, 最后加以阈值判断。旨在识别图像中有用的赛道信息, 剔除智能汽车在弯道时采集的部分相邻赛道图像, 再对有用赛道中心线加以一次线性拟合, 求出赛道的弯曲程度及规划出弯道行驶路径。同时, 提出一次线性插值处理十字路面的边沿信息缺损情况, 再精确解算十字路面的中心线, 最后对其加以线性拟合, 从而实现高速无扰行驶。

**关键词:** 二阶绝对差分; 智能汽车; 线性拟合; 线性插值; 最小二乘法; 路径规划

**中图分类号:** TP274

**文献标识码:** A

## Research of Recognition Technology of Smart Car's Track Image

FAN Yun-fei<sup>1</sup>, SUN Xing-bo<sup>1</sup>, JING Kai<sup>2</sup>

(1. a. School of Automation and Electronic Information; b. Artificial Intelligence Key Laboratory of Sichuan Province, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China 2. Southwest University, School of Computer and Information Science, Chongqing 400715, China)

**Abstract:** Existing algorithm of edge detection was improved. And second-order absolute difference was presented, to traverse the track center line of smart car continuously. Then, for each signal, calculating the absolute value of the signal's forward difference and the backward difference of signals. Next, calculating the absolute value of the two absolute values' difference, finally using the threshold to constraint. The purpose is to recognize the useful track information in image, and eliminate the partial image of neighbor track. Then processing the useful track center line by using linear fitting, to calculate the degree of crook of track and plan the marched route in curve. Meanwhile, introducing a method to process the defective information of edge in cross road by using a linear interpolation, for calculating the track center line of cross road accurately. Finally, to process it by using linear fitting to achieve fast robust driving.

**Key words:** Second-order absolute difference; smart car; linear fitting; linear interpolation; least square method; path planning

### 1 引言

近年来, 随着大学生全国飞思卡尔杯智能汽车竞赛的出现, 智能汽车的研究早已列入高校科研计划。其中, 有一类赛事为基于摄像头识别赛道的智能汽车设计。此智能汽车竞赛同时涵盖了传感检测、图像识别、智能控制、信号处理和机械设计等多学科, 硬件方面主要由摄像头、编码器、主控板和电源构成, 软件主要由图像采集、方向控制和速度调整等模块构成。而赛道则由两条间距60cm的黑色带

状引导线组成多种复杂情形, 分别有十字路口, 90、180度转弯, 连续小S路面, 连续180度转弯和8字转弯等高难度路况。而从历年赛事情况来看, 参赛作品最容易在各种复杂的弯道路况中出现“出轨”现象。

据参考文献可知近年来研究者主要采用以下几类策略进行方向控制。文献[1~3]提出了使用了计算 Corve 值从而间接反映赛道的曲率, 再对 Corve

收稿日期: 2015-07-12; 修回日期: 2015-10-29

基金项目: 四川理工学院国家级大学生创新创业训练计划项目(201310622003)。

作者简介: 范云飞, 男(1993-), 四川南充人, 本科, 主要研究方向为图像处理、智能控制和鲁棒控制等; 孙兴波, 男(1974-), 四川资中人, 研究生, 教授, 主要从事图像处理、模式识别和智能信号信息处理等方面的教学与科研工作。

值进行分析再进行相应决策控制。文献[4~5]采用直接求曲率法求解弯道控制信息,文献[6]采用“全白”法进行方向控制,文献[7~9]采用直接拟合赛道中线从而提取道路信息。经比较,拟合赛道相对较能直观体现赛道的真实路况。而本文选择在文献[7~9]的拟合基础上,加以改进型二阶差分对拟合范围进行约束。使拟合出的赛道控制信息更加精准。同时,参考文献[7],提出线性插值处理十字路口,使智能汽车在复杂路况下更具鲁棒性。

## 2 图像预处理

通常情况下,赛道比较“干净”。只是部分赛道会有少量小尘粒。于是为保简洁性,本文采用直接二值化对图像进行处理。再进行二值滤波。

### 2.1 图像二值化

$$f(i, j) = \begin{cases} 1 & G(i, j) > C \\ 0 & \text{others} \end{cases}$$

式中,  $C$  为设定的固定阈值。

其原始图像和二值化图像,如图1和图2所示。

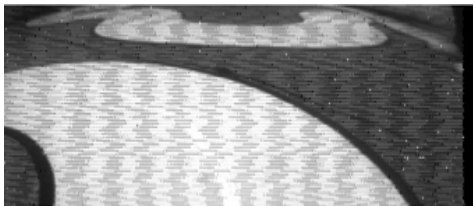


图1 赛道原始图  
Fig. 1 Original image of the track



图2 赛道二值图  
Fig. 2 Binary image of the track

### 2.2 图像滤波

文献[3、5]采用了均值滤波法,文献[6]采用了kalman自适应滤波,而从图2可以看出,虽然赛道外有较多椒盐噪声,但“有用赛道”内部较为干净,且图2已经是二值图像,不便进行均值滤波和噪声滤波,故此提出邻域判断滤波规则,即建立空域滤波模板,对整个二值图像全局遍历计算。

其模板规则如下:

i-2	i-1	i	i+1	i+2	i+3
-----	-----	---	-----	-----	-----

图3 空域滤波模板  
Fig. 3 Template of spatial filter

$$g(j, i+1) = g(j, i) =$$

$$\begin{cases} 1 & f(j, i-2) = f(j, i-1) = \\ & f(j, i+2) = f(j, i+3) = 1 \\ 0 & f(j, i-2) = f(j, i-1) = \\ & f(j, i+2) = f(j, i+3) = 0 \end{cases}$$

每行左右边缘分别有2个像素点无法用此规则进行滤波,下文边沿提取时也会忽视一些边缘像素,故此不对这些像素处理。滤波结果,如图4所示。

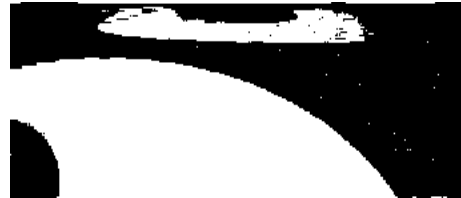


图4 滤波二值图  
Fig. 4 Filtered binary image

## 3 目标提取

### 3.1 边沿检测

文献[10]提出使用sobel边沿检测算法,采用对图像灰度计算偏导而得出结果,而本文的算法之初已对图像二值处理,所以不适合采用sobel算子。而文献[9]使用了“相邻跟踪寻找”算法对灰度图像边沿提取。从当前几行(例如图4的最底部几行像素)的中间向图像两边寻找灰度值下降沿(即其邻域内灰度值由大突然变小,并且灰度差大于设定阈值)。如果存在连续的2行找到下降沿并且下降沿的水平距离小于设定像素点个数阈值时即认为找到了右(左)基准行,记录下右(左)基准行与下降沿的水平位置。再以此基准行向前推进跟踪寻找,下一行寻找范围是此行左右边沿所组成水平范围。以上算法在一定程度上能较好的找出赛道的边沿,但有以下几点不可忽视:

① 因其算法主要横向对图像计算梯度,而梯度计算对赛道内的噪声极为敏感。

② 下一行搜索范围是上一行左右边沿组成水平范围,会使搜索结果在十字路口时产生虚假边界。

因此,针对文献[9]边沿提取算法的不足,提出改进策略,使之更契合二值图像的遍历同时又具有一定抗噪性。其原理为建立智能梯度计算模板,其与图3的空域模板一样;设定模板计算规则,因为此模板所遍历的目标图像为二值图像,即1为白点,0为黑点,且图像有可能有未滤干净的噪声,所以规定其计算策略为

① 如果模板左边3个数据的和小于2,且右边3个数据的和大于1,则可认可模板的中间所处的位置正是当前行的左边沿。

② 如果模板左边3个数据的和大于1,且右边

3个数据的和小于2,则可认可模板的中间所处的位置正是当前行的右边沿。此规则的数学表达式如下:

$$L(j)=\begin{cases} i & f(j,i-2)+f(j,i-1)+f(j,i-2)<2 \& \\ & f(j,i+1)+f(j,i+2)+f(j,i+3)>1 \\ 0 & \text{others} \end{cases}$$

以上公式用于提取左边界坐标。

$$R(j)=\begin{cases} i & f(j,i-2)+f(j,i-1)+f(j,i-2)>1 \& \\ & f(j,i+1)+f(j,i+2)+f(j,i+3)<2 \\ 0 & \text{others} \end{cases}$$

以上公式用于提取右边界坐标。

$$M(j)=(L(j)+R(j))/2$$

以上公式用于提取当前行的赛道中线坐标。

上述公式中,“×”表示此时不满足规则,同时不存储坐标并继续遍历。而一旦满足规则,则存储边沿坐标并退出当前边沿的当前行遍历。

③ 在采集的图像中,靠近车体部分为前部,远离车体部分为后部。在提取出当前行图像的左右边沿和中线后,由前向后逐行遍历,下一行的起始遍历坐标为当前行的中线坐标。寻找左边沿即从中线坐标向左遍历,右边沿则从中线坐标向右遍历。

对于以上提取左右边沿的公式,其在一定程度上可以防止图像中未滤干净的单个噪声所导致的扰动。其原理图,如图5所示。



图5 二值赛道图某一行示意图  
Fig. 5 One line of binary track image

其每个圆点示意为一个像素点,黑和白表示二值化后的像素值。图5中的一维信息,可以假定黑点为0,灰点为1,则可看作是从二值赛道中提取出的一行图像。传统寻找下降沿的方法,计算出的左右边沿坐标分别为11,16,而用本文改进的方案计算可得左右边沿坐标分别为7,22。可以分辨出,本文算法计算结果正确。所以,改进型算法在具有一定噪声的图像边沿提取过程中更具鲁棒性。

通过改进型边沿提取算法,对图4的二值图像提取结果,如图6所示。

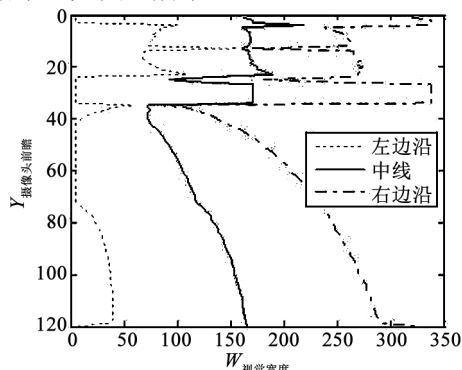


图6 赛道边沿中线图  
Fig. 6 Middle line and edge line of the track

将图4的二值滤波图与图6对比,可以看出,此算法能较好的提取出赛道的边沿。而将图6中纵坐标(0~40)处的边沿提取结果与图4对应部分对比,可以看出,即使在赛道外,此算法依然可以提取出边沿和中线。但因其不属于赛道延伸范围,所以对应的提取结果乃是虚假信息。对路径规划起干扰作用。

### 3.2 方向信息提取

对于赛道中线,此处采用一次线性拟合<sup>[7~8]</sup>。其原理如下:

计所求直线方程为  $y = kx + b$  则使:

$$G = \sum_{i=1}^n (k \cdot x_i + b - y_i)^2$$

取得最小值  $G_{\min}$  的参数  $k$  和  $b$  即为拟合直线方程的参数。

为使  $F$  取得最小值,需求解此多元函数的驻点,即求解以下方程即可:

$$\begin{cases} \frac{\partial G}{\partial k} = 0 \\ \frac{\partial G}{\partial b} = 0 \end{cases}$$

经解方程有:

$$\begin{cases} k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i - b \cdot \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \\ b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \end{cases}$$

使用上述算法对图像的“中线”进行拟合,拟合结果与边沿信息一起绘制结果,如图7所示。

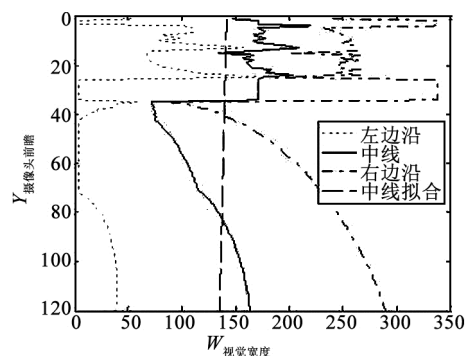


图7 中线拟合图  
Fig. 7 Middle line fitting

从图7中可以看出当前赛道处于向左弯曲延伸。而从上述仿真图的“中线拟合”线可以看出,拟合结果没有体现赛道的真实路况,即智能汽车如果依据此种拟合结果进行相应转向控制策略,则会在弯道

处出现“出轨”现象。

由于此拟合是对中线进行处理。从图中的中线坐标分布情况可以推论出,造成此种拟合情况的根本原因是图中纵坐标为0~35所对应的“中线”坐标被纳入拟合范围。从上文可知,纵坐标为0~35所对应的图像是赛道之外的部分,其产生的边沿、中线信号为虚假信息。不应纳入计算方向控制。

据此,可以推论出只需将上述错误坐标与中线拟合范围分离,即可拟合出赛道的正确信息。

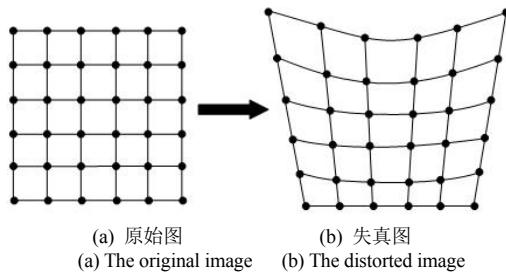


图8 图像失真示意图  
Fig. 8 Image distortion diagram

由信号属性可知,赛道作为连续信号,则对应的中线也应是连续信号,但观测其数据发现,对应正常赛道部分(图7)的中线坐标随着纵坐标变小,其相邻中点坐标的间距逐渐增加。显然,其原因是因为图像在纵向进行了不均匀失真。由文献[9]可知,从智能汽车上安装摄像头的角度采集回的赛道会出现横向和纵向失真。其失真情况如图8所示。

对于横向的梯形失真,由于上述在求解赛道中线坐标时采用了中点坐标公式,且图像处于中线对称,所以在一定程度上,可以由中点坐标公式抵消梯形失真所产生的误差。

而对于纵向失真,是对图像进行纵向不均匀压缩,即如图6中纵坐标(40~60)所对应的路面真实距离要远大于图中纵坐标(80~100)所对应的路面距离。其原因是由于摄像头在安装时与地面存在一定倾斜角度。在文献[1]中的处理方案是采用不等间距的隔行扫描方法,即远处密集采集,而近处稀疏采集。而不等间距的隔行扫描可能对系统引起干扰,将使系统只能在图像的前半部分捕获起始信号,所以本文采用等间距隔行扫描方式对图像采样,如图9所示。

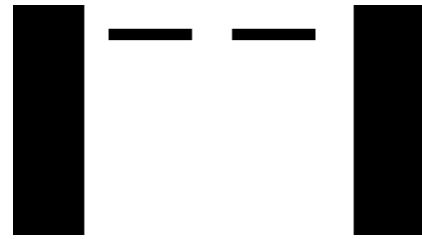


图9 起始信号图  
Fig. 9 Image with initial signals

然而,实验证明,由于等间距隔行采样将会导致加剧弯道在摄像头视野的不同位置的弯曲程度。继而难以对相邻采样行的中线坐标使用一阶差分 and 阈值判断从而剔除上文所述的中线“虚假信息”。

分析图7可以看出,正真的中线呈现出曲线形,中线“虚假信息”呈现出噪声的特性,且两者的交接处更伴随着阶跃信号。然而,二阶差分可以识别曲线‘变弯’的快慢且对曲线不敏感,对噪声敏感。考虑到符号的单一性对阈值的设定有优势,因而此处引入一种改进型二阶差分方法,即“二阶绝对差分”计算策略。其对曲线不均匀压缩不敏感,同时对噪声信号敏感,所以能识别出赛道与非赛道的临界点,继而能剔除上文的中线“虚假信息”。其定义如下:

$k$  序列的一阶绝对差分:

$$\alpha(k) = |F(k) - F(k-1)|$$

$k$  序列的二阶绝对差分:

$$\beta(k) = |\alpha(k) - \alpha(k-1)|$$

$$\beta(k) = \|F(k) - F(k-1) - [F(k-1) - F(k-2)]\|$$

采用一阶、二阶、二阶绝对差分策略对中线进行全局遍历可得,如图10所示。

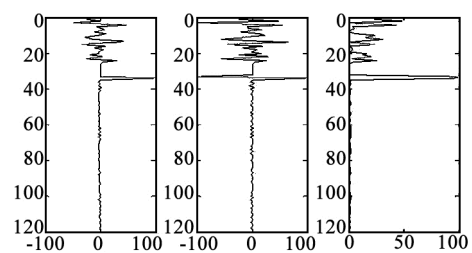


图10 一阶差分、二阶差分、二阶绝对差分比较  
Fig. 10 Comparison of first-order difference, second-order difference and second-order absolute difference

赛道与非赛道相接部分的各差分结果,见表1。

表1 一阶差分、二阶差分、二阶绝对差分数据对比  
Tab. 1 First-order difference, second-order difference and second-order absolute difference data comparison

行序号	...	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	...
一阶差分	...	-2	-3	-2	1	-2	2	-3	1	-2	0	99	0	...
二阶差分	...	0	1	1	3	-3	4	-5	4	-3	2	99	-99	...
绝对差分	...	0	1	1	1	1	0	1	2	1	2	99	99	...

从图 10 和表 1 可以看出,在真实赛道部分,一阶差分在随着赛道的延伸时,差分值逐渐增加且具方向性;二阶差分在随着赛道的延伸时,差分值逐渐增加且增幅较大,也具有方向性;二阶绝对差分在随着赛道延伸时,差分值跳变均匀,幅值不明显,没有方向性。所以,可以通过对二阶绝对差分进行阈值判断,超过阈值处即为赛道与非赛道的临界处。本文在实验过程中试凑出“2”为阈值能准确提取出赛道与非赛道的临界点。据此临界点可以将赛道部分与非赛道部分分离。从而对赛道部分的中线进行线性拟合。拟合结果,如图 11 所示。

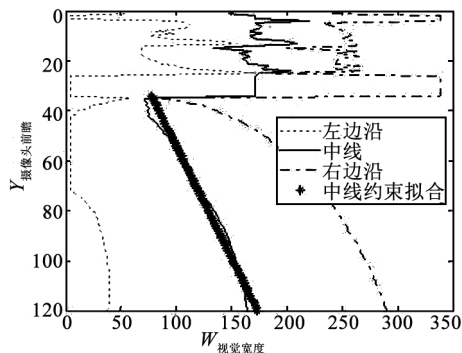


图 11 中线约束拟合图

Fig. 11 Limited linear fitting of middle line

显然,从图 11 可以看出,使用二阶绝对差分剔除纵坐标为 1~40 所对应的图像中线后,线性拟合的中线能准确的反映赛道的走向。将赛道各路况分别采集,再使用二阶绝对差分遍历各自中线坐标,使用上文试凑好的阈值,找出对应各自的赛道中线临界点,剔除非赛道部分,对各赛道中线进行约束性一次拟合。拟合结果,如图 12 所示。

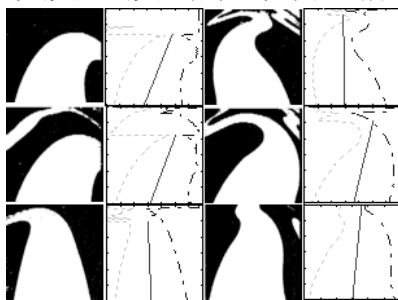


图 12 左边为赛道各路况二值图,右边为各路况对应二阶绝对差分约束拟合图

Fig. 12 The binary image of the track under different road conditions (left); limited linear fitting of the middle line under different road conditions (right)

从图 12 各子图的中线拟合情况不难看出,此方法对中线拟合有较好的约束性,使拟合结果很好的体现出赛道的走向,为后续的方向控制奠定了良好的基础。

### 3.3 十字路口信息插值

上文所处理的路况均为各种弯道和直路。它们

共同特点是,边沿信息连续。而在十字路口时,边沿信息有部分丢失,而此时若直接采用二阶绝对差分约束线性拟合,将使拟合结果出现较大干扰。十字路口的二值图像,如图 13 所示。



图 13 十字路口的二值图

Fig. 13 Binary image of cross road

将图 13 的十字路口使用常规边沿提取算法提取道路边沿并求出道路中线,再对中线进行约束拟合,求出汽车的最优行驶路线,如图 14 所示。

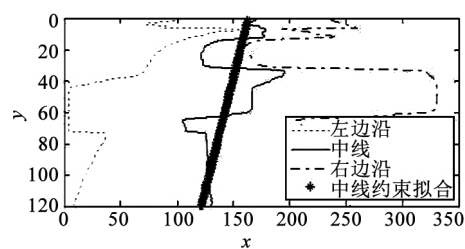


图 14 十字路口边沿提取和中线约束拟合

Fig. 14 Edge line extraction of cross road and linear fitting of middle line

显然,出现上述问题的关键原因是十字路口的信息断裂。从而边沿提取算法在断裂处赋予了左或右的极值,最后导致断裂处的中线计算错误,最后影响到中线的拟合。文献[7]在提取中心线时,提出了补齐十字路口边沿信息这一概念,即在提取出赛道边沿后,可先将十字路口缺损的边沿补齐,如图 15 所示。

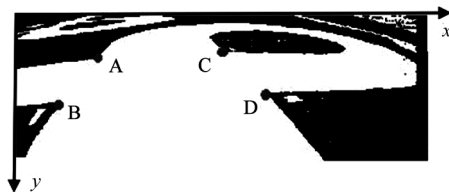


图 15 十字路口角点标记

Fig. 15 Marking corners in cross road

约定角点 A、B、C、D 的位置,补齐角点 A 和角点 B 中间的缺损,角点 C 和角点 D 中间的缺损。再依据补齐后的边沿坐标重新计算赛道中心线坐标。从其效果图可以看出,此概念能较好引导小车通过十字路况。由于十字路口两边均有短暂的直道延伸。所以可以采用一次线性插值算法补齐缺损信息。一次线性插值公式如下:

计  $\sigma_1(x_1, y_1), \sigma_2(x_2, y_2)$ ,  $\sigma_1, \sigma_2$  两角点间的插值点计为  $\sigma(x, y)$ 。则  $\sigma_1, \sigma_2$  间的插值算法为

$$\frac{x_1 - x}{y_1 - y} = \frac{x_1 - x_2}{y_1 - y_2} \quad x = \frac{x_1 - x_2}{y_1 - y_2}(y - y_1) + x_1$$

至此,只要提取出 A、B、C、D 各点坐标,即可完成边沿的线性插值。

将图 15 与图 14 对比,不难看出, B、D 两点可以由二阶绝对差分加以阈值判断,从而解算出两点坐标。而 A、C 两角点因摄像头与水平面的夹角而产生畸变,致使两角点变得圆润。所以不适合用二阶绝对差分法。记:

$$A(x_A, y_A), B(x_B, y_B), C(x_C, y_C), D(x_D, y_D)$$

分析 A、C 角点分别对比于 B、D 角点特征知:

$$① \quad x_A > x_B, x_C < x_D$$

② A 点和 C 点在各自边沿上前向和后向差分的绝对值均很小。

$$③ \quad y_A < y_B, y_C < y_D$$

在用二阶差分提取出角点 B 和角点 D 后,依据上述三条规则,约束出角点 A 和角点 C 的坐标,其中,规则二的差分阈值采用试凑法寻找最优阈值。

对图 13 的赛道左右边沿采用线性插值的结果,如图 16 所示。

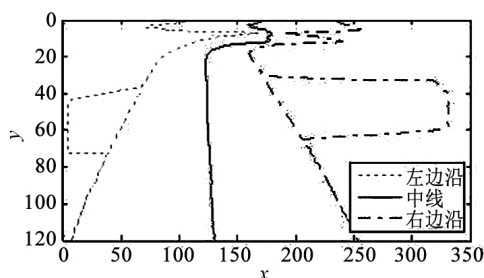


图 16 十字路口边沿缺损信息线性插值

Fig. 16 Recovering the lost information of edge line via linear interpolation in cross road

将图 16 与图 14 的中心线对比,可以发现,依据线性插值后的边沿所计算出的中心线,能够准确描述赛道在十字路口的延伸。采用上述线性插值规则,将各种视野中的十字路口的左右边沿插值情况,如图 17 所示。

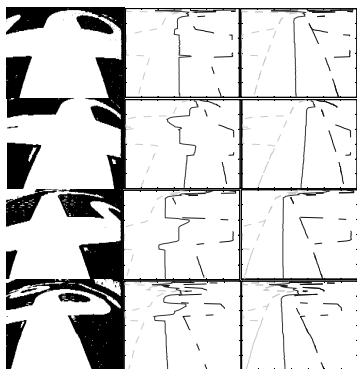


图 17 左边为各种角度的十字路况图,中间为一般方法提取的中心线,右边为十字路况采用线性插值后提取的中心线  
Fig. 17 Cross road via different viewing angles (left), middle line extracted via general method (middle), middle line extracted when using linear interpolation method in cross road (right)

从图中可以看出,在十字路况的各种视角,此算法均具有高度鲁棒性。

## 4 结 论

本文对已有的边沿提取算法进行一定优化后,对比几种路径规划策略的基础上,提出绝对二阶差分算法,对赛道中心线一次拟合的范围进行约束,提出一次线性插值对赛道十字路况的边沿信息进行无缝填补,从而使赛道各路况的中心线性拟合结果更能反映赛道的走向,为后续的方向控制提供了准确的信息。经对赛道各路况仿真和实物调试表明,此算法具有一定鲁棒性。

## 参考文献(References)

- [1] 温东阳,王祥好,基于线阵 CCD 的智能小车路径识别系统[J],合肥工业大学学报(自然科学版),2009,32(9):1348-1351.  
Wen D Y, Wang X H. Study of smart car track identification based on the linear CCD[J]. Journal of Hefei University of Technology(Journal of Hefei University of Technology),2009,32(9):1348-1351.
- [2] 许襄,鲁五一,赵治平,摄像头路径识别和小车控制策略[J],计算机工程与科学,2009,31(5):110-111.  
Xu H, Lu W Y, Zhao Z P. Camera Path Identification and Vehicle Control Strategies[J]. Computer Engineering & Science, 2009,31(5):110-111.
- [3] 郑建立,等,基于 CCD 的智能车寻迹方法[J],东北大学学报(自然科学版),2008,34(6):728-731.  
Zheng J S, et al. Autonomous Tracing in Intelligent Vehicle Based on CCD[J]. Journal of Northeastern University(Natural Science), 2008,34(6): 728-731.
- [4] 严大考,等,基于 Matlab 的智能车软件系统设计与仿真[J],计算机应用与科学,2014,31(1):256-259.  
Yan D K, et al. Design Of Intelligent Car Software Based On MATLAB And Its Simulation[J]. Computer Applications and Software, 2014,31(1):256-259.
- [5] 孙辉,等,竞赛用智能车的设计[J],安徽工业大学学报, 2009, 26(3):291-296.  
Sun H, et al. Design of Smart Car for Competition[J]. Journal of Anhui University of Technology and Science(Natural Science), 2009, 26(3):291-296.
- [6] 朱凤武,等,基于摄像头循迹的智能汽车路径识别研究[J],中国农机化学报,2013,34(5):256-259.  
Zhu F W, et al. Path recognition algorithm for intelligent vehicle based on camera[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2013,34(5):256-259.
- [7] 高云波,等,基于摄像头识别路径的智能车系统设计[J],兰州理工大学学报,2013,39(6):97-102.  
Gao Y B, et al. Design of Smart Car System with Camera-based Path Recognition[J]. Journal of Lanzhou University of Technology, 2013, 39(6):97-102.
- [8] 熊慧,等,基于图像识别的循迹车路径识别算法研究[J],单片机与嵌入式系统应用,2009,3:20-23.  
Xiong H, et al. Algorithm Research of Road Recognition of Track car Based on Image Recognition[J]. Microcontrollers & Embedded Systems,2009,3:20-23.
- [9] 王立玲,等,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.  
Wang L L, et al. Path Recognition and Control Strategy for Smart Car based on OV7620[J]. Journal of Hebei University(Natural Science Edition),2014, 34(6):668-672.
- [10] 吴海燕,潘赞,视觉导航智能汽车路径识别图像处理算法研究[J],西南师范大学学报(自然科学版),2014,39(3):108-115.  
Wu H Y, Pan Y. On Image Processing Algorithm of Intelligent Car with Visual Navigation[J]. Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition),2014,39(3):108-115.