

文章编号:1000-582X(2003)07-0024-04

高速公路弯道识别算法*

刘涛,黄席樾,周欣,黎昱

(重庆大学自动化学院,重庆 400044)

摘要:道路检测是汽车智能辅助驾驶系统中的一个子系统,包括道路分割和弯道识别等子任务。对摄像机摄录的图像进行处理,分割提取出分道线,再根据分道线的走向识别出车道的转向(左弯、右弯),这对报告道路的转向以及粗略定位前方车辆有很重要的意义。考虑到系统的实时性要求,算法必须具有很低的时间复杂度。通过大量的现场实验,提出了一种有效的基于区域生长和曲线拟合的弯道识别算法,实验验证具有良好的识别效果。

关键词:智能驾驶;计算机视觉;图像分割;道路识别

中图分类号:TP18;U495

文献标识码:A

1 系统概述以及算法研究的意义

汽车安全行驶智能辅助操作系统^[1]是综合运用图像处理和模式识别技术以及计算机视觉技术,重点讨论汽车前向行驶的主动安全问题的辅助系统,其应用背景为高速公路或标准高等级公路。其主要目的是使计算机能够利用图像和视频序列来识别和认知三维世界。在行驶方向上,前向 CCD 摄像机作为视觉传感器,是一个完全基于摄像机的视觉系统。

系统应用背景的特殊性,决定了系统实现中必须解决一个重要问题,即严格的实时性。按照我国高速公路设计标准,在高速公路上行驶的车辆时速平均为 120 km/h,因此系统必须在 1 s 内处理多幅视频图像。

一个完善的汽车安全行驶智能辅助操作系统通常要实现道路检测^[2]、障碍物检测^[3-4]和防撞安全行驶 3 个子系统。其中道路检测子系统又可以分为多个识别子任务,例如:分道线提取、道路区域分割、弯道识别等等。每一个子任务之间既相对独立,又相互制约。任何一个子任务算法的改进都对系统的识别精度和鲁棒性的提高具有积极的现实意义。其中分道线识别和弯道识别是两个重要的子任务,二者对于道路区域和障碍物的粗略定位具有指导意义。通常的算法是通过识别白色分道线,再以分道线的走向进一步识别弯道的方向。

2 道路模型的建立

高速公路的道路具有很多特殊性,其设计和建设都具有严格的行业标准^[5]。例如:

- 1) 车速为 120 km/h 时的极限转弯半径为 650 m, 一般最小半径为 1 000 m;
- 2) 车道宽度为 3.75 m;
- 3) 分道线宽度为 0.21 m 等。

笔者从大量的实验图像中总结出道路图像的特点:根据高速公路建设标准,极限转弯半径为 650 m,因此,车辆前方距视平面 40 m 以内的弯道分道线图像都可以近似为直线。从实验图像中可以看到,该近似在大多数情况下都能成立。

通过上述分析可以建立如下的弯道模型,如图 1 所示。

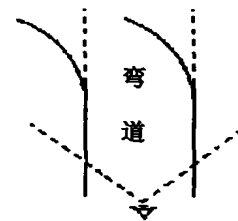


图 1 弯道模型

* 收稿日期:2003-03-08

基金项目:国家自然科学基金资助项目(69674012)

作者简介:刘涛(1977-),男,贵州赤水人,重庆大学硕士研究生,主要从事图像处理、模式识别等方面研究。

- 1) 近处(40 m 以内)的道路近似为直线;
- 2) 远处(40 m 以外)的道路为曲线;
- 3) 它们之间光滑连接。

通过分析远处曲线与近处直线的位置关系,可以定量分析弯道方向(左弯、右弯)和弯曲程度(对曲率的定量描述)。

在识别算法设计中,可以检测视频图像上近处分道线像素,通过直线拟合,求出直线方程;再进一步计算远处分道线上的像素与该拟合直线的距离来定量计算车道的弯曲程度,并根据距离累计值的符号来判断车道的转向。

3 最小二乘法与区域生长的识别方法

3.1 最小二乘法拟合^[6]

最小二乘法拟合算法可以描述为:对于需要拟合的 N 个像素数据 $P_i(x_i, y_i)$, 设待拟合的直线方程为

$$y = kx + b$$

通过计算 $\min \sum_{i=1}^N (kx_i + b - y_i)^2$, 求出拟合直线的参数:

$$k = \frac{\begin{vmatrix} \sum x_i y_i & \sum x_i \\ \sum y_i & n \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \sum x_i^2 & x_i \\ \sum x_i & n \end{vmatrix}}, b = \frac{\begin{vmatrix} \sum x_i^2 & \sum x_i y_i \\ \sum x_i & \sum y_i \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \sum x_i^2 & \sum x_i \\ \sum x_i & n \end{vmatrix}}$$

3.2 区域生长

区域生长属于串行区域分割^[6], 是基于区域图像相似性的一种分割算法。相似性准则可以是灰度级、彩色、梯度等特性,很多图像处理系统都广泛使用灰度相似性。其基本思想是将具有灰度相似性的像素集合起来构成区域。其算法大致流程如下:

- 1) 对图像进行逐点扫描,找出还没有处理过(或没有扫描过)的像素;
- 2) 以该像素为中心检查其邻域(4-邻域或8-邻域)像素,如果灰度差小于某个阈值(预设定值或模糊阈值),则将该邻域像素归入区域;
- 3) 将新加入区域的像素作为种子点,重复步骤2)的“相似性检测——归并”操作,直到区域不能进一步扩张或所有区域中的种子点的邻域点都不具备灰度相似性,即完成了一个区域的分割;
- 4) 返回步骤1),继续扫描后续点,进行下一个区域的生长,直到扫描完所有点。

3.3 算法描述

将区域生长与最小二乘法相结合,笔者提出了一种简单实用的弯道识别算法,其算法流程描述如下:

- 1) 将输入的彩色图像转换成灰度图像,并进行预处理和灰度变换,如图2所示;

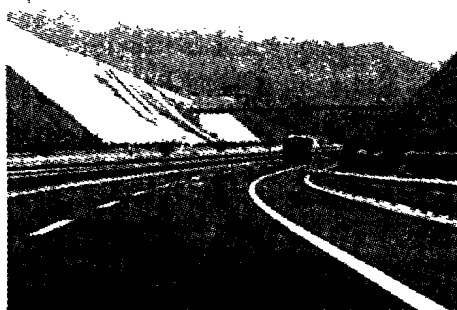


图2 道路灰度图像

- 2) 在图像右下部找到一个生长种子点(该种子点位于分道线上,一般灰度值较大),对近处分道线进行区域生长;
- 3) 将步骤2)生长的 N 个像素坐标作为拟合样本,进行最小二乘法拟合,求出直线方程;
- 4) 曲线继续生长,直到生长结束;
- 5) 定义弯曲度为像素点到直线的距离累计值,并保留符号

$$d = \sum_i \frac{y_i - kx_i - b}{\sqrt{1 + k^2}} \quad (1)$$

对于步骤4)生长的像素点,代入式(1)计算弯曲度。

从式(1)可以看出, d 是一个有正负的量,根据 d 的符号可以判断出弯道的方向,同时根据 $|d|$ 的大小可以判断弯曲程度。判断准则如下:

$$\begin{cases} d > 0, \text{右弯} \\ d = 0, \text{直弯} \\ d < 0, \text{左弯} \end{cases}$$

此外,对于步骤2)中区域生长的种子点的确定,可以通过历史数据(即前一时刻分割得到的分道线区域)或经验数据,以及分道线像素本身的灰度值特征来选择。

4 算法改进

4.1 最小二乘法的改进

实验发现,白色分道线中止于图像右边缘,用传统的最小二乘法可以达到满意效果;但白色分道线中止于图像下边缘,拟合效果存在明显的偏差,对识别算法影响较大。分析可知,传统的最小二乘法拟合是通过计算样本像素与拟合直线 y 方向的偏差累计值,使其达到最小来求直线方程。一部分图像下部的白色分道线的线条比较粗,而且其下边缘一般平行于 x 轴,如图3所示,其中(a)为某时刻的道路图像,(b)为放大示意

图,图中存在一个造成拟合偏差的三角形区域。这样,对其拟合必然造成拟合直线上方样本点的增加。因此,笔者提出:当分道线中止于图像右边缘时,采用累计 y 方向的偏差;当分道线中止于图像下边缘时,则累计 x 方向的偏差。累计 x 方向偏差的最小二乘法描述为:

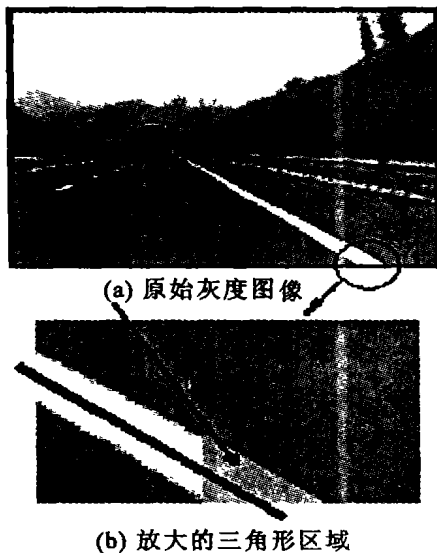


图3 分道线图像和放大图像

对于需要拟合的 N 个像素数据 $P_i(x_i, y_i)$, 设拟合的直线方程为 $x = ky + b$, 通过计算 $\min \sum_{i=1}^N (ky_i + b - x_i)^2$, 求出拟合直线的参数:

$$k = \frac{\begin{vmatrix} \sum x_i y_i & \sum y_i \\ \sum x_i & n \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \sum y_i^2 & \sum y_i \\ \sum y_i & n \end{vmatrix}}, b = \frac{\begin{vmatrix} \sum y_i^2 & \sum x_i y_i \\ \sum y_i & \sum x_i \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \sum y_i^2 & \sum y_i \\ \sum y_i & n \end{vmatrix}}$$

同时弯曲度也作相应改变:

$$d = \sum_i \frac{x_i - ky_i - b}{\sqrt{1 + k^2}}$$

4.2 区域生长算法的改进

在基于局部灰度相似性的区域生长中,生长阈值的确定是一个关键问题,通常的阈值是一个定值,但固定阈值的鲁棒性差。一个改进的方法是自适应方法。在本系统中,考虑到待分割的白色分道线与地面具有强烈的灰度对比,可以通过实时检测分道线的最高灰度值与车道路面的平均灰度值来动态调整阈值。该方法有助于减小光照变化对识别结果的影响,对算法的鲁棒性提高具有积极的意义。由于视频图像具有强烈的

相关性,识别结果也具有很好的相关性,历史数据和参数对当前的检测和识别具有很好的预测和指导作用。在大量实验的基础上,笔者总结出一种阈值选取方法:通过前几帧图像分割后得到的分道线求出道路区域像素灰度的最大值 G_m , 在图像下部一定大小的矩形块求出车道路面的灰度平均 G_d , 阈值 T 取

$$T = \frac{1}{5} |G_m - G_d|$$

实验证明,这种阈值改进方法效果很好,区域生长的鲁棒性得到提高。

实际测试发现,背景天空区域的灰度有时与分道线的灰度非常接近,特别在天气晴朗的环境下,这时区域生长很容易造成误分割。考虑到这种情况,在生长算法中加入了基于像素点位置的生长结束判断准则。根据3D透视投影原理^[7],粗略计算透视投影的灭点(消失点),可以大致确定天空与地面的分界线。这样,区域生长扩张到背景天空区域的几率将大大减小。

4.3 弯曲度计算(距离累计)的改进

在理想情况下,根据 d 的符号可以判断出弯道方向。但由于图像质量差别、噪声干扰、舍入误差等多种原因,即使对于直道, d 都不可能为0,而是在某一个范围内波动,即 $d \in (-d_{sh}, d_{sh})$ 因此,该范围内的 d 值对应的车道都可以认为是直道。为了突出偏离拟合直线的程度,将分道线上的每个点到拟合直线的距离进行了非线性拉伸,抑制了近处距离,突出了较远的距离。非线性拉伸函数采用指数函数 e^x 。

通过非线性拉伸后的距离计算公式为

$$\bar{d} = \text{sgn}(d) \cdot e^{|d|}$$

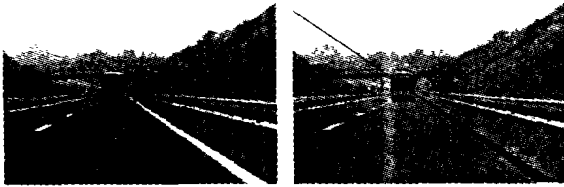
$$\text{其中 } \text{sgn}(x) = \begin{cases} 1, & x > 0 \\ 0, & x = 0 \\ -1, & x < 0 \end{cases}$$

由于非线性拉伸的作用,在弯道情况下 $\bar{d} \gg d_{sh}$, 分类的界限较为明显,误分类的概率较低。通过大量实验,得出的经验数据 $d_{sh} \approx 1.0 \times 10^4$

$$\text{改进后的判断准则成: } \begin{cases} \bar{d} > d_{sh}, & \text{右弯} \\ -d_{sh} < \bar{d} < d_{sh}, & \text{直道} \\ \bar{d} < -d_{sh} & \text{左弯} \end{cases}$$

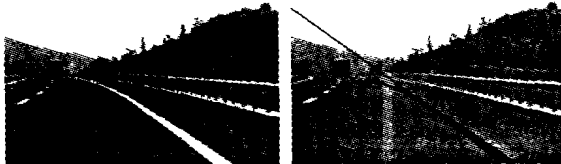
5 实验结果

用上述算法对多幅道路图像进行了识别和验证,实验证明算法效果很好。实验结果如图4-图6所示,其中(a)为原始图像,(b)为识别结果,图像上黑色区域为生长的结果和直线拟合结果。



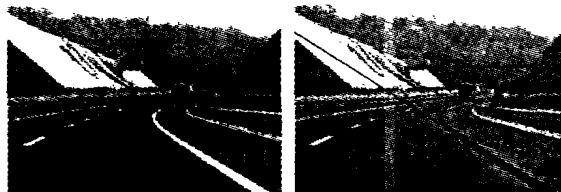
(a)原始图像 (b)识别结果 $d=623.3$

图4 直道图像处理结果



(a)原始图像 (b)识别结果 $d \approx -8.25 \times 10^{10}$

图5 左弯图像处理结果



(a)原始图像 (b)识别结果 $d \approx 8.48 \times 10^{14}$

图6 右弯图像处理结果

6 结论

通过对大量的实时道路图像进行验证测试,在多数情况下,该算法都能准确区分弯道的走向,而且计算复杂度均在应用要求规定的范围内。

为了进一步提高该算法的鲁棒性,减小光照变化带来的影响,一方面还需要对大量的道路情况作实验验证,另一方面也需要对众多的阈值进行自适应处理,例如加入神经网络用于最优阈值的选取等等。这将作为下一步研究和应用的重点。

参考文献:

- [1] 柴毅,黄席榭. 汽车驾驶智能型防碰撞系统研究[J]. 重庆大学学报(自然科学版),2001,24(4):38-41.
- [2] 黄席榭,柴毅. 汽车安全行驶智能辅助操作系统中的道路检测[J]. 重庆大学学报(自然科学版),2000,23(2):18-26.
- [3] 黄席榭,柴毅. 汽车智能辅助操作系统中的障碍物检测[J]. 重庆大学学报(自然科学版),2000,23(4):123-126.
- [4] 黄席榭,汪先矩. 基于道路几何模型的单目测距算法[J]. 重庆大学学报(自然科学版),2000,23(3):70-74.
- [5] 王文锐. 公路几何线性检测技术[M]. 北京:人民交通出版社,2001.
- [6] 章毓晋. 图像分割[M]. 北京:科学出版社,2001.
- [7] 贾云得. 机器视觉[M]. 北京:科学出版社,2002.

Recognition Algorithm of Motorway Curl Road

LIU Tao, HUANG Xi-yue, ZHOU Xin, LI Yu

(College of Automation, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: Road detection is a sub-system of vehicle intelligent auxiliary drive system, which includes such sub-projects as road segmentation and road recognition. The image from CCD camera is processed, and road line is abstracted from it through image process. Then the direction of the road, such as left or right, can be identified according to the road line. Because of the special requirement, i. e. the rigid real-time requirement, the algorithm adopted must have the very low time cost. Through many experiments, a kind of recognition algorithm is proposed based on region-growing process and curve fitting, which was verified to have good effect.

Key words: intelligent drive; computer vision; image segmentation; road recognition

(编辑 张 革)