

结合卡尔曼滤波器噪声分析的 车道线检测跟踪算法

郭克友, 王艺伟, 郭晓丽

(北京工商大学 材料与机械工程学院, 北京 100048)

摘要: 使用卡尔曼滤波对视频序列图像中的具体信息进行跟踪的研究目前是跟踪方向的一个热点; 但是在处理卡尔曼滤波跟踪过程中的过程噪声和测量噪声, 大部分研究普遍采用的是初始赋值; 通过不断的调整参数, 达到较好的跟踪效果; 但是这样做不但没有遵循原始数据的规律, 同时调整参数是一项耗时的工作; 基于这个原因, 提出了一种对卡尔曼滤波的过程噪声和测量噪声进行预估计的方法并将其应用到车道线跟踪过程中; 通过对一部分离线数据进行处理, 可以基本估计出系统的噪声参数; 最后采用车道线跟踪算法对论文中的方法进行验证, 实验证明, 提出的参数估计方法在车道线的跟踪过程中达到很好的效果, 同时处理每帧的时间为 50 ms 左右, 满足了实时性的要求。

关键词: 卡尔曼滤波; 噪声分析; 车道线检测; B 曲线; 控制点

Lane Detecting and Tracking Algorithm with Noise Analysis of Kalman Filter

Guo Keyou, Wang Yiwei, Guo Xiaoli

(School of Material Science and Mechanical Engineering, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China)

Abstract: Research of using Kalman filter to do specific information track in video image sequences is a hot topic in the tracking direction currently. But most researches processed the noise of Kalman filter by assigning a specific value in the initial step. By constantly tuning the parameters the algorithm can achieve better tracking results. However, working in this way not only did not follow the rules of the original data, but also adjusting parameters is a time-consuming job. For this reason, the paper proposes a Kalman filter process noise and measurement noise assignment algorithm which is used in lane detection. By processing part of the offline data, the algorithm can estimate the basic parameters of the noise. Use lane tracking to validate the algorithm in this article and experiments show that the proposed methods achieve good detection results while the time of processing each frame is about 50 ms which meet the real-time requirements.

Keywords: Kalman filter; noise analysis; lane detection; B spline curve; control points

0 引言

视频图像序列中目标的检测跟踪是智能视觉监控的重要课题, 也是后续更高级处理的基础。卡尔曼滤波以其对有限观测数据的需要和通过递推完成跟踪的优点得到了很多学者的青睐。其中也不乏有很多研究使用卡尔曼滤波进行车道线检测与跟踪。但是大部分对卡尔曼滤波进行应用时, 噪声的处理或者没有明确的给出, 或者是在跟踪之前设定一个初始值, 然后通过不断的对参数进行调整, 以达到更好的跟踪效果。武汉大学彭红的论文《基于扩展卡尔曼滤波器的车道线检测算法》^[1]中仅对噪声做了简要的介绍, 并没有对具体的赋值进行介绍。电子科技大学的马超在其论文《基于单目视觉的车道偏离预警系统设计》^[2]中提到了卡尔曼滤波过程中参数的赋值问题, 但是仅仅是赋值, 没有实际的分析所赋的数值是如何通过分析得到的。文章提出一种结合卡尔曼滤波跟踪过程中噪声分析的车道线检测跟踪方法。能够预先为跟踪过程设定合理的跟踪参数。

1 车道线检测算法介绍

通过对采集的视频进行图像预处理得到边缘图像后, 设置四部分感兴趣区域, 在每个感兴趣区域内使用 Hough 变换检测到直线^[3], 通过简化的 CHEVP 算法^[4]找到拟合左右车道线的控制点, 同时使用卡尔曼滤波跟踪对控制点进行滤波^[5], 保证拟合的稳定性, 最后使用 B 曲线拟合并绘制车道线^[6]。

1.1 图像预处理

对采集到的视频帧首先进行灰度化处理, 采用大小为 3×3 的核对灰度化后的图像进行双向滤波去除图像中的部分噪声, 对滤波后的图像进行阈值分割, 得到二值化的图像, 由于图像中会存在类似“毛刺”的部分, 所以对二值化的图像进行腐蚀去除“毛刺”的干扰^[7]。然后用 canny 算子检测图像中的边缘^[8], 虽然边缘检测算子可以根据像素间的差异检测出轮廓边界的像素, 但是并没有将轮廓作为一个整体。OpenCV 中 cvFindContours() 函数将这些边缘像素组装成轮廓, 更方便之后的直线检测。

1.2 寻找控制点

将预处理之后的边缘图像分为 4 个部分 (如图 1 所示), 从上到下依次编号为 1、2、3、4。由于第 1 区域的直线不容易检测, 因此只对 2、3、4 三个区域做处理。在每个区域内采用霍夫变换检测其中的直线。从图中可以看出, 由于车道线存

收稿日期: 2015-11-12; 修回日期: 2015-12-07。

基金项目: 交通运输部信息化科技项目(2012-364-835-110); 北京工商大学 2015 年研究生科研能力提升计划项目。

作者简介: 郭克友(1975-), 男, 博士后, 副教授, 硕士生导师, 主要从事汽车安全驾驶方向的研究。

在一定的宽度, 因此在使用霍夫变换检测车道线时在同一水平方向上会有两条直线, 为了之后算法的方便, 车道线近似的以内侧检测到的直线代替, 并延长该直线至其所在区域的边界。以第 4 区域为例, 如图 2 所示, 在视频序列中找到左右两边的车道线对应的直线 (图中所示的虚线) 的交点, 即消失点; 连接两条车道线的末端点并取其中点设为 $\text{control}[0]$; 连接消失点与中点得到的直线与 4 区域上边界交于一点, 设为 $\text{control}[1]$ 。令左右两侧直线的末端的端点为拟合车道线的第一个控制点, 分别为 $\text{leftControl}[0]$ 和 $\text{rightControl}[0]$ 。令左右两条虚线与 4 区域上边界交点之间的距离为 d , 则两侧车道线拟合所需的第二个控制点的横坐标分别为 $\text{Leftcontrol}[1] \cdot x = \text{Control}[1] \cdot x - d/2$; $\text{rightcontrol}[1] \cdot x = \text{Control}[1] \cdot x + d/2$; 纵坐标是 4 区域上边界的值。这样就分别得到了左右两侧车道线的两个控制点。然后在 3 区域中按照上述的方法分别寻找第 3 个控制点。需要注意的是, 如果第一步在 4 区域中没有同时检测到左右两侧的车道线, 则检测 3 区域中, $\text{leftControl}[0]$ 和 $\text{rightControl}[0]$ 按照上述求解 $\text{leftcontrol}[1]$ 和 $\text{rightcontrol}[1]$ 的方法求解。拟合左右两侧车道线的最后一个控制点按照 4 区域消隐点—3 区域消隐点—2 区域消隐点的顺序选取。目的是既可以避免控制点选取的遗漏, 同时也尽可能将拟合效果做到最好。所有的控制点选取完毕之后, 采用 B 曲线分别对左右两侧的车道线进行拟合。拟合效果见图 3。

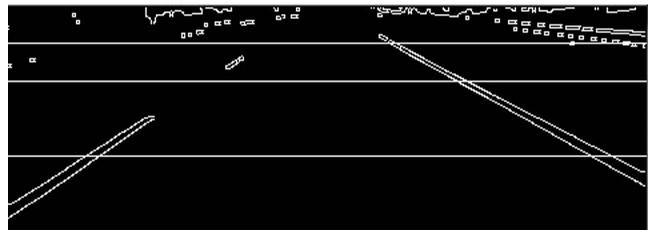


图 1 边缘图像划分为 4 个区域

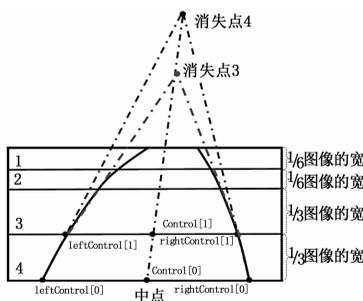


图 2 控制点选取原理图



图 3 控制点选取效果图

2 卡尔曼滤波跟踪

卡尔曼滤波是一种对动态系统的状态序列进行线性最小方

差估计的算法。通过状态方程和观测方程来描述一个动态系统^[9]。它的一个典型实例是从一组有限的, 包含物体位置和噪声的观察序列中预测出物体的坐标位置及速度。

2.1 卡尔曼滤波原理介绍

卡尔曼滤波估计是将系统的运行看作状态变换的过程, 将状态空间的理论利用数学方法进行模型建立, 利用一个 n 维的向量表示系统状态, 系统通过状态转移量和输入, 控制状态向量的变换。

卡尔曼滤波跟踪主要分为两个部分, 预测和更新^[10]。在预测阶段, 首先需要为系统赋上用于测量的系统初始状态的值, 为了能实现更好的跟踪效果, 论文采用前十帧图像为系统初始状态循环赋值, 以期达到最好的初态效果。初始状态赋值完成之后, 采用式 (1) 和式 (2) 完成系统的预测。

$$X_k^- = FX_{(k-1)} + Bu_{(k-1)} + w_k \quad (1)$$

$$P_k^- = FP_{(k-1)} F^T + Q_{(k-1)} \quad (2)$$

其中: X_k^- 表示 k 时刻系统通过对 $k-1$ 时刻的状态分析所做的先验估计。 F 是状态转移矩阵, 其隐含指示了 $n-1$ 时刻的状态会影响到 n 时刻的状态。 B 是控制输入矩阵, 其隐含指示了 n 时刻给的驱动如何影响 n 时刻的状态。 $u_{(k-1)}$ 是外界控制量。 w_k 是过程噪声。 $Q_{(k-1)}$ 是过程噪声的协方差矩阵。

在更新阶段, 首先使用式 (3) 计算新信息相对已知信息的权重, 得到权重之后就可以通过式 (4) 和式 (5) 计算最优更新值。

$$K_k = P_k^- H_k^T (H_k P_k^- H_k^T + R_k)^{-1} \quad (3)$$

$$x_k = \bar{x}_k + K_k (Z_k - H_k \bar{x}_k) \quad (4)$$

$$P_k = (I - K_k H_k) P_k^- \quad (5)$$

其中: H_k 是观测向量。通常情况下是单位矩阵, 但不一定是方阵。 Z_k 即测量值。 R_k 是测量噪声的协方差矩阵。

2.2 过程建模

论文采用的是最基本的卡尔曼滤波器, 因此被估计的信号, 即论文中八组控制点的横坐标的建模采用的是线性模型, 则其过程可以描述为如下模型。

$$x_k = Ax_{k-1} + Bu_{k-1} + w_{k-1} \quad (6)$$

其中: 增益矩阵 A 将上衣时刻的状态线性的映射到当前 K 时刻状态。矩阵 B 代表可选的控制输入 u 的增益, 论文中没有控制输入, 因此 B 矩阵为 0。 w_{k-1} 为过程激励噪声。

同时, 定义测量方程为

$$z_k = Hx_k + v_k \quad (7)$$

其中: 矩阵 H 表示状态向量 x_k 对测量变量 z_k 的增益, 在论文中为单位矩阵。 v_k 为观测噪声。

2.3 噪声分析

对于论文中系统的状态向量为左右车道线一共 8 个控制点的横坐标, 是一个 8×1 的向量。没有对纵坐标进行预测是因为论文中检测到的直线都被延长至相应区域的边界处, 所以纵坐标的值都是固定的。卡尔曼滤波要求过程噪声和测量噪声满足高斯分布^[11], 在这里将视频图像处理中真实值默认是测量值。过程噪声的获得借鉴了参考文献 [12] 中的方法。即从视频序列中找到三幅连续的图像, 编号为 $n, n+1, n+2$, 则对应于这三帧图像任意一个控制点的横坐标为 x_n, x_{n+1}, x_{n+2} , 这样横坐标在第 $n+1$ 幅图像中的导数为

$$x'_{n+1} = (x_{n+1} - x_n) / \Delta T \quad (8)$$

这里 ΔT 代表相邻两幅图像的时间间隔, 然后估计第 $n+2$

幅图像的参数

$$\hat{x}_{n+2} = x_{n+1} + x'_{n+1}\Delta T \quad (9)$$

则估计值和真实值之间的误差即为

$$error = x_{n+2} - \hat{x}_{n+2} \quad (10)$$

通过对八组数据进行数据分析, 得到其分布如图 4 所示。同时用 matlab 的 cftool 工具对这些误差值进行高斯分布拟合, 得到其参数值如表 1 所示。

表 1 过程噪声高斯分布参数表

第 n 组数据	高斯分布均值	高斯分布标准差
1	-0.4773	2.16
2	-0.06095	1.411
3	-0.4446	0.8446
4	0.3185	1.301
5	0.05245	1.895
6	0.1835	1.335
7	-0.01709	1.063
8	0.3185	1.301

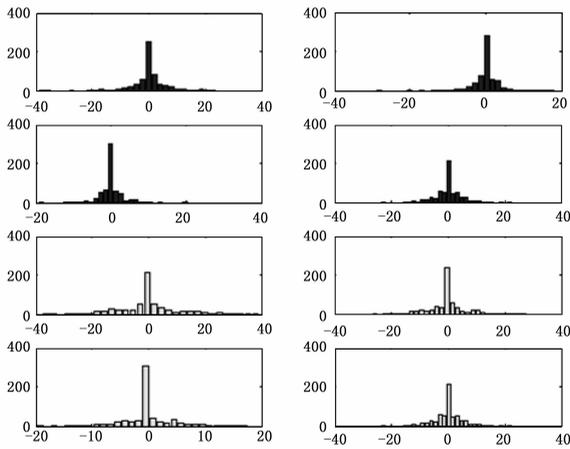


图 4 过程噪声高斯分布图

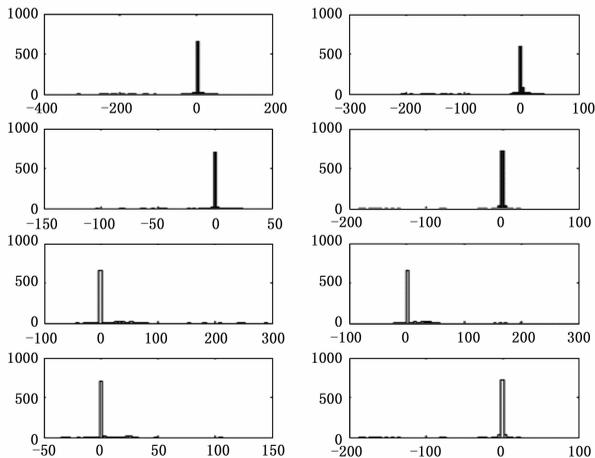


图 5 测量噪声分布图

由表 1 可得, 高斯分布的均值基本在 0 附近, 标准差基本在 1.5 左右附近, 为了算法实时性的要求, 对这八组噪声做独

立同分布处理, 即其高斯分布的均值为 0, 标准差为 1.5。对于测量噪声, 将公式 (7) 做一下变形, 即

$$v_k = z_k - Hx_k \quad (11)$$

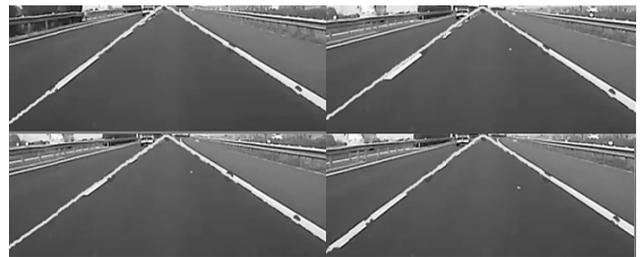
将测量值减去每一次的预测值即得到了观测噪声, 如图 5 所示。从图中可以看到测量噪声很小, 且在 0 值附近波动。因此为测量噪声赋值 0 均值同时标准差较小的高斯分布。

2.4 控制点选取

由于卡尔曼滤波依赖于前一帧的检测状态, 因此前一帧结果的准确与否直接影响了下一帧的结果。所以在使用测量值对更新值进行计算时, 测量值的选取遵循以下原则: 如果上一帧中的预测值和由 2.2 节中得到的测量值做差值在一定范围内 (论文中该范围为 20 像素), 则使用测量值做更新计算。如果超出给定的范围则使用预测值做更新计算, 这样避免了测量值的不准确造成的跟踪失败。

3 实验结果分析

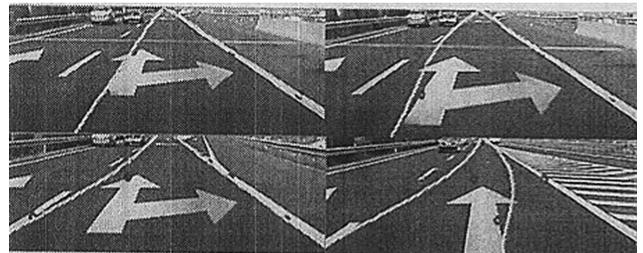
实验对直道、前方存在路标干扰以及有遮挡分别进行了测试。实验结果如图 6 所示。同时与仅使用 CHEVP 算法的效果



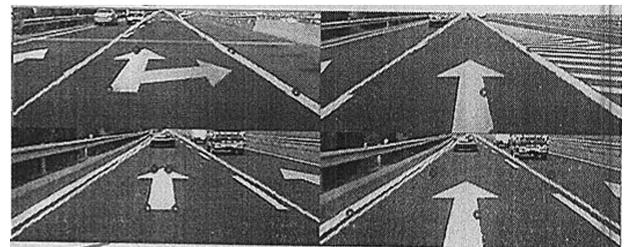
(a) 直线道路检测



(b) 车辆遮挡检测



(c) 路标干扰检测 (CHEVP)



(d) 路标干扰检测 (论文算法)

图 6 实验结果

