

基于消失点迭代重估的道路边缘检测

刘鹏辉* 李岁劳 何颖
(西北工业大学自动化学院 西安 710129)

摘要: 传统道路边缘检测算法很少能用于乡村道路。该文提出基于消失点迭代重估的道路边缘检测方法: Gabor滤波器估计像素纹理方向,同时计算对应的置信度;根据纹理方向,由置信度大于阈值的像素投票确定初始消失点;以初始消失点为起点,向下建立一组射线,并计算由颜色差和二倍角正弦函数加权的方向一致率,将最大值对应的射线作为初始道路边缘;交替采样两侧边缘,选取最优消失点,由此得到两条道路边缘。实验测试了不同类型的乡村道路图片,并与经典算法对比。结果表明该方法在乡村道路中具有较高精度与鲁棒性。

关键词: 模式识别; 道路边缘检测; 消失点迭代重估; Gabor滤波器; 纹理方向

中图分类号: TP391.4

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2014)07-1619-06

DOI: 10.3724/SP.J.1146.2013.01203

Road Edge Detection Based on Vanishing Point Iteration Revaluation

Liu Peng-hui Li Sui-lao He Ying

(School of Automation, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710129, China)

Abstract: Few traditional road edge detection algorithms can be employed in rural road. An edge detection method based on vanishing point iteration revaluation is presented in this paper. Firstly, the texture orientation of pixel is estimated by Gabor filter, and the corresponding confidence is computed. Secondly, according to the texture orientation, the initial vanishing point is voted by pixels which their confidence are greater than threshold. Thirdly, with the initial vanishing point as starting point, a group of imaginary downward rays are founded, then the orientation consistency ratio weighted by both color difference and double-angle sine function is calculated, and the ray with maximum value is selected as the first road edge. Finally, the optimum vanishing point is given by sampling bilateral edges alternately, and thus two road edges are obtained. A variety of rural road pictures are tested by experiment, and some comparisons are made with the traditional algorithm. The results indicate the method is accurate and robust in rural road.

Key words: Pattern recognition; Road edge detection; Vanishing point iteration revaluation; Gabor filter; Texture orientation

1 引言

近年来,国内外关于道路边缘检测技术的研究大多集中在结构化道路上,虽然取得了较好的研究成果,但在实际应用中,经常会遇见没有明显标志的道路,如乡村道路、沙漠公路等。因此,找到一种抗干扰性强、精度高的非结构化道路边缘检测算法具有重大意义。

针对非结构化道路检测,文献[1-4]采用传统的基于道路特征的方法,如颜色、块大小及纹理等,均容易受阴影及光照等影响。文献[5,6]采用基于道路模型的方法,不仅计算量大,而且检测精度低,容易受噪声干扰。这些传统检测方法受其本身的制约,导致其应用范围受限。为了克服这些不足,文

献[7]提出采用纹理方向和消失点结合的方式检测道路边缘。该方法不仅克服采用单一特征的局限,而且对阴影、水渍及光照具有很强的抗干扰性,大大提高了边缘检测精度。文献[8-10]在此方法的基础上作了进一步改进,区别在于消失点的估计方式。文献[8]在消失点获取方式上有两个特点:一是限定只有置信度大于阈值的像素才能对消失点投票;二是提出软投票算法。文献[9]的特点是在硬投票法的基础上增加了距离权重。这些改进虽然减小了消失点的估计误差,但都是以初始消失点为约束来检测道路边缘,容易导致边缘检测失败。

本文针对以上不足,提出通过迭代的方式估计消失点与道路边缘。实验结果证明,本文算法不仅消失点的估计精度高,而且大大提高了边缘检测精度。主要工作体现在以下3个方面:(1)算法采用了改进的硬投票算法;(2)用二倍角正弦函数对方向

一致率(Orientation Consistency Ratio, OCR)加权;
(3)采用循环迭代的方式更新消失点和边缘。

2 道路边缘检测算法

2.1 Gabor 滤波器原理

Gabor 函数是唯一能够达到空域和频域联合测不准关系下界的函数^[11],用 Gabor 函数形成的 2 维 Gabor 滤波器具有在空间域和频率域同时取得最优局部化的特性,因此能够很好地描述对应于空间频率(尺度)、空间位置及方向选择性的局部结构信息。本文采用文献[12]推导出来的 2 维 Gabor 小波表达式:

$$\varphi(x, y, w, \phi) = \frac{w}{\sqrt{2\pi} \cdot k} e^{-\frac{w^2}{8k^2}(4u^2 + v^2)} \cdot (e^{iuv} - e^{-k^2/2}) \quad (1)$$

其中, $u = (x \cos \phi + y \sin \phi)$, $v = (x \sin \phi + y \cos \phi)$, w 是径向频率, ϕ 是小波方向; x, y 为 Gabor 小波中心坐标, k 是个常数, 它的值由带宽确定。参数选取: $\sigma = \frac{k}{w}$, $k = \sqrt{2 \ln 2} \cdot \left(\frac{2^{bw+1}}{2^{bw-1}} \right)$, bw 为带宽, λ 是波长, $w = 2\pi/\lambda$ 。本文中, $bw = 1, \lambda = 4$ 。

2.2 纹理方向估计

文献[10]采用广义高斯-拉普拉斯滤波器 gLoG (generalized Laplacian of Gaussian)和文献[13]采用扩展的 Gabor 滤波器来提取纹理方向,它们主要是为了快速获取纹理方向,性能并没有 Gabor 滤波器稳定。本文重点在于验证消失点迭代重估可以提高边缘检测精准度,考虑到 Gabor 滤波器精度较高,采用它作为本文的滤波器比较合适。

设 $I(x, y)$ 是图像 I 在 (x, y) 处的灰度值,滤波器的输出值是图像 I 与式(1)卷积得到的,计算公式为

$$\mathbf{G}_{w,\phi} = \mathbf{I} \otimes \varphi_{w,\phi} \quad (2)$$

其中, w, ϕ 分别为 Gabor 滤波器的尺度和方向;由于滤波器尺寸按尺度的指数增长。若直接计算卷积值的话,需要 N^2 次复乘法运算和 $N(N-1)$ 复加法运算。为了加快算法执行速率,本文采用 FFT 来计算卷积,把时间复杂度降到 $N(\log_2 N)$ ^[14]。根据卷积理论,式(2)等效于

$$F(\mathbf{G}_{w,\phi}) = F(\mathbf{I}) \cdot F(\varphi_{w,\phi})$$

推出

$$\mathbf{G}_{w,\phi} = F^{-1}\{F(\mathbf{I}) \cdot F(\varphi_{w,\phi})\} \quad (3)$$

其中, $F(\bullet)$ 代表 Fourier 变换。本文采用 $\mathbf{G}_{w,\phi}$ 的幅值 $\mathbf{S}_{w,\phi}$ 来描述滤波器的输出大小,数学表达式为

$$\mathbf{S}_{w,\phi}(x, y) = \sqrt{\text{Re}(\mathbf{G}_{w,\phi}(x, y))^2 + \text{Im}(\mathbf{G}_{w,\phi}(x, y))^2} \quad (4)$$

设 N_w 为尺度 w 的个数, N_ϕ 为方向 ϕ 的个数。对于任意像素,都有 $N_w \times N_\phi$ 个输出值与之对应。将尺度维 w 平均,可得到 N_ϕ 个方向值,也就是

$$\mathbf{R}_\phi(x, y) = A_w \mathbf{S}_{w,\phi}(x, y) \quad (5)$$

其中 A 表示求平均值。在 \mathbf{R}_ϕ 中,最大值对应的 ϕ ,即为像素的纹理方向。

$$\alpha(x, y) = \text{Arg max}_\phi \mathbf{R}_\phi(x, y) \quad (6)$$

另外,本文采用置信度描述像素的可靠性程度。文献[8]采用的置信度表达式为

$$\text{Conf}(z) = 1 - \frac{A(D_5(z), \dots, D_{15}(z))}{D_1(z)} \quad (7)$$

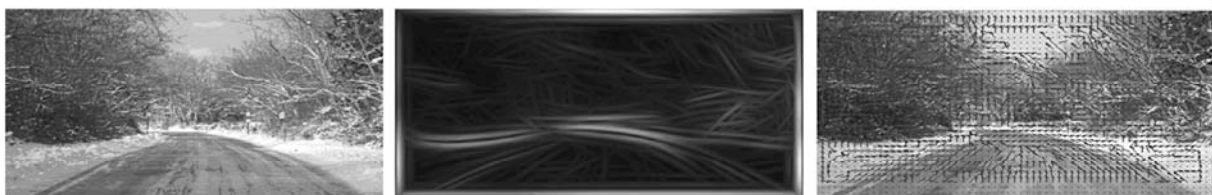
D 为从大到小排序后的值,对应 D_1 为最大方向值。在灰度均匀区域, D_1 很小甚至为 0,这就使式(7)失去意义。为了避免这个不足,本文直接采用归一化的 $\hat{C}(z)$ 来定义像素 z 的置信度。其表达式为

$$\hat{C}(z) = \frac{D_1(z)}{\max(\mathbf{M}(z))} \quad (8)$$

$\mathbf{M}(z)$ 为与图像大小相同的矩阵,其元素值为像素 z 的最大输出值。图 1(a)为本文处理的原图像,图 1(b)为归一化输出值。由图可知,在灰度较均匀的区域,滤波器输出值较小,其对应的置信度也较低。而图像四周出现较大输出值,是因为 FFT 算法在计算卷积时,若图像的长和宽不是 2 的幂数,会自动扩展原图像,以至于算法误将图像四周视为边缘所致。为了避免该部分像素对投票的影响,本文将它们的置信度设为 0。图 2 为最终的纹理方向图,由图可知,置信度小于阈值(本文为 0.1)的像素纹理方向均被抑制了。

2.3 消失点估计

几何上一条世界坐标系下的直线的消失点由平行于该直线并过摄像机中心的射线与图像平面的交



(a)原图

(b)归一化输出值

图1 滤波器输出值

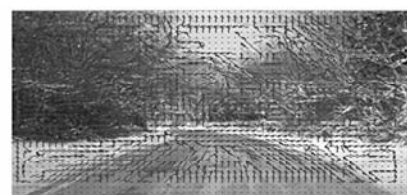


图2 纹理方向估计结果

点得到^[15]。道路两侧边缘是平行的，因此它们在图像中的投影会相交于道路消失点，以下简称消失点。在本文中，消失点分两个阶段估计，一是通过投票的方式确定初始消失点位置；二是以迭代方式，不断地更新消失点及道路边缘，直到前后两次更新的消失点距离小于阈值。

2.3.1 初始消失点估计 文献[16,17]采用的是基于直线段的消失点估计方法，主要应用在结构化道路中，虽然估计精度高，但容易受车辆、阴影等干扰。由于非结构化道路边缘不明显，本文将梯度方向改进为纹理方向，仍然以投票的形式估计消失点。常见的投票方式有硬投票法和软投票法，区别在于前者未考虑距离因素，可能导致高位区域获得更多票数。文献[18]在软投票法的基础上添加了道路主方向信息，而道路主方向由 Canny 算子得到，这导致大部分弱边缘信息都丢失了，影响投票结果。无论是硬投票还是软投票法，投票结果都是提供一个初值，不会对最终检测结果有所影响，但采用硬投票方法可以更明显地看到消失点的变化轨迹。设 $p(x,y)$ 为图像的像素点， $\alpha(p)$ 为对应的纹理方向，过 $p(x,y)$ 建立方向为 α 的射线： $r_p = (p, \alpha(p))$ 。对射线经过的每一个位置进行投票，具体过程为：

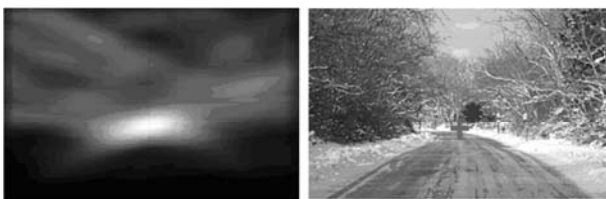
(1)将图像宽、高均分成 N 等份，本文 $N=100$ ，并建立一个与图像块一一对应的 2 维数组，数组元素的初始值设为 0；

(2)记录射线 r_p 经过的所有图像块位置，将对应的数组元素值加 1；

(3)所有像素投票之后，统计 2 维数组各元素的值，将最大值对应的图像块中心作为消失点的位置。

图 3(a)是将数组元素值归一化后的结果，图 3(b)十字形点为估计的消失点位置，星形点为手工标记的消失点位置。由图可知，第 1 次得到的消失点，距离实际消失点位置较远。若以它为约束定位道路边缘，将产生一定误差，因此需要对初始消失点更新。

2.3.2 初始道路边缘定位 道路边缘可以通过消失点检测，其具体过程为：(1)以消失点为起点，向下依次每隔 $\Delta\theta$ 作一条射线，本文 $\Delta\theta = 5^\circ$ ，射线角度



(a)投票结果图 (b)消失点位置对比

图 3 初始消失点位置估计

范围在 $10^\circ \sim 170^\circ$ 内；(2)将射线的邻域作为感兴趣区域，如图 4 中 $A1$ 和 $A2$ ，顶角均为 5° ；(3)统计该区域内，纹理方向 α 与射线方向 θ 之差在 5° 内的像素比例，即为方向一致率(OCR)，并将最大值对应的射线作为道路边缘。

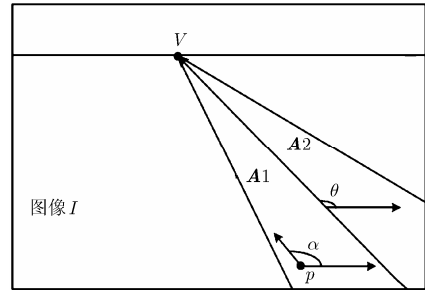


图 4 感兴趣区域

图 5 星形点给出了初步统计结果。由图可知，道路中间部分对应的值不太稳定。由于道路中间部分颜色变化较小，本文采用文献[8]中的颜色差信息进行抑制。颜色差的定义：

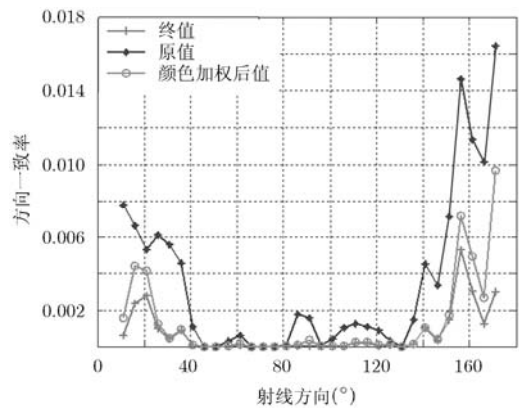


图 5 方向一致率计算结果

$$\text{diff}(A1, A2) = \max\{\text{diff}(A1, A2)_c \mid c = R, G, B\} \quad (9)$$

$$\text{diff}(A1, A2)_c = \frac{|\text{mean}(A1) - \text{mean}(A2)|}{\sqrt{\text{var}(A1) + \text{var}(A2)}} \quad (10)$$

$A1, A2$ 为感兴趣区域中，以射线隔开的俩相邻区域。 $\text{diff}(A1, A2)$ 为 R,G,B 通道对应最大的颜色差值。图 5 中圆形点为采用颜色差信息加权后的结果，由图可知，加权后道路中间部分的值明显被抑制了，但左右两边的值变化并不明显。通常情况下，车辆正常行驶时，正前方为道路区域，两侧边缘在图像中的投影不会出现在水平或垂直方向上。为了降低左右两边统计值，本文采用二倍角正弦函数 $\sin(2\theta)$ 再次加权，表达式为

$$MS = \arg \max_i (\sin(2\theta) \times \text{diff}(A1, A2) \times \text{OCR}_i) \quad (11)$$

OCR_i 表示第 i 条射线对应的方向一致率。图 5 中的十字形点为最终的计算结果。图中显示, 中间部分的值在颜色差信息加权之后, 已经变得很小了, 再乘以二倍角正弦函数, 其变化也不会太大。而左右两边的值在加权之后, 下降幅度各不一样, 比较明显的是最右边的值。

根据道路边缘的定位规则, 即选择最大值 MS 对应的射线作为道路边缘。图 6 画出了道路的初始边缘, 由图可知, 算法很好地检测出其中一条边缘。对于另一条边缘, 文献[8]采用的方法是通过已检测的边缘采样, 并对每个采样点(候选消失点)运用边缘定位规则。该方法的不足是没有对第 1 次检测的道路边缘再次更新。



图 6 道路初始边缘

2.3.3 消失点迭代重估 初始投票产生的消失点, 可能与真实消失点具有较大的偏差。本文通过迭代的方式不断地更新消失点及道路边缘, 终止条件是前后两次更新的消失点相距不超过设定阈值(本文设为 5)。如图 7 所示, 假设 L_i 为第 i 次检测到的边缘, vp_i 为其消失点。具体过程如下:

(1)在 L_i 上, 以 vp_i 为中心, 取长度为 100 的直线段, 依次每隔若干个像素采样(图中 S_1, S_2, \dots, S_5 为采样点), 并计算对应的 MS 值;

(2)比较所有 MS 的值, 将最大值对应的采样点(假如为 S_3)作为最新消失点, 记为 vp_{i+1} ; 将它对应的射线作为另一条边缘, 记为 R_i ;

(3)如图 8 所示, 将 R_i 作为参考边缘, 重复上述步骤, 得到消失点 vp_{i+2} 及另一条边缘 L_{i+1} , 至此, 完成一次迭代过程;

(4)重复迭代, 直到 $|vp_{i+2} - vp_{i+1}| \leq 5$ 则停止迭代。

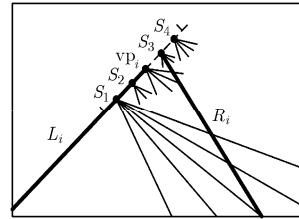


图 7 以左边缘为参考边缘

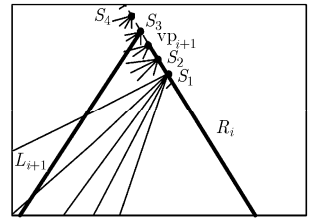


图 8 以右边缘为参考边缘

在不同道路环境下, 消失点及道路边缘估计结果如图 9 所示, 虚线为第 1 次检测到的边缘, 实线为最终检测到的两条边缘。十字型点为初始估计的消失点, 向两边绘制实线边缘的星型点为最终估计的消失点, 另一个星型点为手工标注的参考消失点(下同)。由图可知, 通过不断地迭代更新, 消失点会逐渐向真实消失点收敛。并且消失点估计得越好, 得到的道路边缘精准度越高。由图 9(c)显示的结果可知, 第 1 次检测到的边缘, 并不是所需要的, 通过迭代更新后, 得到了正确的边缘。

3 实验结果

实验以双核 E7400, 4.0 G 内存 PC 机为硬件平台, 在 Windows XP 系统下以 MATLAB R2012a 作为开发工具, 测试图片大小为 320×180 像素。实验分成 3 个部分, 一是验证消失点检测算法的精度; 二是验证算法对于不同环境的适应性; 三是通过对比验证道路边缘检测算法的精准度。

第 1 部分实验分成两组, 第 1 组是在结构化道路中进行的, 道路图像取自于西安 S107 公路跑车视频。主要与文献[16]的消失点估计算法对比, 因为该文献采用的 Hough 变换法在结构化道路中能达到较高的精度。消失点精度对比结果如图 10 所示, 实心点为文献[16]算法的检测结果, 空心点为本文算法检测结果。由图可知, 本文消失点估计算法能达到与 Hough 变换法相近的精度。第 2 组是在非结构化道路中进行, 主要与文献[8]比较, 道路素材取自于 DARPA Grand Challenge 赛事使用的视频。该文献采用软投票法估计消失点, 其相对硬投票法具有更高的估计精度。与本文检测的消失点对比结果如图 11 所示, 实心点为文献[8]算法的检测结果, 空心点



图 9 消失点重估和道路边缘检测结果

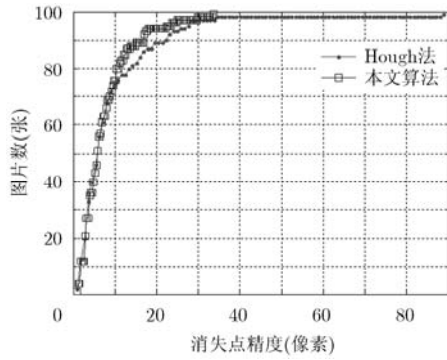


图 10 与文献[16]消失点对比

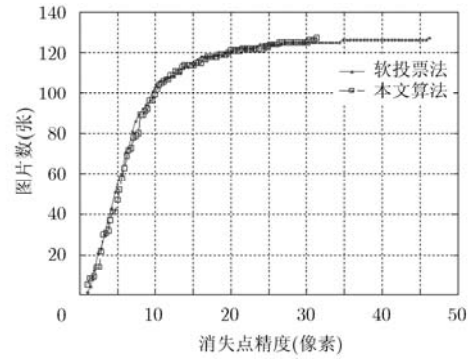


图 11 与文献[8]消失点对比图

为本文算法检测结果。由图可知，两者曲线几乎重合，说明本文改进的硬投票法与软投票法精度相近。综上所述，本文消失点估计算法在保证精度的基础上，相对 Hough 变换法适用范围更广，且具有较高的抗干扰性。虽然算法是基于硬投票法改进的，但通过抑制重复投票以及迭代更新，使算法在非结构化道路中能达到与软投票法相近的精度，并且硬投票法相对软投票具有处理速度快的优势。

第 2 部分在 4 组不同环境下的道路图片上实验，图 12 为算法对受强阴影干扰的道路边缘检测结果，虚线为算法检测到的第 1 条边缘。图 13 为算法对具有大面积水渍路面的检测结果。从以上两种检测结果可知，算法具有较高的鲁棒性，这是由于杂乱边缘纹理方向毫无规则，对增加方向一致率帮助不大。图 14 为算法对“非正常”行驶条件下的道路边缘检测结果，“非正常”是指车辆拐弯或车辆行驶方向与道路方向偏差较大的情况，此时的边缘只能作近似拟合，且主要是拟合近处边缘。图 15 为算法对与环境颜色相近的道路检测结果，以上两种检测结果说明算法具有较强的适应性。若道路边缘纹理不清晰或较弱，则有可能检测失败，如图 16 所示。

第 3 部分主要与文献[8]对比道路边缘检测精准度，用以验证本文采用的迭代重估方法具有更高的检测精准度。为了方便比较，本文采用文献[8]中的衡量标准，精准度的定义：

$$R = \frac{B_t \cap B_s}{B_t \cup B_s} \quad (12)$$

其中， B_t 是手动标出的道路区域， B_s 是算法检测出的道路区域。 $B_t \cap B_s$ 表示二者交集，即共同部分； $B_t \cup B_s$ 表示二者并集。若 R 值越大，说明检测精确度越高，理想的情况是 R 为 1。

由于文献[8]没有更新第 1 次检测的道路边缘，虽然估计的消失点精度高，但却错误地定位边缘，如图 17 所示。通过与文献[8]对比边缘，可以验证消失点迭代更新算法的有效性。图 18 给出了边缘精准度对比结果，实心点为文献[8]的结果，空心点为本文结果。为了直观，图中的精准度是由 1 和原精准度值做差得到的。横向值越大，表示实际精准度越低，因此将检测失败的值(大于 0.4)全置为 0.4。由图 11 和图 18 对比可知，在消失点估计精度相近的情况下，本文正确检测率(图中精准度小于 0.2 的图片比例)要高于文献[8]。由此说明本文消失点迭代更



图 12 强阴影干扰路面

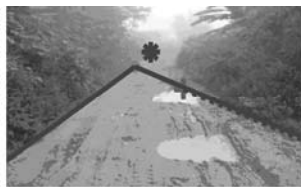


图 13 积水、反光路面图



图 14 弯曲路面



图 15 路面和环境颜色相近情况



图 16 检测失败的情况



图 17 与文献[8](右)比较检测的边缘

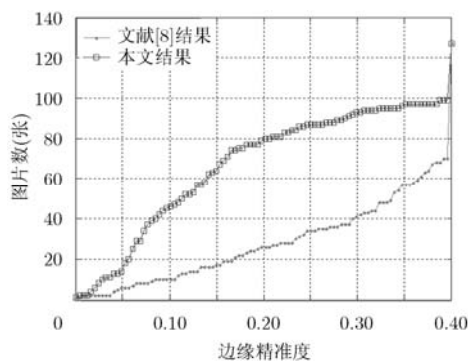


图 18 与文献[8]边缘检测精度对比

新算法具有更高的精度。

综合以上实验结果可知, 本文采用的道路边缘检测方法不仅适用范围广, 抗干扰性强, 而且具有更高的边缘检测精度。

4 结束语

本文首先介绍了纹理方向估计消失点的基本原理, 并在此基础上提出改进的硬投票算法。通过实验证明, 以迭代的方式更新消失点, 可以提高消失点估计精度。为了验证消失点估计的精度与鲁棒性, 本文选择与精度更高的 Hough 变换法和软投票法比较, 结果表明迭代更新后的消失点能达到与该两种方法相近的精度。另外, 本文还与文献[8]在边缘检测精度方面作了对比, 结果表明在消失点估计精度相近情况下, 本文检测的道路边缘精度更高。由此说明, 本文提出的道路边缘检测方法不仅适用于结构化道路, 而且能有效地应用于乡村道路。

参考文献

- [1] Wang Jian, Sun Si-si, Gong Jing-chao, *et al.* Research of lane detection and recognition technology based on morphology feature[C]. Control and Decision Conference (CCDC), Guiyang, China, 2013: 3827-3831.
- [2] Zhang Jin-you and Nagel H H. Texture-based segmentation of road images[C]. Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Paris, France, 1994: 260-265.
- [3] Hu Ming-hao, Yang Wen-jie, Ren Ming-wu, *et al.* A vision based road detection algorithm[C]. Robotics, Automation and Mechatronics, Singapore, 2004, 2: 846-850.
- [4] Miranda A N and Rittner L. A simple and efficient road detection algorithm for real time autonomous navigation based on monocular vision[C]. Proceedings of the 2006 IEEE 3rd Latin American Robotics Symposium, Santiago, Chile, 2006: 92-99.
- [5] Crisman J D and Thorpe C E. UNSCARF, a color vision system for the detection of unstructured roads[C]. Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation, Sacramento, USA, 1991: 2496-2501.
- [6] Chen Yong and He Ming-yi. Sharp curve lane boundaries projective model and detection[C]. 2012 10th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN), Beijing, China, 2012: 1188-1193.
- [7] Rasmussen C. Grouping dominant orientations for ill-structured road following[C]. Proceedings of the 2004 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Washington, USA, 2004, 1: 470-477.
- [8] Kong Hui, Audibert J Y, and Ponce J. General road detection from a single image[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2010, 19(8): 2211-2220.
- [9] Moghadam P, Starzyk J A, and Wijesoma W S. Fast vanishing-point detection in unstructured environments[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2012, 21(1): 425-430.
- [10] Kong Hui, Sarma S E, and Tang Feng. Generalizing Laplacian of Gaussian filters for vanishing-point detection[J]. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2013, 14(1): 408-418.
- [11] Turner M. Texture discrimination by Gabor function[J]. *Biological Cybernetics*, 1986, 55(2/3): 71-82.
- [12] Tai S L. Image representation using 2D Gabor wavelets[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1996, 18(10): 959-971.
- [13] Miksik O. Rapid vanishing point estimation for general road detection[C]. IEEE International Conference on Robotics and Automation, Saint Paul, MN, 2012: 4844-4849.
- [14] Sanjit K M 著. 彭启琮译. 数字信号处理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009: 235-237.
- [15] Richard H, Andrew Z 著. 韦穗, 杨尚骏, 章权兵, 等译. 计算机视觉中的多视图几何[M]. 合肥: 安徽大学出版社, 2002: 149-151.
- [16] Qin Xun-hui, Ma Rong, and Li Sui-lao. A robust method for vanishing point estimation in road image[C]. International Conference on Digital Manufacturing & Automation, Hunan, China, 2011: 105-108.
- [17] 陈付幸, 王润生. 一种新的消失点检测算法[J]. 电子与信息学报, 2006, 28(8): 1458-1462.
- [18] Xu Cheng, Mi Chao, Chen Chao, *et al.* Road detection based on vanishing point location[J]. *Journal of Convergence Information Technology*, 2012, 7(6): 137-145.

刘鹏辉: 男, 1989年生, 硕士生, 研究方向为图像处理与智能车辆导航。

李岁劳: 男, 1964年生, 副教授, 研究方向为惯性导航与组合导航。

何颖: 男, 1983年生, 博士生, 研究方向为惯性导航与组合导航。