

基于垂线包络和平行线对的城市道路图像 消失点检测算法

丁伟利¹ 李 勇^{1*} 王文锋¹ 邹媛媛²

¹ 燕山大学电气工程学院, 河北 秦皇岛 066004

² 中国科学院沈阳自动化研究所扬州工程技术研究中心, 江苏 扬州 225127

摘要 从单幅图像中识别道路消失点,是无人驾驶、智能导航等领域的关键技术之一。针对城市典型道路和街道图像,提出了一种新的基于垂线包络和平行线对的城市道路图像消失点检测算法。提取单幅图像中的所有平行线对,利用图像中存在的竖直线,提出了竖直区域的包络线估计方法,并实现了对道路区域的分割,有效提取了道路区域内的平行线对。使用方向分组策略将道路区域平行线分成两类,并对近似对称的直线对求交点。利用 C-means 聚类和统计相结合的方法估计了城市道路场景中的消失点。实验结果表明,该算法能够准确有效地估计城市道路场景中的消失点。

关键词 机器视觉;消失点;城市道路;平行线;单幅图像

中图分类号 TP391.9 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS201434.1015002

Vanishing Point Detection Algorithm for Urban Road Image Based on the Envelope of Perpendicular and Parallel Lines

Ding Weili¹ Li Yong¹ Wang Wenfeng¹ Zou Yuanyuan²

¹ Institute of Electrical Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao, Hebei 066004, China

² Yangzhou Engineering Research Center, Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Yangzhou, Jiangsu 225127, China

Abstract Identifying the road vanishing point from a single image is one of the key technologies in unmanned, intelligent navigation and other areas. A new vanishing point detection algorithm based on the envelope of perpendicular and parallel lines is proposed for typical urban road and street images. All parallel line pairs in a single image are extracted, vertical lines present in the image are used to propose an envelope estimation method to segment the road area and extract the parallel line pairs in the road area effectively. Grouping in different directions is used to divide the road parallel lines into two categories, and the intersections of the approximately symmetrical lines are solved. By using the C-means clustering and statistical method, the vanishing point in the city road scene is estimated. The experimental results show that the proposed algorithm can estimate the vanishing point in the urban road scene accurately and effectively.

Key words machine vision; vanishing point; urban road; parallel lines; single image

OCIS codes 150.0155; 200.3050; 110.2960; 100.4999

1 引 言

从单幅图像中识别道路消失点^[1],是三维重建与深度推理^[2-3]、机器人导航和定位^[4]、道路识别^[5]

的关键,在智能交通、机器人导航、无人驾驶车、交通安全预警等领域具有重要的应用价值。

消失点检测是计算机视觉中的经典问题之一,

收稿日期: 2014-04-17; **收到修改稿日期**: 2014-05-20

基金项目: 国家自然科学基金(61005034)、河北省自然科学基金(F2012203185)、江苏省自然科学基金(BK2011453)、秦皇岛市科学技术研究与发展计划(2012021A054)

作者简介: 丁伟利(1979—),女,博士,副教授,主要从事计算机视觉方面的研究。E-mail: weiye51@ysu.edu.cn

* **通信联系人**。E-mail: 842384077@qq.com

本文电子版彩色效果请详见中国光学期刊网 www.opticsjournal.net

已经提出的方法主要有空间变换法、级联 Hough 变换方法和直接法三类。其中,第一类方法运用空间变换的技术进行消失点检测,比较常用的方法为 Barnard^[6] 提出的高斯球法,其主要思想是将图像平面映射到高斯球上,在高斯球面上建立直线特征直方图,然后通过极值点检测确定消失点。该方法把有限远和无限远的消失点用同样的方法对待,可以有效检测多个消失点,但要求摄像机内参已知,算法复杂度为 $O(n^3)$,效率较低,不利于实时处理的需求。第二类方法是应用几个连续的 Hough 变换,一个 Hough 变换的输出作为下一个 Hough 变换的输入,并来回切换,在每个单一 Hough 变换后的空间中,通过某种滤波器检测落在同一条正弦曲线上的局部峰值来检测消失点^[7],并在不同层级进行遍历。这种方法无需已知摄像机参数,但目前尚未设计出有效的滤波器,效率较低。第三类方法直接在图像空间中对消失点进行检测,其主要思路是首先检测图像中的直线,然后通过投票、聚类分析^[8]、统计估计的方法^[9]估计消失点,这类方法不依赖于直线定位精度和摄像机参数,但无穷远消失点较难估计。如陈付幸等^[10]在原始随机抽样一改性(RANSAC)算法消失点检验前,加入一个预检验步骤,过滤掉大量偏差较大的消失点,提出基于预检验的随机抽样一致性(PERANSAC)消失点估计算法;王永忠等^[11]通过积分图技术实现了纹理特征的快速复响应,并利用正交校正及多样性投票方法,实现非结构化道路消失点检测;孙愿等^[12]对图像进行预处理,利用全局道路特征,将道路分为4类并粗略定位道路区域,根据分类选择提取道路标识或边缘特征进行尺度变换的线段检测或区域分割,并投票消失点集,再选择使用逆透视仿射变换或色彩纹理信息验证来获得有效消失点。此外,Kogecka等^[13]还提出了基于最大期望(EM)算法直线聚类的消失点检测算法;Kogecka等^[14]改进EM算法得到利用高斯球作为累加器空间的高斯-赛德尔(GS)消失点检测算法;Li等^[15]提出了使用一维(1D)级联 Hough 变换从单个图像中利用1D级联直方图检测消失点检测(IER)算法。

在这些算法中,高斯球法依赖于相机内参,实时性差,级联 Hough 变换法效率低,导致上述两种方法不能很好地满足道路消失点的检测和应用要求。直接法不依赖于摄像机参数,且由于道路图像不涉及无穷远消失点的检测问题,因此直接法更适用于道路图像的消失点检测。然而,已提出的方法通常

专注于非结构化道路、高速公路及建筑物场景等简单图像的消失点检测问题,对城市复杂道路的消失点检测效果不佳。因此,针对城市复杂道路消失点识别的快速方法的研究具有重要意义。

为了快速检测复杂城市道路场景中的消失点,本文提出了一种新的算法,该算法无需已知相机内参数,仅通过提取单幅图像中的平行线对以及竖直线包络,即可准确提取道路区域的平行直线对,然后利用方向分组策略,将道路平行线对通过合理的分组和直线拟合求出一系列候选消失点,最后基于 C-means 聚类方法与单位圆统计消失点个数的方法分级求得最终的城市道路消失点。

2 平行直线对检测

假设道路图像满足以下3个条件(图1):

- 1) 图像为沿着道路方向所拍摄,拍摄图像俯仰角近似为 0° ;
- 2) 道路两旁存在由建筑物、树木、路灯杆等物体构成的垂直结构;
- 3) 图像中道路区域内至少包括2条平行线。

如图1所示,城市道路场景图像道路边缘线一般由平行线对构成,消失点往往是边缘线的交点,为了提取能反应道路信息的平行线,采用了基于平行线对的城市道路消失点检测算法。在前期研究中,提出了基于局部方向编码的平行边缘识别方法^[16],该算法首先定义平行边缘由一系列相互平行的短直线组成,然后构造大小为 L 的滑动窗口,依次提取大小为 $M \text{ pixel} \times N \text{ pixel}$ 的图像中每个边缘像素点的 9×9 邻域,并利用局部直线识别算法^[17]判断每个像素的邻近结构是否为直线,如果是,则定义该像素的方向编码为直线方向,否则定义其方向编码为

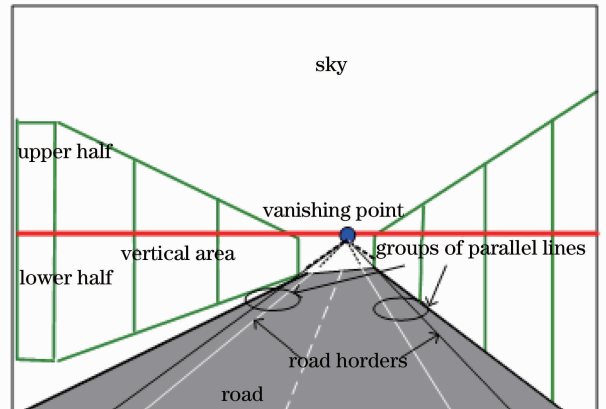


图1 城市道路位置模型

Fig.1 Urban road position model

0.根据边缘方向编码结果,将边缘分解为一系列直线和平滑曲线。通过平行边缘局部方向一致性准则检测图像中所有平行线,记为 $P_{\parallel} = \{pp_i\}$, $i = 1, 2, \dots, n$, 式中 n 为图像中包含的平行线对数, $pp_i = \{l_i, l_j\}$, l_i, l_j 为直线, $l_i = \{p_q = (x_q, y_q)\}$, $i = 1, 2, \dots, m$ 。

以图 2(a)为例,通过对图像进行 Canny 边缘检测,得到图 2(b)所示边缘图像,利用该算法得到图

像中具有相邻关系的所有平行线对。如图 2(c)所示,道路中的交通标志线、绿化带、建筑物中的窗户等都包含大量的平行线对。由图 2 可知,经过上述的平行线检测,图像中所有具有局部方向平行性的相邻边缘线条(平行线对)均被成功识别,而不具有局部平行关系的相邻边缘则被成功滤除。基于该结果,只要通过方向约束进一步提取道路方向上的平行线对,则有助于道路消失点检测。

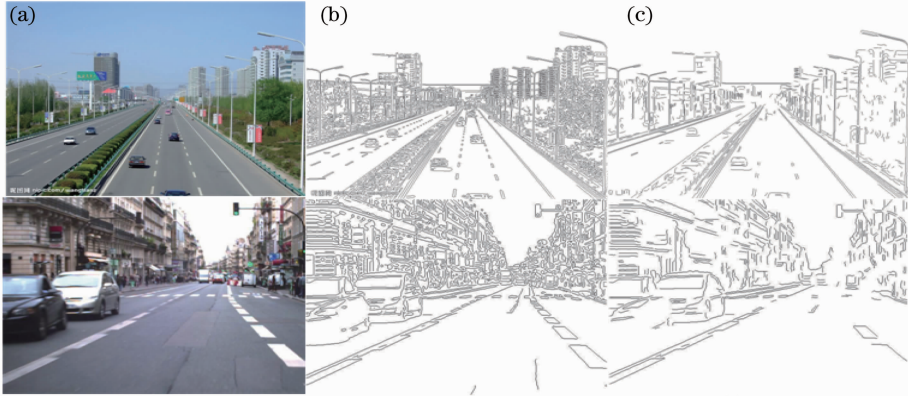


图 2 平行线检测结果。(a)原图像;(b)边缘图像;(c)平行线检测结果图像

Fig. 2 Results of parallel line detection. (a) Original image; (b) edge image; (c) results of parallel lines detection

3 消失点估计

图 3 为消失点检测过程,以图 3(b)为例,道路图像图 3(a)提取平行线后,消失点估计过程主要分为 4 步:提取竖直线[图 3(c)];提取竖直线的包络[图 3(d)];利用包络线对城市场景进行分割,并得

到城市道路区域的平行线[图 3(e)];通过 C-means 聚类与单位圆统计消失点个数的方法分级求得最终的城市道路消失点,如图 3(f)所示,其中红色圆点即为所求消失点。

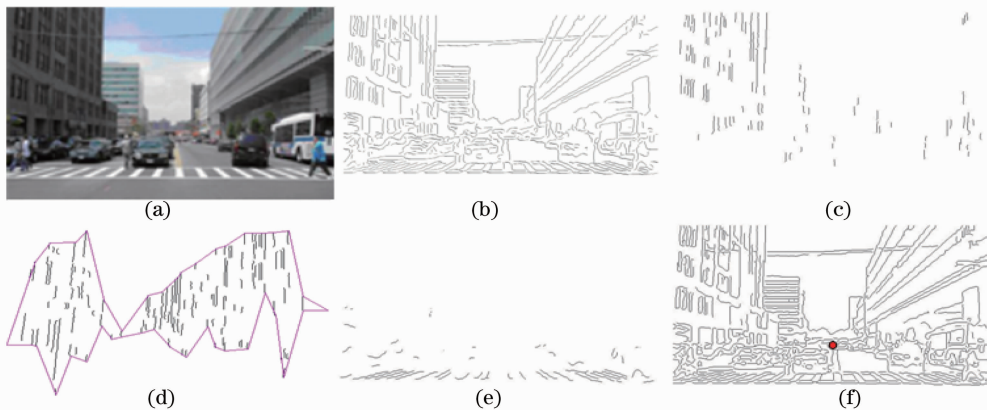


图 3 道路区域平行线与消失点。(a)原图像;(b)平行线检测结果图像;(c)竖直线检测结果;(d)竖直包络线;(e)道路区域平行线;(f)消失点

Fig. 3 Regional road parallel lines and vanishing point. (a) Original image; (b) results of parallel lines detection; (c) results of vertical line detection; (d) vertical envelope region; (e) area of road parallel lines; (f) vanishing point

3.1 竖直线提取

对于图像平行线中的任意一条直线 $l_i, l_i \in P_{\parallel}$, 假设根据第二部分算法所得的直线方向编码为 $\theta_i =$

$\{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m\}$, 定义如下竖直线判断规则:

如果直线 l_i 上局部方向编码值 $\theta_i (0 < i \leq m)$ 在 $(90 \pm \sigma)^\circ$ 范围内的点超过 90%, 则定义 l_i 为竖直

线,即

$$N_{\text{sum}}(|\theta_i - 90| \leq \sigma) > 0.9 m. \quad (1)$$

根据假设条件 1), 图像中垂直线的角度近似为 90° , 且彼此之间偏差较小, 因此, σ 取 $5^\circ \sim 10^\circ$ 即可判定图像中的垂直线。

定义图像平行线 P_{\parallel} 中符合(1)式的所有直线组成垂直线束, 定义为 $V_{\parallel} = \{l_i\} (i = 1, 2, \dots, n_1, n_1 < n)$ 。

3.2 基于垂直线包络线的城市场景分割

通常情况下, 城市道路场景图像中的道路和天空不包含或仅包含较少的垂直线, 而道路两旁的建筑物、树木、路灯则包含较多的垂直线。根据这一观察, 本文根据垂直线的分布区域将图像分为道路、天空和垂直区域三个部分。考虑提取的垂直线束 V_{\parallel} , 提取垂直区域的问题可以转化为求垂直线束所组成的点集的最小包围盒(或最小包络)问题, 即对二维平面上的点集, 求一个包含所有点的最小外接多边形。按如下方法求垂直线束的最小外围包络。

将 V_{\parallel} 中的垂直线根据图像的宽度 N 平均划分为长度为 T_d 的若干等份, 其中, $T_d = \partial \times N$; 对于等分后形成的每一个大小为 $M \times T_d$ 的矩形窗, 依此判断其是否存在垂直线, 若存在, 则选取该窗口中所有垂直线的最高点和最低点, 记为最大点 $p_i^{\max}(x_{i1}, y_{i1}) (0 < i \leq N/T_d)$ 和最小点 $p_i^{\min}(x_{i2}, y_{i2})$; 选取每个窗口的极值点作为包络线的顶点, 即定义垂直线 V_{\parallel} 的包络线顶点为

$$Q = \{(1, y_{11}), p_1^{\max}, \dots, p_{N/T_d}^{\max}, (M, y_{T_d1}), (M, y_{T_d2}), p_{N/T_d}^{\min}, \dots, p_1^{\min}, (1, y_{12})\}. \quad (2)$$

基于以上定义的垂直区域包络线, 整个图像将被粗略分割为三个区域: 道路区域 G 、垂直区域 V 和天空区域 S 。由于道路消失点主要由道路中的平行线确定, 因此, 通过包络线分割可以将道路区域提取出来, 并更好地获得道路区域中的平行线。与现有图像分割算法相比, 本文算法对道路图像的分割结果具有更加明显的意义。

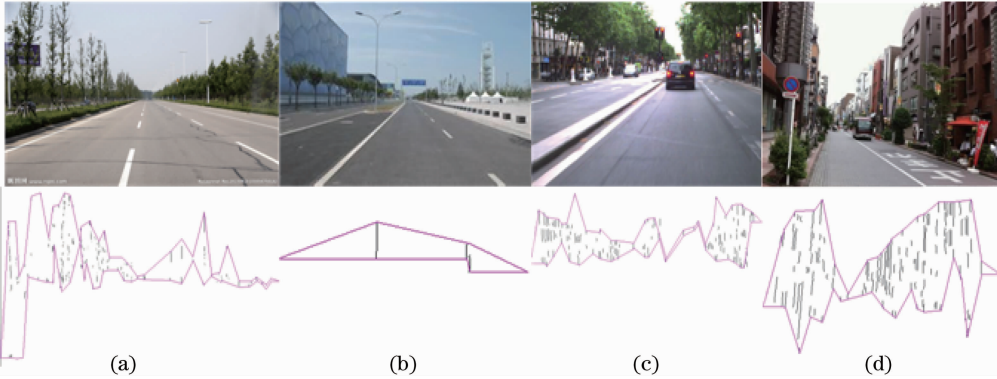


图 4 基于包络线的城市道路场景分割结果

Fig. 4 Scene segmentation based on the city road envelope

图 4(a)~(d) 分别为典型的道路场景图像, 如道路两旁为树木、栅栏、建筑物, 以及包含车辆、行人、交通标志等复杂情况的包络线提取结果。由图 4 可以看出, 本文算法基本可以准确估计垂直物体所在区域, 且图像中包含的垂直结构越多, 如建筑物越多或树木越多时, 包络线提取的垂直区域越准确。经过大量实验, 对任意分辨率的图像, ∂ 取 $0.035 \sim 0.055$ 能够得到较好的效果。

3.3 城市道路区域平行线提取

区域分割后, 提取道路区域 G , 并定义如下判据提取道路平行线。

道路平行线判据: 如果平行线 P_{\parallel} 中任意一条直线长度 L_i 大于 T_r , 满足

$$l_i \cap G \neq \emptyset, \quad (3)$$

且 l_i 的主方向为透视方向, 即 l_i 的主方向 θ 满足

$$\theta \in [0, \sigma'] \text{ or } \theta \in [180 - \sigma', 180], \quad (4)$$

则定义 l_i 为道路区域内的直线, 即 $l_i \in G$ 。

对于所有满足上述判据的直线, 定义其为道路平行线组, 记为

$$G_{\parallel} = \{l_i, i = 1, 2, \dots, k\}, \quad (5)$$

式中 k 为道路平行线数目。

3.4 道路区域消失点估计

3.4.1 道路平行线交点计算

由图 1 可知, 道路消失点是道路区域部分平行线的交点, 由于道路平行线对可能多于 2 条, 其交点不唯一。因此筛选合适的平行直线参与求交, 对于提高算法效率和准确性至关重要。根据道路平行线的分布规则, 定义如下原则将道路中的平行线进行

分类。

1) 同侧分类原则：如果道路区域平行线组 G_{11} 中的任意一条直线方向角小于 90° ，则判定该直线位于道路的一侧，记为平行线组 G_{11} ，否则判定该直线位于道路的另一侧，记为平行线组 G_{12} ；

2) 近似对称性原则：对道路一侧平行线组 G_{11} 中的任意一条直线 l_i ，如果道路另一侧平行线组 G_{12} 中存在直线 l_j ，且 l_i 和 l_j 的主方向满足

$$|\theta_i + \theta_j| < \sigma_\theta, \quad (6)$$

则判定直线 l_i 和直线 l_j 为具有近似对称关系的平行线对。

考虑 G_{11} 和 G_{12} 中满足近似对称性原则的任意平行线对 $\{l_i, l_j\}$ ，对其分别进行最小二乘直线拟合，得到 $l_i: y = a_i x + b_i$ ， $l_j: y = a_j x + b_j$ ，并对两条直线联立求解其交点 $V_x(x_{ij}, y_{ij})$ ：

$$\begin{cases} y = a_i x + b_i \\ y = a_j x + b_j \end{cases} \quad (7)$$

利用以上方法，可以得到若干个平行线对的交点，定义其为候选消失点集 $V_p = \{V_1, V_2, \dots, V_k\}$ ，其中 k 为候选消失点的个数。

3.4.2 消失点判断

对于候选消失点集 $V_p = \{V_1, V_2, \dots, V_k\}$ ，其中有些点仍然为干扰点，因此需要对其进行优化，以确定更准确的道路消失点位置。

根据候选消失点集中点的个数分级估计消失点准确位置。

1) 当且仅当交点个数 $N=1$ 时，判定该点即为消失点。

2) 交点个数 $2 \leq N < Q$ 时，则采用模糊 C-means 方法判断。将候选消失点集 $V_p = \{V_1, V_2, \dots, V_k\}$ 分成 2 类。在 2 个聚类结果中，聚类分组对应成员的个数分别为 N_1 和 N_2 ，当 $|N_1 - N_2| < Q'$ 或 $N = 2$ 时，判定消失点为两个聚类中心坐标的中点，否则，判定 N_1 和 N_2 中较大的聚类中心作为最终的消失点。

3) 当交点个数 $N \geq Q$ 时，则根据半径为 r_i 的圆统计交点个数的方法进行判断。以 r_1 为半径，第 k 个候选消失点 V_k 为圆心做圆，统计落在该圆内的候选消失点个数 j_s 。若 $j_s > K$ ， K 为阈值，则取 $\max(j_s)$ 对应圆内的交点，并对该圆内的所有交点求均值，即得到最终的消失点。若 $j_s \leq K$ ，则将半径 r_1 扩大，以 r_2 为半径，第 k 个交点为圆心做圆，统计交点最多的圆，并计算该圆内的所有交点的平均值作为最终的消失点。

4 实验结果与分析

为了检验提出算法的性能，对大量来自网络公布的、多篇论文中使用过的以及自己拍摄的城市道路图像进行分析，选取了 60 幅典型的城市道路图像作为样本进行了实验，并且与 EM、IER 和 GS 算法进行了对比。根据经验，实验参数取 Q 为 15~30， Q' 为 3~8， r_1 为 10~15， r_2 为 30~50， K 为 4~10 时效果较好。

图 5 给出了几幅具有代表性的城市道路图像利用本文算法与基于 EM、GS 和 IER 的算法进行对比的结果。其中，图中蓝色三角形所在位置为 EM 算法求得的消失点，绿色矩形所在位置为 IER 算法求得的消失点，紫色星形所在位置为 GS 算法求得的消失点，红色圆形所在位置为本文算法求得的消失点。

图 5(a) 为两幅典型的建筑物较多且道路上有车辆干扰的复杂城市道路图像，图 5(b) 为两幅典型的建筑物较少且道路上有车辆干扰的较为简单的城市道路图像。由图 5(a) 可知，在城市道路场景较为复杂的情况下，本文算法优于其他 3 种方法，通过图 5(a) 和图 5(b) 对比可知，城市道路图像中建筑物的多少以及图像的复杂程度对本文算法的影响很小。需要指出的是本文算法需要图像中竖直区域具有物体，但对物体类别没有限制。图 5(c) 为两幅典型的具有建筑物且具有行驶车辆干扰的高速公路图像，由图 5(b) 和 5(c) 对比可知，本文算法与 GS 算法对高速公路场景检测较为准确，且在此类场景中算法不受建筑物及车辆的干扰。图 5(d) 为两幅典型的建筑物较多且道路上无车辆干扰的城市道路图像，由图可以看出，本文算法在无车辆干扰有建筑物的情况下优于其他 3 种算法。图 5(d) 与图 5(a) 和图 4(c) 对比可以看出，有无车辆干扰对本文的算法影响较小。图 5(e) 为两幅典型的建筑物较多且为夜间的城市道路图像，由图可以看出本文消失点的检测方法在夜间仍然有效，并且 4 种算法相差不多。由图 5(e) 和图 5(d) 对比可知，具有建筑物的场景消失点的检测不受白天与夜间的影响；图 5(f) 为两幅典型的具有建筑物且为弯道的城市道路场景，由图可知，本文算法与 GS 算法较为精确，EM 和 IER 算法在弯道场景中偏差较大。图 5(f) 与其他几幅图相比较可知，建筑物多少与其他干扰相同的条件下，直道与弯道的不同对本文算法的影响较小。图 5(g) 为两幅典型的无道路标志线的城市道路场景，由图可知，本文算法明显优于其他 3 种算法，且

较为精确,其中,IER 和 GS 算法对无道路标志线场景的检测偏差较大,图 5(g)与其他几幅图像相比较可知,本文算法在有无道路标志线的情况下均优于其他 3 种算法,且检测的消失点较为准确。总体而

言,本文算法与 GS 算法求得的消失点位置明显较为准确,而与 IER 和 EM 算法所求消失点位置相比本文算法具有更好的效果。

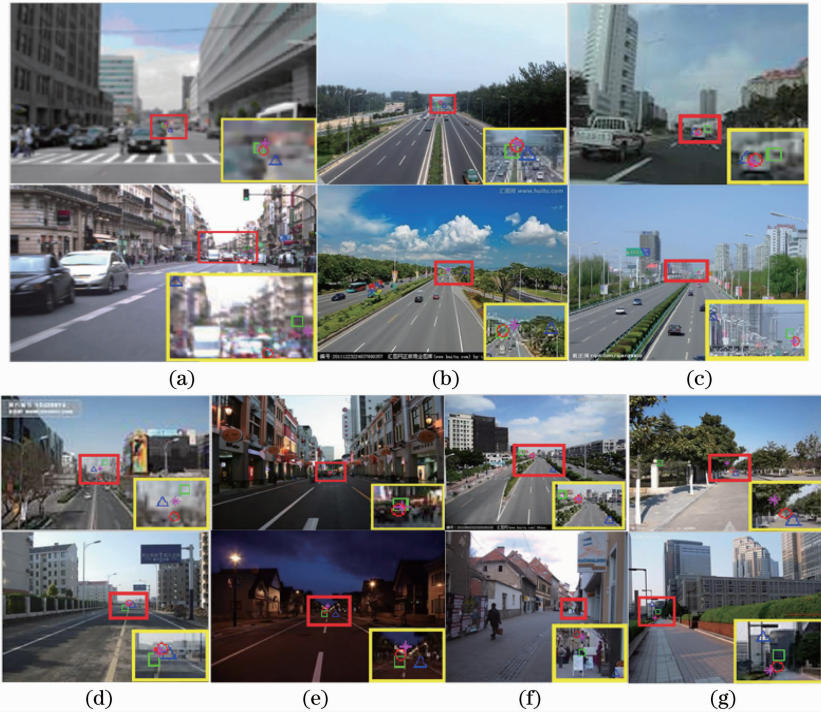


图 5 不同算法所求消失点的结果比较

Fig. 5 Results comparison of different algorithms to plot the vanishing point

图 6 为本文算法与 EM、IER 和 GS 检测的消失点位置与人工手动检测消失点位置的距离,单位为 pixel。其中,在 60 幅样本图中,本文算法识别消失点

的成功率为 88.33%,EM、IER 和 GS 同时可以相对较为准确地检测出消失点的图像为 30 幅,因此,对这 30 幅图像的精度进行了比较,结果如图 6 所示。

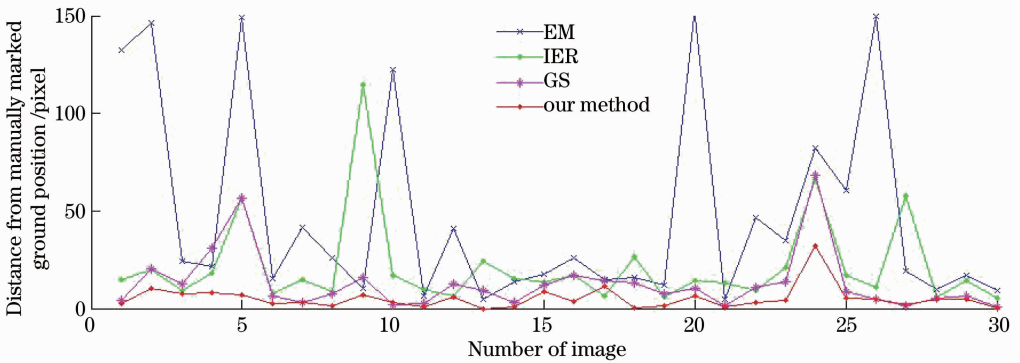


图 6 不同算法消失点估计的准确度比较

Fig. 6 Comparison of vanishing point estimation accuracy with different algorithms

仿真和实验结果表明,利用提出的方法能够自动且较为准确地检测出城市道路场景中的消失点,并且算法精度明显优于 EM、IER 和 GS 算法。

解、无人驾驶车辆导航、车道偏离检测和机器人导航等具有重要意义。通过基于局部方向编码的平行边缘识别方法从单幅城市道路图像中提取图像的所有平行线,根据垂直方向的平行线提取垂直区域包络,并对图像进行区域分割,从而获得道路区域,并进一步得到了道路区域的平行线,又通过对道路区域平

5 结 论

城市道路场景的消失点检测对于交通场景理

行线进行条件限制,将其分为两类,将两类拟合成的新平行线组中符合近似对称的直线联立,求得消失点集,通过 C-means 聚类方法与单位圆统计消失点个数的方法分级求得最终的道路消失点。该算法对城市道路场景具有普遍适用性,但该算法还存在许多问题需要进行深入的研究,如场景中的道路不符合假设的情况下以及场景中无竖直区域的情况下,均可能出现错误的检测结果。下一步工作主要考虑更加精确地提取消失点所在的平行线,提高运算速度,扩大其适用性。

参 考 文 献

- 1 J C McCall, M M Trivedi. Video-based lane estimation and tracking for driver assistance, survey, system and evaluation [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2006, 7(1): 20-37.
- 2 Ding Weili, Li Yong, Wang Wenfeng, *et al.*. Depth estimation of urban road image based on contour understanding [J]. Acta Optica Sinica, 2014, 34(7): 0715001.
丁伟利, 李 勇, 王文锋, 等. 基于轮廓特征理解的城市场道路图像深度估计[J]. 光学学报, 2014, 34(7): 0715001.
- 3 Zhang Ning, Chang Lei, Xu Xiping. Research on the technology of three-dimensional reconstruction based on machine vision [J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2012, 49(5): 051001.
张 宁, 常 雷, 徐熙平. 基于机器视觉的三维重建技术研究[J]. 激光与光电子学进展, 2012, 49(5): 051001.
- 4 Li Haifeng, Wang Hongpeng, Liu Jingtai. Orientation estimation method for mobile robot in urban area [J]. Control Engineering of China, 2013, 20(6): 1045-1051.
李海丰, 王鸿鹏, 刘景泰. 城市环境中移动机器人姿态估计方法[J]. 控制工程, 2013, 20(6): 1045-1051.
- 5 Sun Bin. Distance measuring system based on laser-aided machine vision [J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2012, 49(11): 111204.
孙 斌. 基于激光辅助的机器视觉汽车测距技术研究[J]. 激光与光电子学进展, 2012, 49(11): 111204.
- 6 S T Barnard. Interpreting perspective images [J]. Artificial Intelligence, 1983, 21(4): 435-462.
- 7 J Tuytelaars, L Dangoel, M Proesmans, *et al.*. The cascaded Hough transform as an aid in aerial image interpretation [C]. 6th International Conference On Computer Vision, 1998. 67-72.
- 8 Cao Xiuyan. Relationship Reasoning Based on Three-Dimensional Single Image [D]. Qinhuangdao: Yanshan University, 2013. 14-44.
曹秀燕. 基于单幅图像的三维空间关系推理研究[D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2013. 14-44.
- 9 J P Tardif. Non-iterative approach for fast and accurate vanishing point detection [C]. IEEE International Conference on Computer Vision, 2009. 1250-1257.
- 10 Chen Fuxing, Wang Runsheng. A new vanishing point detecting algorithm [J]. Journal of Electrnics & Information Technology, 2006, 28(8): 1458-1462.
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.
- 11 Wang Yongzhong, Wen Chenglin. Vanishing point detection based on haar texture unstructured road [J]. Chinese J Image and Graphics, 2013, 18(4): 382-391.
王永忠, 文成林. 基于 Haar 纹理的非结构化道路消失点检测[J]. 中国图象图形学报, 2013, 18(4): 382-391.
- 12 Sun Yuan, Lu Hongbo, Zhang Zhimin. Global image features hierarchical analysis and real-time detection of vanishing point [J]. Chinese J Image and Graphics, 2013, 18(7): 818-828.
孙 愿, 卢鸿波, 张志敏. 全局图像特征分析与实时层次化消失点检测[J]. 中国图象图形学报, 2013, 18(7): 818-828.
- 13 J Kogecka, Wei Zhang. Efficient computation of vanishing points [C]. IEEE International Conference on Robotics and Automation, IEEE, 2002, 1: 223-228.
- 14 J Kogecka, Wei Zhang. Video Compass [M]. Berlin Heidelberg: Springer, 2002. 476-490.
- 15 B Li, K Peng, X H Ying, *et al.*. Vanishing point detection using cascaded 1D hough transform from single images [J]. Pattern Recognition Letters, 2012, 33(1): 1-8.
- 16 Wang Wenfeng, Zhu Shuhua, Feng Yihao, *et al.*. Parallel edges detection from remote sensing image using local orientation coding [J]. Acta Optica Sinica, 2012, 32(3): 0315001.
王文锋, 朱书华, 冯以浩, 等. 基于局部方向编码的遥感影像平行边缘识别[J]. 光学学报, 2012, 32(3): 0315001.
- 17 Ding Weili, Wang Wenfeng, Zhang Xuguang, *et al.*. Extracting straight lines from building image based on edge orientation image [J]. Acta Optica Sinica, 2010, 30(10): 2904-2910.
丁伟利, 王文锋, 张旭光, 等. 基于边缘方向图的建筑物直线特征提取[J]. 光学学报, 2010, 30(10): 2904-2910.

栏目编辑: 张浩佳