



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111967360 B

(45) 授权公告日 2024. 09. 06

(21) 申请号 202010784979.1

G06V 10/26 (2022.01)

(22) 申请日 2020.08.06

G06V 10/44 (2022.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

G06V 10/82 (2022.01)

申请公布号 CN 111967360 A

G06T 7/80 (2017.01)

G06N 3/08 (2023.01)

(43) 申请公布日 2020.11.20

(56) 对比文件

(73) 专利权人 苏州易航远智智能科技有限公司

CN 109584300 A, 2019.04.05

地址 215024 江苏省苏州市中国(江苏)自

CN 110065494 A, 2019.07.30

由贸易试验区苏州片区苏州工业园区

港田路99号港田工业坊1号厂房

审查员 刘聪

(72) 发明人 梁义辉 李雪 范圣印 陈禹行

(74) 专利代理机构 北京庚致知识产权代理事务

所(特殊普通合伙) 11807

专利代理师 李伟波

(51) Int. Cl.

G06V 20/58 (2022.01)

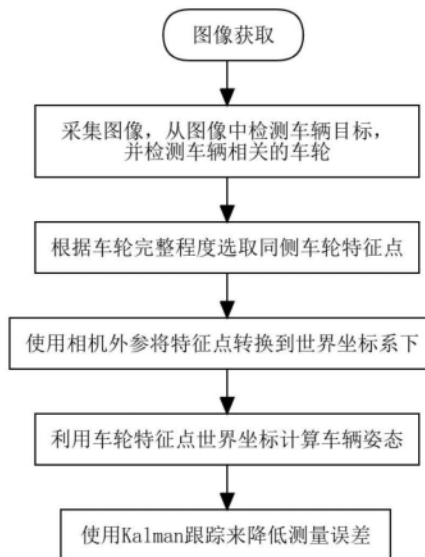
权利要求书7页 说明书12页 附图6页

(54) 发明名称

基于车轮的目标车辆姿态检测方法

(57) 摘要

一种基于车轮的目标车辆姿态检测方法,包括:(1)获取当前相机图像;(2)输入获取的所述当前相机图像,对输入图像进行车辆目标检测,得到车辆目标;(3)对所述车辆目标进行车轮检测,得到车轮目标;(4)在车轮目标中提取出两个同侧面车轮;(5)利用所述两个同侧面车轮中心坐标的连线获得车辆的倾角姿态。所述方法无需标注车辆姿态,即可快速实现对车辆转角姿态,在中高速状态和低速状态下的较大范围内均能对目标进行实时精确地姿态检测,非常适于在自动驾驶或辅助驾驶中实际应用。



1. 一种基于车轮的目标车辆姿态检测方法,其特征在于,包括:

步骤1、获取当前相机图像;

步骤2、输入获取的所述当前相机图像,对输入图像进行车辆目标检测,得到车辆目标;

步骤3、对所述车辆目标进行车轮检测,得到车轮目标;

步骤4、在车轮目标中提取出两个同侧面车轮的特征点;

步骤5、利用所述两个同侧面车轮特征点坐标的连线获得车辆的倾角姿态;

其中,首先将相机视野内的车辆目标分为左侧目标和右侧目标,然后分别对左侧车辆和右侧车辆对车轮进行检测,提取出所需要的两个同侧面车轮框;

提取所检测到的车轮框 $W_i(x_i, y_i, w_i, h_i)$ 的特征点像素坐标 $P_i(u_i, v_i)$,将这些特征点像素坐标转换到世界坐标系中,并获取在世界坐标系里的坐标 $P_i^w(x_i^w, y_i^w, z_i^w)$;其中,在已经获取到的目标框内进行车轮检测,获得图像中的车轮框,表示为 $W_i(x_i, y_i, w_i, h_i)$,其中 $i=1, 2, \dots, N$, N 表示检测到的车轮数目,其中 x_i, y_i, w_i 和 h_i 分别表示车轮框的左上角的 x 坐标、 y 坐标、车轮框宽度和高度;

基于获得的车轮的世界坐标,获得车辆的两轮顶部、中心或底部坐标,根据所述两轮的顶部、中心或底部坐标的连线获得车辆的倾角姿态;

其中,车轮的特征点检测使用目标车辆框与对应车辆的分割图,其中分割图基于深度神经网络分割模型获得;

其中,所述目标车辆车轮特征点的检测,包括如下步骤:

步骤1)、根据目标车辆在当前图像中的位置,分为左侧和右侧两种情况处理:若目标车辆框的中心点的横坐标 $x+w/2$ 在图像的左侧,则认为目标车辆在当前车辆的左侧,若 $x+w/2$ 在图像的右侧,则认为目标车辆在当前车辆的右侧;

步骤2)、当所述目标车辆在所述当前车辆的右侧时,首先在目标框图像区域内,基于所述分割图中的车辆像素自下而上搜索找到第一行车辆像素点的坐标,作为第一车轮参考坐标 P_{w1} ,然后在此坐标邻域 δ 内,统计车辆像素数目占整个邻域 δ 的第一比例 r_{wpix1} ,若 r_{wpix1} 大于第一阈值 T_{wpix1} ,则认为此坐标有效,否则认为此坐标无效,继续向上搜索;

步骤3)、以上述步骤中满足条件的所述车轮参考坐标 P_{w1} 为起点,以车辆目标框右边界上一点为终点 $P_{wr}(x+w, y+h-s)$,组成一条扫描线,其中 s 为扫描次数,且 $0 < s < h$,扫描顺序为 s 从1递增,然后统计在此扫描线上车辆像素点所占整条扫描线的第二比例 r_{spix} ,若 r_{spix} 大于第二阈值 T_{spix} ,则认为此线为有效车辆扫描线,然后在此扫描线上,找到一个距离终点最近的点作为第二车轮参考坐标 P_{w2} ,然后在此坐标邻域 δ 内,统计车辆像素数目占整个邻域 δ 的第三比例 r_{wpix2} ,若 r_{wpix2} 大于第三阈值 T_{wpix2} ,则认为此坐标有效,否则认为此坐标无效,继续扫描;

步骤4)、若上述步骤中扫描结束后,找到有效坐标,则取 P_{w1} 和 P_{w2} 为车辆特征点;

步骤5)、当所述目标车辆在所述当前车辆的左侧时,则在所述步骤3)中将终点 P_{wr} 的坐标表示为 $(x, y+h-s)$,其余步骤均相同。

2. 根据权利要求1所述的基于车轮的目标车辆姿态检测方法,其特征在于,

在获取当前相机图像之前,需要对相机进行标定,包括标定相机内参和外参;

相机内参参数矩阵如公式(1)所示:

$$K = \begin{bmatrix} f_x & 0 & p_x \\ 0 & f_y & p_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中, f_x, f_y 分别表示相机在X、Y坐标方向的焦距, p_x, p_y 表示相机中心点相对于左上角的偏移;

相机外参参数矩阵如公式(2)所示:

$$M = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中, r_{ij} ($i=1,2,3; j=1,2,3$) 表示相机相对于世界坐标系的旋转矩阵的元素, t_i ($i=1,2,3$) 表示相机坐标系相对于世界坐标系的平移关系;

并且, 所述相机内参和外参的关系矩阵EM如公式(3)所示:

$$EM = K \cdot M = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & m_{34} \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中, m_{ij} ($i=1,2,3; j=1,2,3,4$) 表示相机内参和外参组成的参数矩阵的元素。

3. 根据权利要求1所述的基于车轮的目标车辆姿态检测方法, 其特征在于, 所述相机包括RGB相机、红外相机或深度相机。
4. 根据权利要求1所述的基于车轮的目标车辆姿态检测方法, 其特征在于, 所述相机为安装在车辆前端的摄像头。
5. 根据权利要求1所述的基于车轮的目标车辆姿态检测方法, 其特征在于, 采用训练好的深度学习模型进行车辆目标检测, 获得车辆目标V的二维框即目标框在图像中的坐标及尺寸 (x, y, w, h) , 其中 (x, y) 表示二维框左上角坐标, w, h 为二维框尺寸宽和高。
6. 根据权利要求1所述的基于车轮的目标车辆姿态检测方法, 其特征在于, 使用训练好的深度神经网络模型在车辆目标框里进行车轮检测, 检测结果为车轮在图像中的坐标和尺寸 $W_i(x_i, y_i, w_i, h_i)$ 。
7. 根据权利要求1所述的基于车轮的目标车辆姿态检测方法, 其特征在于, 在图像分辨率为 640×480 时, 所述邻域 δ 大小取为 5×5 矩形邻域, 所述第一阈值 T_{wpix1} 取值为0.2, 所述第二阈值 T_{spix} 取值为0.2, 所述第三阈值 T_{wpix2} 取值为0.2。
8. 根据权利要求1所述的基于车轮的目标车辆姿态检测方法, 其特征在于, 采用深度学习方法检测出车轮的可视比例或遮挡比例; 若可视比例大于第四阈值 T_{vis} , 则认为车轮在图像中出现完整; 若遮挡比例小于第五阈值 T_{hid} , 则认为车轮在图像中出现完整。
9. 根据权利要求1所述的基于车轮的目标车辆姿态检测方法, 其特征在于, 若所检测到的车轮框 $W_i(x_i, y_i, w_i, h_i)$ 底部纵坐标 $y_{bi} = y_i + h_i$ 与其所在车辆目标V的二维框底部纵坐标 $y_b = y + h$ 的差值 $\delta y = \text{abs}(y_{bi} - y_b)$ 小于第六阈值 T , 同时 y_b 与图像底边的差值也小于第六阈值 T , 则认为此时车轮在图像中出现不完整。
10. 根据权利要求9所述的基于车轮的目标车辆姿态检测方法, 其特征在于,

所述第六阈值T在原始图像分辨率为 640×480 时取值为 5px 。

11. 根据权利要求8或9所述的基于车轮的目标车辆姿态检测方法,其特征在于,当车轮在图像中出现完整时,使用车轮底部与地面接触点作为特征点;当车轮在图像中出现不完整时,使用车轮顶部的中点作为特征点。

12. 根据权利要求1或6所述的基于车轮的目标车辆姿态检测方法,其特征在于,若目标车辆为单侧超过2个车轮的车辆,则在进行同侧车轮检测时,将同侧的所有 N_w 个车轮都检测出,选取车辆同侧车轮的 N_w 个特征点坐标,所述 $N_w > 2$,通过拟合的方法获取车轮直线方程 $y_w = k_w x_w + b_w$,然后选取 N_w 个车轮里的 N_w 个特征点中横坐标最大和最小的两个坐标的x坐标,分别记为 $x_{w\max}$ 和 $x_{w\min}$,代入所述车轮直线方程 $y_w = k_w x_w + b_w$ 中求取对应的两个y坐标,分别记为 $y_{w\max}$ 和 $y_{w\min}$,得到最终计算车辆位姿的车轮特征点坐标。

13. 根据权利要求1或6所述的基于车轮的目标车辆姿态检测方法,其特征在于,所述目标车辆车型为货车、大卡车或工程作业车。

14. 根据权利要求1所述的基于车轮的目标车辆姿态检测方法,其特征在于,采用透视变换矩阵将所述特征点像素坐标转换到世界坐标系中。

15. 根据权利要求1所述的基于车轮的目标车辆姿态检测方法,其特征在于,采用公式(4)和(5)将所述特征点像素坐标转换到世界坐标系中

$$x_i^w = \frac{A_x + B_x \cdot u_i + C_x \cdot v_i + (D_x + E_x \cdot u_i + F_x \cdot v_i) \cdot z}{G_c} \quad (4)$$

$$y_i^w = \frac{A_y + B_y \cdot u_i + C_y \cdot v_i + (D_y + E_y \cdot u_i + F_y \cdot v_i) \cdot z}{G_c} \quad (5)$$

其中,

$$\begin{cases} A_x = -(m_{11} \cdot m_{24} - m_{14} \cdot m_{21}) \\ B_x = -(m_{21} \cdot m_{34} - m_{24} \cdot m_{31}) \\ C_x = (m_{11} \cdot m_{34} - m_{14} \cdot m_{31}) \\ D_x = -(m_{11} \cdot m_{23} - m_{13} \cdot m_{21}) \\ E_x = -(m_{21} \cdot m_{33} - m_{23} \cdot m_{31}) \\ F_x = (m_{11} \cdot m_{33} - m_{13} \cdot m_{31}) \end{cases}$$

$$\begin{cases} A_y = m_{12} \cdot m_{24} - m_{14} \cdot m_{22} \\ B_y = m_{22} \cdot m_{34} - m_{24} \cdot m_{32} \\ C_y = -(m_{12} \cdot m_{34} - m_{14} \cdot m_{32}) \\ D_y = m_{12} \cdot m_{23} - m_{13} \cdot m_{22} \\ E_y = m_{22} \cdot m_{33} - m_{23} \cdot m_{32} \\ F_y = -(m_{12} \cdot m_{33} - m_{13} \cdot m_{32}) \end{cases}$$

$$\begin{cases} G_c = m_{11} \cdot m_{22} - m_{12} \cdot m_{21} + \\ (m_{21} \cdot m_{32} - m_{22} \cdot m_{31}) \cdot u_i - \\ (m_{11} \cdot m_{32} - m_{12} \cdot m_{31}) \cdot v_i \end{cases}$$

其中, m_{ij} ($i=1,2,3; j=1,2,3,4$) 表示相机内参和外参组成的参数矩阵的元素; u_i 、 v_i 表示编号为i的车轮框特征点在图像坐标系下的x坐标和y坐标; z 表示所求取的特征点在世界

坐标系中Z轴的坐标值； x_i^w 、 y_i^w 分别表示像素坐标在世界坐标系下的X轴的坐标值和Y轴的坐标值。

16. 根据权利要求15所述的基于车轮的目标车辆姿态检测方法,其特征在于,
当使用车轮底部与地面接触点作为特征点时, $z=0$,此时公式(4)和(5)简化为公式(6)和(7)的形式

$$x_i^w = \frac{A_x + B_x \cdot u_i + C_x \cdot v_i}{G_c} \quad (6)$$

$$y_i^w = \frac{A_y + B_y \cdot u_i + C_y \cdot v_i}{G_c} \quad (7)。$$

17. 根据权利要求15所述的基于车轮的目标车辆姿态检测方法,其特征在于,
当使用车轮顶部的中点作为特征点时, $z=D_{\text{wheel}}$,其中 D_{wheel} 表示车轮的直径。

18. 根据权利要求1或6所述的基于车轮的目标车辆姿态检测方法,其特征在于,
根据车辆目标在视野中出现的位置判断车辆目标是在左侧行驶 (LEFT) 还是右侧行驶 (RIGHT);若在左侧行驶 (LEFT),则视野内看到的目标车辆的两个侧面车轮位于目标框的右侧;反之,若目标车辆在右侧行驶 (RIGHT),则看到的目标车辆的两个侧面车轮在目标框的左侧。

19. 根据权利要求1或6所述的基于车轮的目标车辆姿态检测方法,其特征在于,
对于特征点像素坐标 $P_i(u_i, v_i)$,若检测到的所有车轮都整体出现在视野中,则使用车轮底部与地面接触点作为特征点,记为公式(8)

$$\begin{cases} u_i = x_i + \frac{w_i}{2} \\ v_i = y_i + h_i \end{cases} \quad (8)。$$

20. 根据权利要求1或6所述的基于车轮的目标车辆姿态检测方法,其特征在于,
对于特征点像素坐标 $P_i(u_i, v_i)$,若检测到车轮在图像中出现不完整,则使用车轮顶部的中点作为车轮特征点,记为公式(9)

$$\begin{cases} u_i = x_i + \frac{w_i}{2} \\ v_i = y_i \end{cases} \quad (9)$$

此时在计算图像上的点到世界坐标系下转换时,透视变换矩阵计算过程中所取的世界坐标系中的点(A、B、C、D)不在地平面上,而是在平行于地平面 $z=D_{\text{wheel}}$,其中 D_{wheel} 表示车轮的直径。

21. 根据权利要求1或6所述的基于车轮的目标车辆姿态检测方法,其特征在于,
将特征点像素坐标转换到世界坐标系,包括:
固定世界坐标系下4个点,记为点A、B、C、D,组成的矩形范围,作为鸟瞰图可表示区域;
通过使用相机外参矩阵和内参矩阵,将上述世界坐标系下4个点转换到图像坐标系下,如公式(10)所示

$$Zc \begin{bmatrix} u_s \\ v_s \\ 1 \end{bmatrix} = K \cdot M \cdot \begin{bmatrix} Xw_s \\ Yw_s \\ Zw_s \\ 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

其中, $[Xw_s \ Yw_s \ Zw_s]$, $(s=A, B, C, D)$, 表示世界坐标系下4个点A、B、C、D的坐标, Zc 表示对应点在相机坐标系下的坐标Z轴方向的值, $[u_s, v_s]$, $(s=A, B, C, D)$, 为求取的对应点在图像坐标系下的坐标。

22. 根据权利要求21所述的基于车轮的目标车辆姿态检测方法, 其特征在于,

取鸟瞰图的4个顶点作为透视变换参考点, 与原图图像坐标系下的4个点结合, 求得原图到鸟瞰图的透视变换矩阵Warp;

根据世界坐标系下4个点的尺度和鸟瞰图的尺度关系, 计算鸟瞰图中像素值与世界坐标系坐标的比例关系 G_w ;

则图像坐标系上的点通过公式(11)转换到世界坐标系上

$$\begin{bmatrix} x_i^w \\ y_i^w \\ Z_t \end{bmatrix} = G_w \cdot Warp \cdot \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \\ 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

其中, Z_t 在式中无实际意义; x_i^w, y_i^w 分别表示像素坐标在世界坐标系下的x坐标值和y坐标值。

23. 根据权利要求22所述的基于车轮的目标车辆姿态检测方法, 其特征在于,

所述变换矩阵Warp的计算步骤如下:

步骤1)、取世界坐标系中4个地面上的点 $P_i^{wb} (x_i^{wb}, y_i^{wb}, z_i^{wb})$, 作为鸟瞰图视野中的4个顶点, 其中 $i=1, 2, 3, 4$ 表示点的索引, $(x_i^{wb}, y_i^{wb}, z_i^{wb})$ 为世界坐标系中的坐标值; 在世界坐标系中, 这4个点组成一个矩形, 矩形的边平行于世界坐标系上的坐标轴, 在鸟瞰图中, 4个顶点的坐标分别为 $P_1^b (0, 0)$ 、 $P_2^b (W_{img}, 0)$ 、 $P_3^b (W_{img}, H_{img})$ 、 $P_4^b (0, H_{img})$, W_{img}, H_{img} 均为世界坐标系上的坐标值;

步骤2)、根据相机内参和外参, 将上述4个点 P_i^{wb} 投影到图像坐标, 表示为 $P_i^l (x_i^l, y_i^l)$, 其中 $i=1, 2, 3, 4$ 表示点的索引, (x_i^l, y_i^l) 为图像坐标系下的坐标值;

步骤3)、通过以上点 P_i^b 与 P_i^l 的对应关系, 组成如下方程组:

$$\begin{bmatrix} P_1^l & P_2^l & P_3^l & P_4^l \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} = Warp \cdot \begin{bmatrix} P_1^b & P_2^b & P_3^b & P_4^b \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

解得鸟瞰图与原图之间的单应矩阵Warp。

24. 根据权利要求23所述的基于车轮的目标车辆姿态检测方法, 其特征在于,

若车轮特征点为车轮与地面接触位置, 则 $z_i^{wb}=0$, 若车轮特征点为车轮中心, 则 $z_i^{wb}=D_{wheel}/2$, 若车轮特征点为车轮顶部, 则 $z_i^{wb}=D_{wheel}$;

基于训练好的深度神经网络获得车轮的直径 D_{wheel} 。

25. 根据权利要求24所述的基于车轮的目标车辆姿态检测方法,其特征在于,当车轮在地面行驶时,此时的车轮特征的实际高度 Z_w 记为0。

26. 根据权利要求25所述的基于车轮的目标车辆姿态检测方法,其特征在于,记两个车轮特征点的世界坐标为 $(x_1^w, y_1^w, Z_w), (x_2^w, y_2^w, Z_w)$,其中 Z_w 表示车轮特征的实际高度;则车辆的姿态角如公式(12)所示

$$\alpha = \arctan\left(\frac{y_1^w - y_2^w}{x_1^w - x_2^w}\right) \quad (12)。$$

27. 根据权利要求22-25中任一项所述的基于车轮的目标车辆姿态检测方法,其特征在于,使用运动模型跟踪车辆坐标及姿态。

28. 根据权利要求22-25中任一项所述的基于车轮的目标车辆姿态检测方法,其特征在于,使用CTRV运动模型对车辆的坐标和姿态进行跟踪滤波,以每一帧图像计算得到的坐标值和车辆姿态值作为观测量,使用Kalman跟踪的方法来进行预测。

29. 一种基于车轮的目标车辆姿态检测装置,其特征在于,包括:

图像获取装置,获取当前相机图像;

车辆目标检测装置,输入获取的所述当前相机图像,对输入图像进行车辆目标检测,得到车辆目标;

车轮目标检测装置,对所述车辆目标进行车轮检测,得到车轮目标;

同侧车轮提取装置,在车轮目标中提取出两个同侧面车轮的特征点;

倾角姿态计算装置,利用所述两个同侧面车轮特征点坐标的连线获得车辆的倾角姿态;

其中,其中,首先将相机视野内的车辆目标分为左侧目标和右侧目标,然后分别对左侧车辆和右侧车辆对车轮进行检测,提取出所需要的两个同侧面车轮框;

提取所检测到的车轮框 $W_i(x_i, y_i, w_i, h_i)$ 的特征点像素坐标 $P_i(u_i, v_i)$,将这些特征点像素坐标转换到世界坐标系中,并获取在世界坐标系里的坐标 $P_i^w(x_i^w, y_i^w, z_i^w)$;其中,在已经获取到的目标框内进行车轮检测,获得图像中的车轮框,表示为 $W_i(x_i, y_i, w_i, h_i)$,其中 $i=1, 2, \dots, N$, N 表示检测到的车轮数目,其中 x_i, y_i, w_i 和 h_i 分别表示车轮框的左上角的x坐标、y坐标、车轮框宽度和高度;

基于获得的车轮的世界坐标,获得车辆的两轮顶部、中心或底部坐标,根据所述两轮顶部、中心或底部坐标的连线获得车辆的倾角姿态;

其中,车轮的特征点检测使用目标车辆框与对应车辆的分割图,其中分割图基于深度神经网络分割模型获得;

其中,所述目标车辆车轮特征点的检测,包括如下步骤:

步骤1)、根据目标车辆在当前图像中的位置,分为左侧和右侧两种情况处理:若目标车辆框的中心点的横坐标 $x+w/2$ 在图像的左侧,则认为目标车辆在当前车辆的左侧,若 $x+w/2$ 在图像的右侧,则认为目标车辆在当前车辆的右侧;

步骤2)、当所述目标车辆在所述当前车辆的右侧时,首先在目标框图像区域内,基于所

述分割图中的车辆像素自下而上搜索找到第一行车辆像素点的坐标,作为第一车轮参考坐标 P_{w1} ,然后在此坐标邻域 δ 内,统计车辆像素数目占整个邻域 δ 的第一比例 r_{wpix1} ,若 r_{wpix1} 大于第一阈值 T_{wpix1} ,则认为此坐标有效,否则认为此坐标无效,继续向上搜索;

步骤3)、以上述步骤中满足条件的所述车轮参考坐标 P_{w1} 为起点,以车辆目标框右边界上一点为终点 $P_{wr}(x+w, y+h-s)$,组成一条扫描线,其中 s 为扫描次数,且 $0 < s < h$,扫描顺序为 s 从1递增,然后统计在此扫描线上车辆像素点所占整条扫描线的第二比例 r_{spix} ,若 r_{spix} 大于第二阈值 T_{spix} ,则认为此线为有效车辆扫描线,然后在此扫描线上,找到一个距离终点最近的点作为第二车轮参考坐标 P_{w2} ,然后在此坐标邻域 δ 内,统计车辆像素数目占整个邻域 δ 的第三比例 r_{wpix2} ,若 r_{wpix2} 大于第三阈值 T_{wpix2} ,则认为此坐标有效,否则认为此坐标无效,继续扫描;

步骤4)、若上述步骤中扫描结束后,找到有效坐标,则取 P_{w1} 和 P_{w2} 为车辆特征点;

步骤5)、当所述目标车辆在所述当前车辆的左侧时,则在所述步骤3)中将终点 P_{wr} 的坐标表示为 $(x, y+h-s)$,其余步骤均相同。

基于车轮的目标车辆姿态检测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及自动驾驶以及计算机视觉领域,具体涉及基于计算机视觉识别分析自动驾驶中目标车辆位置和姿态的技术,特别涉及一种基于车轮的目标车辆姿态测算方法及装置。

背景技术

[0002] 随着技术进步和科技发展,自动驾驶成为现阶段交通运输工具领域的研究热点。

[0003] 在自动驾驶车辆行驶过程中,目标车辆的位置和姿态对控制决策有着关键的作用。由于自动驾驶过程中,路况复杂多变,车辆运行速度快,为了提高驾驶的安全性,需要实时准确地检测出对象车辆的运行状态,并提前预判对象车辆的行驶意图。当主车进行自动并线或被其他车辆从侧面突然插入的时候,更需要提前判断对象车辆的行为意图,以便针对对象车辆的意图实时调整控制决策,保障安全驾驶。因而获取对象车辆的姿态尤其是转角显得尤为重要。

[0004] 现有技术中获取车辆转角和车辆行驶意图的方法,主要有两类:

[0005] 1)、通过神经网络进行预测;

[0006] 2)、使用历史轨迹推算的方法。

[0007] 中国专利文献CN110232379A(发明名称:一种车辆姿态检测方法及系统)提出了一种采用目标检测网络模型进行车辆姿态检测的方法,检测出待检测图像中目标车辆的图像区域,在网络模型做预测的时候,会同时输出目标车辆的倾斜角度。但是,该方法需要大量带角度的车辆标注数据做训练,不适合实际实施,并且所述检测方法得到结果的稳定性欠佳,不能满足实际使用需要。

[0008] 美国专利文献US20030235332A1(发明名称:System and method for pose-angle estimation)提出了一种姿态检测的方法,采用目标检测网络,通过回归估计神经网络训练,对输入图像进行角度姿态检测。但是该方法也需要大量带角度的姿态图像标注数据做训练,检测结果依赖于数据标定的精度;并且采用神经网络进行预测,计算消耗大,不利于自动驾驶中车辆姿态检测的实时性要求。

[0009] 中国专利文献CN109305171A(发明名称:一种前方车辆行驶姿态观测装置及其方法)使用车辆前轮位置与车道线的比较的状态确定前车行驶安全性,但是,并未给出车辆姿态信息。

[0010] 中国专利文献CN109949364A(发明名称:一种基于路测单目摄像头的车辆姿态检测精度优化方法)介绍了一种基于车辆轨迹跟踪的车辆行进方向的估算方法。但是,该方法需要知道车辆的历史轨迹,在低速状态下效果欠佳。

[0011] 采用通过神经网络进行预测的方法,需要大量的车辆姿态数据收集,且需要较高的标定精度,工作量繁复不利于车辆姿态推算的快速实现,且一般需要运算平台的较大算力支持,实时性差,很难在实际自动驾驶中应用。

[0012] 使用历史轨迹推算的方法,只适用于在中高速状态下应用,在低速和拥堵状态下

便难以实现,无法获取对象车辆的姿态。

[0013] 因此,如何在较大范围内对目标进行实时精确地姿态检测成为亟待解决的技术问题。

发明内容

[0014] 本发明针对上述技术问题,为了研究适应范围大、测量精度高同时又计算消耗少的目标车辆姿态测算系统,提高自动驾驶中前车目标检测的精度和效率,提出了新的基于车轮的目标车辆姿态测算方法及装置,首先在车辆目标二维框中检测并提取车轮框,然后检测车轮框的特征点的像素坐标,并转换到世界坐标系中,获取车辆的两轮中心坐标,最后根据中心坐标的连线得到车辆的倾角姿态。

[0015] 为解决上述技术问题,根据本发明的一个方面,提供了一种基于车轮的目标车辆姿态检测方法,包括:

[0016] 步骤1、获取当前相机图像;

[0017] 步骤2、输入获取的所述当前相机图像,对输入图像进行车辆目标检测,得到车辆目标;

[0018] 步骤3、对所述车辆目标进行车轮检测,得到车轮目标;

[0019] 步骤4、在车轮目标中提取出两个同侧面车轮的特征点;

[0020] 步骤5、利用所述两个同侧面车轮特征点坐标的连线获得车辆的倾角姿态。

[0021] 优选地,在获取当前相机图像之前,需要对相机进行标定,包括标定相机内参和外参;

[0022] 相机内参参数矩阵如公式(1)所示:

$$[0023] \quad K = \begin{bmatrix} f_x & 0 & p_x \\ 0 & f_y & p_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

[0024] 其中, f_x, f_y 分别表示相机在X、Y坐标方向的焦距, p_x, p_y 表示相机中心点相对于左上角的偏移;

[0025] 相机外参参数矩阵如公式(2)所示:

$$[0026] \quad M = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \end{bmatrix} \quad (2)$$

[0027] 其中, r_{ij} ($i=1,2,3; j=1,2,3$)表示相机相对于世界坐标系的旋转矩阵的元素, t_i ($i=1,2,3$)表示相机坐标系相对于世界坐标系的平移关系;

[0028] 并且,所述相机内参和外参的关系矩阵EM如公式(3)所示:

$$[0029] \quad EM = K \cdot M = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & m_{34} \end{bmatrix} \quad (3)$$

[0030] 其中, m_{ij} ($i=1,2,3; j=1,2,3,4$)表示相机内参和外参组成的参数矩阵的元素。

[0031] 优选地,所述相机包括RGB相机、红外相机或深度相机。

[0032] 优选地,所述相机为安装在车辆前端的摄像头。

[0033] 优选地,采用训练好的深度学习模型进行车辆目标检测,获得车辆目标V的二维框即目标框在图像中的坐标及尺寸 (x, y, w, h) ,其中 (x, y) 表示二维框左上角坐标, w, h 为二维框尺寸宽和高。

[0034] 优选地,在已经获取到的目标框内进行车轮检测,获得图像中的车轮框,表示为 $W_i(x_i, y_i, w_i, h_i)$,其中 $i=1, 2, \dots, N$, N 表示检测到的车轮数目,其中 x_i, y_i, w_i 和 h_i 分别表示车轮框的左上角的x坐标、y坐标、车轮框宽度和高度。

[0035] 优选地,首先将相机视野内的车辆目标分为左侧目标和右侧目标,然后分别对左侧车辆和右侧车辆对车轮进行检测,提取出所需要的两个同侧面车轮框;

[0036] 提取所检测到的车轮框 $W_i(x_i, y_i, w_i, h_i)$ 的特征点像素坐标 $P_i(u_i, v_i)$,将这些特征点像素坐标转换到世界坐标系中,并获取在世界坐标系里的坐标 $P_i^w(x_i^w, y_i^w, z_i^w)$;

[0037] 基于上述过程中获得的车轮的世界坐标,获得车辆的两轮顶部、中心或底部坐标,根据所述两轮的顶部、中心或底部坐标的连线获得车辆的倾角姿态。

[0038] 优选地,使用训练好的深度神经网络模型在车辆目标框里进行车轮检测,检测结果为车轮在图像中的坐标和尺寸 $W_i(x_i, y_i, w_i, h_i)$ 。

[0039] 优选地,车轮的特征点检测使用目标车辆框与对应车辆的分割图,其中分割图基于深度神经网络分割模型获得。

[0040] 优选地,所述目标车辆车轮特征点的检测,包括如下步骤:

[0041] 步骤1)、根据目标车辆在当前图像中的位置,分为左侧和右侧两种情况处理:若目标车辆框的中心点的横坐标 $x+w/2$ 在图像的左侧,则认为目标车辆在当前车辆的左侧,若 $x+w/2$ 在图像的右侧,则认为目标车辆在当前车辆的右侧;

[0042] 步骤2)、当所述目标车辆在所述当前车辆的右侧时,首先在目标框图像区域内,基于所述分割图中的车辆像素自下而上搜索找到第一行车辆像素点的坐标,作为第一车轮参考坐标 P_{w1} ,然后在此坐标邻域 δ 内,统计车辆像素数目占整个邻域 δ 的第一比例 r_{wpix1} ,若 r_{wpix1} 大于第一阈值 T_{wpix1} ,则认为此坐标有效,否则认为此坐标无效,继续向上搜索;

[0043] 步骤3)、以上述步骤中满足条件的所述车轮参考坐标 P_{w1} 为起点,以车辆目标框右边界上一点为终点 $P_{wr}(x+w, y+h-s)$,组成一条扫描线,其中 s 为扫描次数,且 $0 < s < h$,扫描顺序为 s 从1递增,然后统计在此扫描线上车辆像素点所占整条扫描线的第二比例 r_{spix} ,若 r_{spix} 大于第二阈值 T_{spix} ,则认为此线为有效车辆扫描线,然后在此扫描线上,找到一个距离终点最近的点作为第二车轮参考坐标 P_{w2} ,然后在此坐标邻域 δ 内,统计车辆像素数目占整个邻域 δ 的第三比例 r_{wpix2} ,若 r_{wpix2} 大于第三阈值 T_{wpix2} ,则认为此坐标有效,否则认为此坐标无效,继续扫描;

[0044] 步骤4)、若上述步骤中扫描结束后,找到有效坐标,则取 P_{w1} 和 P_{w2} 为车辆特征点;

[0045] 步骤5)、当所述目标车辆在所述当前车辆的左侧时,则在所述步骤3)中将终点 P_{wr} 的坐标表示为 $(x, y+h-s)$,其余步骤均相同。

[0046] 优选地,在图像分辨率为 640×480 时,所述邻域 δ 大小取为 5×5 矩形邻域,所述第一阈值 T_{wpix1} 取值为0.2,所述第二阈值 T_{spix} 取值为0.2,所述第三阈值 T_{wpix2} 取值为0.2。

[0047] 优选地,采用深度学习方法检测出车轮的可视比例或遮挡比例;

[0048] 若可视比例大于第四阈值 T_{vis} ,则认为车轮在图像中出现完整;

[0049] 若遮挡比例小于第五阈值 T_{hid} ,则认为车轮在图像中出现完整。

[0050] 优选地,若所检测到的车轮框 $W_i(x_i, y_i, w_i, h_i)$ 底部纵坐标 $y_{bi} = y_i + h_i$ 与其所在车辆目标V的二维框底部纵坐标 $y_b = y + h$ 的差值 $\delta y = \text{abs}(y_{bi} - y_b)$ 小于第六阈值T,同时 y_b 与图像底边的差值也小于第六阈值T,则认为此时车轮在图像中出现不完整。

[0051] 优选地,所述第六阈值T在原始图像分辨率为 640×480 时取值为 5px 。

[0052] 优选地,当车轮在图像中出现完整时,使用车轮底部与地面接触点作为特征点;当车轮在图像中出现不完整时,使用车轮顶部的中点作为特征点。

[0053] 优选地,若目标车辆为单侧超过2个车轮的车辆,则在进行同侧车轮检测时,将同侧的所有 N_w 个车轮都检测出,选取车辆同侧车轮的 N_w 个特征点坐标,所述 $N_w > 2$,通过拟合的方法获取车轮直线方程 $y_w = k_w x_w + b_w$,然后选取 N_w 个车轮里的 N_w 个特征点中横坐标最大和最小的两个坐标的x坐标,分别记为 $x_{w\text{max}}$ 和 $x_{w\text{min}}$,代入所述车轮直线方程 $y_w = k_w x_w + b_w$ 中求取对应的两个y坐标,分别记为 $y_{w\text{max}}$ 和 $y_{w\text{min}}$,得到最终计算车辆位姿的车轮特征点坐标。

[0054] 优选地,所述目标车辆车型为货车、大卡车或工程作业车。

[0055] 优选地,采用透视变换矩阵将所述特征点像素坐标转换到世界坐标系中。

[0056] 优选地,采用公式(4)和(5)将所述特征点像素坐标转换到世界坐标系中

$$x_i^w = \frac{A_x + B_x \cdot u_i + C_x \cdot v_i + (D_x + E_x \cdot u_i + F_x \cdot v_i) \cdot z}{G_c} \quad (4)$$

$$y_i^w = \frac{A_y + B_y \cdot u_i + C_y \cdot v_i + (D_y + E_y \cdot u_i + F_y \cdot v_i) \cdot z}{G_c} \quad (5)$$

[0058] 其中,

$$\begin{cases} A_x = -(m_{11} \cdot m_{24} - m_{14} \cdot m_{21}) \\ B_x = -(m_{21} \cdot m_{34} - m_{24} \cdot m_{31}) \\ C_x = (m_{11} \cdot m_{34} - m_{14} \cdot m_{31}) \\ D_x = -(m_{11} \cdot m_{23} - m_{13} \cdot m_{21}) \\ E_x = -(m_{21} \cdot m_{33} - m_{23} \cdot m_{31}) \\ F_x = (m_{11} \cdot m_{33} - m_{13} \cdot m_{31}) \end{cases}$$

$$\begin{cases} A_y = m_{12} \cdot m_{24} - m_{14} \cdot m_{22} \\ B_y = m_{22} \cdot m_{34} - m_{24} \cdot m_{32} \\ C_y = -(m_{12} \cdot m_{34} - m_{14} \cdot m_{32}) \\ D_y = m_{12} \cdot m_{23} - m_{13} \cdot m_{22} \\ E_y = m_{22} \cdot m_{33} - m_{23} \cdot m_{32} \\ F_y = -(m_{12} \cdot m_{33} - m_{13} \cdot m_{32}) \end{cases}$$

$$\begin{cases} G_c = m_{11} \cdot m_{22} - m_{12} \cdot m_{21} + \\ (m_{21} \cdot m_{32} - m_{22} \cdot m_{31}) \cdot u_i - \\ (m_{11} \cdot m_{32} - m_{12} \cdot m_{31}) \cdot v_i \end{cases}$$

[0060] 其中, $m_{i,j}$ ($i=1,2,3; j=1,2,3,4$)表示相机内参和外参组成的参数矩阵的元素; u_i, v_i 表示编号为i的车轮框特征点在图像坐标系下的x坐标和y坐标; z 表示所求取的特征点

在世界坐标系中Z轴的坐标值； x_i^w 、 y_i^w 分别表示像素坐标在世界坐标系下的X轴的坐标值和Y轴的坐标值。

[0061] 优选地,当使用车轮底部与地面接触点作为特征点时, $z=0$,此时公式(4)和(5)简化为公式(6)和(7)的形式

$$x_i^w = \frac{A_x + B_x \cdot u_i + C_x \cdot v_i}{G_c} \quad (6)$$

$$y_i^w = \frac{A_y + B_y \cdot u_i + C_y \cdot v_i}{G_c} \quad (7)。$$

[0063] 优选地,当使用车轮顶部的中点作为特征点时, $z=D_{\text{wheel}}$,其中 D_{wheel} 表示车轮的直径。

[0064] 优选地,根据车辆目标在视野中出现的位置判断车辆目标是在左侧行驶(LEFT)还是右侧行驶(RIGHT);若在左侧行驶(LEFT),则视野内看到的目标车辆的两个侧面车轮位于目标框的右侧;反之,若目标车辆在右侧行驶(RIGHT),则看到的目标车辆的两个侧面车轮在目标框的左侧。

[0065] 优选地,对于特征点像素坐标 $P_i(u_i, v_i)$,若检测到的所有车轮都整体出现在视野中,则使用车轮底部与地面接触点作为特征点,记为公式(8)

$$\begin{cases} u_i = x_i + \frac{w_i}{2} \\ v_i = y_i + h_i \end{cases} \quad (8)。$$

[0067] 优选地,对于特征点像素坐标 $P_i(u_i, v_i)$,若检测到车轮在图像中出现不完整,则使用车轮顶部的中点作为车轮特征点,记为公式(9)

$$\begin{cases} u_i = x_i + \frac{w_i}{2} \\ v_i = y_i \end{cases} \quad (9)$$

[0069] 此时在计算图像上的点到世界坐标系下转换时,透视变换矩阵计算过程中所取的世界坐标系中的点(A、B、C、D)不在地平面上,而是在平行于地平面 $z=D_{\text{wheel}}$,其中 D_{wheel} 表示车轮的直径。

[0070] 优选地,将特征点像素坐标转换到世界坐标系,包括:

[0071] 固定世界坐标系下4个点,记为点A、B、C、D,组成的矩形范围,作为鸟瞰图可表示区域;

[0072] 通过使用相机外参矩阵和内参矩阵,将上述世界坐标系下4个点转换到图像坐标系下,如公式(10)所示

$$Zc \begin{bmatrix} u_s \\ v_s \\ 1 \end{bmatrix} = K \cdot M \cdot \begin{bmatrix} Xw_s \\ Yw_s \\ Zw_s \\ 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

[0074] 其中, $[Xw_s \ Yw_s \ Zw_s]$, ($s=A, B, C, D$),表示世界坐标系下4个点A、B、C、D的坐标, Zc 表示对应点在相机坐标系下的坐标Z轴方向的值, $[u_s, v_s]$, ($s=A, B, C, D$),为求取的对应点在图像坐标系下的坐标。

[0075] 优选地,取鸟瞰图的4个顶点作为透视变换参考点,与原图图像坐标系下的4个点

结合,求得原图到鸟瞰图的透视变换矩阵Warp;

[0076] 根据世界坐标系下4个点的尺度和鸟瞰图的尺度关系,计算鸟瞰图中像素值与世界坐标系坐标的比例关系 G_w ;

[0077] 则图像坐标系上的点通过公式(11)转换到世界坐标系上

$$[0078] \quad \begin{bmatrix} x_i^w \\ y_i^w \\ Z_t \end{bmatrix} = G_w \cdot \text{Warp} \cdot \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \\ 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

[0079] 其中, Z_t 在式中无实际意义; x_i^w 、 y_i^w 分别表示像素坐标在世界坐标系下的x坐标值和y坐标值。

[0080] 优选地,所述变换矩阵Warp的计算步骤如下:

[0081] 步骤1)、取世界坐标系中4个地面上的点 $P_i^{wb}(x_i^{wb}, y_i^{wb}, z_i^{wb})$,作为鸟瞰图视野中的4个顶点,其中 $i=1,2,3,4$ 表示点的索引, $(x_i^{wb}, y_i^{wb}, z_i^{wb})$ 为世界坐标系中的坐标值;在世界坐标系中,这4个点组成一个矩形,矩形的边平行于世界坐标系上的坐标轴,在鸟瞰图中,4个顶点的坐标分别为 $P_1^b(0, 0)$ 、 $P_2^b(W_{img}, 0)$ 、 $P_3^b(W_{img}, H_{img})$ 、 $P_4^b(0, H_{img})$, W_{img} 、 H_{img} 均为世界坐标系上的坐标值;

[0082] 步骤2)、根据相机内参和外参,将上述4个点 P_i^{wb} 投影到图像坐标,表示为 $P_i^l(x_i^l, y_i^l)$,其中 $i=1,2,3,4$ 表示点的索引, (x_i^l, y_i^l) 为图像坐标系下的坐标值;

[0083] 步骤3)、通过以上点 P_i^b 与 P_i^l 的对应关系,组成如下方程组:

$$[0084] \quad \begin{bmatrix} P_1^l & P_2^l & P_3^l & P_4^l \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} = \text{Warp} \cdot \begin{bmatrix} P_1^b & P_2^b & P_3^b & P_4^b \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

[0085] 解得鸟瞰图与原图之间的单应矩阵Warp。

[0086] 优选地,若车轮特征点为车轮与地面接触位置,则 $z_i^{wb}=0$,若车轮特征点为车轮中心,则 $z_i^{wb}=D_{wheel}/2$,若车轮特征点为车轮顶部,则 $z_i^{wb}=D_{wheel}$;

[0087] 基于训练好的深度神经网络获得车轮的直径 D_{wheel} 。

[0088] 优选地,当车轮在地面行驶时,此时的车轮特征的实际高度 Z_w 记为0。

[0089] 优选地,记两个车轮特征点的世界坐标为 (x_1^w, y_1^w, Z_w) 、 (x_2^w, y_2^w, Z_w) ,其中 Z_w 表示车轮特征的实际高度;则车辆的姿态角如公式(12)所示

$$[0090] \quad \alpha = \arctan\left(\frac{y_1^w - y_2^w}{x_1^w - x_2^w}\right) \quad (12)。$$

[0091] 优选地,使用运动模型跟踪车辆坐标及姿态。

[0092] 优选地,使用CTRV运动模型对车辆的坐标和姿态进行跟踪滤波,以每一帧图像计算得到的坐标值和车辆姿态值作为观测量,使用Kalman跟踪的方法来进行预测。

[0093] 为解决上述技术问题,根据本发明的另一个方面,提供了一种基于车轮的目标车辆姿态检测装置,包括:

[0094] 图像获取装置,获取当前相机图像;

[0095] 车辆目标检测装置,输入获取的所述当前相机图像,对输入图像进行车辆目标检测,得到车辆目标;

[0096] 车轮目标检测装置,对所述车辆目标进行车轮检测,得到车轮目标;

[0097] 同侧车轮提取装置,在车轮目标中提取出两个同侧面车轮的特征点;

[0098] 倾角姿态计算装置,利用所述两个同侧面车轮特征点坐标的连线获得车辆的倾角姿态。

[0099] 本发明的有益效果:

[0100] 1、本发明无需标注车辆姿态,即可快速实现对车辆转角姿态的判断,在低速拥堵路况下仍有良好的表现;既克服了现有的通过神经网络进行预测时需要大量的车辆姿态数据标定而无法保证实时性的缺点,又解决了传统的历史轨迹推算方法只适用于在中高速状态下应用而在低速状态下无法应用的问题;

[0101] 2、使用车轮作为姿态判断的主要依据,在鸟瞰图下进行姿态估算,提升了姿态计算的精度,能够在较大范围内对目标进行实时精确地姿态检测;

[0102] 3、本发明的基于车轮的目标车辆姿态测算方法简单易行,测算精度高,适于在自动驾驶或辅助驾驶中实际应用。

附图说明

[0103] 附图示出了本发明的示例性实施方式,并与其说明一起用于解释本发明的原理,其中包括了这些附图以提供对本发明的进一步理解,并且附图包括在本说明书中并构成本说明书的一部分。通过结合附图对本发明的实施例进行详细描述,本发明的上述和其它目的、特征、优点将更加清楚。

[0104] 图1是基于车轮的目标车辆姿态测算方法的流程图;

[0105] 图2是车辆目标的二维框在图像中的坐标及尺寸图;

[0106] 图3是基于分割图获取车轮特征点流程图;

[0107] 图4是基于分割图获得车轮特征点结果图;

[0108] 图5是原图坐标到世界坐标的转换流程图;

[0109] 图6是原图到鸟瞰图的透视变换关系图;

[0110] 图7是原图及其透视变换后的鸟瞰图;

[0111] 图8是车辆的姿态角;

[0112] 图9是实际目标车辆姿态测算结果图。

具体实施方式

[0113] 下面结合附图和实施方式对本发明作进一步的详细说明。可以理解的是,此处所描述的具体实施方式仅用于解释相关内容,而非对本发明的限定。另外还需要说明的是,为了便于描述,附图中仅示出了与本发明相关的部分。

[0114] 需要说明的是,在不冲突的情况下,本发明中的实施方式及实施方式中的特征可以相互组合。下面将参考附图并结合实施方式来详细说明本发明。

[0115] 除非另有说明,否则示出的示例性实施方式/实施例将被理解为提供可以在实践中实施本公开的技术构思的一些方式的各种细节的示例性特征。因此,除非另有说明,否则

在不脱离本公开的技术构思的情况下,各种实施方式/实施例的特征可以另外地组合、分离、互换和/或重新布置。

[0116] 在本说明书的描述中,参考术语“一个实施例/方式”、“一些实施例/方式”、“示例”、“具体示例”、或“一些示例”等的描述意指结合该实施例/方式或示例描述的具体特征、结构、材料或者特点包含于本申请的至少一个实施例/方式或示例中。在本说明书中,对上述术语的示意性表述不必针对的是相同的实施例/方式或示例。而且,描述的具体特征、结构、材料或者特点可以在任一个或多个实施例/方式或示例中以合适的方式结合。此外,在不相互矛盾的情况下,本领域的技术人员可以将本说明书中描述的不同实施例/方式或示例以及不同实施例/方式或示例的特征进行结合和组合。

[0117] 针对现有技术中采用通过神经网络进行预测的方法,需要大量的车辆姿态数据收集,且实时性差,而使用历史轨迹推算的方法在低速和拥堵状态下难以实现的问题,本发明提出了新的基于车轮的目标车辆姿态测算方法。所述基于车轮的目标车辆姿态测算方法的流程图如图1所示,主要包括如下步骤:

[0118] 步骤1、获取相机图像;

[0119] 步骤2、采集所述图像,从所述图像中检测车辆目标,并检测车辆相关车轮;

[0120] 步骤3、根据车轮完整程度选取同侧车轮特征点;

[0121] 步骤4、使用相机外参将所述车轮特征点转换到世界坐标系下;

[0122] 步骤5、利用所述车轮特征点世界坐标计算车辆姿态;

[0123] 步骤6、使用Kalman跟踪来降低测量误差。

[0124] 在获取相机图像之前,还需要对相机参数进行标定。

[0125] 1)、标定相机内外参:标定相机内参,外参,获得相机内参参数矩阵如下:

$$[0126] \quad K = \begin{bmatrix} f_x & 0 & p_x \\ 0 & f_y & p_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

[0127] 其中, f_x, f_y 表示相机 x, y 方向焦距, p_x, p_y 表示相机中心点相对于左上角偏移,上述参数都可通过标定的方法获得。

[0128] 相机外参矩阵如下:

$$[0129] \quad M = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \end{bmatrix} \quad (2)$$

[0130] 其中, r_{ij} ($i=1, 2, 3; j=1, 2, 3$)表示相机相对于世界坐标系的旋转矩阵, t_i ($i=1, 2, 3$)表示相机坐标系相对于世界坐标系的平移关系。

[0131] 并且记相机内外参关系为:

$$[0132] \quad EM = K \cdot M = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & m_{34} \end{bmatrix} \quad (3)$$

[0133] 2)、车辆目标检测及车轮检测:所述相机为安装在车辆前端的摄像头,利用所述摄像头进行图像采集,可获取图像,记为 I ;使用已经训练好的深度学习模型进行目标检测,如图2所示,可以获得车辆目标 V 的二维框在图像中的坐标及尺寸 (x, y, w, h) ,其中 (x, y) 表示

二维框左上角坐标, w, h 为二维框尺寸。

[0134] 在已经获取到的目标框内, 使用车轮检测及提取的方法, 获得图像中的车轮框, 表示为 $W_i(x_i, y_i, w_i, h_i)$, 作为后续计算依据, 其中 $i=1, 2, \dots, N$, N 表示检测到的车轮数目, 其中 x_i, y_i, w_i 和 h_i 分别表示车轮框的左上角的 x 坐标、 y 坐标、车轮框宽度和高度。

[0135] 3)、车辆目标姿态计算:

[0136] 当一个车辆目标 V 可检测到的车轮数目 $N \geq 2$ 时, 可使用以下步骤计算车辆的姿态:

[0137] 分别对左侧车辆和右侧车辆对车轮框进行检查, 提取出所需要的两个同侧面车轮;

[0138] 选取上述步骤所检测到车轮框 W_i 的特征点像素坐标 $P_i(u_i, v_i)$, 将这些特征点转换到世界坐标系中, 并获取在世界坐标系里的坐标 $P_i^w(x_i^w, y_i^w, z_i^w)$;

[0139] 基于上述过程中获得的车轮底部(或顶部)的世界坐标, 可获得车辆的两轮中心坐标, 根据中心坐标的连线可以获得车辆的倾角姿态。

[0140] 此外, 对于变换实时性要求不那么严苛的场合或者所述车辆姿态检测系统的配置较高、运算力强, 则可以采用如下公式将所述特征点像素坐标转换到世界坐标系中:

$$x_i^w = \frac{A_x + B_x \cdot u_i + C_x \cdot v_i + (D_x + E_x \cdot u_i + F_x \cdot v_i) \cdot z}{G_c} \quad (4)$$

[0141]

$$y_i^w = \frac{A_y + B_y \cdot u_i + C_y \cdot v_i + (D_y + E_y \cdot u_i + F_y \cdot v_i) \cdot z}{G_c} \quad (5)$$

[0142] 其中,

$$\begin{cases} A_x = -(m_{11} \cdot m_{24} - m_{14} \cdot m_{21}) \\ B_x = -(m_{21} \cdot m_{34} - m_{24} \cdot m_{31}) \\ C_x = (m_{11} \cdot m_{34} - m_{14} \cdot m_{31}) \\ D_x = -(m_{11} \cdot m_{23} - m_{13} \cdot m_{21}) \\ E_x = -(m_{21} \cdot m_{33} - m_{23} \cdot m_{31}) \\ F_x = (m_{11} \cdot m_{33} - m_{13} \cdot m_{31}) \end{cases}$$

[0143]

$$\begin{cases} A_y = m_{12} \cdot m_{24} - m_{14} \cdot m_{22} \\ B_y = m_{22} \cdot m_{34} - m_{24} \cdot m_{32} \\ C_y = -(m_{12} \cdot m_{34} - m_{14} \cdot m_{32}) \\ D_y = m_{12} \cdot m_{23} - m_{13} \cdot m_{22} \\ E_y = m_{22} \cdot m_{33} - m_{23} \cdot m_{32} \\ F_y = -(m_{12} \cdot m_{33} - m_{13} \cdot m_{32}) \end{cases}$$

[0144] $G_c = m_{11} \cdot m_{22} - m_{12} \cdot m_{21}$

[0145] $(m_{21} \cdot m_{32} - m_{22} \cdot m_{31}) \cdot u_i$

[0146] $(m_{11} \cdot m_{32} - m_{12} \cdot m_{31}) \cdot v_i$

[0147] 其中, m_{ij} ($i=1, 2, 3; j=1, 2, 3, 4$) 表示相机内参和外参组成的参数矩阵的元素; u_i, v_i 表示编号为 i 的车轮框特征点在图像坐标系下的 x 坐标和 y 坐标; z 表示所求取的特征点在世界坐标系 Z 轴的值; x_i^w, y_i^w 分别表示像素坐标在世界坐标系下的 x 坐标值和 y 坐标值。

[0148] 当使用车轮底部与地面接触点作为特征点时, $z=0$, 此时公式 (4) 和 (5) 简化为公式 (6) 和 (7) 的形式

$$[0149] \quad x_i^w = \frac{A_x + B_x \cdot u_i + C_x \cdot v_i}{G_c} \quad (6)$$

$$[0150] \quad y_i^w = \frac{A_y + B_y \cdot u_i + C_y \cdot v_i}{G_c} \quad (7)。$$

[0151] 当使用车轮顶部的中点作为特征点时, $z=D_{\text{wheel}}$, 其中 D_{wheel} 表示车轮的直径。

[0152] 公式变换法的特点是只需对当前需要转换的坐标点进行计算, 但是计算过程较为复杂, 当系统配置较高、运算力强时可以直接使用; 而对于自动驾驶中的嵌入式平台, 由于运算力有限且实时性要求高, 则使用直接透视变换法进行坐标变换, 此时, 只需事先一次性求出图像中每个像素点所对应的世界坐标值, 后续当进行坐标变换是, 直接进行坐标映射接口, 变换速度快, 适用于嵌入式实时计算平台。采用直接透视变换法进行坐标变换大大减少了系统计算消耗, 又能保证计算精度, 既适用于中高速状态下的检测又适用于低速状态下的检测, 是一种简洁的且适用范围广的快速计算方法。

[0153] 3.1)、同侧车轮检测方法

[0154] 若同一车辆目标所检测到的车轮数目 $N>2$ 时, 需从中提出属于车辆同一侧面的车轮。

[0155] 若目标车辆为单侧超过2个车轮的车辆, 则在进行同侧车轮检测时, 将同侧的所有 N_w 个车轮都检测出, 选取车辆同侧车轮的 N_w 个特征点坐标, 所述 $N_w>2$, 通过拟合的方法获取车轮直线方程 $y_w = k_w x_w + b_w$, 然后选取 N_w 个车轮里的 N_w 个特征点中横坐标最大和最小的两个坐标的 x 坐标, 分别记为 $x_{w\max}$ 和 $x_{w\min}$, 代入所述车轮直线方程 $y_w = k_w x_w + b_w$ 中求取对应的两个 y 坐标, 分别记为 $y_{w\max}$ 和 $y_{w\min}$, 得到最终计算车辆位姿的车轮特征点坐标。

[0156] 如图2所示, 首先根据车辆目标在视野中出现的位置判断车辆目标是在左侧行驶 (图中LEFT) 还是右侧行驶 (图中RIGHT); 若在左侧行驶 (LEFT), 则视野内可以看到的目标车辆的两个侧面车辆应该位于目标框的右侧; 反之, 若目标车辆在右侧行驶 (RIGHT), 则可以看到的车轮应该在目标框的左侧。

[0157] 3.2)、特征点像素坐标 $P_i(u_i, v_i)$ 的计算

[0158] 一般的, 若检测到的所有车轮都整体出现在视野中, 首选使用车轮底部与地面接触点作为特征点, 记

$$[0159] \quad \begin{cases} u_i = x_i + \frac{w_i}{2} \\ v_i = y_i + h_i \end{cases} \quad (8)$$

[0160] 实际的, 在车辆刚进入视野或者从视野消失的过程中, 车轮在图像中出现可能会不完整, 在车轮不完整出现的情况下, 车轮底部的中点就无法获得, 此时用车轮顶部的中点作为车轮特征点 $P_i(u_i, v_i)$ 。

[0161] 此时在计算图像上的点到世界坐标系下转换时, 透视变换矩阵计算过程中所取的世界坐标系中的点 (A, B, C, D) 不在地平面上, 而是在平行于地平面 $Z_w = D_{\text{wheel}}$, 其中 D_{wheel} 表示车轮的直径。

$$[0162] \quad \begin{cases} u_i = x_i + \frac{w_i}{2} \\ v_i = y_i \end{cases} \quad (9)$$

[0163] 车轮是否完整的判断方法:

[0164] 判断上述步骤所检测到的车轮框 W_i 内的车轮图像是否完整,方法如下:

[0165] 若车轮框 W_i 底部纵坐标 $y_{bi} = y_i + h_i$ 与其所在目标 V 的二维框底部 $y_b = y + h$ 的差值 $\delta y = \text{abs}(y_{bi} - y_b)$ 小于可接受阈值 T ,同时 y_b 与图像底边的差值也小于阈值 T ,则可以认为此时车轮不完整,一般的 T 可取 5px 。

[0166] 3.3)、原图坐标到世界坐标的转换

[0167] 图5是本发明的原图坐标到世界坐标的转换流程图,所述转换使用直接透视变换法进行坐标变换,只需事先一次性求出图像中每个像素点所对应的世界坐标值,后续当进行坐标变换是,直接进行坐标映射接口,变换速度快,适用于嵌入式实时计算平台。具体过程如下:

[0168] 3.3.1)、固定世界坐标系下4个点(A,B,C,D)组成的矩形范围,作为鸟瞰图可表示区域;透视变换关系如图6所示;

[0169] 3.3.2)、通过使用相机外参矩阵和内参矩阵,将世界坐标系内的4个点转换到图像坐标系下

$$[0170] \quad Z_c \begin{bmatrix} u_s \\ v_s \\ 1 \end{bmatrix} = K \cdot M \cdot \begin{bmatrix} X_{w_s} \\ Y_{w_s} \\ Z_{w_s} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

[0171] 其中, $[X_{w_s} \ Y_{w_s} \ Z_{w_s}]$ ($s=A,B,C,D$),表示世界坐标系下4个点A、B、C、D的坐标, Z_c 表示对应点在相机坐标系下的坐标 Z 轴方向的值, $[u_s, v_s]$ ($s=A,B,C,D$)为求取的对应点在图像坐标系下的坐标。一般的,由于车轮在地面行驶,此处的 Z_{w_s} 记为0。

[0172] 3.3.3)、取鸟瞰图的4个顶点作为透视变换参考点,与上一步求得的原图坐标系下的4个点结合,可求得原图到鸟瞰图的透视变换矩阵Warp

[0173] 3.3.4)、根据世界坐标系四个点的尺度和鸟瞰图的尺度关系,计算鸟瞰图中像素值与世界坐标系坐标的比例关系 G_w ;转换后的效果如图7所示,其中图7(a)为原图,图7(b)为鸟瞰图。

[0174] 3.3.5)、则图像坐标系上的点可以通过下面公式转到世界坐标系上

$$[0175] \quad \begin{bmatrix} x_i^w \\ y_i^w \\ Z_t \end{bmatrix} = G_w \cdot \text{Warp} \cdot \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \\ 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

[0176] 其中, Z_t 在式中无实际意义。

[0177] 所述变换矩阵Warp的计算步骤如下:

[0178] 步骤1)、取世界坐标系中4个地面上的点 $P_i^{wb}(x_i^{wb}, y_i^{wb}, z_i^{wb})$,作为鸟瞰图视野中的4个顶点,其中 $i=1,2,3,4$ 表示点的索引, $(x_i^{wb}, y_i^{wb}, z_i^{wb})$ 为世界坐标系中的坐标值;在世界坐标系中,这4个点组成一个矩形,矩形的边平行于世界坐标系上的坐标轴,在鸟瞰图中,4个

顶点的坐标分别为 $P_1^b(0, 0)$ 、 $P_2^b(W_{img}, 0)$ 、 $P_3^b(W_{img}, H_{img})$ 、 $P_4^b(0, H_{img})$ ， W_{img} 、 H_{img} 均为世界坐标系上的坐标值；

[0179] 步骤2)、根据相机内参和外参，将上述4个点 P_i^{wb} 投影到图像坐标，表示为 $P_i^l(x_i^l, y_i^l)$ ，其中 $i=1, 2, 3, 4$ 表示点的索引， (x_i^l, y_i^l) 为图像坐标系下的坐标值；

[0180] 步骤3)、通过以上点 P_i^b 与 P_i^l 的对应关系，组成如下方程组：

$$[0181] \quad \begin{bmatrix} P_1^l & P_2^l & P_3^l & P_4^l \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} = Warp \cdot \begin{bmatrix} P_1^b & P_2^b & P_3^b & P_4^b \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

[0182] 解得鸟瞰图与原图之间的单应矩阵Warp。

[0183] 车辆姿态角的计算：

[0184] 经过上述步骤计算出来的两个车轮特征点的世界坐标为 (x_1^w, y_1^w, Z_w) 、 (x_2^w, y_2^w, Z_w) ，其中 Z_w 为计算车轮特征的实际高度。可计算车辆的姿态角为：

$$[0185] \quad \alpha = \arctan\left(\frac{y_1^w - y_2^w}{x_1^w - x_2^w}\right) \quad (12)$$

[0186] 如图8所示，车辆中心位置的坐标为 $P_c(x_c, y_c)$ ，其中 W 、 L 分别为目标车辆的轮距和轴距。

[0187] 4)、使用运动模型跟踪车辆坐标及姿态，可获得稳定的测量结果

[0188] 如可使用CTRV运动模型对车辆的坐标和姿态进行跟踪滤波，以每一帧图像计算得到的坐标值和车辆姿态值作为观测量，使用Kalman跟踪的方法来进行预测。

[0189] 图9为使用本专利所提出的方法计算的目标车辆计算结果图，从右侧顶视图可以看出使用此方法获取的目标姿态与车辆实际姿态吻合，可以达到测算目标车辆姿态的目的。

[0190] 由此可见，本发明无需标注车辆姿态，即可快速实现对车辆转角姿态的判断，在低速拥堵路况下仍有良好的表现；既克服了现有的通过神经网络进行预测时需要大量的车辆姿态数据标定而无法保证实时性的缺点，又解决了传统的历史轨迹推算方法只适用于在中高速状态下应用而在低速状态下无法应用的问题；本发明使用车轮作为姿态判断的主要依据，在鸟瞰图下进行姿态估算，提升了姿态计算的精度，能够在较大范围内对目标进行实时精确地姿态检测；所述方法简单易行，测算精度高，适于在自动驾驶或辅助驾驶中实际应用。

[0191] 至此，已经结合附图所示的优选实施方式描述了本发明的技术方案，但是，本领域技术人员应当理解，上述实施方式仅仅是为了清楚地说明本发明，而并非是对本发明的范围进行限定，本发明的保护范围显然不局限于这些具体实施方式。在不偏离本发明的原理的前提下，本领域技术人员可以对相关技术特征作出等同的更改或替换，这些更改或替换之后的技术方案都将落入本发明的保护范围之内。

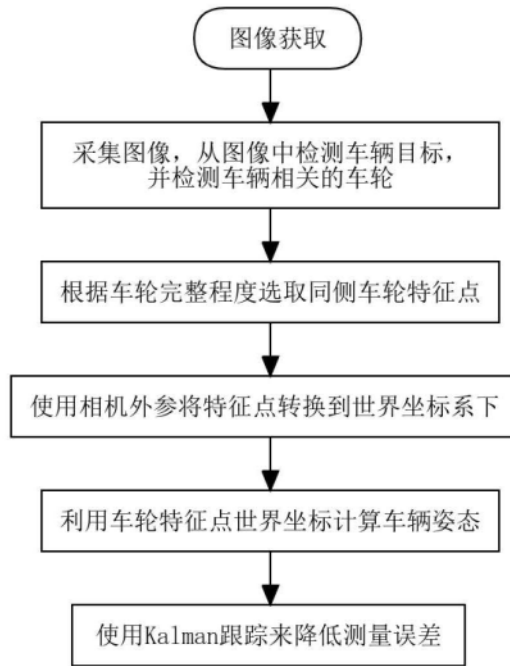


图1

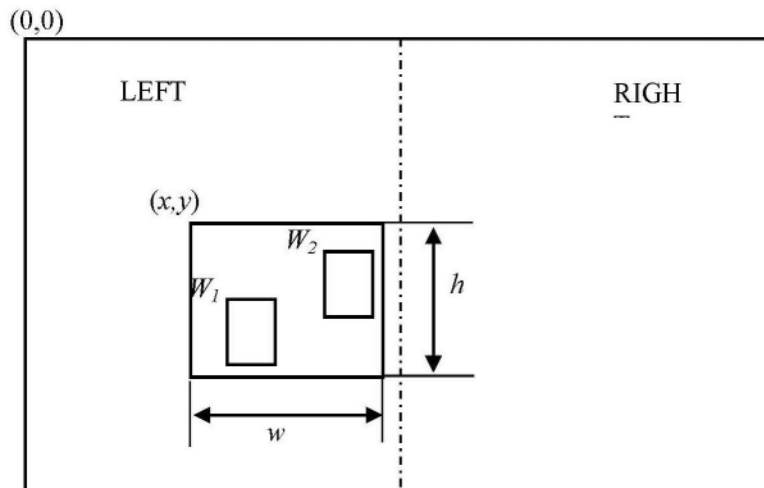


图2

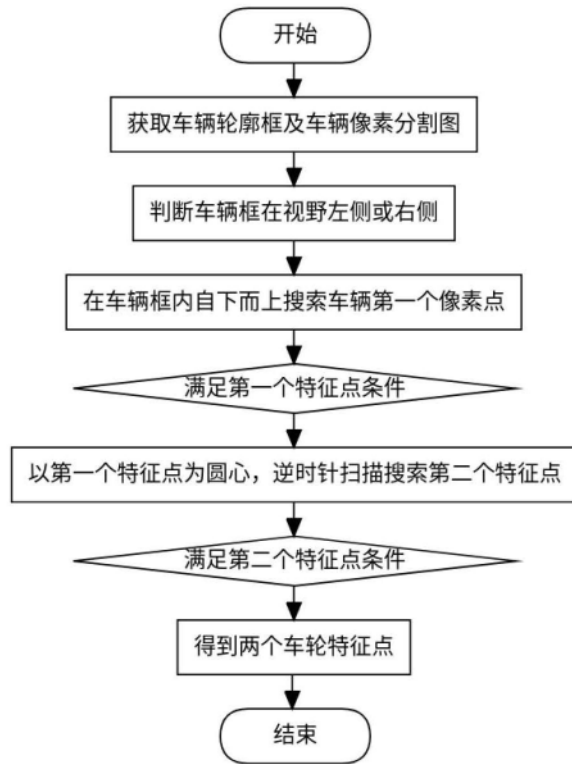


图3



(a)



(b)

图4

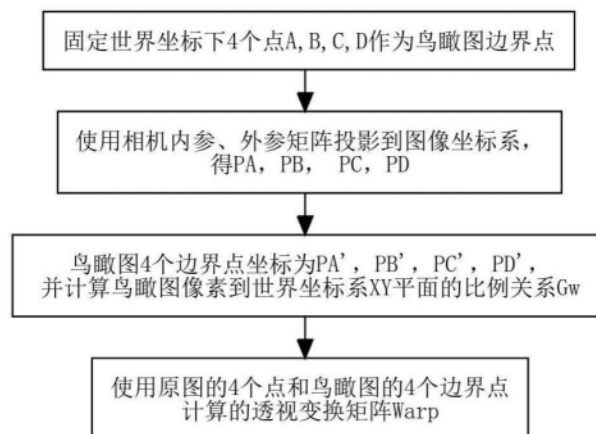


图5

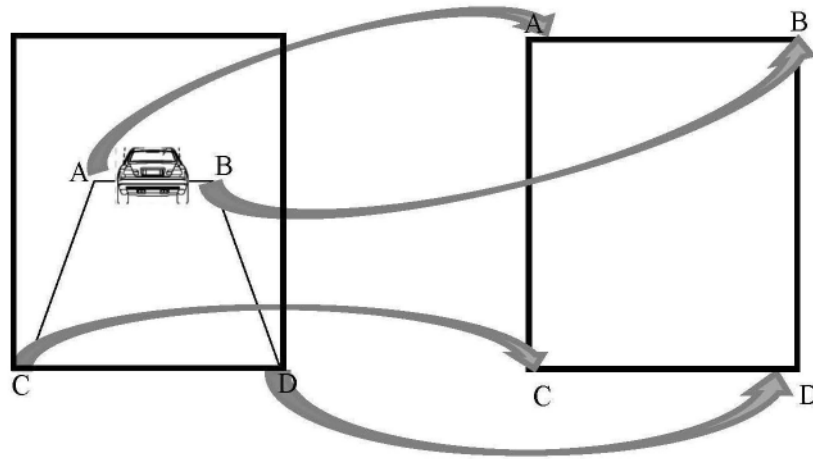


图6



(a)



(b)

图7

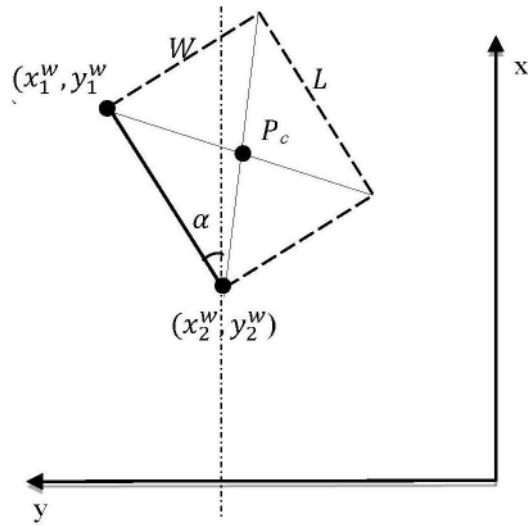


图8



图9