



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114357794 B

(45) 授权公告日 2024. 07. 05

(21) 申请号 202210033540.4

G06F 119/02 (2020.01)

(22) 申请日 2022.01.12

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 109211233 A, 2019.01.15

申请公布号 CN 114357794 A

CN 110940344 A, 2020.03.31

(43) 申请公布日 2022.04.15

审查员 徐生芹

(73) 专利权人 东南大学

地址 210096 江苏省南京市玄武区四牌楼2号

(72) 发明人 李旭 宋剑 徐启敏

(74) 专利代理机构 南京众联专利代理有限公司
32206

专利代理师 张天哲

(51) Int. Cl.

G06F 30/20 (2020.01)

G06F 17/16 (2006.01)

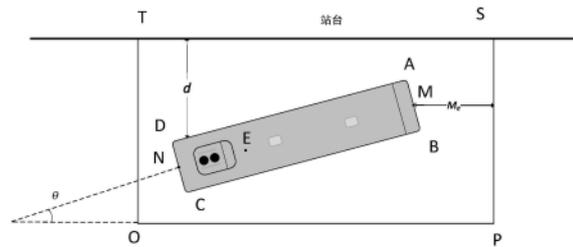
权利要求书5页 说明书13页 附图3页

(54) 发明名称

一种基于改进卡尔曼滤波的公交进站停车测评方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于改进卡尔曼滤波的公交进站停车测评方法,该方法需要在被测对象上安装一套高性能双天线组合导航系统采集测评所需基础参数数据,包括位置、速度、航向角、加速度等,且需要事先测量被测公交长宽、后侧主天线在车辆上的相对位置,以及站台位置信息。采用相对位置推算的方法将所测量的公交上某一点轨迹推衍至四个角点轨迹,进行公交进站完成度测评;采用改进的卡尔曼滤波对横摆角速度和侧向加速度数据进行处理,进行公交进站稳定性测评。本发明与公交进站停车的实现原理和技术无关,从第三方的角度开展测评,具有测评指标多,测评结果准确的特点。



1. 一种基于改进卡尔曼滤波的公交进站停车测评方法,其特征在于:利用组合导航系统获取被测公交车在行驶过程中的基础参数信息,采用相对位置推算和改进卡尔曼滤波进行数据处理,实现对进站停车完成时车辆侧面与站台距离、进站停车完成时车辆轴线与泊车位外侧边线夹角、进站停车完成时车头与车前标线的最大距离、以及被测公交车进站过程稳定性等指标的测评,具体步骤包括:

步骤一:基础参数采集

为被测公交车安装双天线组合导航系统,组合导航的系统时间以北斗时间为参考基准,测评所需的基础参数信息包括:进站过程中被测公交车的经纬度坐标、速度、横摆角速度、侧向加速度、航向角;被测公交车的参数,即车辆宽度、长度,后侧主天线至车头、车辆侧边的距离;站台边线的经纬度坐标,以四个点的坐标表示站台边线;

步骤二:数据处理

在获取测评所需基础参数的基础上,数据处理包括两部分,一部分是需要根据车后侧主天线的运动轨迹及车辆参数推算车辆四个角点的运动轨迹,此部分数据处理的目的是对公交进站停车的完成度进行评价;另一部分是考虑横摆角速度和侧向加速度数据受传感器噪声影响而波动太大,需要对该两组数据进行改进卡尔曼滤波处理,此部分数据处理的目的是对公交进站停车过程的稳定性进行评价;

子步骤1:定义与计算被测公交车四角点运动轨迹

以车辆左前角为起点,定义为A点,顺时针对被测公交车四个角点依次定义为A点,B点,C点,D点;车辆后侧主天线定义为E点;车头车尾中点分别定义为M点和N点;定义主天线至车头距离为Lf,至车辆侧边距离为L1,车辆宽度为W,长度为L以便于计算;读取所得航向角定义为Dir;在获取被测公交车行驶轨迹时,因获取轨迹数据为组合导航所输出的经纬度信息,故需要对其进行高斯投影变换,使其单位化为米,便于解算测评指标项:

Ex(x,y)

$$\begin{aligned}
 &= \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 * \sin^2 \left(x * \frac{\pi}{180} \right)}} * \left(y - 118 * \frac{\pi}{180} \right) * \cos x \\
 &* \left(1 + \frac{1 - \tan^2 \left(x * \frac{\pi}{180} \right) - ep^2 * \cos^2 \left(x * \frac{\pi}{180} \right)}{6} * \left(\left(y - 118 * \frac{\pi}{180} \right) * \cos x \right)^2 \right) \\
 &+ \left(\frac{5 - 18 * \tan^2 \left(x * \frac{\pi}{180} \right)}{120} \right. \\
 &+ \left. \frac{\tan^4 \left(x * \frac{\pi}{180} \right) + 14 * ep^4 * \cos^4 \left(x * \frac{\pi}{180} \right) - 58 * \tan^2 \left(x * \frac{\pi}{180} \right) * ep^2 * \cos^2 \left(x * \frac{\pi}{180} \right)}{120} \right) \\
 &* \left(\left(y - 118 * \frac{\pi}{180} \right) * \cos x \right)^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& E_y(x, y) \\
& = \left(\cos\left(x * \frac{\pi}{180}\right) - \cos\left(32 * \frac{\pi}{180}\right) \right) * \left(C_0 - \left(C_1 * \sin\left(x * \frac{\pi}{180}\right) + C_2 * \sin^3\left(x * \frac{\pi}{180}\right) \right. \right. \\
& \left. \left. + C_3 * \sin^5\left(x * \frac{\pi}{180}\right) + C_4 * \sin^7\left(x * \frac{\pi}{180}\right) \right) \right) - \left(\tan\left(x * \frac{\pi}{180}\right) * \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 * \sin^2\left(x * \frac{\pi}{180}\right)}} \right. \\
& * \frac{\left(\left(y - 118 * \frac{\pi}{180} \right) * \cos x \right)^2}{2} \\
& * \left(1 + \left(\left(y - 118 * \frac{\pi}{180} \right) * \cos x \right)^2 \right. \\
& * \frac{5 - \tan^2\left(x * \frac{\pi}{180}\right) + 9 * \left(ep * \cos\left(x * \frac{\pi}{180}\right) \right)^2 + 4 * \left(ep * \cos\left(x * \frac{\pi}{180}\right) \right)^4}{24} \\
& \left. + \left(\left(y - 118 * \frac{\pi}{180} \right) * \cos x \right)^4 \right. \\
& * \left(\frac{61 - 58 * \tan^2\left(x * \frac{\pi}{180}\right) + \tan^4\left(x * \frac{\pi}{180}\right)}{720} \right. \\
& \left. \left. + \frac{270 * \left(ep * \cos\left(x * \frac{\pi}{180}\right) \right)^2 - 330 * \tan^2\left(x * \frac{\pi}{180}\right) * \left(ep * \cos\left(x * \frac{\pi}{180}\right) \right)^2}{720} \right) \right)
\end{aligned}$$

其中:

$$\begin{cases}
e = 0.08181922146 \\
ep = 0.082009446887 \\
a = 6378137 \\
C_0 = 6367499.1458234 \\
C_1 = 32009.8185306 \\
C_2 = 133.9598897 \\
C_3 = 0.6975483 \\
C_4 = 0.0039431
\end{cases}$$

$E_x(x, y)$ 为横坐标变换函数, $E_y(x, y)$ 为纵坐标变换函数, x 为纬度, y 为经度;
采用弧度制计算数据处理所需角度:

$$\angle AEM = \arctan\left(\frac{Ll}{Lf}\right)$$

$$\angle BEM = \arctan\left(\frac{W - Ll}{Lf}\right)$$

$$\angle CEN = \arctan\left(\frac{W - Ll}{L - Lf}\right)$$

$$\angle DEN = \arctan\left(\frac{Ll}{L - Lf}\right)$$

则根据三角函数可计算得到被测公交车四个角点运动轨迹为:

$$\begin{cases} Ax(x, y) = Ex(x, y) * \sin(Dir + AEM) * \sqrt{Lf^2 + Ll^2} \\ Ay(x, y) = Ey(x, y) * \sin(Dir + AEM) * \sqrt{Lf^2 + Ll^2} \\ Bx(x, y) = Ex(x, y) * \sin(Dir + BEM) * \sqrt{Lf^2 + (W - Ll)^2} \\ By(x, y) = Ey(x, y) * \sin(Dir + BEM) * \sqrt{Lf^2 + (W - Ll)^2} \\ Cx(x, y) = Ex(x, y) * \sin(Dir + CEN) * \sqrt{((L - Lf)^2 + (W - Ll)^2)} \\ Cy(x, y) = Ey(x, y) * \sin(Dir + CEN) * \sqrt{((L - Lf)^2 + (W - Ll)^2)} \\ Dx(x, y) = Ex(x, y) * \sin(Dir + DEN) * \sqrt{((L - Lf)^2 + Ll^2)} \\ Dy(x, y) = Ey(x, y) * \sin(Dir + DEN) * \sqrt{((L - Lf)^2 + Ll^2)} \end{cases}$$

其中, $Ax(x, y)$ 为A点横坐标变换函数, $Ay(x, y)$ 为A点纵坐标变换函数, $Bx(x, y)$ 为B点横坐标变换函数, $By(x, y)$ 为B点纵坐标变换函数, $Cx(x, y)$ 为C点横坐标变换函数, $Cy(x, y)$ 为C点纵坐标变换函数, $Dx(x, y)$ 为D点横坐标变换函数, $Dy(x, y)$ 为D点纵坐标变换函数, x 为纬度, y 为经度;

子步骤2:横摆角速度和侧向加速度的改进卡尔曼滤波处理

横摆角速度和侧向加速度可以表征车辆运动过程的稳定性,但由于受传感器噪声影响,直接采集获取的横摆角速度和侧向加速度数据波动较大,直接用于判断稳定性会产生较大误差,故需要进行滤波处理;采用改进卡尔曼滤波器的方法,其处理过程如下:

(1) 由横摆角加速度与侧向加速度关系,可得:

$$\begin{bmatrix} \hat{x}_{1,n}^- \\ \hat{x}_{2,n}^- \end{bmatrix} = F \begin{bmatrix} \hat{x}_{1, n-1} \\ \hat{x}_{2, n-1} \end{bmatrix}$$

其中, $\hat{x}_{1, n-1}$ 表示n-1时刻计算所得侧向加速度, $\hat{x}_{2, n-1}$ 表示n-1时刻计算所得横摆角速度, $\hat{x}_{1,n}^-$ 为n时刻先验侧向加速度, $\hat{x}_{2,n}^-$ 为n时刻先验横摆角速度, $F = \begin{bmatrix} 0 & V \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$, 建立两者关系, V 为车辆行驶速度;

(2) 计算k时刻的先验估计协方差矩阵:

$$P_n^- = FP_{n-1}F^T + Q$$

其中 P_n^- 为n时刻的先验估计协方差矩阵, P_{n-1} 为n-1时刻的后验估计协方差矩阵, Q 为过程误差矩阵;

(3) 计算卡尔曼增益:

$$K_n = \frac{P_n^- H^T}{HP_{n-1}H^T + R}$$

其中 H 为状态变量到测量的状态转换矩阵, 这里值为 $\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$; R 为测量误差矩阵;

(4) 计算后验估计值:

$$\begin{bmatrix} \hat{x}_{1,n} \\ \hat{x}_{2,n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{x}_{1,n}^- \\ \hat{x}_{2,n}^- \end{bmatrix} + K_n(Z_n - H \begin{bmatrix} \hat{x}_{1,n}^- \\ \hat{x}_{2,n}^- \end{bmatrix})$$

其中 $\hat{x}_{1,n}$ 为 n 时刻后验侧向加速度, $\hat{x}_{2,n}$ 为 n 时刻先验横摆角速度, 两者为滤波后的所得结果, Z_n 为观测值矩阵, 作为滤波的输入部分;

(5) 更新协方差矩阵:

$$P_n = (I - K_n H) P_k^-$$

(6) 引入遗忘因子:

在被测公交横摆角速度和侧向加速度数据的处理过程中, 考虑车辆运动状态变化的瞬时性, 新数据比老数据更能反映参数变化状况, 故引入遗忘因子, 修改新老数据在递推过程中的权重:

$$P_n = \frac{(I - K_n H) P_k^-}{\gamma}$$

当 γ 较小时, 遗忘较快; 当 γ 较大时, 遗忘较慢; 此处为避免新数据对估值无法修正, 故 γ 在 (0.95, 0.995) 中取值;

步骤三: 公交进站停车测评

子步骤1: 完成度测评

(1) 进站停车完成时车辆轴线与泊车位外侧边线夹角测评

首先, 对于航向角的范围需要进行分类讨论:

$$K_1 = \begin{cases} \tan(\pi/2 - Dir) & Dir \in [0, \pi) \\ \tan(3\pi/2 - Dir) & Dir \in [\pi, 2\pi] \end{cases}$$

再与车站外侧边线坐标整合计算:

$$K_2 = \frac{Y2 - Y1}{X2 - X1}$$

$$\theta = \text{atan}\left(\frac{K_2 - K_1}{1 + K_1 * K_2}\right) * \frac{180}{\pi}$$

其中 $(X1, Y1)$, $(X2, Y2)$ 分别为已进行高斯投影坐标转换的车站外侧边线 O 点和 P 点坐标;

当夹角大于 0° 时, 车头朝向车站外侧, 当夹角小于 0° 时, 车尾朝向车站外侧; 当夹角满足 $-3^\circ \leq \theta < 3^\circ$ 时进站停车符合标准;

(2) 进站停车完成时测试车辆侧面距站台的距离测评

车辆侧面距站台的距离可通过三角形面积进行计算:

三边长分别为:

$$a_1 = \sqrt{(Ax(x, y) - X3)^2 + (Ay(x, y) - Y3)^2}$$

$$b_1 = \sqrt{(Ax(x, y) - X4)^2 + (Ay(x, y) - Y4)^2}$$

$$c_1 = \sqrt{(Y3 - Y4)^2 + (X3 - X4)^2}$$

由海伦公式可知:

$$p_1 = \frac{a_1 + b_1 + c_1}{2}$$

$$ADis(x, y) = \frac{2 * \sqrt{p_1(p_1 - a_1)(p_1 - b_1)(p_1 - c_1)}}{c_1}$$

其中 $(X3, Y3)$, $(X4, Y4)$ 分别为已进行高斯投影坐标转换的车站内侧边线S点和T点坐标;

由此可得角点A距离站台的距离函数 $ADis(x, y)$, 并依次类推得到其他B, C, D三个角点距离站台的距离函数 $BDis(x, y)$, $CDis(x, y)$, $DDis(x, y)$, 可结合夹角情况判断车辆角点与站台的距离: 当 $\theta \leq 0$ 时, 取 $BDis(x, y)$ 和 $CDis(x, y)$ 中最小值, 当 $\theta \geq 0$ 时, 取 $ADis(x, y)$ 和 $DDis(x, y)$ 中最小值, 所得值 d_1, d_2 为所求距离, 当 $0.05m \leq d_1 \leq 0.25m$ 且 $0.05m \leq d_2 \leq 0.25m$ 时, 进站停车符合要求;

(3) 进站停车完成时车头与车前标线的最大距离测评

车头距车前边线距离通过三角形面积进行计算:

三边长分别为:

$$a_2 = \sqrt{(Ax(x, y) - X2)^2 + (Ay(x, y) - Y2)^2}$$

$$b_2 = \sqrt{(Ax(x, y) - X3)^2 + (Ay(x, y) - Y3)^2}$$

$$c_2 = \sqrt{(Y2 - Y3)^2 + (X2 - X3)^2}$$

由海伦公式可知:

$$p_2 = \frac{a_2 + b_2 + c_2}{2}$$

$$AFDis(x, y) = \frac{2 * \sqrt{p_2(p_2 - a_2)(p_2 - b_2)(p_2 - c_2)}}{c_2}$$

其中 $(X2, Y2)$, $(X3, Y3)$ 分别为已进行高斯投影坐标转换的车站边线P点和S点坐标;

由此可得角点A距车前标线的距离函数 $AFDis(x, y)$, 并由此类推得角点B距车前标线的距离函数 $BFDIs(x, y)$ 可根据实际情况选择 $AFDis(x, y)$ 或 $BFDIs(x, y)$ 中最大值作为最大距离 M_e , 当 $0.05m \leq M_e < 0.25m$ 时, 符合进站停车要求;

子步骤2: 进站过程稳定性测评

被测公交车进站停车过程的稳定性也是衡量进站停车功能的关键指标之一, 需要满足进站过程中的侧向加速度和横摆角速度最大值小于一定阈值, 即

$$\max(\hat{x}_1) < a_{y_threshold}$$

$$\max(\hat{x}_2) < \omega_{z_threshold}$$

其中, \hat{x}_1 表示经过改进卡尔曼滤波处理的侧向加速度值, $a_{y_threshold}$ 为侧向加速度阈值, \hat{x}_2 表示经过改进卡尔曼滤波处理的横摆角速度值, $\omega_{z_threshold}$ 为横摆角速度阈值, 在整个过程中横摆角速度和侧向加速度均未大于阈值, 则进站停车稳定性符合标准。

一种基于改进卡尔曼滤波的公交进站停车测评方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种针对公交进站停车应用的测评方法,尤其涉及一种基于改进卡尔曼滤波的公交进站停车测评方法,属于智能驾驶测评领域。

背景技术

[0002] 根据2021年1月1日正式实施的《汽车驾驶自动化分级》定义,现自动驾驶公交车(Self-drivingbus)分为L3(系统在其设计运行条件内能够持续地执行全部动态驾驶任务)和L4级(系统在其设计运行条件内能够持续地执行全部动态驾驶任务和执行动态驾驶任务接管);在自动驾驶公交车的驾驶任务中,公交进站停车(BS, Bus Stop)是应用于实际交通场景的典型应用。自动驾驶公交车在进站停车的过程中,驶向站台或车位,应符合一定的安全规范;在车完全停稳之后,也应当符合一定的标准,但目前尚未有一个完整的测评体系或测评设备。

[0003] 本发明方法的目的在于为上述应用提供一种测评方法。首先获取被测公交车的测评所需基础参数数据,然后结合车站站点的已知位置数据,并根据相关标准要求,在数据高精度处理的基础上,最终分析得到测评结果。测评内容主要包括涉及完成度和稳定性的两个方面,在完成度方面的测评项包括:进站停车完成时车辆轴线与泊车位外侧边线夹角、进站停车完成时测试车辆侧面距站台的距离、进站停车完成时车头与车前标线的最大距离进行测评;在过程稳定性方面的测评项包括:车辆横摆角速度、侧向加速度的最大值。

发明内容

[0004] 本发明的目的是提出了一种基于改进卡尔曼滤波的公交进站停车测评方法,其特征在于:利用组合导航系统获取被测公交车在行驶过程中的基础参数信息,采用改进卡尔曼滤波进行数据处理,实现对进站停车完成时车辆侧面与站台距离、进站停车完成时车辆轴线与泊车位外侧边线夹角、进站停车完成时车头与车前标线的最大距离、以及被测公交车进站过程稳定性等指标的测评,具体步骤包括:

[0005] 步骤一:基础参数采集

[0006] 为被测公交车安装双天线组合导航系统,组合导航的系统时间以北斗时间为参考基准。测评所需的基础参数信息包括:进站过程中被测公交车的经纬度坐标、速度、横摆角速度、侧向加速度、航向角等;被测公交车的参数,即车辆宽度、长度,后侧主天线至车头、车辆侧边的距离;站台边线的经纬度坐标,以四个点的坐标表示站台边线。

[0007] 步骤二:数据处理

[0008] 在获取测评所需基础参数的基础上,数据处理主要包括两部分,一部分是需要根据车后侧主天线的运动轨迹及车辆参数推算车辆四个角点的运动轨迹,此部分数据处理的主要目的是对公交进站停车的完成度进行评价;另一部分是考虑横摆角速度和侧向加速度数据受传感器噪声影响而波动太大,需要对该两组数据进行改进卡尔曼滤波处理,此部分数据处理的主要目的是对公交进站停车过程的稳定性进行评价。

[0009] 子步骤1:定义与计算被测公交车四角点运动轨迹

[0010] 以车辆左前角为起点,定义为A点,顺时针对被测公交车四个角点依次定义为A点,B点,C点,D点;车辆后侧主天线定义为E点;车头车尾中点分别定义为M点和N点;定义主天线至车头距离为Lf,至车辆侧边距离为L1,车辆宽度为W,长度为L以便于计算;读取所得航向角定义为Dir;

[0011] 在获取被测公交车行驶轨迹时,因获取轨迹数据为组合导航所输出的经纬度信息,故需要对其进行高斯投影变换,使其单位化为米,便于解算测评指标项:

$$\begin{aligned}
 & Ex(x,y) \\
 & = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 * \sin^2 \left(x * \frac{\pi}{180}\right)}} * \left(y - 118 * \frac{\pi}{180}\right) * \cos x \\
 & * \left(1 + \frac{1 - \tan^2 \left(x * \frac{\pi}{180}\right) - ep^2 * \cos^2 \left(x * \frac{\pi}{180}\right)}{6} * \left(\left(y - 118 * \frac{\pi}{180}\right) * \cos x\right)^2\right) \\
 [0012] & + \left(\frac{5 - 18 * \tan^2 \left(x * \frac{\pi}{180}\right)}{120} \right. \\
 & \left. + \frac{\tan^4 \left(x * \frac{\pi}{180}\right) + 14 * ep^4 * \cos^4 \left(x * \frac{\pi}{180}\right) - 58 * \tan^2 \left(x * \frac{\pi}{180}\right) * ep^2 * \cos^2 \left(x * \frac{\pi}{180}\right)}{120} \right) \\
 & * \left(\left(y - 118 * \frac{\pi}{180}\right) * \cos x\right)^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& E_y(x, y) \\
& = \left(\cos\left(x * \frac{\pi}{180}\right) - \cos\left(32 * \frac{\pi}{180}\right) \right) * \left(C_0 - \left(C_1 * \sin\left(x * \frac{\pi}{180}\right) + C_2 * \sin^3\left(x * \frac{\pi}{180}\right) \right. \right. \\
& \left. \left. + C_3 * \sin^5\left(x * \frac{\pi}{180}\right) + C_4 * \sin^7\left(x * \frac{\pi}{180}\right) \right) \right) - \left(\tan\left(x * \frac{\pi}{180}\right) * \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 * \sin^2\left(x * \frac{\pi}{180}\right)}} \right) \\
& * \frac{\left(\left(y - 118 * \frac{\pi}{180} \right) * \cos x \right)^2}{2} \\
& * \left(1 + \left(\left(y - 118 * \frac{\pi}{180} \right) * \cos x \right)^2 \right) \\
[0013] \quad & * \frac{5 - \tan^2\left(x * \frac{\pi}{180}\right) + 9 * \left(ep * \cos\left(x * \frac{\pi}{180}\right) \right)^2 + 4 * \left(ep * \cos\left(x * \frac{\pi}{180}\right) \right)^4}{24} \\
& + \left(\left(y - 118 * \frac{\pi}{180} \right) * \cos x \right)^4 \\
& * \left(\frac{61 - 58 * \tan^2\left(x * \frac{\pi}{180}\right) + \tan^4\left(x * \frac{\pi}{180}\right)}{720} \right) \\
& + \left. \frac{270 * \left(ep * \cos\left(x * \frac{\pi}{180}\right) \right)^2 - 330 * \tan^2\left(x * \frac{\pi}{180}\right) * \left(ep * \cos\left(x * \frac{\pi}{180}\right) \right)^2}{720} \right)
\end{aligned}$$

[0014] 其中:

$$[0015] \quad \begin{cases} e = 0.08181922146 \\ ep = 0.082009446887 \\ a = 6378137 \\ C_0 = 6367499.1458234 \\ C_1 = 32009.8185306 \\ C_2 = 133.9598897 \\ C_3 = 0.6975483 \\ C_4 = 0.0039431 \end{cases}$$

[0016] $E_x(x, y)$ 为横坐标变换函数, $E_y(x, y)$ 为纵坐标变换函数, x 为纬度, y 为经度;

[0017] 计算数据处理所需角度(弧度制):

$$[0018] \quad \angle AEM = \arctan\left(\frac{Ll}{Lf}\right)$$

$$[0019] \quad \angle BEM = \arctan\left(\frac{W - Ll}{Lf}\right)$$

$$[0020] \quad \angle CEN = \arctan\left(\frac{W - Ll}{L - Lf}\right)$$

$$[0021] \quad \angle DEN = \arctan\left(\frac{Ll}{L-Lf}\right)$$

[0022] 则根据三角函数可计算得到被测公交车四个角点运动轨迹为:

$$[0023] \quad \begin{cases} Ax(x, y) = Ex(x, y) * \sin(Dir + AEM) * \sqrt{Lf^2 + Ll^2} \\ Ay(x, y) = Ey(x, y) * \sin(Dir + AEM) * \sqrt{Lf^2 + Ll^2} \end{cases}$$

$$[0024] \quad \begin{cases} Bx(x, y) = Ex(x, y) * \sin(Dir + BEM) * \sqrt{Lf^2 + (W - Ll)^2} \\ By(x, y) = Ey(x, y) * \sin(Dir + BEM) * \sqrt{Lf^2 + (W - Ll)^2} \end{cases}$$

$$[0025] \quad \begin{cases} Cx(x, y) = Ex(x, y) * \sin(Dir + CEN) * \sqrt{(L - Lf)^2 + (W - Ll)^2} \\ Cy(x, y) = Ey(x, y) * \sin(Dir + CEN) * \sqrt{(L - Lf)^2 + (W - Ll)^2} \end{cases}$$

$$[0026] \quad \begin{cases} Dx(x, y) = Ex(x, y) * \sin(Dir + DEN) * \sqrt{(L - Lf)^2 + Ll^2} \\ Dy(x, y) = Ey(x, y) * \sin(Dir + DEN) * \sqrt{(L - Lf)^2 + Ll^2} \end{cases}$$

[0027] 其中, $Ax(x, y)$ 为A点横坐标变换函数, $Ay(x, y)$ 为A点纵坐标变换函数, $Bx(x, y)$ 为B点横坐标变换函数, $By(x, y)$ 为B点纵坐标变换函数, $Cx(x, y)$ 为C点横坐标变换函数, $Cy(x, y)$ 为C点纵坐标变换函数, $Dx(x, y)$ 为D点横坐标变换函数, $Dy(x, y)$ 为D点纵坐标变换函数, x 为纬度, y 为经度;

[0028] 子步骤2:横摆角速度和侧向加速度的改进卡尔曼滤波处理

[0029] 横摆角速度和侧向加速度可以表征车辆运动过程的稳定性,但由于受传感器噪声影响,直接采集获取的横摆角速度和侧向加速度数据波动较大,直接用于判断稳定性会产生较大误差,故需要进行滤波处理;采用改进卡尔曼滤波器的方法,其处理过程如下:

[0030] (1) 由横摆角加速度与侧向加速度关系,可得:

$$[0031] \quad \begin{bmatrix} \hat{x}_{1,n}^- \\ \hat{x}_{2,n}^- \end{bmatrix} = F \begin{bmatrix} \hat{x}_{1, n-1} \\ \hat{x}_{2, n-1} \end{bmatrix}$$

[0032] 其中, $\hat{x}_{1, n-1}$ 表示n-1时刻计算所得侧向加速度, $\hat{x}_{2, n-1}$ 表示n-1时刻计算所得横摆角速度, $\hat{x}_{1,n}^-$ 为n时刻先验侧向加速度, $\hat{x}_{2,n}^-$ 为n时刻先验横摆角速度, $F = \begin{bmatrix} 0 & V \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$, 建立两者关系, V 为车辆行驶速度。

[0033] (2) 计算k时刻的先验估计协方差矩阵:

$$[0034] \quad P_n^- = FP_{n-1}F^T + Q$$

[0035] 其中 P_n^- 为n时刻的先验估计协方差矩阵, P_{n-1} 为n-1时刻的后验估计协方差矩阵, Q 为过程误差矩阵。

[0036] (3) 计算卡尔曼增益:

$$[0037] \quad K_n = \frac{P_n^- H^T}{HP_{n-1}^- H^T + R}$$

[0038] 其中 H 为状态变量到测量的状态转换矩阵, 这里值为 $\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$; R 为测量误差矩阵。

[0039] (4) 计算后验估计值:

$$[0040] \quad \begin{bmatrix} \hat{x}_{1,n} \\ \hat{x}_{2,n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{x}_{1,n}^- \\ \hat{x}_{2,n}^- \end{bmatrix} + K_n(Z_n - H \begin{bmatrix} \hat{x}_{1,n}^- \\ \hat{x}_{2,n}^- \end{bmatrix})$$

[0041] 其中 $\hat{x}_{1,n}$ 为n时刻后验侧向加速度, $\hat{x}_{2,n}$ 为n时刻先验横摆角速度,两者为滤波后的所得结果, Z_n 为观测值矩阵,作为滤波的输入部分。

[0042] (5)更新协方差矩阵:

$$[0043] \quad P_n = (I - K_n H) P_k^-$$

[0044] (6)引入遗忘因子:

[0045] 在被测公交横摆角速度和侧向加速度数据的处理过程中,考虑车辆运动状态变化的瞬时性,新数据比老数据更能反映参数变化状况,故引入遗忘因子,修改新老数据在递推过程中的权重:

$$[0046] \quad P_n = \frac{(I - K_n H) P_k^-}{\gamma}$$

[0047] 当 γ 较小时,遗忘较快;当 γ 较大时,遗忘较慢;此处为避免新数据对估值无法修正,故 γ 在(0.95,0.995)中取值;

[0048] 步骤三:公交进站停车测评

[0049] 子步骤1:完成度测评

[0050] (1)进站停车完成时车辆轴线与泊车位外侧边线夹角测评

[0051] 首先,对于航向角的范围需要进行分类讨论:

$$[0052] \quad K_1 = \begin{cases} \tan(\pi/2 - Dir) & Dir \in [0, \pi) \\ \tan(3\pi/2 - Dir) & Dir \in [\pi, 2\pi] \end{cases}$$

[0053] 再与车站外侧边线坐标整合计算:

$$[0054] \quad K_2 = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}$$

$$[0055] \quad \theta = \text{atan} \left(\frac{K_2 - K_1}{1 + K_1 * K_2} \right) * \frac{180}{\pi}$$

[0056] 其中 (X_1, Y_1) , (X_2, Y_2) 分别为已进行高斯投影坐标转换的车站外侧边线O点和P点坐标;

[0057] 当夹角大于0时,车头朝向车站外侧,当夹角小于0时,车尾朝向车站外侧;当夹角满足 $-3^\circ \leq \theta < 3^\circ$ 时进站停车符合标准。

[0058] (2)进站停车完成时测试车辆侧面距站台的距离测评

[0059] 车辆侧面距站台的距离可通过三角形面积进行计算:

[0060] 三边长分别为:

$$[0061] \quad a_1 = \sqrt{(Ax(x, y) - X_3)^2 + (Ay(x, y) - Y_3)^2}$$

$$[0062] \quad b_1 = \sqrt{(Ax(x, y) - X_4)^2 + (Ay(x, y) - Y_4)^2}$$

$$[0063] \quad c_1 = \sqrt{(Y_3 - Y_4)^2 + (X_3 - X_4)^2}$$

[0064] 由海伦公式可知:

$$[0065] \quad p_1 = \frac{a_1 + b_1 + c_1}{2}$$

$$[0066] \quad ADis(x, y) = \frac{2 * \sqrt{p_1(p_1 - a_1)(p_1 - b_1)(p_1 - c_1)}}{c_1}$$

[0067] 其中 (X3, Y3), (X4, Y4) 分别为已进行高斯投影坐标转换的车站内侧边线S点和T点坐标;

[0068] 由此可得角点A距离站台的距离函数ADis(x, y), 并依次类推得到其他B, C, D三个角点距离站台的距离函数BDis(x, y), CDis(x, y), DDis(x, y), 可结合夹角情况判断车辆角点与站台的距离: 当 $\theta \leq 0$ 时, 取BDis(x, y)和CDis(x, y)中最小值, 当 $\theta \geq 0$ 时, 取ADis(x, y)和DDis(x, y)中最小值, 所得值 d_1, d_2 为所求距离, 当 $0.05m \leq d_1 \leq 0.25m$ 且 $0.05m \leq d_2 \leq 0.25m$ 时, 进站停车符合要求。

[0069] (3) 进站停车完成时车头与车前标线的最大距离测评

[0070] 车头距车前边线距离通过三角形面积进行计算:

[0071] 三边长分别为:

$$[0072] \quad a_2 = \sqrt{(Ax(x, y) - X2)^2 + (Ay(x, y) - Y2)^2}$$

$$[0073] \quad b_2 = \sqrt{(Ax(x, y) - X3)^2 + (Ay(x, y) - Y3)^2}$$

$$[0074] \quad c_2 = \sqrt{(Y2 - Y3)^2 + (X2 - X3)^2}$$

[0075] 由海伦公式可知:

$$[0076] \quad p_2 = \frac{a_2 + b_2 + c_2}{2}$$

$$[0077] \quad AFDIs(x, y) = \frac{2 * \sqrt{p_2(p_2 - a_2)(p_2 - b_2)(p_2 - c_2)}}{c_2}$$

[0078] 其中 (X2, Y2), (X3, Y3) 分别为已进行高斯投影坐标转换的车站边线P点和S点坐标;

[0079] 由此可得角点A距车前标线的距离函数AFDis(x, y), 并由此类推得角点B距车前标线的距离函数BFDIs(x, y) 可根据实际情况选择AFDis(x, y) 或BFDIs(x, y) 中最大值作为最大距离 M_e , 当 $0.05m \leq M_e < 0.25m$ 时, 符合进站停车要求。

[0080] 子步骤2: 进站过程稳定性测评

[0081] 被测公交车进站停车过程的稳定性也是衡量进站停车功能的关键指标之一, 通常需要满足进站过程中的侧向加速度和横摆角速度最大值小于一定阈值, 即

$$[0082] \quad \max(\hat{x}_1) < a_{y_threshold}$$

$$[0083] \quad \max(\hat{x}_2) < \omega_{z_threshold}$$

[0084] 其中, \hat{x}_1 表示经过改进卡尔曼滤波处理的侧向加速度值, $a_{y_threshold}$ 为侧向加速度阈值, \hat{x}_2 表示经过改进卡尔曼滤波处理的横摆角速度值, $\omega_{z_threshold}$ 为横摆角速度阈值。在整个过程中横摆角速度和侧向加速度均未大于阈值, 则进站停车稳定性符合标准。

[0085] 本发明的优点及显著效果:

[0086] (1) 本发明所提出的测评方法仅需测量被测公交上某一个点的位置信息就可推算四个角点的运动轨迹,测评方法与公交车进站停车的原理和技术无关,从第三方的角度开展测评,测试项目全面。

[0087] (2) 本发明采用改进卡尔曼滤波处理横摆角速度、侧向加速度信息,保障测评结果的准确可靠。

附图说明

[0088] 图1是公交进站停车测评应用示意图;

[0089] 图2是测评流程示意图;

[0090] 图3是数据处理流程图;

[0091] 图4是改进卡尔曼滤波器实际效果图。

具体实施方式

[0092] 根据2021年1月1日正式实施的《汽车驾驶自动化分级》定义,现自动驾驶公交车(Self-driving bus)分为L3(系统在其设计运行条件内能够持续地执行全部动态驾驶任务)和L4级(系统在其设计运行条件内能够持续地执行全部动态驾驶任务和执行动态驾驶任务接管);在自动驾驶公交车的驾驶任务中,公交进站停车(BS, Bus Stop)是应用于实际交通场景的典型应用。自动驾驶公交车在进站停车的过程中,驶向站台或车位,应符合一定的安全规范;在车完全停稳之后,也应当符合一定的标准,此过程驾驶员无法直接观测,故需要一定的辅助措施,以达到辅助驾驶员避免或减轻侧向碰撞,提高公交车进站停车过程安全的目的。示意图如图1所示。

[0093] 目前,对于上述应用尚未有一个完整的测评体系或测评设备,本发明方法的目的在于为上述应用提供一种测评方法。首先获取被测公交车的测评所需基础参数数据,然后结合车站站点的已知位置数据,并根据相关标准要求,在数据高精度处理的基础上,最终分析得到测评结果。测评内容主要包括涉及完成度和稳定性的两个方面,在完成度方面的测评项包括:进站停车完成时车辆轴线与泊车位外侧边线夹角、进站停车完成时测试车辆侧面距站台的距离、进站停车完成时车头与车前标线的最大距离进行测评;在过程稳定性的测评项包括:车辆横摆角速度、侧向加速度的最大值。测评流程如图2所示。

[0094] 本发明的目的是提出了一种基于改进卡尔曼滤波器的公交进站停车测评方法,其特征在于:利用组合导航系统获取被测公交车在行驶过程中的基础参数信息,采用改进卡尔曼滤波进行数据处理,实现对进站停车完成时车辆侧面与站台距离、进站停车完成时车辆轴线与泊车位外侧边线夹角、进站停车完成时车头与车前标线的最大距离、以及被测公交车进站过程稳定性等指标的测评,具体步骤包括:

[0095] 步骤一:基础参数采集

[0096] 为被测公交车安装双天线组合导航系统,组合导航的系统时间以北斗时间为参考基准。测评所需的基础参数信息包括:进站过程中被测公交车的经纬度坐标、速度、横摆角速度、侧向加速度、航向角等;被测公交车的参数,即车辆宽度、长度,后侧主天线至车头、车辆侧边的距离;站台边线的经纬度坐标,以四个点的坐标表示站台边线。

[0097] 步骤二:数据处理

[0098] 在获取测评所需基础参数的基础上,数据处理主要包括两部分,一部分是需要根据车后侧主天线的运动轨迹及车辆参数推算车辆四个角点的运动轨迹,推算流程如图3所示,此部分数据处理的主要目的是对公交进站停车的完成度进行评价;另一部分是考虑横摆角速度和侧向加速度数据受传感器噪声影响而波动太大,需要对该两组数据进行改进卡尔曼滤波处理,此部分数据处理的主要目的是对公交进站停车过程的稳定性进行评价。

[0099] 子步骤1:定义与计算被测公交车四角点运动轨迹

[0100] 以车辆左前角为起点,定义为A点,顺时针对被测公交车四个角点依次定义为A点,B点,C点,D点;车辆后侧主天线定义为E点;车头车尾中点分别定义为M点和N点;定义主天线至车头距离为Lf,至车辆侧边距离为L1,车辆宽度为W,长度为L以便于计算;读取所得航向角定义为Dir;在获取被测公交车行驶轨迹时,因获取轨迹数据为组合导航所输出的经纬度信息,故需要对其进行高斯投影变换,使其单位化为米,便于解算测评指标项:

$$\begin{aligned}
 & Ex(x, y) \\
 & = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 * \sin^2\left(x * \frac{\pi}{180}\right)}} * \left(y - 118 * \frac{\pi}{180}\right) * \cos x \\
 & * \left(1 + \frac{1 - \tan^2\left(x * \frac{\pi}{180}\right) - ep^2 * \cos^2\left(x * \frac{\pi}{180}\right)}{6} * \left(\left(y - 118 * \frac{\pi}{180}\right) * \cos x\right)^2\right) \\
 [0101] \quad & + \left(\frac{5 - 18 * \tan^2\left(x * \frac{\pi}{180}\right)}{120}\right. \\
 & \left. + \frac{\tan^4\left(x * \frac{\pi}{180}\right) + 14 * ep^4 * \cos^4\left(x * \frac{\pi}{180}\right) - 58 * \tan^2\left(x * \frac{\pi}{180}\right) * ep^2 * \cos^2\left(x * \frac{\pi}{180}\right)}{120}\right) \\
 & * \left(\left(y - 118 * \frac{\pi}{180}\right) * \cos x\right)^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& E_y(x, y) \\
& = \left(\cos\left(x * \frac{\pi}{180}\right) - \cos\left(32 * \frac{\pi}{180}\right) \right) * \left(C_0 - \left(C_1 * \sin\left(x * \frac{\pi}{180}\right) + C_2 * \sin^3\left(x * \frac{\pi}{180}\right) \right. \right. \\
& \left. \left. + C_3 * \sin^5\left(x * \frac{\pi}{180}\right) + C_4 * \sin^7\left(x * \frac{\pi}{180}\right) \right) \right) - \left(\tan\left(x * \frac{\pi}{180}\right) * \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 * \sin^2\left(x * \frac{\pi}{180}\right)}} \right) \\
& * \frac{\left(\left(y - 118 * \frac{\pi}{180} \right) * \cos x \right)^2}{2} \\
& * \left(1 + \left(\left(y - 118 * \frac{\pi}{180} \right) * \cos x \right)^2 \right) \\
[0102] \quad & * \frac{5 - \tan^2\left(x * \frac{\pi}{180}\right) + 9 * \left(ep * \cos\left(x * \frac{\pi}{180}\right) \right)^2 + 4 * \left(ep * \cos\left(x * \frac{\pi}{180}\right) \right)^4}{24} \\
& + \left(\left(y - 118 * \frac{\pi}{180} \right) * \cos x \right)^4 \\
& * \left(\frac{61 - 58 * \tan^2\left(x * \frac{\pi}{180}\right) + \tan^4\left(x * \frac{\pi}{180}\right)}{720} \right) \\
& + \left. \frac{270 * \left(ep * \cos\left(x * \frac{\pi}{180}\right) \right)^2 - 330 * \tan^2\left(x * \frac{\pi}{180}\right) * \left(ep * \cos\left(x * \frac{\pi}{180}\right) \right)^2}{720} \right)
\end{aligned}$$

[0103] 其中:

$$[0104] \quad \begin{cases} e = 0.08181922146 \\ ep = 0.082009446887 \\ a = 6378137 \\ C_0 = 6367499.1458234 \\ C_1 = 32009.8185306 \\ C_2 = 133.9598897 \\ C_3 = 0.6975483 \\ C_4 = 0.0039431 \end{cases}$$

[0105] $E_x(x, y)$ 为横坐标变换函数, $E_y(x, y)$ 为纵坐标变换函数, x 为纬度, y 为经度;

[0106] 计算数据处理所需角度(弧度制):

$$[0107] \quad \angle AEM = \arctan\left(\frac{Ll}{Lf}\right)$$

$$[0108] \quad \angle BEM = \arctan\left(\frac{W - Ll}{Lf}\right)$$

$$[0109] \quad \angle CEN = \arctan\left(\frac{W - Ll}{L - Lf}\right)$$

$$[0110] \quad \angle DEN = \arctan\left(\frac{Ll}{L-Lf}\right)$$

[0111] 则根据三角函数可计算得到被测公交车四个角点运动轨迹为:

$$[0112] \quad \begin{cases} Ax(x, y) = Ex(x, y) * \sin(Dir + AEM) * \sqrt{Lf^2 + Ll^2} \\ Ay(x, y) = Ey(x, y) * \sin(Dir + AEM) * \sqrt{Lf^2 + Ll^2} \end{cases}$$

$$[0113] \quad \begin{cases} Bx(x, y) = Ex(x, y) * \sin(Dir + BEM) * \sqrt{Lf^2 + (W - Ll)^2} \\ By(x, y) = Ey(x, y) * \sin(Dir + BEM) * \sqrt{Lf^2 + (W - Ll)^2} \end{cases}$$

$$[0114] \quad \begin{cases} Cx(x, y) = Ex(x, y) * \sin(Dir + CEN) * \sqrt{(L - Lf)^2 + (W - Ll)^2} \\ Cy(x, y) = Ey(x, y) * \sin(Dir + CEN) * \sqrt{(L - Lf)^2 + (W - Ll)^2} \end{cases}$$

$$[0115] \quad \begin{cases} Dx(x, y) = Ex(x, y) * \sin(Dir + DEN) * \sqrt{(L - Lf)^2 + Ll^2} \\ Dy(x, y) = Ey(x, y) * \sin(Dir + DEN) * \sqrt{(L - Lf)^2 + Ll^2} \end{cases}$$

[0116] 其中, $Ax(x, y)$ 为A点横坐标变换函数, $Ay(x, y)$ 为A点纵坐标变换函数, $Bx(x, y)$ 为B点横坐标变换函数, $By(x, y)$ 为B点纵坐标变换函数, $Cx(x, y)$ 为C点横坐标变换函数, $Cy(x, y)$ 为C点纵坐标变换函数, $Dx(x, y)$ 为D点横坐标变换函数, $Dy(x, y)$ 为D点纵坐标变换函数, x 为纬度, y 为经度;

[0117] 子步骤2:横摆角速度和侧向加速度的改进卡尔曼滤波处理

[0118] 横摆角速度和侧向加速度可以表征车辆运动过程的稳定性,但由于受传感器噪声影响,直接采集获取的横摆角速度和侧向加速度数据波动较大,直接用于判断稳定性会产生较大误差,故需要进行滤波处理;采用改进卡尔曼滤波器的方法,其处理过程如下:

[0119] (1) 由横摆角加速度与侧向加速度关系,可得:

$$[0120] \quad \begin{bmatrix} \hat{x}_{1,n}^- \\ \hat{x}_{2,n}^- \end{bmatrix} = F \begin{bmatrix} \hat{x}_{1, n-1} \\ \hat{x}_{2, n-1} \end{bmatrix}$$

[0121] 其中, $\hat{x}_{1, n-1}$ 表示n-1时刻计算所得侧向加速度, $\hat{x}_{2, n-1}$ 表示n-1时刻计算所得横摆角速度, $\hat{x}_{1,n}^-$ 为n时刻先验侧向加速度, $\hat{x}_{2,n}^-$ 为n时刻先验横摆角速度, $F = \begin{bmatrix} 0 & V \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$, 建立两者关系, V 为车辆行驶速度。

[0122] (2) 计算k时刻的先验估计协方差矩阵:

$$[0123] \quad P_n^- = FP_{n-1}F^T + Q$$

[0124] 其中 P_n^- 为n时刻的先验估计协方差矩阵, P_{n-1} 为n-1时刻的后验估计协方差矩阵, Q 为过程误差矩阵。

[0125] (3) 计算卡尔曼增益:

$$[0126] \quad K_n = \frac{P_n^- H^T}{HP_{n-1}^- H^T + R}$$

[0127] 其中 H 为状态变量到测量的状态转换矩阵, 这里值为 $\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$; R 为测量误差矩阵。

[0128] (4) 计算后验估计值:

$$[0129] \quad \begin{bmatrix} \hat{x}_{1,n} \\ \hat{x}_{2,n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{x}_{1,n}^- \\ \hat{x}_{2,n}^- \end{bmatrix} + K_n (Z_n - H \begin{bmatrix} \hat{x}_{1,n}^- \\ \hat{x}_{2,n}^- \end{bmatrix})$$

[0130] 其中 $\hat{x}_{1,n}$ 为n时刻后验侧向加速度, $\hat{x}_{2,n}$ 为n时刻先验横摆角速度,两者为滤波后的所得结果, Z_n 为观测值矩阵,作为滤波的输入部分。

[0131] (5)更新协方差矩阵:

$$[0132] \quad P_n = (I - K_n H) P_k^-$$

[0133] (6)引入遗忘因子:

[0134] 在被测公交横摆角速度和侧向加速度数据的处理过程中,考虑车辆运动状态变化的瞬时性,新数据比老数据更能反映参数变化状况,故引入遗忘因子,修改新老数据在递推过程中的权重:

$$[0135] \quad P_n = \frac{(I - K_n H) P_k^-}{\gamma}$$

[0136] 当 γ 较小时,遗忘较快;当 γ 较大时,遗忘较慢;此处为避免新数据对估值无法修正,故 γ 在(0.95,0.995)中取值。

[0137] 横摆角速度和侧向加速度滤波后的效果如图4所示。

[0138] 步骤三:公交进站停车测评

[0139] 子步骤1:完成度测评

[0140] (1)进站停车完成时车辆轴线与泊车位外侧边线夹角测评

[0141] 首先,对于航向角的范围需要进行分类讨论:

$$[0142] \quad K_1 = \begin{cases} \tan(\pi/2 - Dir) & Dir \in [0, \pi) \\ \tan(3\pi/2 - Dir) & Dir \in [\pi, 2\pi] \end{cases}$$

[0143] 再与车站外侧边线坐标整合计算:

$$[0144] \quad K_2 = \frac{Y2 - Y1}{X2 - X1}$$

$$[0145] \quad \theta = \text{atan} \left(\frac{K_2 - K_1}{1 + K_1 * K_2} \right) * \frac{180}{\pi}$$

[0146] 其中(X1,Y1),(X2,Y2)分别为已进行高斯投影坐标转换的车站外侧边线O点和P点坐标;

[0147] 当夹角大于0时,车头朝向车站外侧,当夹角小于0时,车尾朝向车站外侧;当夹角满足 $-3^\circ \leq \theta < 3^\circ$ 时进站停车符合标准。

[0148] (2)进站停车完成时测试车辆侧面距站台的距离测评

[0149] 车辆侧面距站台的距离可通过三角形面积进行计算:

[0150] 三边长分别为:

$$[0151] \quad a_1 = \sqrt{(Ax(x,y) - X3)^2 + (Ay(x,y) - Y3)^2}$$

$$[0152] \quad b_1 = \sqrt{(Ax(x,y) - X4)^2 + (Ay(x,y) - Y4)^2}$$

$$[0153] \quad c_1 = \sqrt{(Y3 - Y4)^2 + (X3 - X4)^2}$$

[0154] 由海伦公式可知:

$$[0155] \quad p_1 = \frac{a_1 + b_1 + c_1}{2}$$

$$[0156] \quad ADis(x, y) = \frac{2 * \sqrt{p_1(p_1 - a_1)(p_1 - b_1)(p_1 - c_1)}}{c_1}$$

[0157] 其中 (X_3, Y_3) , (X_4, Y_4) 分别为已进行高斯投影坐标转换的车站内侧边线S点和T点坐标;

[0158] 由此可得角点A距离站台的距离函数 $ADis(x, y)$, 并依次类推得到其他B, C, D三个角点距离站台的距离函数 $BDis(x, y)$, $CDis(x, y)$, $DDis(x, y)$, 可结合夹角情况判断车辆角点与站台的距离: 当 $\theta \leq 0$ 时, 取 $BDis(x, y)$ 和 $CDis(x, y)$ 中最小值, 当 $\theta \geq 0$ 时, 取 $ADis(x, y)$ 和 $DDis(x, y)$ 中最小值, 所得值 d_1, d_2 为所求距离, 当 $0.05m \leq d_1 \leq 0.25m$ 且 $0.05m \leq d_2 \leq 0.25m$ 时, 进站停车符合要求。

[0159] (3) 进站停车完成时车头与车前标线的最大距离测评

[0160] 车头距车前边线距离通过三角形面积进行计算:

[0161] 三边长分别为:

$$[0162] \quad a_2 = \sqrt{(Ax(x, y) - X_2)^2 + (Ay(x, y) - Y_2)^2}$$

$$[0163] \quad b_2 = \sqrt{(Ax(x, y) - X_3)^2 + (Ay(x, y) - Y_3)^2}$$

$$[0164] \quad c_2 = \sqrt{(Y_2 - Y_3)^2 + (X_2 - X_3)^2}$$

[0165] 由海伦公式可知:

$$[0166] \quad p_2 = \frac{a_2 + b_2 + c_2}{2}$$

$$[0167] \quad AFDIs(x, y) = \frac{2 * \sqrt{p_2(p_2 - a_2)(p_2 - b_2)(p_2 - c_2)}}{c_2}$$

[0168] 其中 (X_2, Y_2) , (X_3, Y_3) 分别为已进行高斯投影坐标转换的车站边线P点和S点坐标;

[0169] 由此可得角点A距车前标线的距离函数 $AFDis(x, y)$, 并由此类推得角点B距车前标线的距离函数 $BFDIs(x, y)$ 可根据实际情况选择 $AFDis(x, y)$ 或 $BFDIs(x, y)$ 中最大值作为最大距离 M_e , 当 $0.05m \leq M_e < 0.25m$ 时, 符合进站停车要求。

[0170] 子步骤2: 进站过程稳定性测评

[0171] 被测公交车进站停车过程的稳定性也是衡量进站停车功能的关键指标之一, 通常需要满足进站过程中的侧向加速度和横摆角速度最大值小于一定阈值, 即

$$[0172] \quad \max(\hat{x}_1) < a_{y_threshold}$$

$$[0173] \quad \max(\hat{x}_2) < \omega_{z_threshold}$$

[0174] 其中, \hat{x}_1 表示经过改进卡尔曼滤波处理的侧向加速度值, $a_{y_threshold}$ 为侧向加速度阈值, \hat{x}_2 表示经过改进卡尔曼滤波处理的横摆角速度值, $\omega_{z_threshold}$ 为横摆角速度阈值。在整个过程中横摆角速度和侧向加速度均未大于阈值, 则进站停车稳定性符合标准。

[0175] 本发明所提出的测评方法仅需测量被测公交上某一个点的位置信息就可推算四

个角点的运动轨迹,测评方法与公交车进站停车的原理和技术无关,从第三方的角度开展测评,测试项目全面。并采用改进卡尔曼滤波处理横摆角速度、侧向加速度信息,保障测评结果的准确可靠。

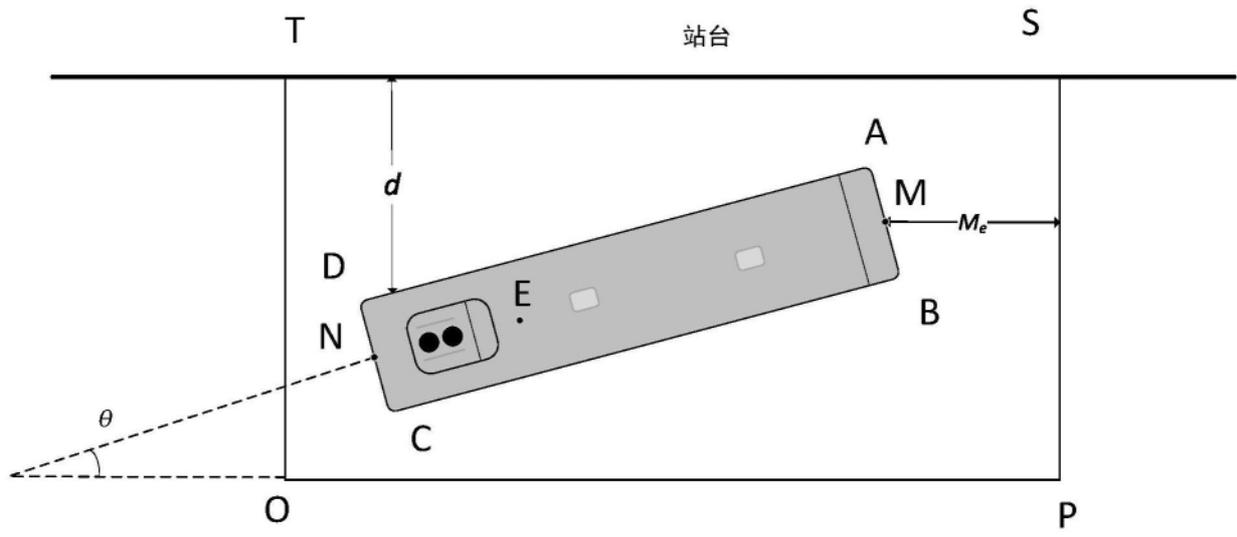


图1

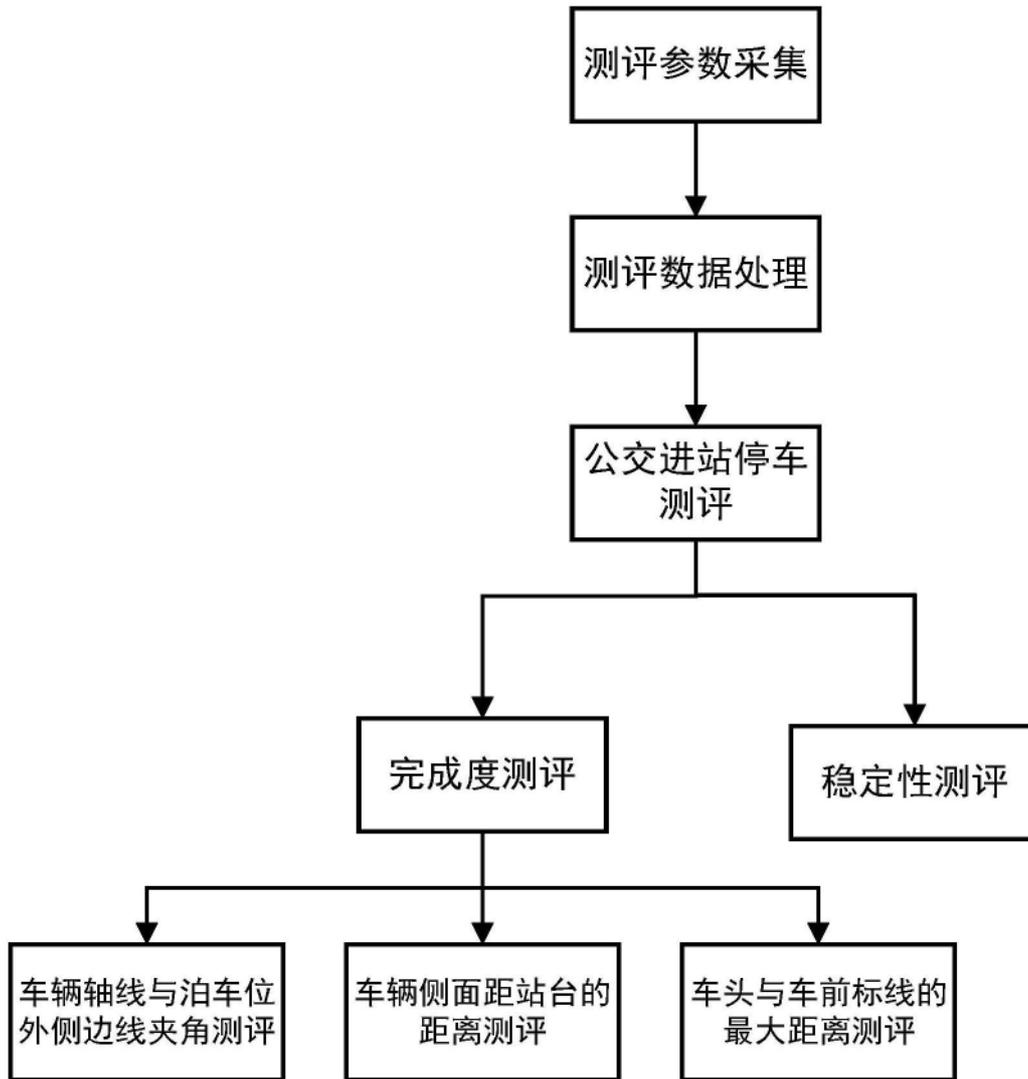


图2

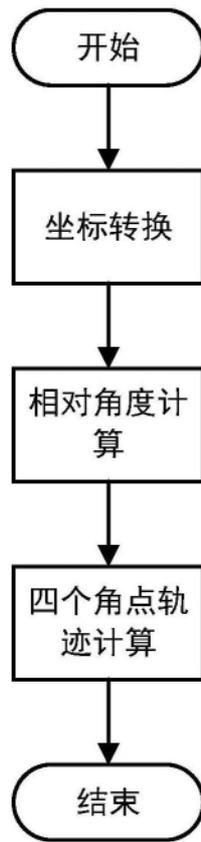


图3

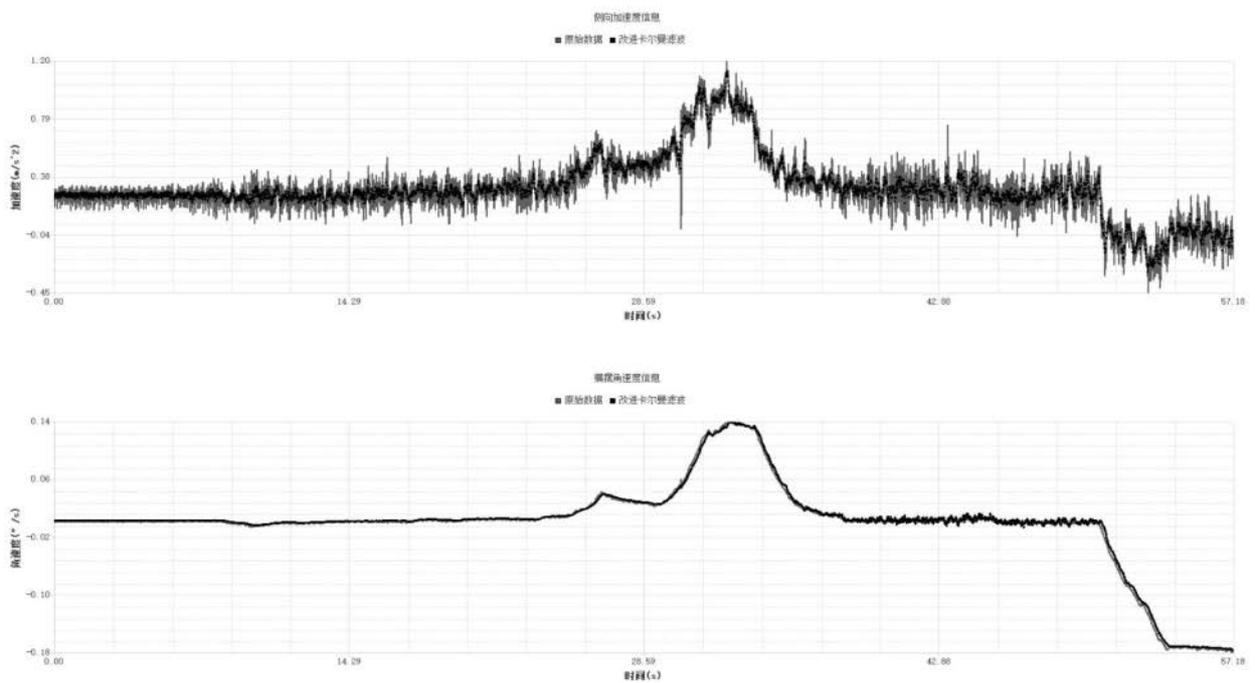


图4