

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局



(10) 国际公布号

WO 2023/221963 A1

(43) 国际公布日

2023 年 11 月 23 日 (23.11.2023)

WIPO | PCT

(51) 国际专利分类号:

B60W 30/14 (2006.01)

B60W 60/00 (2020.01)

B60W 40/10 (2012.01)

(21) 国际申请号:

PCT/CN2023/094434

(22) 国际申请日:

2023 年 5 月 16 日 (16.05.2023)

(25) 申请语言:

中文

(26) 公布语言:

中文

(30) 优先权:

202210526910.8

2022 年 5 月 16 日 (16.05.2022) CN

(71) 申请人: 中国第一汽车股份有限公司(CHINA FAW

CO., LTD.) [CN/CN]; 中国吉林省长春市汽车经济技

术开发区新红旗大街1号, Jilin 130011 (CN)。

(72) 发明人: 刘梦可 (LIU, Mengke); 中国吉林省长春市汽车经济技术开发区新红旗大街1号, Jilin 130011 (CN)。刘金波 (LIU, Jinbo); 中国吉林省长春市汽车经济技术开发区新红旗大街1号, Jilin 130011 (CN)。张建 (ZHANG, Jian); 中国吉林省长春市汽车经济技术开发区新红旗大街1号, Jilin 130011 (CN)。高原 (GAO, Yuan); 中国吉林省长春市汽车经济技术开发区新红旗大街1号, Jilin 130011 (CN)。王御 (WANG, Yu); 中国吉林省长春市汽车经济技术开发区新红旗大街1号, Jilin 130011 (CN)。王宇 (WANG, Yu); 中国吉林省长春市汽车经济技术开发区新红旗大街1号, Jilin 130011 (CN)。李林润 (LI, Linrun); 中国吉林省长春市汽车经济技术开发区新红旗大街1号, Jilin 130011 (CN)。姜洪伟 (JIANG,

(54) Title: FOLLOWING ERROR DETERMINATION METHOD AND APPARATUS, DEVICE, AND STORAGE MEDIUM

(54) 发明名称: 跟随误差确定方法、装置、设备及存储介质

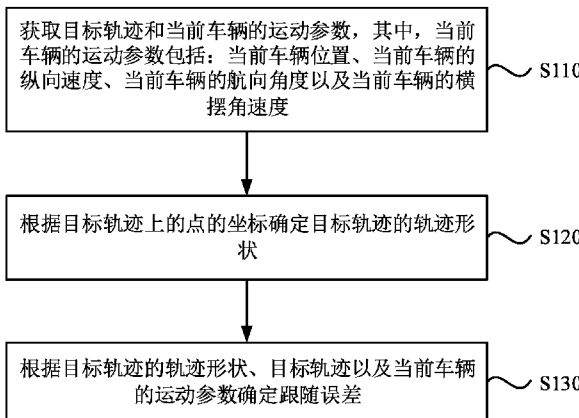


图 1

- S110 Obtain a target trajectory and motion parameters of a current vehicle, the motion parameters of the current vehicle comprising a location of the current vehicle, a longitudinal speed of the current vehicle, a heading angle of the current vehicle, and a yaw velocity of the current vehicle
- S120 Determine a trajectory shape of the target trajectory according to coordinates of points on the target trajectory
- S130 Determine a following error according to the trajectory shape of the target trajectory, the target trajectory, and the motion parameters of the current vehicle

(57) Abstract: Provided are a following error determination method and apparatus, a device, and a storage medium. The following error determination method comprises: obtaining a target trajectory and motion parameters of a current vehicle, the motion parameters of the current vehicle comprising a location of the current vehicle, a longitudinal speed of the current vehicle, a heading angle of the current vehicle, and a yaw velocity of the current vehicle (S110); determining a trajectory shape of the target trajectory according to coordinates of points on the target trajectory (S120); and determining a following error according to the trajectory shape of the target

Hongwei; 中国吉林省长春市汽车经济技术开发区新红旗大街1号, Jilin 130011 (CN)。

(74) 代理人: 北京远智汇知识产权代理有限公司
(**BEIJING YZH IP FIRM**); 中国北京市海淀区莲花池东路39号6层608室, Beijing 100036 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

trajectory, the target trajectory, and the motion parameters of the current vehicle (S130).

(57) 摘要: 提供了一种跟随误差确定方法、装置、设备及存储介质。跟随误差确定方法包括: 获取目标轨迹和当前车辆的运动参数, 其中, 当前车辆的运动参数包括: 当前车辆的位置、当前车辆的纵向速度、当前车辆的航向角度以及当前车辆的横摆角速度 (S110); 根据目标轨迹上的点的坐标确定目标轨迹的轨迹形状 (S120); 根据目标轨迹的轨迹形状、目标轨迹以及当前车辆的运动参数确定跟随误差 (S130)。

跟随误差确定方法、装置、设备及存储介质

本申请要求在2022年05月16日提交中国专利局、申请号为202210526910.8的中国专利申请的优先权，该申请的全部内容通过引用结合在本申请中。

技术领域

本申请涉及车辆技术领域，例如涉及一种跟随误差确定方法、装置、设备及存储介质。

背景技术

自动驾驶车辆的跟随问题是自动驾驶的核心问题，而控制器的表现，即对期望跟随轨迹的控制精度部分由跟随误差决定。当跟随误差精度无法保证，则控制器的表现无法保证。跟随误差精度通常由期望轨迹形状、传感器信号精度、和求解算法共同决定。

相关技术往往是将所有类型轨迹识别为单一形状，依赖加速度或角加速度传感器进行分析，并且引入相关传感器噪声误差来进行跟随控制。由于在实际的运算之中，并未考虑传感器噪声误差并进行滤波，可能会导致对算力要求不合理的增加，软硬件部署成本增加并且降低计算精度。

发明内容

本申请提供一种跟随误差确定方法、装置、设备及存储介质，以解决在实际的运算之中，并未考虑传感器噪声误差并进行滤波，可能会导致对算力要求不合理的增加，软硬件部署成本增加并且降低计算精度的问题，通过识别目标轨迹的形状，选择相应的求解算法，以减小算力要求，并未依赖加速度或角加速度传感器进行分析，能够降低软硬件部署成本，为实车嵌入式系统控制器设计提供了重要的参考依据。

根据本申请的一方面，提供了一种跟随误差确定方法，包括：

获取目标轨迹和当前车辆的运动参数，其中，所述当前车辆的运动参数包括：当前车辆的位置、当前车辆的纵向速度、当前车辆的航向角度以及当前车辆的横摆角速度；

根据所述目标轨迹上的点的坐标确定所述目标轨迹的轨迹形状；

根据所述目标轨迹的轨迹形状、所述目标轨迹以及所述当前车辆的运动参数确定跟随误差。

根据本申请的另一方面，提供了一种跟随误差确定装置，包括：

获取模块，设置为获取目标轨迹和当前车辆的运动参数，其中，所述当前车辆的运动参数包括：当前车辆的位置、当前车辆的纵向速度、当前车辆的航向角度以及当前车辆的横摆角速度；

第一确定模块，设置为根据所述目标轨迹上的点的坐标确定所述目标轨迹的轨迹形状；

第二确定模块，设置为根据所述目标轨迹的轨迹形状、所述目标轨迹以及所述当前车辆的运动参数确定跟随误差。

根据本申请的另一方面，提供了一种电子设备，包括：

至少一个处理器；以及

与所述至少一个处理器通信连接的存储器；其中，

所述存储器存储有可被所述至少一个处理器执行的计算机程序，所述计算机程序被所述至少一个处理器执行，以使所述至少一个处理器能够执行本申请任一实施例所述的跟随误差确定方法。

根据本申请的另一方面，提供了一种计算机可读存储介质，所述计算机可读存储介质存储有计算机指令，所述计算机指令用于使处理器执行时实现本申请任一实施例所述的跟随误差确定方法。

附图说明

图1是本申请实施例中的一种跟随误差确定方法的流程图；

图2是本申请实施例中的横向偏移计算图示；

图3是本申请实施例中的目标轨迹对应的直线示意图；

图4是本申请实施例中的目标轨迹对应的定曲率半径圆弧示意图；

图5是本申请实施例中的直线轨迹跟随误差计算图示；

图6是本申请实施例中的定曲率半径圆弧跟随误差计算图示；

图7是本申请实施例中的一种跟随误差确定装置的结构示意图；

图8是本申请实施例中的一种电子设备的结构示意图。

具体实施方式

下面将结合本申请实施例中的附图，对本申请实施例中的技术方案进行描述，所描述的实施例仅仅是本申请一部分的实施例，而不是全部的实施例。

本申请的说明书和权利要求书及上述附图中的术语“第一”、“第二”等是用于区别类似的对象，而不必用于描述特定的顺序或先后次序。这样使用的数据在适当情况下可以互换，以便这里描述的本申请的实施例能够以除了在这里图示或描述的那些以外的顺序实施。此外，术语“包括”和“具有”以及他们的任何变形，意图在于覆盖不排他的包含，例如，包含了一系列步骤或单元的过程、方法、系统、产品或设备不必限于清楚地列出的那些步骤或单元，而是可包括没有清楚地列出的或对于这些过程、方法、产品或设备固有的其它步骤或单元。

实施例一

图 1 为本申请实施例提供的一种跟随误差确定方法的流程图，本实施例可适用于跟随误差确定的情况，该方法可以由本申请实施例中的跟随误差确定装置来执行，该装置可采用软件和/或硬件的方式实现，如图 1 所示，该方法包括如下步骤。

S110、获取目标轨迹和当前车辆的运动参数，其中，所述当前车辆的运动参数包括：当前车辆的位置、当前车辆的纵向速度、当前车辆的航向角度以及当前车辆的横摆角速度。

获取目标轨迹的方式可以为：获取初始轨迹，根据当前车辆的位置和当前车辆的纵向速度从初始轨迹上选取一段轨迹，确定为目标轨迹。获取目标轨迹的方式还可以为：获取初始轨迹；根据所述当前车辆的位置、所述当前车辆的纵向速度以及所述初始轨迹确定目标轨迹。例如可以是，所述目标轨迹为 1 秒向前的距离，根据当前车辆的位置确定初始轨迹上距离当前车辆最近的点，将距离当前车辆最近的点确定为目标轨迹的起始点，根据当前车辆的纵向速度确定当前车辆 1 秒内行驶轨迹，根据目标轨迹的起始点和当前车辆 1 秒内行驶轨迹确定目标轨迹。目标轨迹为从初始轨迹上选取的足够小的一段轨迹，所述目标轨迹的形状为直线或者定曲率半径圆弧。

S120、根据所述目标轨迹上的点的坐标确定所述目标轨迹的轨迹形状。

所述目标轨迹的轨迹形状可以为直线，也可以为定曲率半径圆弧。

示例性的，根据所述目标轨迹上的点的坐标确定所述目标轨迹的轨迹形状的方式可以为：获取目标轨迹上的点的横向偏移，若所述目标轨迹对应的最大横向偏移大于横向偏移阈值，则确定所述目标轨迹为定曲率半径圆弧；若所述目标轨迹对应的最大横向偏移小于或者等于横向偏移阈值，则确定所述目标轨迹为直线。

S130、根据所述目标轨迹的轨迹形状、所述目标轨迹以及所述当前车辆的

运动参数确定跟随误差。

所述跟随误差包括：横向跟随误差、航向角跟随误差以及横摆角速度跟随误差中的至少一种。

示例性的，根据所述目标轨迹的轨迹形状、所述目标轨迹以及所述当前车辆的运动参数确定跟随误差的方式可以为：若所述目标轨迹为直线，则根据所述当前车辆的位置、所述目标轨迹的斜率以及所述目标轨迹的截距确定横向跟随误差。根据所述目标轨迹的轨迹形状、所述目标轨迹以及所述当前车辆的运动参数确定跟随误差的方式还可以为：若所述目标轨迹为直线，则根据所述当前车辆的航向角度、所述目标轨迹上第一目标点的坐标以及所述目标轨迹上第二目标点的坐标确定航向角跟随误差，其中，所述第一目标点为与所述当前车辆距离最近的点，所述第二目标点为与所述当前车辆距离次近的点。根据所述目标轨迹的轨迹形状、所述目标轨迹以及所述当前车辆的运动参数确定跟随误差的方式还可以为：若所述目标轨迹为直线，则将所述当前车辆的横摆角速度确定为横摆角速度跟随误差。根据所述目标轨迹的轨迹形状、所述目标轨迹以及所述当前车辆的运动参数确定跟随误差的方式还可以为：若所述目标轨迹为定曲率半径圆弧，则根据所述目标轨迹的圆心、所述目标轨迹的半径和所述当前车辆的位置确定横向跟随误差。根据所述目标轨迹的轨迹形状、所述目标轨迹以及所述当前车辆的运动参数确定跟随误差的方式还可以为：若所述目标轨迹为定曲率半径圆弧，则根据所述当前车辆的航向角度、所述目标轨迹上第一目标点的坐标以及所述目标轨迹上第二目标点的坐标确定航向角跟随误差，其中，所述第一目标点为与所述当前车辆距离最近的点，所述第二目标点为与所述当前车辆距离次近的点。根据所述目标轨迹的轨迹形状、所述目标轨迹以及所述当前车辆的运动参数确定跟随误差的方式还可以为：若所述目标轨迹为定曲率半径圆弧，则根据所述当前车辆的纵向速度、所述目标轨迹的半径以及所述当前车辆的横摆角速度确定横摆角速度跟随误差。本申请实施例对此不进行限制。

可选的，获取目标轨迹，包括：

获取初始轨迹；

根据所述当前车辆的位置、所述当前车辆的纵向速度以及所述初始轨迹确定目标轨迹。

所述初始轨迹为预设跟随轨迹，本申请实施例对初始轨迹的获取方式不进行限制。

示例性的，根据所述当前车辆的位置、所述当前车辆的纵向速度以及所述

初始轨迹确定目标轨迹的方式可以为：获取初始轨迹，根据当前车辆的位置和当前车辆的纵向速度从初始轨迹上选取一段轨迹，确定为目标轨迹。

可选的，根据所述目标轨迹上的点的坐标确定所述目标轨迹的轨迹形状，包括：

若所述目标轨迹对应的最大横向偏移大于横向偏移阈值，则确定所述目标轨迹为定曲率半径圆弧；

若所述目标轨迹对应的最大横向偏移小于或者等于横向偏移阈值，则确定所述目标轨迹为直线。

示例性的，若所述目标轨迹对应的最大横向偏移大于横向偏移阈值，则确定所述目标轨迹为定曲率半径圆弧的方式可以为：获取目标轨迹上每个点的横向偏移，比较每个点的横向偏移，得到最大横向偏移，若最大横向偏移大于横向偏移阈值，则确定所述目标轨迹为定曲率半径圆弧。

示例性的，若所述目标轨迹对应的最大横向偏移小于或者等于横向偏移阈值，则确定所述目标轨迹为直线的方式可以为：获取目标轨迹上每个点的横向偏移，比较每个点的横向偏移，得到最大横向偏移，若最大横向偏移小于或者等于横向偏移阈值，则确定所述目标轨迹为直线。

可选的，根据所述目标轨迹的轨迹形状、所述目标轨迹以及所述当前车辆的运动参数确定跟随误差，包括：

若所述目标轨迹为直线，则根据所述当前车辆的位置、所述目标轨迹的斜率以及所述目标轨迹的截距确定横向跟随误差；

若所述目标轨迹为直线，则根据所述当前车辆的航向角度、所述目标轨迹上第一目标点的坐标以及所述目标轨迹上第二目标点的坐标确定航向角跟随误差，其中，所述第一目标点为与所述当前车辆距离最近的点，所述第二目标点为与所述当前车辆距离次近的点；

若所述目标轨迹为直线，则将所述当前车辆的横摆角速度确定为横摆角速度跟随误差。

示例性的，若所述目标轨迹为直线，则根据所述当前车辆的位置、所述目标轨迹的斜率以及所述目标轨迹的截距确定横向跟随误差的方式可以为：目标轨迹对应的直线方程为 $y=mx+c$ ，基于如下公式计算横向跟随误差：

$$e_{lat} = \frac{Y_v - mX_v - c}{\sqrt{1 + m^2}}$$

其中, e_{lat} 为横向跟随误差, m 为目标轨迹对应的斜率, c 为目标轨迹对应的截距, (X_v, Y_v) 为当前车辆的位置坐标。

示例性的, 若所述目标轨迹为直线, 则根据所述当前车辆的航向角度、所述目标轨迹上第一目标点的坐标以及所述目标轨迹上第二目标点的坐标确定航向角跟随误差的方式可以为:

基于如下公式计算得到航向角跟随误差:

$$\theta_e = \theta - \theta_R$$

其中, θ 为车辆此时航向角, θ_e 为航向角跟随误差, θ_R 为期望航向角, 可以通过车辆到目标轨迹最近点 (X_m, Y_m) 和次近点 (X_k, Y_k) 求出, 例如可以是, 基于如下公式计算得到期望航向角:

$$\theta_R = \arctan\left(\frac{Y_k - Y_m}{X_k - X_m}\right)。$$

示例性的, 若所述目标轨迹为直线, 则将所述当前车辆的横摆角速度确定为横摆角速度跟随误差的方式可以为: 因为直线的曲率半径可以认为无限大, 所以期望横摆角速度为 0, 横摆角速度跟随误差 $\omega_e = \dot{\theta}$, 其中, $\dot{\theta}$ 为当前车辆的横摆角速度。

可选的, 根据所述目标轨迹的轨迹形状、所述目标轨迹以及所述当前车辆的运动参数确定跟随误差, 包括:

若所述目标轨迹为定曲率半径圆弧, 则根据所述目标轨迹的圆心、所述目标轨迹的半径和所述当前车辆的位置确定横向跟随误差;

若所述目标轨迹为定曲率半径圆弧, 则根据所述当前车辆的航向角度、所述目标轨迹上第一目标点的坐标以及所述目标轨迹上第二目标点的坐标确定航向角跟随误差, 其中, 所述第一目标点为与所述当前车辆距离最近的点, 所述第二目标点为与所述当前车辆距离次近的点;

若所述目标轨迹为定曲率半径圆弧, 则根据所述当前车辆的纵向速度、所述目标轨迹的半径以及所述当前车辆的横摆角速度确定横摆角速度跟随误差。

示例性的, 若所述目标轨迹为定曲率半径圆弧, 则根据所述目标轨迹的圆

心、所述目标轨迹的半径和所述当前车辆的位置确定横向跟随误差的方式可以为：

基于如下公式计算得到横向轨迹误差 e_{lat} ：

$$e_{lat} = R - \sqrt{(X_v - X_c)^2 + (Y_v - Y_c)^2};$$

其中， (X_c, Y_c) 为所述目标轨迹的圆心坐标， (X_v, Y_v) 为当前车辆的位置坐标， R 为所述目标轨迹的半径。

示例性的，若所述目标轨迹为定曲率半径圆弧，则根据所述当前车辆的航向角度、所述目标轨迹上第一目标点的坐标以及所述目标轨迹上第二目标点的坐标确定航向角跟随误差的方式可以为：基于如下公式计算得到航向角跟随误差：

$$\theta_e = \theta - \theta_R$$

其中， θ 为车辆此时航向角， θ_e 为航向角跟随误差， θ_R 为期望航向角，可以通过车辆到目标轨迹最近点 (X_m, Y_m) 和次近点 (X_k, Y_k) 求出，例如可以是，基于如下公式计算得到期望航向角：

$$\theta_R = \arctan\left(\frac{Y_k - Y_m}{X_k - X_m}\right)。$$

目标轨迹为定曲率半径圆弧和目标轨迹为直线时的航向角跟随误差的计算方式相同。

示例性的，若所述目标轨迹为定曲率半径圆弧，则根据所述当前车辆的纵向速度、所述目标轨迹的半径以及所述当前车辆的横摆角速度确定横摆角速度跟随误差的方式可以为：

基于如下公式计算横摆角速度跟随误差：

$$\omega_e = \dot{\theta} - \frac{v_x}{R}$$

其中， $\dot{\theta}$ 为当前车辆的横摆角速度， v_x 为当前车辆的纵向速度。

可选的，还包括：

基于如下公式计算得到所述目标轨迹上每个点的横向偏移：

$$\text{dis} = \left| \frac{(Y_i - Y_1)(Y_N - Y_1) - (X_i - X_1)(X_N - X_1)}{\sqrt{(X_N - X_1)^2 + (Y_N - Y_1)^2}} \right|;$$

其中， (X_i, Y_i) 为所述目标轨迹上的第 i 个点的坐标，所述 (X_1, Y_1) 为所述目标轨迹的起始点坐标， (X_N, Y_N) 为所述目标轨迹的终止点坐标，dis 为所述目标轨迹上的第 i 个点的横向偏移。

在一个例子中，如图 2 所示，图 2 中曲线为目标轨迹， (X_1, Y_1) 和 (X_N, Y_N) 分别表示目标轨迹的第一个点和最后一个点，基于第一个点和最后一个点的连线，获得一条直线。该直线与 X 轴正半轴夹角为 ψ ，目标轨迹上的第 i 点 (X_i, Y_i) 到直线的距离，定义为目标轨迹上的第 i 点到直线的横向偏移。从第 2 点到第 $i-1$ 个点，可以求出相对应的横向偏移量 $\text{dis}_2, \dots, \text{dis}_{i-1}$ ，找出其中最大的值 $\text{dis}_{\max}$ ，并与阈值 $\text{dis}_{\text{threshold}}$ 比较，如果 $\text{dis}_{\max} > \text{dis}_{\text{threshold}}$ 则目标轨迹为定曲率半径圆弧，否则，目标轨迹为直线。

可选的，还包括：

基于如下公式计算所述目标轨迹的圆心：

$$X_C = \frac{a_{22}b_1 - a_{12}b_2}{a_{22}a_{11} - a_{12}^2};$$

$$Y_C = \frac{a_{11}b_2 - a_{12}b_1}{a_{22}a_{11} - a_{12}^2};$$

其中， $a_{11} = (\sum_{i=1}^N [X_i])^2 - N \sum_{i=1}^N [X_i]^2$ ， $a_{12} = \sum_{i=1}^N [X_i] \sum_{i=1}^N [Y_i] - N \sum_{i=1}^N [X_i Y_i]$ ， $a_{22} = (\sum_{i=1}^N [Y_i])^2 - N \sum_{i=1}^N [Y_i]^2$ ， $b_1 = \frac{1}{2} \left(\sum_{i=1}^N [X_i] \sum_{i=1}^N ([X_i]^2 + [Y_i]^2) - N (\sum_{i=1}^N [X_i]^3 + \sum_{i=1}^N X_i [Y_i]^2) \right)$ ， $b_2 = \frac{1}{2} \left(\sum_{i=1}^N [Y_i] \sum_{i=1}^N ([X_i]^2 + [Y_i]^2) - N (\sum_{i=1}^N [Y_i]^3 + \sum_{i=1}^N Y_i [X_i]^2) \right)$ ， (X_C, Y_C) 为所述目标轨迹的圆心坐标，N 为所述目

标轨迹上的点的数量, (X_i, Y_i) 为所述目标轨迹上的第 i 个点的坐标;

基于如下公式计算所述目标轨迹的半径:

$$R = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N [(X_i - X_c)^2 + (Y_i - Y_c)^2]}.$$

在一个例子中, 若目标轨迹为直线, 则采用最小二乘法进行轨迹拟合, 若目标轨迹为圆弧曲线, 则通过凸优化进行轨迹拟合。下面分别对两种拟合方法进行说明:

最小二乘法: 如图 3 所示, (X_1, Y_1) 和 (X_N, Y_N) 分别表示目标轨迹的第一个点和最后一个点, $y = mx + c$, 表示所有轨迹上的点到该直线的距离之和最小的直线, 即为拟合后的直线轨迹。第一点到第 N 点的方程可表示为:

$$\begin{pmatrix} Y_1 \\ \vdots \\ Y_N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_1 & 1 \\ \vdots & \vdots \\ X_N & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} m \\ c \end{pmatrix}$$

上述矩阵可表示为:

$$T = Ax$$

为了求出 x , 对其进行如下变换:

$$A^T T = A^T A x$$

$$(A^T A)^{-1} A^T T = x$$

则可求出对应的直线斜率 m 和截距 c 。因为目标轨迹为直线, 所以曲率半径为无穷大。

凸优化拟合: 当目标轨迹的形状为圆弧曲线时, 采用凸优化方法进行拟合, 如图 4 所示, $(X_1, Y_1), \dots, (X_N, Y_N)$ 为目标轨迹上的点, 图中的 “preview section”

为目标轨迹，为了找到一条所有目标轨迹上的点到拟合圆弧轨迹的距离之和最小的圆弧轨迹，引入凸优化拟合方法，即采用该方法，算出相应的曲率半径 R 和圆心 (X_c, Y_c) ，算法如下：

定义轨迹上第 i 点到拟合圆心 (X_c, Y_c) 的距离平方与拟合半径 R 平方的差为 e_i ，即：

$$e_i(x) = (X_i - X_c)^2 + (Y_i - Y_c)^2 - R^2$$

定义 $e_i > 0$ ，即算出的 R 值偏小偏保守（这样使得向心加速度会计算偏大，进而保证同一速度下不会超过向心加速度阈值）

定义第 i 点的误差平方，即： $E_i(x) = e_i^2(x)$ 。

目标轨迹拟合损失函数可定义为：

$$E(x) = \sum_{i=1}^N E_i(x)$$

为了找出轨迹拟合损失函数极值，引入梯度法，即：

$$\frac{\partial E}{\partial X_c} = 0$$

$$\frac{\partial E}{\partial Y_c} = 0$$

$$\frac{\partial E}{\partial R} = 0$$

基于上述公式即可求出轨迹拟合圆心 (X_c, Y_c) 和半径 R 。

为了证明该优化方法将找出轨迹拟合函数 $E(x)$ 最小值，需证明 $E(x)$ 为凸函数。为了证明该特性，引入如下两个定理：

1. 如果 $h(x) = f(x)g(x)$ (缩略表示为 $h = fg$) , 且满足:

$$\begin{cases} f, g \text{ 均为凸函数} \\ f \geq 0 \text{ 且 } g \geq 0 ; \text{ 则 } h(x) \text{ 为凸函数。} \\ f' \text{ 与 } g' \text{ 符号相同} \end{cases}$$

2. 令 $H(x) = h_1(x) + \dots + h_n(x)$, $H(x)$ 为凸函数, 如果 $h_1(x) \dots h_n(x)$ 均为凸函数。

下面证明上述两个定理:

定理1证明:

$$h = fg$$

则

$$h' = f'g + fg'$$

$$h'' = f''g + fg'' + 2f'g'$$

因为 f, g 均为凸函数, 则 $f'' \geq 0$ 且 $g'' \geq 0$, 又因为: $f \geq 0$ 且 $g \geq 0$, 所以 $f'g \geq 0$ 且 $g''f \geq 0$, 又知 f' 与 g' 符号相同; 则 $f'g' \geq 0$, 因此 $h'' = f''g + fg'' + 2f'g' \geq 0$ 。可证得, $h(x)$ 为凸函数

定理2证明:

因为 $h_1(x) \dots h_n(x)$ 均为凸函数, 则: $h_1''(x) \dots h_n''(x)$ 均大于0, 又知 $H''(x) = h_1''(x) + \dots + h_n''(x)$, 则 $H''(x) \geq 0$ 。可证得, $H(x)$ 为凸函数

证明 $E(x)$ 为凸函数:

第一步: 先证明 $e_i(x)$ 为凸函数,

已知

$$e_i(x) = (X_i - X_c)^2 + (Y_i - Y_c)^2 - R^2$$

$$x = (X_c, Y_c)$$

$$e''_i(x) = \begin{pmatrix} \frac{\partial^2 e}{\partial X_c^2} & \frac{\partial^2 e}{\partial X_c \partial Y_c} \\ \frac{\partial^2 e}{\partial Y_c \partial X_c} & \frac{\partial^2 e}{\partial Y_c^2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 2 \end{pmatrix}$$

有 $xe''_i(x)x^T = 2X_c^2 + 2Y_c^2 \geq 0$ ，所以， $e_i(x)$ 为凸函数。

第二步，证明 $E_i(x) = e_i^2(x)$ 为凸函数，这里引用定理1：

$$\begin{cases} f, g \text{ 均为凸函数} \\ f \geq 0 \text{ 且 } g \geq 0 \\ f' \text{ 与 } g' \text{ 符号相同} \end{cases}$$

其中， f, g 相等且均为凸函数，由 $e_i(x)$ 定义可知 $e_i(x) \geq 0$ ，而 f' 与 g' 符号相同，所以可证 $E_i(x)$ 为凸函数。

第三步，证明 $E(x)$ 为凸函数，这里引用定理2：

$$E(x) = \sum_{i=1}^N E_i(x)$$

因为 $E_i(x)$ 为凸函数，则 $E(x)$ 为凸函数。

因此，可以得出 $E(x)$ 为凸函数。所以梯度法所求极值即为最小值，下面采用梯度法求解最小值：

$$\frac{\partial E}{\partial R} = 0$$

$$\sum_{i=1}^N [(X_i - X_c)^2 + (Y_i - Y_c)^2 - R^2] R = 0$$

假设R大于0,

$$\sum_{i=1}^N [(X_i - X_c)^2 + (Y_i - Y_c)^2] = NR^2$$

可解的

$$R = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N [(X_i - X_c)^2 + (Y_i - Y_c)^2]}$$

$$\frac{\partial E}{\partial X_c} = 0$$

$$\sum_{i=1}^N [(X_i - X_c)^2 + (Y_i - Y_c)^2 - R^2] (X_i - X_c) = 0$$

$$\sum_{i=1}^N [(X_i - X_c)^2 + (Y_i - Y_c)^2 - R^2] (X_i) = \sum_{i=1}^N [(X_i - X_c)^2 + (Y_i - Y_c)^2 - R^2] (X_c)$$

因为

$$\sum_{i=1}^N [(X_i - X_c)^2 + (Y_i - Y_c)^2] = NR^2$$

所以

$$\sum_{i=1}^N [(X_i - X_c)^2 + (Y_i - Y_c)^2 - R^2] (X_i) = 0$$

$$\begin{aligned}
\sum_{i=1}^N [X_i] (R^2) &= \sum_{i=1}^N [(X_i - X_c)^2 + (Y_i - Y_c)^2 - R^2] \\
\sum_{i=1}^N [X_i] (R^2) &= \sum_{i=1}^N [(X_i)^3] - 2X_c \sum_{i=1}^N [(X_i)^2] + (X_c)^2 \sum_{i=1}^N [X_i] + \sum_{i=1}^N [X_i(Y_i)^2] \\
&\quad - 2Y_c \sum_{i=1}^N [Y_i X_i] + (Y_c)^2 \sum_{i=1}^N [X_i] \\
\frac{\partial E}{\partial Y_c} &= 0
\end{aligned}$$

与上面相同，推导公式略：

$$\begin{aligned}
\sum_{i=1}^N [Y_i] (R^2) &= \sum_{i=1}^N [(Y_i)^3] - 2Y_c \sum_{i=1}^N [(Y_i)^2] + (Y_c)^2 \sum_{i=1}^N [Y_i] + \sum_{i=1}^N [Y_i(X_i)^2] \\
&\quad - 2X_c \sum_{i=1}^N [Y_i X_i] + (X_c)^2 \sum_{i=1}^N [Y_i]
\end{aligned}$$

整理上述方程， (X_c, Y_c) 可由下列矩阵求出：

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{12} & a_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_c \\ Y_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix}$$

$$X_c = \frac{a_{22}b_1 - a_{12}b_2}{a_{22}a_{11} - a_{12}^2}$$

$$Y_c = \frac{a_{11}b_2 - a_{12}b_1}{a_{22}a_{11} - a_{12}^2}$$

其中，

$$a_{11} = \left(\sum_{i=1}^N [X_i] \right)^2 - N \sum_{i=1}^N [X_i]^2$$

$$a_{12} = \sum_{i=1}^N [X_i] \sum_{i=1}^N [Y_i] - N \sum_{i=1}^N [X_i Y_i]$$

$$a_{22} = \left(\sum_{i=1}^N [Y_i] \right)^2 - N \sum_{i=1}^N [Y_i]^2$$

$$b_1 = \frac{1}{2} \left(\sum_{i=1}^N [X_i] \sum_{i=1}^N ([X_i]^2 + [Y_i]^2) - N \left(\sum_{i=1}^N [X_i]^3 + \sum_{i=1}^N X_i [Y_i]^2 \right) \right)$$

$$b_2 = \frac{1}{2} \left(\sum_{i=1}^N [Y_i] \sum_{i=1}^N ([X_i]^2 + [Y_i]^2) - N \left(\sum_{i=1}^N [Y_i]^3 + \sum_{i=1}^N Y_i [X_i]^2 \right) \right)$$

当圆心位置 (X_c, Y_c) 通过上述方程确定后，半径 R 基于如下公式确定：

$$R = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N [(X_i - X_c)^2 + (Y_i - Y_c)^2]}$$

自此，轨迹曲率半径 R 在直线和曲线状态下均完成求解。

如图5所示，当前车辆位置 (X_v, Y_v) 到拟合直线的距离为横向轨迹误差，直线方程为 $y = mx + c$ ，则横向跟随误差 e_{lat} 为：

$$e_{lat} = \frac{Y_v - mX_v - c}{\sqrt{1 + m^2}}$$

直线的航向角跟随误差 θ_e 为：

$$\theta_e = \theta - \theta_R$$

其中， θ 为车辆此时航向角， θ_R 为期望达到航向角，通过车辆到目标轨迹最近点 (X_1, Y_1) 和次近点 (X_2, Y_2) 求出，其中，

$$\theta_R = \arctan\left(\frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}\right)$$

因为，直线的曲率半径可以认为无限大，所以其期望的横摆角速度为0，横摆角速度跟随误差 $\omega_e = \dot{\theta}$ ，其中， $\dot{\theta}$ 为车辆此时角速度。

当轨迹为圆弧时，如图6所示，横向跟随误差 e_{lat} 可表示为：

$$e_{lat} = R - \sqrt{(X_v - X_c)^2 + (Y_v - Y_c)^2}$$

直线的航向角跟随误差 θ_e 为：

$$\theta_e = \theta - \theta_R$$

其中， θ 为车辆此时航向角， θ_R 为期望达到航向角，可以通过车辆到目标轨迹最近点 (X_1, Y_1) 和次近点 (X_2, Y_2) 求出。

$$\theta_R = \arctan\left(\frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}\right)$$

因为圆弧的曲率半径可以通过轨迹拟合和曲率半径计算模块得出，所以横摆角速度跟随误差为：

$$\omega_e = \dot{\theta} - \frac{v_x}{R}$$

其中， $\dot{\theta}$ 为车辆此时角速度， v_x 为此时车辆的纵向车速。至此，当目标轨迹为直线与圆弧的条件下，圆弧曲率半径、横向跟随误差、航向角跟随误差，横摆角速度跟随误差均已求出。以上多个参数可以传递至下一步的控制模块，为控制系统设计提供重要依据。

本实施例的技术方案，通过获取目标轨迹和当前车辆的运动参数，其中，

所述当前车辆的运动参数包括：当前车辆位置、当前车辆的纵向速度、当前车辆的航向角度以及当前车辆的横摆角速度；根据所述目标轨迹上的点的坐标确定所述目标轨迹的轨迹形状；根据所述目标轨迹的轨迹形状、所述目标轨迹以及所述当前车辆的运动参数确定跟随误差，以解决在实际的运算之中，并未考虑传感器噪声误差并进行滤波，可能会导致对算力要求不合理的增加，软硬件部署成本增加并且降低计算精度的问题，由于并未依赖加速度或角加速度传感器进行分析，能够降低软硬件部署成本，并且能够对传感器噪声误差进行滤波，以保证在一定噪声条件下，确定跟随误差，为实车嵌入式系统控制器设计提供了重要的参考依据。

实施例二

图 7 为本申请实施例提供的一种跟随误差确定装置的结构示意图。本实施例可适用于跟随误差确定的情况，该装置可采用软件和/或硬件的方式实现，该装置可集成在任何提供跟随误差确定功能的设备中，如图 7 所示，所述跟随误差确定装置包括：获取模块 210、第一确定模块 220 和第二确定模块 230。

获取模块 210，设置为获取目标轨迹和当前车辆的运动参数，其中，所述当前车辆的运动参数包括：当前车辆的位置、当前车辆的纵向速度、当前车辆的航向角度以及当前车辆的横摆角速度；

第一确定模块 220，设置为根据所述目标轨迹上的点的坐标确定所述目标轨迹的轨迹形状；

第二确定模块 230，设置为根据所述目标轨迹的轨迹形状、所述目标轨迹以及所述当前车辆的运动参数确定跟随误差。

可选的，所述获取模块 210 是设置为：

获取初始轨迹；

根据所述当前车辆的位置、所述当前车辆的纵向速度以及所述初始轨迹确定目标轨迹。

可选的，所述第一确定模块 220 是设置为：

若所述目标轨迹对应的最大横向偏移大于横向偏移阈值，则确定所述目标轨迹为定曲率半径圆弧；

若所述目标轨迹对应的最大横向偏移小于或者等于横向偏移阈值，则确定所述目标轨迹为直线。

可选的，所述第二确定模块 230 是设置为：

若所述目标轨迹为直线，则根据所述当前车辆的位置、所述目标轨迹的斜率以及所述目标轨迹的截距确定横向跟随误差；

若所述目标轨迹为直线，则根据所述当前车辆的航向角度、所述目标轨迹上第一目标点的坐标以及所述目标轨迹上第二目标点的坐标确定航向角跟随误差，其中，所述第一目标点为与所述当前车辆距离最近的点，所述第二目标点为与所述当前车辆距离次近的点；

若所述目标轨迹为直线，则将所述当前车辆的横摆角速度确定为横摆角速度跟随误差。

可选的，所述第二确定模块 230 是设置为：

若所述目标轨迹为定曲率半径圆弧，则根据所述目标轨迹的圆心、所述目标轨迹的半径和所述当前车辆的位置确定横向跟随误差；

若所述目标轨迹为定曲率半径圆弧，则根据所述当前车辆的航向角度、所述目标轨迹上第一目标点的坐标以及所述目标轨迹上第二目标点的坐标确定航向角跟随误差，其中，所述第一目标点为与所述当前车辆距离最近的点，所述第二目标点为与所述当前车辆距离次近的点；

若所述目标轨迹为定曲率半径圆弧，则根据所述当前车辆的纵向速度、所述目标轨迹的半径以及所述当前车辆的横摆角速度确定横摆角速度跟随误差。

可选的，所述第一确定模块 220 是设置为：

基于如下公式计算得到所述目标轨迹上每个点的横向偏移：

$$\text{dis} = \left| \frac{(Y_i - Y_1)(Y_N - Y_1) - (X_i - X_1)(X_N - X_1)}{\sqrt{(X_N - X_1)^2 + (Y_N - Y_1)^2}} \right|;$$

其中， (X_i, Y_i) 为所述目标轨迹上的第 i 个点的坐标，所述 (X_1, Y_1) 为所述目标轨迹的起始点坐标， (X_N, Y_N) 为所述目标轨迹的终止点坐标，dis 为所述目标轨迹上的第 i 个点的横向偏移。

可选的，所述第二确定模块 230 是设置为：

基于如下公式计算所述目标轨迹的圆心：

$$X_C = \frac{a_{22}b_1 - a_{12}b_2}{a_{22}a_{11} - a_{12}^2};$$

$$Y_C = \frac{a_{11}b_2 - a_{12}b_1}{a_{22}a_{11} - a_{12}^2};$$

其中， $a_{11} = (\sum_{i=1}^N [X_i])^2 - N \sum_{i=1}^N [X_i]^2$ ， $a_{12} = \sum_{i=1}^N [X_i] \sum_{i=1}^N [Y_i] -$

$N \sum_{i=1}^N [X_i Y_i]$, $a_{22} = (\sum_{i=1}^N [Y_i])^2 - N \sum_{i=1}^N [Y_i]^2$, $b_1 = \frac{1}{2} (\sum_{i=1}^N [X_i] \sum_{i=1}^N ([X_i]^2 + [Y_i]^2) - N (\sum_{i=1}^N [X_i]^3 + \sum_{i=1}^N X_i [Y_i]^2))$, $b_2 = \frac{1}{2} (\sum_{i=1}^N [Y_i] \sum_{i=1}^N ([X_i]^2 + [Y_i]^2) - N (\sum_{i=1}^N [Y_i]^3 + \sum_{i=1}^N Y_i [X_i]^2))$, (X_c, Y_c) 为所述目标轨迹的圆心坐标, N 为所述目标轨迹上的点的数量, (X_i, Y_i) 为所述目标轨迹上的第 i 个点的坐标;

基于如下公式计算所述目标轨迹的半径:

$$R = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N [(X_i - X_c)^2 + (Y_i - Y_c)^2]}.$$

上述产品可执行本申请任意实施例所提供的方法, 具备执行方法相应的功能模块和效果。

本实施例的技术方案, 通过获取目标轨迹和当前车辆的运动参数, 其中, 所述当前车辆的运动参数包括: 当前车辆的位置、当前车辆的纵向速度、当前车辆的航向角度以及当前车辆的横摆角速度; 根据所述目标轨迹上的点的坐标确定所述目标轨迹的轨迹形状; 根据所述目标轨迹的轨迹形状、所述目标轨迹以及所述当前车辆的运动参数确定跟随误差, 以解决在实际的运算之中, 并未考虑传感器噪声误差并进行滤波, 可能会导致对算力要求不合理的增加, 软硬件部署成本增加并且降低计算精度的问题, 由于并未依赖加速度或角加速度传感器进行分析, 能够降低软硬件部署成本, 并且能够对传感器噪声误差进行滤波, 以保证在一定噪声条件下, 确定跟随误差, 为实车嵌入式系统控制器设计提供了重要的参考依据。

实施例三

图 8 示出了可以用来实施本申请的实施例的电子设备 10 的结构示意图。电子设备 10 旨在表示多种形式的数字计算机, 诸如, 膝上型计算机、台式计算机、工作台、个人数字助理、服务器、刀片式服务器、大型计算机、和其它适合的计算机。电子设备 10 还可以表示多种形式的移动装置, 诸如, 个人数字处理、蜂窝电话、智能电话、可穿戴设备 (如头盔、眼镜、手表等) 和其它类似的计算装置。本文所示的部件、它们的连接和关系、以及它们的功能仅仅作为例, 并且不意在限制本文中描述的和/或者要求的本申请的实现。

如图 8 所示, 电子设备 10 包括至少一个处理器 11, 以及与至少一个处理器 11 通信连接的存储器, 如只读存储器 (Read-Only Memory, ROM) 12、随机访

问存储器（Random Access Memory, RAM）13 等，其中，存储器存储有可被至少一个处理器执行的计算机程序，处理器 11 可以根据存储在 ROM12 中的计算机程序或者从存储单元 18 加载到 RAM13 中的计算机程序，来执行多种适当的动作和处理。在 RAM 13 中，还可存储电子设备 10 操作所需的多种程序和数据。处理器 11、ROM 12 以及 RAM 13 通过总线 14 彼此相连。输入/输出（Input/Output, I/O）接口 15 也连接至总线 14。

电子设备 10 中的多个部件连接至 I/O 接口 15，包括：输入单元 16，例如键盘、鼠标等；输出单元 17，例如多种类型的显示器、扬声器等；存储单元 18，例如磁盘、光盘等；以及通信单元 19，例如网卡、调制解调器、无线通信收发机等。通信单元 19 允许电子设备 10 通过诸如因特网的计算机网络和/或多种电信网络与其他设备交换信息/数据。

处理器 11 可以是多种具有处理和计算能力的通用和/或专用处理组件。处理器 11 的一些示例包括中央处理单元（Central Processing Unit, CPU）、图形处理单元（Graphics Processing Unit, GPU）、多种专用的人工智能（Artificial Intelligence, AI）计算芯片、多种运行机器学习模型算法的处理器、数字信号处理器（Digital Signal Processor, DSP）、以及任何适当的处理器、控制器、微控制器等。处理器 11 执行上文所描述的多个方法和处理，例如跟随误差确定方法。

在一些实施例中，跟随误差确定方法可被实现为计算机程序，其被有形地包含于计算机可读存储介质，例如存储单元 18。在一些实施例中，计算机程序的部分或者全部可以经由 ROM 12 和/或通信单元 19 而被载入和/或安装到电子设备 10 上。当计算机程序加载到 RAM 13 并由处理器 11 执行时，可以执行上文描述的跟随误差确定方法的一个或多个步骤。备选地，在其他实施例中，处理器 11 可以通过其他任何适当的方式（例如，借助于固件）而被配置为执行跟随误差确定方法：

获取目标轨迹和当前车辆的运动参数，其中，所述当前车辆的运动参数包括：当前车辆的位置、当前车辆的纵向速度、当前车辆的航向角度以及当前车辆的横摆角速度；

根据所述目标轨迹上的点的坐标确定所述目标轨迹的轨迹形状；

根据所述目标轨迹的轨迹形状、所述目标轨迹以及所述当前车辆的运动参数确定跟随误差。

本文中以上描述的系统和技术多种实施方式可以在数字电子电路系统、集成电路系统、场可编程门阵列（Field Programmable Gate Array, FPGA）、专用集成电路（Application Specific Integrated Circuit, ASIC）、专用标准产品

(Application Specific Standard Parts, ASSP)、芯片上系统的系统(System on Chip, SOC)、负载可编程逻辑设备(Complex Programmable Logic Device, CPLD)、计算机硬件、固件、软件、和/或它们的组合中实现。这些多种实施方式可以包括：实施在一个或者多个计算机程序中，该一个或者多个计算机程序可在包括至少一个可编程处理器的可编程系统上执行和/或解释，该可编程处理器可以是专用或者通用可编程处理器，可以从存储系统、至少一个输入装置、和至少一个输出装置接收数据和指令，并且将数据和指令传输至该存储系统、该至少一个输入装置、和该至少一个输出装置。

用于实施本申请的方法的计算机程序可以采用一个或多个编程语言的任何组合来编写。这些计算机程序可以提供给通用计算机、专用计算机或其他可编程数据处理装置的处理器，使得计算机程序当由处理器执行时使流程图和/或框图中所规定的功能/操作被实施。计算机程序可以完全在机器上执行、部分地在机器上执行，作为独立软件包部分地在机器上执行且部分地在远程机器上执行或完全在远程机器或服务器上执行。

在本申请的上下文中，计算机可读存储介质可以是有形的介质，其可以包含或存储以供指令执行系统、装置或设备使用或与指令执行系统、装置或设备结合地使用的计算机程序。计算机可读存储介质可以包括电子的、磁性的、光学的、电磁的、红外的、或半导体系统、装置或设备，或者上述内容的任何合适组合。备选地，计算机可读存储介质可以是机器可读信号介质。机器可读存储介质包括基于一个或多个线的电气连接、便携式计算机盘、硬盘、RAM、ROM、可擦除可编程只读存储器(Erasable Programmable Read-Only Memory, EPROM)、快闪存储器、光纤、便捷式紧凑盘只读存储器(Compact Disc Read-Only Memory, CD-ROM)、光学储存设备、磁储存设备、或上述内容的任何合适组合。存储介质可以是非暂态(non-transitory)存储介质。

为了提供与用户的交互，可以在电子设备上实施此处描述的系统和技术，该电子设备具有：用于向用户显示信息的显示装置(例如，阴极射线管(Cathode Ray Tube, CRT)或者液晶显示器(Liquid Crystal Display, LCD)监视器)；以及键盘和指向装置(例如，鼠标或者轨迹球)，用户可以通过该键盘和该指向装置来将输入提供给电子设备。其它种类的装置还可以用于提供与用户的交互；例如，提供给用户的反馈可以是任何形式的传感反馈(例如，视觉反馈、听觉反馈、或者触觉反馈)；并且可以用任何形式(包括声输入、语音输入或者、触觉输入)来接收来自用户的输入。

可以将此处描述的系统和技术实施在包括后台部件的计算系统(例如，作为数据服务器)、或者包括中间件部件的计算系统(例如，应用服务器)、或

者包括前端部件的计算系统（例如，具有图形用户界面或者网络浏览器的用户计算机，用户可以通过该图形用户界面或者该网络浏览器来与此处描述的系统和技术实施方式交互）、或者包括这种后台部件、中间件部件、或者前端部件的任何组合的计算系统中。可以通过任何形式或者介质的数字数据通信（例如，通信网络）来将系统的部件相互连接。通信网络的示例包括：局域网（Local Area Network, LAN）、广域网（Wide Area Network, WAN）、区块链网络和互联网。

计算系统可以包括客户端和服务端。客户端和服务端一般远离彼此并且通常通过通信网络进行交互。通过在相应的计算机上运行并且彼此具有客户端-服务器关系的计算机程序来产生客户端和服务端的关系。服务器可以是云服务器，又称为云计算服务器或云主机，是云计算服务体系中的一项主机产品，以解决了传统物理主机与虚拟专用服务器（Virtual Private Server, VPS）服务中，存在的管理难度大，业务扩展性弱的缺陷。

可以使用上面所示的多种形式的流程，重新排序、增加或删除步骤。例如，本申请中记载的多个步骤可以并行地执行也可以顺序地执行也可以不同的次序执行，只要能够实现本申请的技术方案所期望的结果，本文在此不进行限制。

权利要求书

1、一种跟随误差确定方法，包括：

获取目标轨迹和当前车辆的运动参数，其中，所述当前车辆的运动参数包括：当前车辆的位置、当前车辆的纵向速度、当前车辆的航向角度以及当前车辆的横摆角速度；

根据所述目标轨迹上的点的坐标确定所述目标轨迹的轨迹形状；

根据所述目标轨迹的轨迹形状、所述目标轨迹以及所述当前车辆的运动参数确定跟随误差。

2、根据权利要求1所述的方法，其中，所述获取目标轨迹，包括：

获取初始轨迹；

根据所述当前车辆的位置、所述当前车辆的纵向速度以及所述初始轨迹确定所述目标轨迹。

3、根据权利要求1所述的方法，其中，所述根据所述目标轨迹上的点的坐标确定所述目标轨迹的轨迹形状，包括：

在所述目标轨迹对应的最大横向偏移大于横向偏移阈值的情况下，确定所述目标轨迹为定曲率半径圆弧；

在所述目标轨迹对应的最大横向偏移小于或者等于所述横向偏移阈值的情况下，确定所述目标轨迹为直线。

4、根据权利要求3所述的方法，其中，所述根据所述目标轨迹的轨迹形状、所述目标轨迹以及所述当前车辆的运动参数确定跟随误差，包括：

在所述目标轨迹为直线的情况下，根据所述当前车辆的位置、所述目标轨迹的斜率以及所述目标轨迹的截距确定横向跟随误差；

在所述目标轨迹为直线的情况下，根据所述当前车辆的航向角度、所述目标轨迹上第一目标点的坐标以及所述目标轨迹上第二目标点的坐标确定航向角跟随误差，其中，所述第一目标点为与所述当前车辆距离最近的点，所述第二目标点为与所述当前车辆距离次近的点；

在所述目标轨迹为直线的情况下，将所述当前车辆的横摆角速度确定为横摆角速度跟随误差。

5、根据权利要求3所述的方法，其中，所述根据所述目标轨迹的轨迹形状、所述目标轨迹以及所述当前车辆的运动参数确定跟随误差，包括：

在所述目标轨迹为定曲率半径圆弧的情况下，根据所述目标轨迹的圆心、所述目标轨迹的半径和所述当前车辆的位置确定横向跟随误差；

在所述目标轨迹为定曲率半径圆弧的情况下，根据所述当前车辆的航向角度、所述目标轨迹上第一目标点的坐标以及所述目标轨迹上第二目标点的坐标确定航向角跟随误差，其中，所述第一目标点为与所述当前车辆距离最近的点，所述第二目标点为与所述当前车辆距离次近的点；

在所述目标轨迹为定曲率半径圆弧的情况下，根据所述当前车辆的纵向速度、所述目标轨迹的半径以及所述当前车辆的横摆角速度确定横摆角速度跟随误差。

6、根据权利要求3所述的方法，还包括：

基于如下公式计算得到所述目标轨迹上每个点的横向偏移：

$$\text{dis} = \left| \frac{(Y_i - Y_1)(Y_N - Y_1) - (X_i - X_1)(X_N - X_1)}{\sqrt{(X_N - X_1)^2 + (Y_N - Y_1)^2}} \right|;$$

其中， (X_i, Y_i) 为所述目标轨迹上的第 i 个点的坐标，所述 (X_1, Y_1) 为所述目标轨迹的起始点坐标， (X_N, Y_N) 为所述目标轨迹的终止点坐标，dis 为所述目标轨迹上的第 i 个点的横向偏移。

7、根据权利要求5所述的方法，还包括：

基于如下公式计算所述目标轨迹的圆心：

$$X_C = \frac{a_{22}b_1 - a_{12}b_2}{a_{22}a_{11} - a_{12}^2};$$

$$Y_C = \frac{a_{11}b_2 - a_{12}b_1}{a_{22}a_{11} - a_{12}^2};$$

其中， $a_{11} = (\sum_{i=1}^N [X_i])^2 - N \sum_{i=1}^N [X_i]^2$ ， $a_{12} = \sum_{i=1}^N [X_i] \sum_{i=1}^N [Y_i] - N \sum_{i=1}^N [X_i Y_i]$ ， $a_{22} = (\sum_{i=1}^N [Y_i])^2 - N \sum_{i=1}^N [Y_i]^2$ ， $b_1 = \frac{1}{2} (\sum_{i=1}^N [X_i] \sum_{i=1}^N ([X_i]^2 + [Y_i]^2) - N (\sum_{i=1}^N [X_i]^3 + \sum_{i=1}^N X_i [Y_i]^2))$ ， $b_2 = \frac{1}{2} (\sum_{i=1}^N [Y_i] \sum_{i=1}^N ([X_i]^2 + [Y_i]^2) - N (\sum_{i=1}^N [Y_i]^3 + \sum_{i=1}^N Y_i [X_i]^2))$ ， (X_C, Y_C) 为所述目标轨迹的圆心坐标， N 为所述目标轨迹上的点的数量， (X_i, Y_i) 为所述目标轨迹上的第 i 个点的坐标；

基于如下公式计算所述目标轨迹的半径：

$$R = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N [(X_i - X_C)^2 + (Y_i - Y_C)^2]}.$$

8、一种跟随误差确定装置，包括：

获取模块，设置为获取目标轨迹和当前车辆的运动参数，其中，所述当前车辆的运动参数包括：当前车辆的位置、当前车辆的纵向速度、当前车辆的航向角度以及当前车辆的横摆角速度；

第一确定模块，设置为根据所述目标轨迹上的点的坐标确定所述目标轨迹的轨迹形状；

第二确定模块，设置为根据所述目标轨迹的轨迹形状、所述目标轨迹以及所述当前车辆的运动参数确定跟随误差。

9、一种电子设备，包括：

至少一个处理器；以及

与所述至少一个处理器通信连接的存储器；其中，

所述存储器存储有可被所述至少一个处理器执行的计算机程序，所述计算机程序被所述至少一个处理器执行，以使所述至少一个处理器能够执行权利要求 1-7 中任一项所述的跟随误差确定方法。

10、一种计算机可读存储介质，其中，所述计算机可读存储介质存储有计算机指令，所述计算机指令用于使处理器执行时实现权利要求 1-7 中任一项所述的跟随误差确定方法。

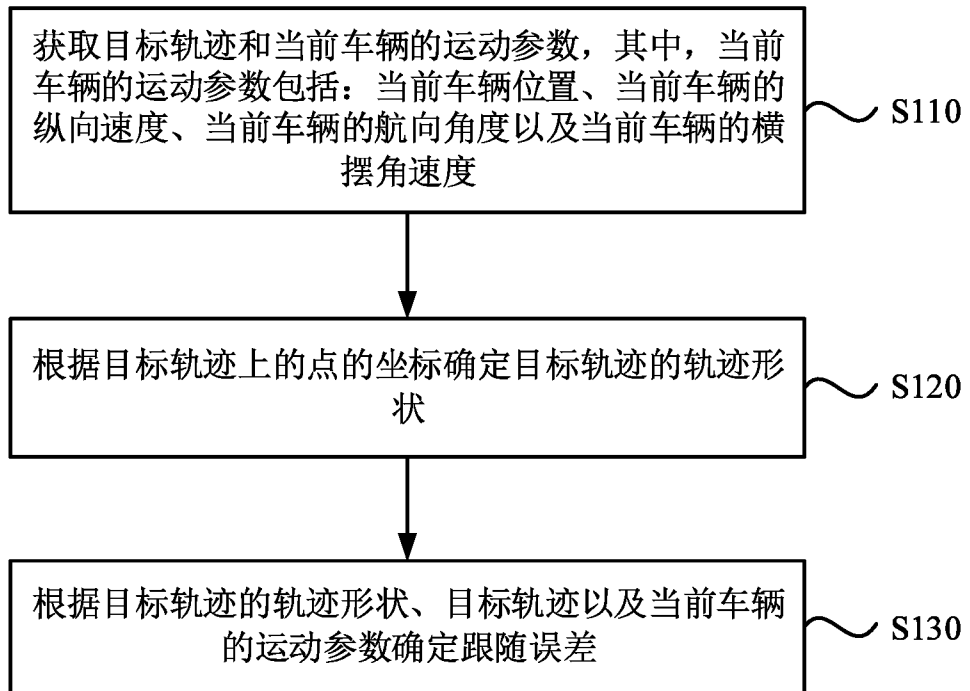


图 1

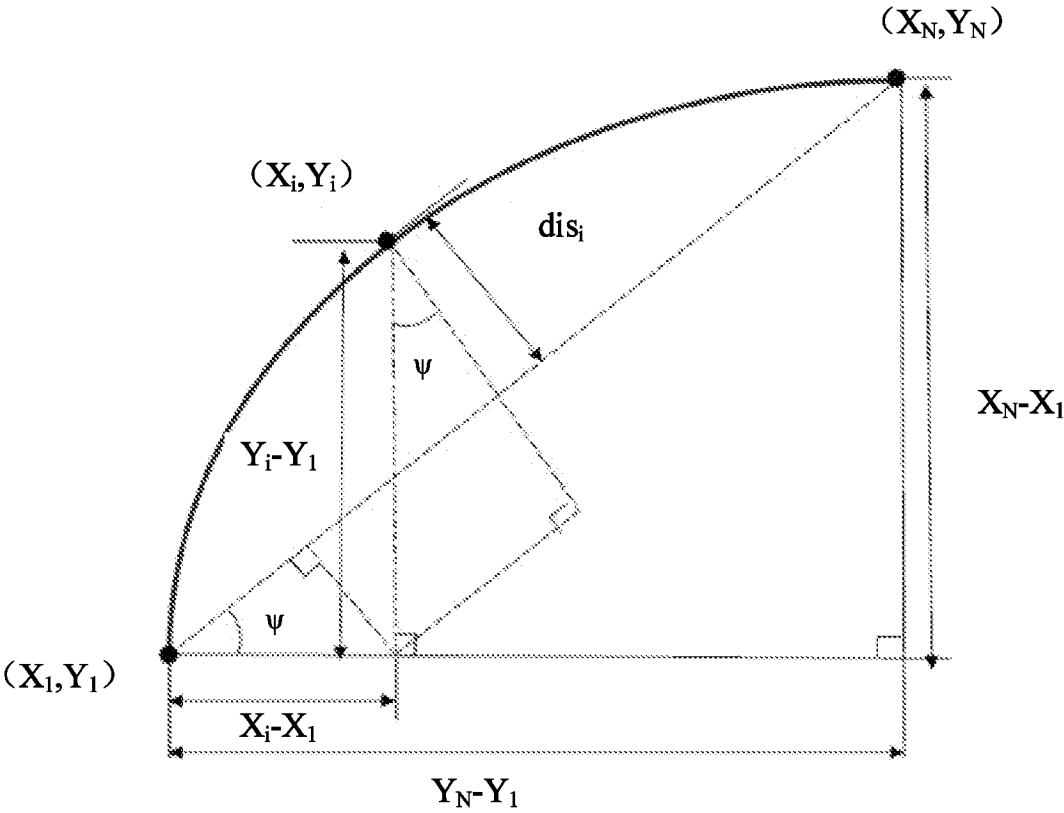


图 2

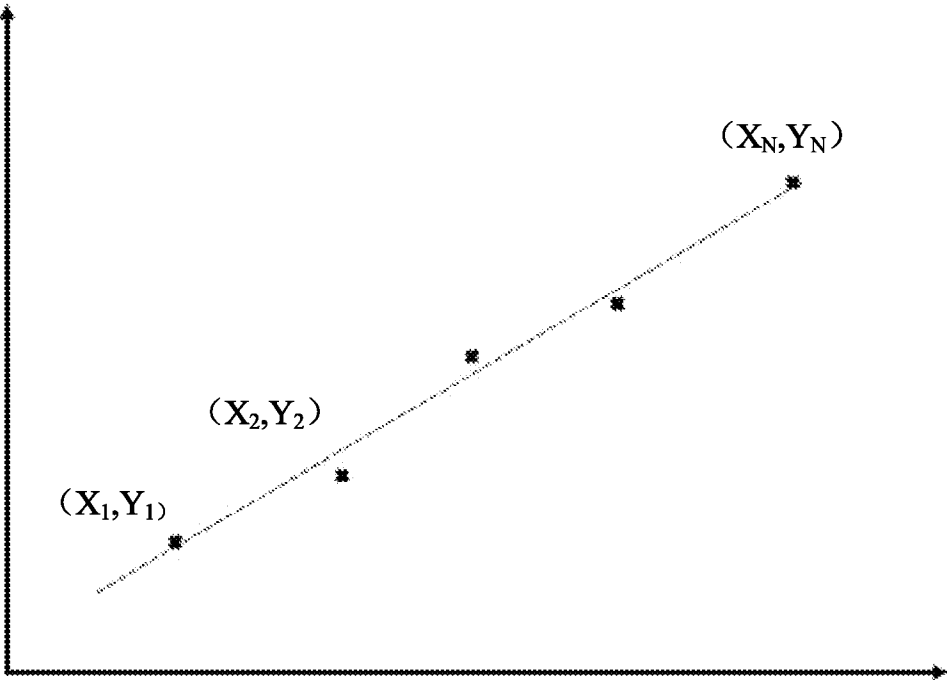


图 3

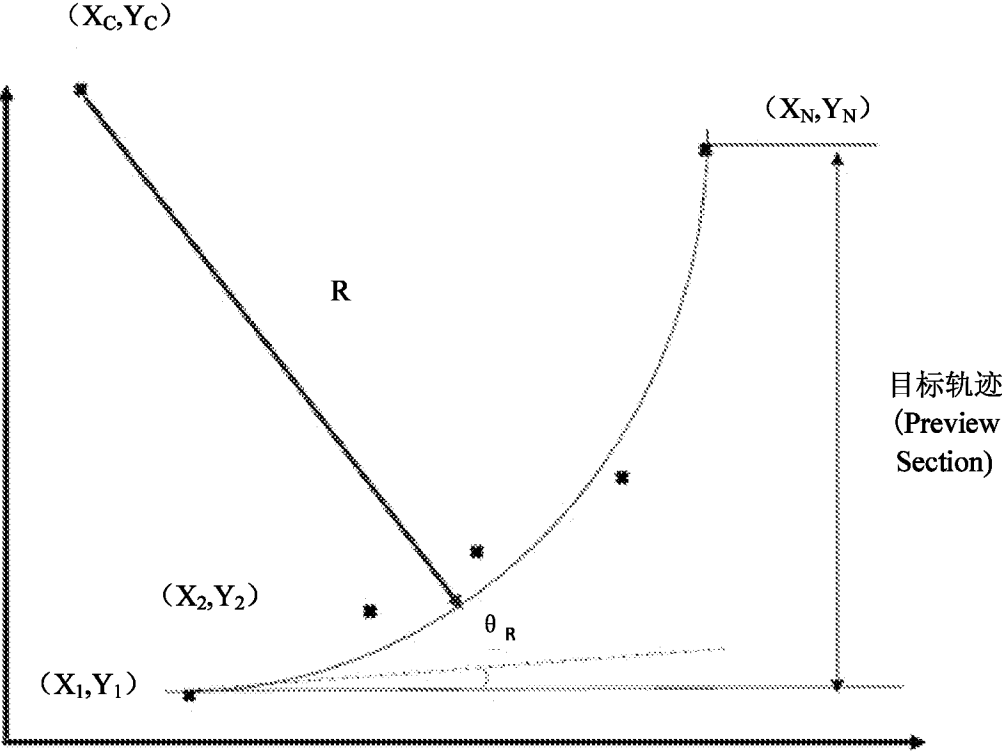


图 4

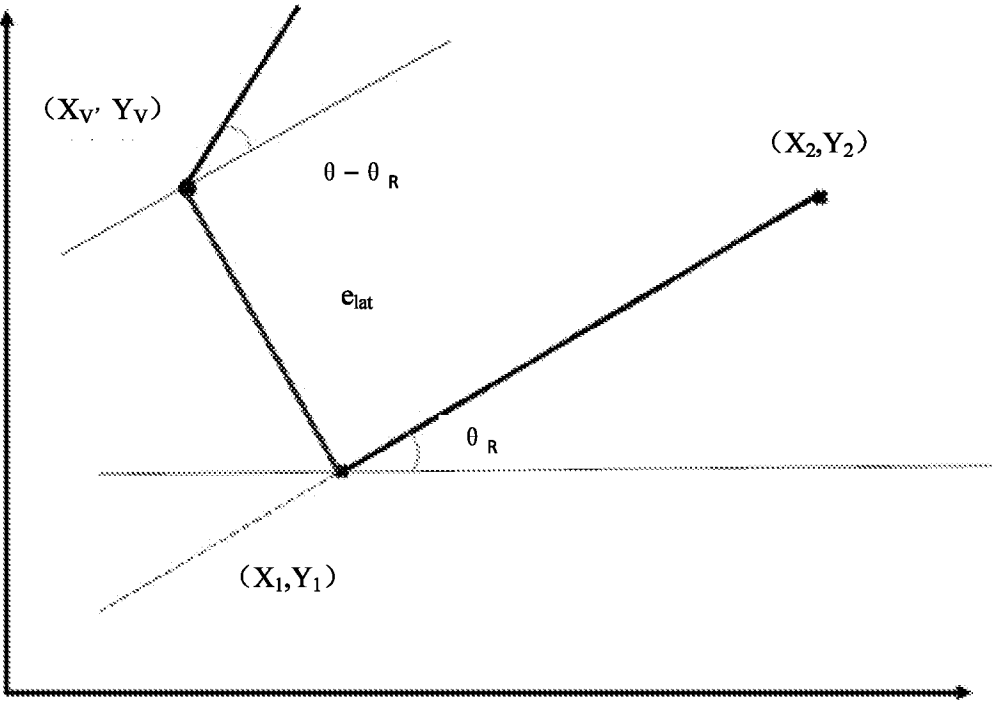


图 5

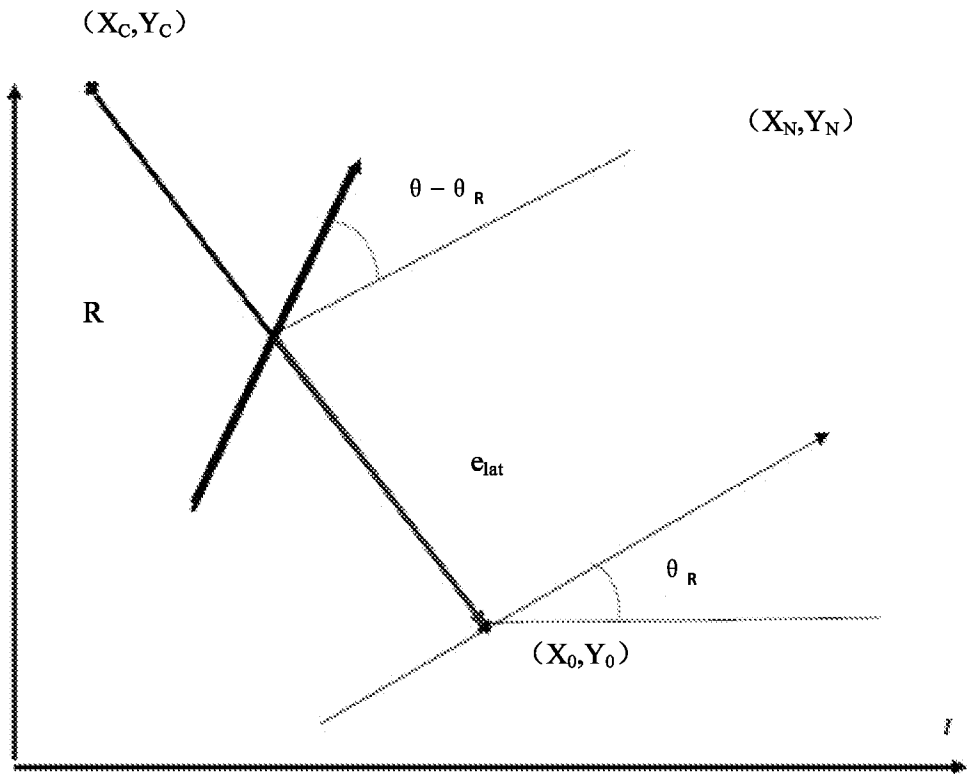


图 6

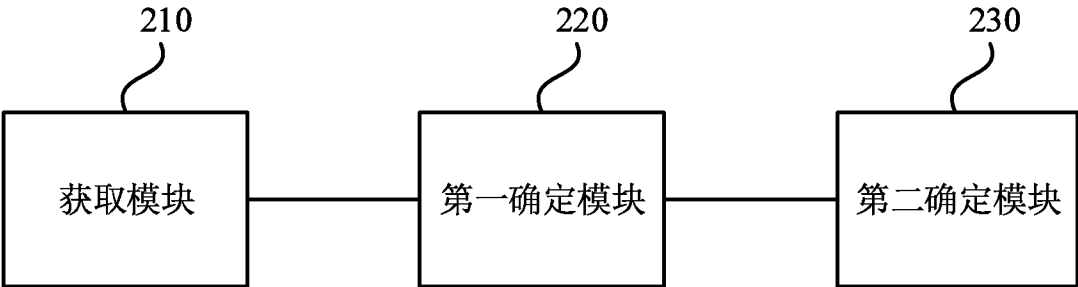


图 7

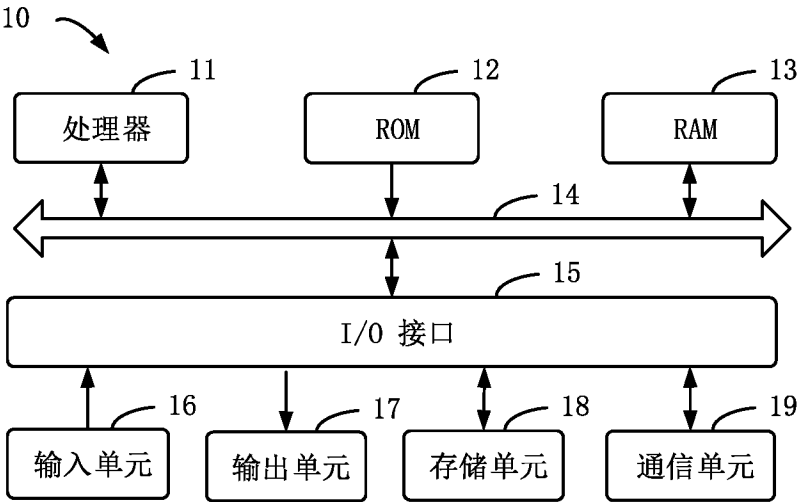


图 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/094434

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B60W30/14(2006.01)i; B60W40/10(2012.01)i; B60W60/00(2020.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC:B60W

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNTXT, ENTXTC, WPI, VEN, CNKI: 跟随, 跟踪, 误差, 位置, 形状, 轨迹, following w error, position, trajectory w shape

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 114715196 A (CHINA FAW CO., LTD.) 08 July 2022 (2022-07-08) claims 1-10	1-10
Y	US 2021403083 A1 (BEIJING BAIDU NETCOM SCIENCE AND TECHNOLOGY CO., LTD.) 30 December 2021 (2021-12-30) claims 1-20	1-3, 6, 8-10
Y	CN 114222987 A (VOLVO TRUCK CORP.) 22 March 2022 (2022-03-22) claims 1-10	1-3, 6, 8-10
A	KR 100836375 B1 (HYUNDAI MOTOR CO., LTD.) 09 June 2008 (2008-06-09) entire document	1-10
A	WO 2005119386 A1 (CSI WIRELESS INC. et al.) 15 December 2005 (2005-12-15) entire document	1-10



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“D” document cited by the applicant in the international application

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

08 August 2023

Date of mailing of the international search report

19 August 2023

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District,
Beijing 100088

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2023/094434

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	114715196	A	08 July 2022	None			
US	2021403083	A1	30 December 2021	EP	3932781	A1	05 January 2022
				JP	2022013609	A	18 January 2022
CN	114222987	A	22 March 2022	WO	2021037330	A1	04 March 2021
				KR	20220045232	A1	12 April 2022
				EP	4018338	A1	29 June 2022
				US	2022289232	A1	15 September 2022
				JP	2022552062	W	15 December 2022
KR	100836375	B1	09 June 2008	None			
WO	2005119386	A1	15 December 2005	AT	553424	T	15 April 2012
				EP	1756687	A1	28 February 2007
				EP	1756687	B1	11 April 2012
				AU	2004320401	A1	15 December 2005
				AU	2004320401	B2	02 April 2009
				CA	2566604	A1	15 December 2005
				CA	2566604	C	25 June 2013

国际检索报告

国际申请号 PCT/CN2023/094434

A. 主题的分类 B60W30/14(2006.01)i; B60W40/10(2012.01)i; B60W60/00(2020.01)i 按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类																				
B. 检索领域 检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号) IPC:B60W 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称,和使用的检索词(如使用)) CNTXT,ENTXTC,WPI,VEN,CNKI:跟随,跟踪,误差,位置,形状,轨迹, following w error,position,trajectory w shape																				
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件,必要时,指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PX</td> <td>CN 114715196 A (中国第一汽车股份有限公司) 2022年7月8日 (2022 - 07 - 08) 权利要求1-10</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>US 2021403083 A1 (BEIJING BAIDU NETCOM SCI & TECH CO LTD) 2021年12月30日 (2021 - 12 - 30) 权利要求1-20</td> <td>1-3, 6, 8-10</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 114222987 A (沃尔沃卡车集团) 2022年3月22日 (2022 - 03 - 22) 权利要求1-10</td> <td>1-3, 6, 8-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>KR 100836375 B1 (HYUNDAI MOTOR CO LTD) 2008年6月9日 (2008 - 06 - 09) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>WO 2005119386 A1 (CSI WIRELESS INC等) 2005年12月15日 (2005 - 12 - 15) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件,必要时,指明相关段落	相关的权利要求	PX	CN 114715196 A (中国第一汽车股份有限公司) 2022年7月8日 (2022 - 07 - 08) 权利要求1-10	1-10	Y	US 2021403083 A1 (BEIJING BAIDU NETCOM SCI & TECH CO LTD) 2021年12月30日 (2021 - 12 - 30) 权利要求1-20	1-3, 6, 8-10	Y	CN 114222987 A (沃尔沃卡车集团) 2022年3月22日 (2022 - 03 - 22) 权利要求1-10	1-3, 6, 8-10	A	KR 100836375 B1 (HYUNDAI MOTOR CO LTD) 2008年6月9日 (2008 - 06 - 09) 全文	1-10	A	WO 2005119386 A1 (CSI WIRELESS INC等) 2005年12月15日 (2005 - 12 - 15) 全文	1-10
类 型*	引用文件,必要时,指明相关段落	相关的权利要求																		
PX	CN 114715196 A (中国第一汽车股份有限公司) 2022年7月8日 (2022 - 07 - 08) 权利要求1-10	1-10																		
Y	US 2021403083 A1 (BEIJING BAIDU NETCOM SCI & TECH CO LTD) 2021年12月30日 (2021 - 12 - 30) 权利要求1-20	1-3, 6, 8-10																		
Y	CN 114222987 A (沃尔沃卡车集团) 2022年3月22日 (2022 - 03 - 22) 权利要求1-10	1-3, 6, 8-10																		
A	KR 100836375 B1 (HYUNDAI MOTOR CO LTD) 2008年6月9日 (2008 - 06 - 09) 全文	1-10																		
A	WO 2005119386 A1 (CSI WIRELESS INC等) 2005年12月15日 (2005 - 12 - 15) 全文	1-10																		
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																				
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “D” 申请人在国际申请中引证的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件,或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布,与申请不相抵触,但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件,单独考虑该文件,认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件,当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时,要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件																				
国际检索实际完成的日期 2023年8月8日		国际检索报告邮寄日期 2023年8月19日																		
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088		授权官员 黄继嗣 电话号码 (+86) 01062089478																		

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2023/094434

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	114715196	A	2022年7月8日	无			
US	2021403083	A1	2021年12月30日	EP	3932781	A1	2022年1月5日
				JP	2022013609	A	2022年1月18日
CN	114222987	A	2022年3月22日	WO	2021037330	A1	2021年3月4日
				KR	20220045232	A1	2022年4月12日
				EP	4018338	A1	2022年6月29日
				US	2022289232	A1	2022年9月15日
				JP	2022552062	W	2022年12月15日
KR	100836375	B1	2008年6月9日	无			
WO	2005119386	A1	2005年12月15日	AT	553424	T	2012年4月15日
				EP	1756687	A1	2007年2月28日
				EP	1756687	B1	2012年4月11日
				AU	2004320401	A1	2005年12月15日
				AU	2004320401	B2	2009年4月2日
				CA	2566604	A1	2005年12月15日
				CA	2566604	C	2013年6月25日