



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106355880 B

(45)授权公告日 2018.08.21

(21)申请号 201610881029.4

(22)申请日 2016.10.09

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 106355880 A

(43)申请公布日 2017.01.25

(73)专利权人 东南大学
地址 210088 江苏省南京市浦口区泰山新村东大路6号

(72)发明人 王炜 李焯 邢璐 华雪东
董长印

(74)专利代理机构 南京苏高专利商标事务所
(普通合伙) 32204
代理人 王安琪

(51)Int.Cl.
G08G 1/01(2006.01)
G08G 1/0967(2006.01)

(56)对比文件
CN 102800193 A,2012.11.28,

CN 102938200 A,2013.02.20,
CN 103761371 A,2014.04.30,
CN 102662320 A,2012.09.12,
US 4245889 A,1981.01.20,
JP 2000118261 A,2000.04.25,
US 2014005906 A1,2014.01.02,

Pan Deng,Zheng Ying-Ping.Establishment,maintenance,and re-establishment of the safe and efficient steady-following state.《Chin.Phys.B》.2015,第24卷(第8期),

姜军 等.基于Helly跟驰模型标定参数的跟驰行为分析.《武汉理工大学学报(交通科学与工程版)》.2015,第39卷(第2期),

杨达 等.基于最优间距的车辆跟驰模型及其特性.《西南交通大学学报》.2012,第47卷(第5期),第888-894页.

审查员 李志娜

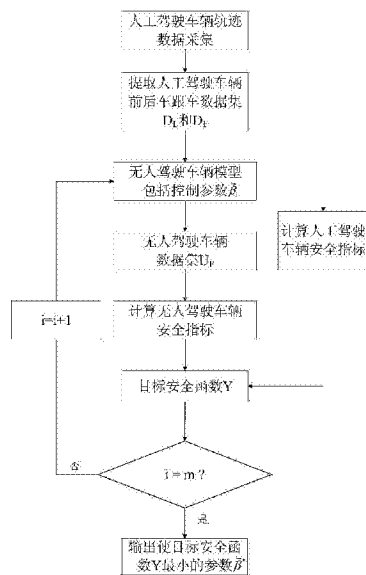
权利要求书2页 说明书7页 附图1页

(54)发明名称

一种面向跟车安全的无人驾驶车辆控制参数标定方法

(57)摘要

本发明公开了一种面向跟车安全的无人驾驶车辆控制参数标定方法,通过采集人工驾驶车辆轨迹数据信息,提取人工驾驶车辆前后车跟车数据集,并计算人工驾驶车辆安全指标,同时利用人工驾驶车辆数据计算无人驾驶车辆数据集,并计算无人驾驶车辆安全指标,通过人工驾驶车辆和无人驾驶车辆的安全指标来建立目标安全函数,检测无人驾驶车辆控制参数,最终确定使得目标安全函数最小的参数作为无人驾驶车辆的控制参数。本发明的有益效果为:将已有有人工车辆的数据进行挖掘,结合无人驾驶车辆的安全跟车目标,保障无人驾驶车辆的安全性。



CN 106355880 B

1. 一种面向跟车安全的无人驾驶车辆控制参数标定方法,其特征在于,包括如下步骤:

(1) 采集人工驾驶车辆轨迹数据:通过无人机航拍获取人工驾驶车辆运行的视频,通过视频处理软件进行人工驾驶车辆轨迹数据提取,轨迹数据包括人工驾驶车辆前后车跟车数据集 D_L 和 D_F ;其中,数据集 D_L 包括第 n 辆人工驾驶车辆在第 k 秒跟随的前车的位置 $X_{L,n}^k$,第 n 辆人工驾驶车辆在第 k 秒跟随的前车的速度 $V_{L,n}^k$,第 n 辆人工驾驶车辆在第 k 秒跟随的前车的车身长度 $L_{L,n}^k$;数据集 D_F 包括第 n 辆人工驾驶车辆在第 k 秒的位置 $X_{F,n}^k$,第 n 辆人工驾驶车辆在第 k 秒的速度 $V_{F,n}^k$,第 n 辆人工驾驶车辆运行的时长 T_n , $n=1,2,\dots,N$, N 和 k 为大于0的正整数;

(2) 根据步骤(1)中的信息,计算第 n 辆人工驾驶车辆在第 k 秒的安全指标 TTC_n^k 为:

$$TTC_n^k = \frac{X_{L,n}^k - X_{F,n}^k - L_{L,n}^k}{V_{F,n}^k - V_{L,n}^k}$$

(3) 根据步骤(1)中的信息,通过无人驾驶车辆控制模型来迭代计算无人驾驶车辆数据集 U_F ;

$$e_n^{k,i} = X_{L,n}^k - X_{F,n}^{*k,i} - t_{hw}^i V_{F,n}^{*k,i}$$

$$V_{F,n}^{*k+1,i} = V_{F,n}^{*k,i} + k_p^i e_n^{k,i} + k_d^i \dot{e}_n^{k,i}$$

$$X_{F,n}^{*k+1,i} = X_{F,n}^{*k,i} + V_{F,n}^{*k+1,i} * 1$$

其中,参数 $\vec{\beta}_i = (t_{hw}^i, k_p^i, k_d^i)'$ 为第 i 组参数值, $i=1,2,\dots,m$, m 为 $\vec{\beta}_i$ 的个数;

$e_n^{k,i}$ 为模型参数为 $\vec{\beta}_i$ 时计算所得的第 n 辆无人驾驶车辆在第 k 秒与前车的间距误差;

$X_{F,n}^{*k,i}$ 为模型参数为 $\vec{\beta}_i$ 时计算所得的第 n 辆无人驾驶车辆在第 k 秒的位置;

$V_{F,n}^{*k,i}$ 为模型参数为 $\vec{\beta}_i$ 时计算所得的第 n 辆无人驾驶车辆在第 k 秒的速度;

$X_{F,n}^{*k+1,i}$ 为模型参数为 $\vec{\beta}_i$ 时计算所得的第 n 辆无人驾驶车辆在第 $k+1$ 秒的位置;

$V_{F,n}^{*k+1,i}$ 为模型参数为 $\vec{\beta}_i$ 时计算所得的第 n 辆无人驾驶车辆在第 $k+1$ 秒的速度;

$\dot{e}_n^{k,i}$ 为模型参数为 $\vec{\beta}_i$ 时计算所得的第 n 辆无人驾驶车辆在第 k 秒与前车的间距误差的导数;

迭代的初始值设置为: $k=1$, $X_{F,n}^{*1,i} = X_{F,n}^1$, $V_{F,n}^{*1,i} = V_{F,n}^1$;数据集 U_F 包括 $X_{F,n}^{*k,i}$ 和 $V_{F,n}^{*k,i}$; (4) 根据步骤(3)中的数据集 U_F ,计算模型参数为 $\vec{\beta}_i$ 时计算所得的第 n 辆无人驾驶车辆在第 k 秒的安全指标 $TTC_n^{*k,i}$ 为:

$$TTC_n^{*k,i} = \frac{X_{L,n}^k - X_{F,n}^{*k,i} - L_{L,n}^k}{V_{F,n}^{*k,i} - V_{L,n}^k}$$

(5) 根据步骤(1)、步骤(2)和步骤(4)中的信息,建立目标安全函数 Y , Y 的计算公式如下:

$$Y = Y(\vec{\beta}_i) = \sum_{n=1}^N \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{T_n} (TTC_n^{*k,i} - TTC_n^k)^2}{T_n}}$$

(6) 根据步骤(5)中的信息,判断无人驾驶车辆控制模型中的参数 $\vec{\beta}_i$ 是否全部检测,即i是否等于m,若是,则转入步骤(7);否则, $i = i + 1$,转入步骤(3);

(7) 输出使得目标安全函数Y最小的参数值 $\vec{\beta}^*$,即:

$$Y(\vec{\beta}^*) = \min\{Y(\vec{\beta}_1), Y(\vec{\beta}_2), \dots, Y(\vec{\beta}_i), \dots, Y(\vec{\beta}_m)\}。$$

一种面向跟车安全的无人驾驶车辆控制参数标定方法

技术领域

[0001] 本发明涉及智能交通控制技术领域,尤其是一种面向跟车安全的无人驾驶车辆控制参数标定方法。

背景技术

[0002] 随着国民经济快速发展,机动化水平不断提高,我国的交通问题日益尖锐,所带来的交通安全问题尤为突出。据统计,仅2010年,全国就发生交通事故210821起,事故造成死亡人数达6.5万之多。在众多的交通事故中,跟车追尾事故占据了非常重大的比例。由于前后车辆距离过近,若前车驾驶状态突变时后车驾驶员不能进行及时调整,就会造成跟车追尾事故。

[0003] 随着智能交通技术的迅猛发展,无人驾驶车辆技术得到了广泛关注。无人驾驶车辆通过车载感知设备对前车进行检测,并进行及时反馈操作,因此能够较好的降低跟车追尾事故的风险。然而,已有无人驾驶车辆控制系统参数的确定成为一大瓶颈。无人驾驶车辆生产厂家一般根据驾驶习惯来进行参数确定,并通过试算的方法进行调整,缺乏系统科学的控制参数标定方法,从而无法保障设计的无人驾驶车辆的安全性。

发明内容

[0004] 本发明所要解决的技术问题在于,提供一种面向跟车安全的无人驾驶车辆控制参数标定方法,可以采集人工驾驶车辆和无人驾驶车辆的安全指标,建立目标安全函数来确定无人驾驶车辆的控制参数,保障无人驾驶车辆的安全性。

[0005] 为解决上述技术问题,本发明提供一种面向跟车安全的无人驾驶车辆控制参数标定方法,包括如下步骤:

[0006] (1) 采集人工驾驶车辆轨迹数据:通过无人机航拍获取人工驾驶车辆运行的视频,通过视频处理软件进行人工驾驶车辆轨迹数据提取,轨迹数据包括人工驾驶车辆前后车跟车数据集 D_L 和 D_F ;其中,数据集 D_L 包括第 n 辆人工驾驶车辆在第 k 秒跟随的前车的位置 $X_{L,n}^k$,第 n 辆人工驾驶车辆在第 k 秒跟随的前车的速度 $V_{L,n}^k$,第 n 辆人工驾驶车辆在第 k 秒跟随的前车的车身长度 $L_{L,n}^k$,数据集 D_F 包括第 n 辆人工驾驶车辆在第 k 秒的位置 $X_{F,n}^k$,第 n 辆人工驾驶车辆在第 k 秒的速度 $V_{F,n}^k$,第 n 辆人工驾驶车辆运行的时长 T_n , $n=1,2,\dots,N$, N 和 k 为大于0的正整数;

[0007] (2) 根据步骤(1)中的信息,计算第 n 辆人工驾驶车辆在第 k 秒的安全指标 TTC_n^k 为:

$$[0008] \quad TTC_n^k = \frac{X_{L,n}^k - X_{F,n}^k - L_{L,n}^k}{V_{F,n}^k - V_{L,n}^k}$$

[0009] (3) 根据步骤(1)中的信息,通过无人驾驶车辆控制模型来迭代计算无人驾驶车辆数据集 U_F ;

$$[0010] \quad e_n^{k,i} = X_{L,n}^k - X_{F,n}^{*k,i} - t_{hw}^i V_{F,n}^{*k,i}$$

$$[0011] \quad V_{F,n}^{*k+1,i} = V_{F,n}^{*k,i} + k_p^i e_n^{k,i} + k_d^i \dot{e}_n^{k,i}$$

$$[0012] \quad X_{F,n}^{*k+1,i} = X_{F,n}^{*k,i} + V_{F,n}^{*k+1,i} * 1$$

[0013] 其中,参数 $\vec{\beta}_i = (t_{hw}^i, k_p^i, k_d^i)'$ 为第i组参数值, $i=1, 2, \dots, m$, m 为 $\vec{\beta}_i$ 的个数;

[0014] $e_n^{k,i}$ 为模型参数为 $\vec{\beta}_i$ 时计算所得的第n辆无人驾驶车辆在第k秒与前车的间距误差;

[0015] $X_{F,n}^{*k,i}$ 为模型参数为 $\vec{\beta}_i$ 时计算所得的第n辆无人驾驶车辆在第k秒的位置;

[0016] $V_{F,n}^{*k,i}$ 为模型参数为 $\vec{\beta}_i$ 时计算所得的第n辆无人驾驶车辆在第k秒的速度;

[0017] $X_{F,n}^{*k+1,i}$ 为模型参数为 $\vec{\beta}_i$ 时计算所得的第n辆无人驾驶车辆在第k+1秒的位置;

[0018] $V_{F,n}^{*k+1,i}$ 为模型参数为 $\vec{\beta}_i$ 时计算所得的第n辆无人驾驶车辆在第k+1秒的速度;

[0019] $\dot{e}_n^{k,i}$ 为模型参数为 $\vec{\beta}_i$ 时计算所得的第n辆无人驾驶车辆在第k秒与前车的间距误差的导数;

[0020] 迭代的初始值设置为: $k=1$, $X_{F,n}^{*1,i} = X_{F,n}^1$, $V_{F,n}^{*1,i} = V_{F,n}^1$; 数据集 U_F 包括 $X_{F,n}^{*k,i}$ 和 $V_{F,n}^{*k,i}$;

[0021] (4) 根据步骤 (3) 中的数据集 U_F , 计算模型参数为 $\vec{\beta}_i$ 时计算所得的第n辆无人驾驶车辆在第k秒的安全指标 $TTC_n^{*k,i}$ 为:

$$[0022] \quad TTC_n^{*k,i} = \frac{X_{L,n}^k - X_{F,n}^{*k,i} - L_{L,n}^k}{V_{F,n}^{*k,i} - V_{L,n}^k}$$

[0023] (5) 根据步骤 (1)、步骤 (2) 和步骤 (4) 中的信息, 建立目标安全函数 Y , Y 的计算公式如下:

$$[0024] \quad Y = Y(\vec{\beta}_i) = \sum_{n=1}^N \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{T_n} (TTC_n^{*k,i} - TTC_n^k)^2}{T_n}}$$

[0025] (6) 根据步骤 (5) 中的信息, 判断无人驾驶车辆控制模型中的参数 $\vec{\beta}_i$ 是否全部检测, 即 i 是否等于 m , 若是, 则转入步骤 (7); 否则, $i = i+1$, 转入步骤 (3);

[0026] (7) 输出使得目标安全函数 Y 最小的参数值 $\vec{\beta}^*$, 即:

$$[0027] \quad Y(\vec{\beta}^*) = \min \{Y(\vec{\beta}_1), Y(\vec{\beta}_2), \dots, Y(\vec{\beta}_i), \dots, Y(\vec{\beta}_m)\}。$$

[0028] 本发明的有益效果为: 通过采集人工驾驶车辆的轨迹数据信息, 提取人工驾驶车辆前后车跟车数据集, 并计算人工驾驶车辆安全指标, 同时利用人工驾驶车辆数据计算无人驾驶车辆数据集, 并计算无人驾驶车辆安全指标, 通过人工驾驶车辆和无人驾驶车辆的安全指标来建立目标安全函数, 检测无人驾驶车辆控制参数, 最终确定使得目标安全函数最小的参数作为无人驾驶车辆的控制参数。将已有人工车辆的数据进行挖掘, 结合无人驾驶车辆的安全跟车目标, 保障无人驾驶车辆的安全性。

附图说明

[0029] 图1为本发明的方法流程示意图。

具体实施方式

[0030] 如图1所示,一种面向跟车安全的无人驾驶车辆控制参数标定方法,包括如下步骤:(1)采集人工驾驶车辆轨迹数据:通过无人机航拍获取人工驾驶车辆运行的视频,通过视频处理软件进行人工驾驶车辆轨迹数据提取,轨迹数据包括人工驾驶车辆前后车跟车数据集 D_L 和 D_F ;其中,数据集 D_L 包括第 n 辆人工驾驶车辆在第 k 秒跟随的前车的位置 $X_{L,n}^k$,第 n 辆人工驾驶车辆在第 k 秒跟随的前车的速度 $V_{L,n}^k$,第 n 辆人工驾驶车辆在第 k 秒跟随的前车的车身长度 $L_{L,n}^k$;数据集 D_F 包括第 n 辆人工驾驶车辆在第 k 秒的位置 $X_{F,n}^k$,第 n 辆人工驾驶车辆在第 k 秒的速度 $V_{F,n}^k$,第 n 辆人工驾驶车辆运行的时长 $T_n, n=1, 2, \dots, N, N$ 和 k 为大于0的正整数;

[0031] (2)根据步骤(1)中的信息,计算第 n 辆人工驾驶车辆在第 k 秒的安全指标 TTC_n^k 为:

$$[0032] \quad TTC_n^k = \frac{X_{L,n}^k - X_{F,n}^k - L_{L,n}^k}{V_{F,n}^k - V_{L,n}^k}$$

[0033] (3)根据步骤(1)中的信息,通过无人驾驶车辆控制模型来迭代计算无人驾驶车辆数据集 U_F ;

$$[0034] \quad e_n^{k,i} = X_{L,n}^k - X_{F,n}^{*k,i} - L_{L,n}^k$$

$$[0035] \quad V_{F,n}^{*k+1,i} = V_{F,n}^{*k,i} + k_p^i e_n^{k,i} + k_d^i \dot{e}_n^{k,i}$$

$$[0036] \quad X_{F,n}^{*k+1,i} = X_{F,n}^{*k,i} + V_{F,n}^{*k+1,i} * 1$$

[0037] 其中,参数 $\vec{\beta}_i = (t_{hw}^i, k_p^i, k_d^i)'$ 为第 i 组参数值, $i=1, 2, \dots, m, m$ 为 $\vec{\beta}_i$ 的个数;

[0038] $e_n^{k,i}$ 为模型参数为 $\vec{\beta}_i$ 时计算所得的第 n 辆无人驾驶车辆在第 k 秒与前车的间距误差;

[0039] $X_{F,n}^{*k,i}$ 为模型参数为 $\vec{\beta}_i$ 时计算所得的第 n 辆无人驾驶车辆在第 k 秒的位置;

[0040] $V_{F,n}^{*k,i}$ 为模型参数为 $\vec{\beta}_i$ 时计算所得的第 n 辆无人驾驶车辆在第 k 秒的速度;

[0041] $X_{F,n}^{*k+1,i}$ 为模型参数为 $\vec{\beta}_i$ 时计算所得的第 n 辆无人驾驶车辆在第 $k+1$ 秒的位置;

[0042] $V_{F,n}^{*k+1,i}$ 为模型参数为 $\vec{\beta}_i$ 时计算所得的第 n 辆无人驾驶车辆在第 $k+1$ 秒的速度;

[0043] $\dot{e}_n^{k,i}$ 为模型参数为 $\vec{\beta}_i$ 时计算所得的第 n 辆无人驾驶车辆在第 k 秒与前车的间距误差的导数;

[0044] 迭代的初始值设置为: $k=1, X_{F,n}^{*1,i} = X_{F,n}^1, V_{F,n}^{*1,i} = V_{F,n}^1$;数据集 U_F 包括 $X_{F,n}^{*k,i}$ 和 $V_{F,n}^{*k,i}$;

[0045] (4)根据步骤(3)中的数据集 U_F ,计算模型参数为 $\vec{\beta}_i$ 时计算所得的第 n 辆无人驾驶车辆在第 k 秒的安全指标 $TTC_n^{*k,i}$ 为:

$$[0046] \quad TTC_n^{*k,i} = \frac{X_{L,n}^k - X_{F,n}^{*k,i} - L_{L,n}^k}{V_{F,n}^{*k,i} - V_{L,n}^k}$$

[0047] (5)根据步骤(1)、步骤(2)和步骤(4)中的信息,建立目标安全函数 Y, Y 的计算公式

如下：

[0048]
$$Y = Y(\vec{\beta}_i) = \sum_{n=1}^N \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{T_n} (TTC_n^{*k,i} - TTC_n^k)^2}{T_n}}$$

[0049] (6) 根据步骤(5)中的信息,判断无人驾驶车辆控制模型中的参数 $\vec{\beta}_i$ 是否全部检测,即i是否等于m,若是,则转入步骤(7);否则,i=i+1,转入步骤(3);

[0050] (7) 输出使得目标安全函数Y最小的参数值 $\vec{\beta}^*$,即:

[0051]
$$Y(\vec{\beta}^*) = \min\{Y(\vec{\beta}_1), Y(\vec{\beta}_2), \dots, Y(\vec{\beta}_i), \dots, Y(\vec{\beta}_m)\}。$$

[0052] 下面给出一个具体实施例。采用本发明对无人驾驶车辆控制参数进行标定,本算例中,为简单起见,只考虑N=2和m=2,但在实际应用中N和m可以取到任一正整数。

[0053] 步骤1,采集人工驾驶车辆轨迹数据:通过无人机航拍获取人工驾驶车辆运行的视频,通过视频处理软件进行人工驾驶车辆轨迹数据提取,轨迹数据包括人工驾驶车辆前后车跟车数据集 D_L 和 D_F ;其中,数据集 D_L 包括第n辆人工驾驶车辆在第k秒跟随的前车的位置 $X_{L,n}^k$,第n辆人工驾驶车辆在第k秒跟随的前车的速度 $V_{L,n}^k$,第n辆人工驾驶车辆在第k秒跟随的前车的车身长度 $L_{L,n}^k$;数据集 D_F 包括第n辆人工驾驶车辆在第k秒的位置 $X_{F,n}^k$,第n辆人工驾驶车辆在第k秒的速度 $V_{F,n}^k$,第n辆人工驾驶车辆运行的时长 $T_n, n=1, 2, \dots, N$,取 $N=2, k$ 为大于0的正整数, $X_{L,n}^k$ 和 $X_{F,n}^k$ 的单位为米, $L_{L,n}^k$ 的单位为米, $V_{L,n}^k$ 和 $V_{F,n}^k$ 的单位为米/秒, T_n 的单位为秒;

[0054] 其中,数据集 D_L 如下表所示:

[0055] n=1对应的数据为:

[0056]

k	1	2	...	10	...	500	...
$X_{L,1}^k$	10	20	...	100	...	8000	...
$L_{L,1}^k$	7	7	...	7	...	7	...
$V_{L,1}^k$	10	11	...	20	...	5	...

[0057] n=2对应的数据为:

[0058]

k	1	2	...	10	...	300	...
$X_{L,2}^k$	50	57	...	120	...	2500	...
$L_{L,2}^k$	6	6	...	6	...	6	...
$V_{L,2}^k$	10	12	...	22	...	8	...

[0059] 数据集 D_F 如下表所示：

[0060] $n=1$ 对应的数据为：

[0061]

k	1	2	...	10	...	500	...
---	---	---	-----	----	-----	-----	-----

[0062]

$X_{F,1}^k$	0	9	...	90	...	7800	...
$V_{F,1}^k$	9	10	...	18	...	6	...

[0063] $n=2$ 对应的数据为：

[0064]

k	1	2	...	10	...	300	...
$X_{F,2}^k$	40	50	...	115	...	2480	...
$V_{F,2}^k$	9	11	...	20	...	9	...

[0065] 步骤2,根据步骤1中的信息,计算第 n 辆人工驾驶车辆在第 k 秒的安全指标 TTC_n^k 为：

[0066]
$$TTC_n^k = \frac{X_{L,n}^k - X_{F,n}^k - L_{L,n}^k}{V_{F,n}^k - V_{L,n}^k}$$

[0067] 计算所得数据为：

[0068] $n=1$ 对应的数据为：

[0069]

k	1	2	...	10	...	500	...
TTC_1^k	-3	-4	...	-1.5	...	193	...

[0070] $n=2$ 对应的数据为：

[0071]

k	1	2	...	10	...	300	...
TTC_2^k	-4	-1	...	0.5	...	14	...

[0072] 步骤3,根据步骤1中的信息,通过无人驾驶车辆控制模型来迭代计算无人驾驶车辆数据集 U_F ,即：

[0073]
$$e_n^{k,i} = X_{L,n}^k - X_{F,n}^{*k,i} - t_{hw}^i V_{F,n}^{*k,i}$$

[0074]
$$V_{F,n}^{*k+1,i} = V_{F,n}^{*k,i} + k_p^i e_n^{k,i} + k_d^i \dot{e}_n^{k,i}$$

[0075]
$$X_{F,n}^{*k+1,i} = X_{F,n}^{*k,i} + V_{F,n}^{*k+1,i} * 1$$

[0076] 其中,参数 $\vec{\beta}_i = (t_{hw}^i, k_p^i, k_d^i)^T$ 为第i组参数值, $i = 1, 2, \dots, m$, 取 $m = 2$, $\vec{\beta}_1 = (0.4, 0.45, 0.2)^T$, $\vec{\beta}_2 = (0.6, 0.45, 0.2)^T$;

[0077] $e_n^{k,i}$ 为模型参数为 $\vec{\beta}_i$ 时计算所得的第n辆无人驾驶车辆在第k秒与前车的间距误差;

[0078] $X_{F,n}^{*k,i}$ 为模型参数为 $\vec{\beta}_i$ 时计算所得的第n辆无人驾驶车辆在第k秒的位置;

[0079] $V_{F,n}^{*k,i}$ 为模型参数为 $\vec{\beta}_i$ 时计算所得的第n辆无人驾驶车辆在第k秒的速度;

[0080] $X_{F,n}^{*k+1,i}$ 为模型参数为 $\vec{\beta}_i$ 时计算所得的第n辆无人驾驶车辆在第k+1秒的位置;

[0081] $V_{F,n}^{*k+1,i}$ 为模型参数为 $\vec{\beta}_i$ 时计算所得的第n辆无人驾驶车辆在第k+1秒的速度;

[0082] $e_n^{k,i}$ 为模型参数为 $\vec{\beta}_i$ 时计算所得的第n辆无人驾驶车辆在第k秒与前车的间距误差的导数;

[0083] 迭代的初始值设置为: $k = 1, X_{F,n}^{*1,i} = X_{E,n}^1, V_{F,n}^{*1,i} = V_{E,n}^1$;

[0084] 数据集 U_F 包括 $X_{F,n}^{*k,i}$ 和 $V_{F,n}^{*k,i}$, 当 $i = 1, \vec{\beta}_1 = (0.4, 0.45, 0.2)$ 时计算数据为:

[0085] $n = 1$ 对应的数据为:

[0086]

k	1	2	...	10	...	500	...
$X_{F,1}^{*k,1}$	0	15	...	95	...	7900	...
$V_{F,1}^{*k,1}$	11	10	...	19	...	7	...

[0087] $n = 2$ 对应的数据为:

[0088]

k	1	2	...	10	...	300	...
$X_{F,2}^{*k,1}$	45	55	...	110	...	2490	...
$V_{F,2}^{*k,1}$	11	13	...	21	...	9	...

[0089] 步骤4, 根据步骤3中的数据集 U_F , 计算模型参数为 $\vec{\beta}_i$ 时计算所得的第n辆无人驾驶车辆在第k秒的安全指标 $TTC_n^{*k,i}$ 为:

[0090]
$$TTC_n^{*k,i} = \frac{X_{L,n}^k - X_{F,n}^{*k,i} - L_{L,n}^k}{V_{F,n}^{*k,i} - V_{L,n}^k}$$

[0091] 计算所得数据为:

[0092] $n = 1$ 对应的数据为:

[0093]

k	1	2	...	10	...	500	...
$TTC_n^{*k,1}$	3	2	...	2	...	46.5	...

[0094] n=2对应的数据为:

[0095]

k	1	2	...	10	...	300	...
$TTC_n^{*k,1}$	-1	-4	...	-4	...	4	...

[0096] 步骤5,根据步骤1、步骤2和步骤4中的信息,建立目标安全函数Y,Y的计算公式如下:

[0097]
$$Y = Y(\vec{\beta}_1) = \sum_{n=1}^2 \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{T_n} (TTC_n^{*k,1} - TTC_n^k)^2}{T_n}} = 0.33$$

[0098] 步骤6,根据步骤5,中的信息,判断无人驾驶车辆控制模型中的参数 $\vec{\beta}_i$ 是否全部检测,即i是否等于m,此时i=1,m=2,i不等于m,i=i+1=2,转入步骤3;重复步骤3至步骤6,当i=2时,计算所得 $Y = Y(\vec{\beta}_2) = 0.35$,此时i=m,转入步骤7;

[0099] 步骤7,输出使得目标安全函数Y最小的参数值 $\vec{\beta}^*$,即:

[0100] $Y(\vec{\beta}^*) = \min\{Y(\vec{\beta}_1), Y(\vec{\beta}_2)\} = \min\{0.33, 0.35\}$

[0101] $\vec{\beta}^* = \vec{\beta}_1 = (0.4, 0.45, 0.2)$

[0102] 尽管本发明就优选实施方式进行了示意和描述,但本领域的技术人员应当理解,只要不超出本发明的权利要求所限定的范围,可以对本发明进行各种变化和修改。

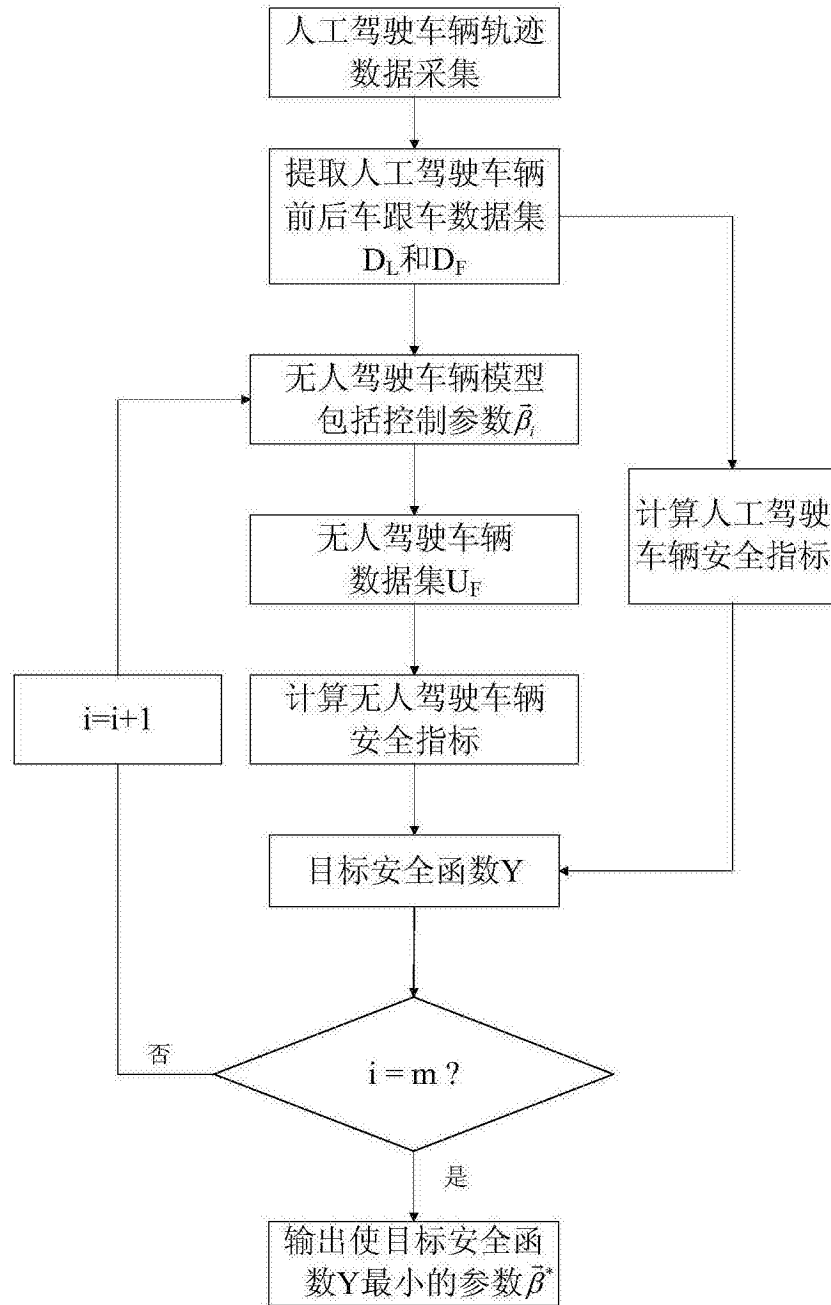


图1