

(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

(43) 国际公布日
2020 年 1 月 9 日 (09.01.2020)



(10) 国际公布号
WO 2020/007215 A1

(51) 国际专利分类号:
G06F 17/50 (2006.01)

君 (XIA, Yijun); 中国上海市杨浦区四平路 1239 号, Shanghai 200092 (CN)。

(21) 国际申请号: PCT/CN2019/092747

(22) 国际申请日: 2019 年 6 月 25 日 (25.06.2019)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201810738658.0 2018 年 7 月 6 日 (06.07.2018) CN

(71) 申请人: 同济大学 (TONGJI UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国上海市杨浦区四平路 1239 号, Shanghai 200092 (CN)。

(72) 发明人: 潘登 (PAN, Deng); 中国上海市杨浦区四平路 1239 号, Shanghai 200092 (CN)。 夏易

(74) 代理人: 上海科律专利代理事务所 (特殊普通合伙) (SHANGHAI KELV PATENT AGENCY, LLP); 中国上海市徐汇区漕宝路 70 号 C 座 1004 室叶凤, Shanghai 200235 (CN)。

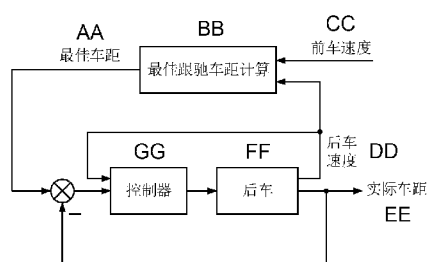
(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, 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,

(54) Title: CURVE FITTING MODELING METHOD BASED ON VEHICLE BEHAVIOR ADJUSTMENT MODEL FOR CALCULATION OF OPTIMAL CAR-FOLLOWING DISTANCE

(54) 发明名称: 一种基于车辆行为调整模型的用于最佳跟驰车距计算的曲线拟合建模方法

$$v(t) = -(\frac{v_0}{2} + \delta) * \tanh(k(t - \tau)) + \frac{v_0}{2}$$

(1)



AA Optimal following distance
BB Calculation of an optimal car-following distance
CC Speed of a front vehicle
DD Speed of a rear vehicle
EE Actual following distance
FF Rear vehicle
GG Controller

图 2

(57) Abstract: Provided is a curve fitting modeling method for calculating an optimal car-following distance in the field of transportation. According to control requirements of a vehicle in a parking and operation process, a mathematical model (I) which can scientifically reflect a dynamic behavior characteristic of the vehicle in the parking and operation process is established; in a formula, v_0 is an initial speed at which the vehicle begins to brake and decelerate, k and τ are constants greater than 0, δ is a slight velocity increment greater than 0, t is a time variable, v is a velocity variable ($v|_{t=-\infty}=v_0+\delta$, $v|_{t=\infty}=-\delta$), and $\tanh()$ indicates a hyperbolic tangent function. On the basis of a vehicle behavior adjustment model, the present invention provides a curve fitting method of the dynamic optimal car-following distance for real-time calculation of the dynamic optimal car-following distance. The method can create conditions for the vehicle to implement safe and efficient car-following operation with a smooth (comfortable) and fast behavior adjustment process, and can also provide technical support for a traffic management department to perform traffic management, for a vehicle manufacturing

SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, 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, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,
NA, RW, 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, 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))。

industry to improve the automation level of vehicles, reduce engineering experiment costs.

(57) 摘要: 提出一种用于交通运输领域最佳跟驰车距计算的曲线拟合建模方法。根据车辆在停车运行过程的控制需求, 建立能够科学反映车辆在停车运行过程中动态行为特征的数学模型(I), 式中 v_0 为车辆开始制动减速时的初速度, k 、 τ 为大于0的常数, δ 为大于0的微小速度增量, t 为时间变量, v 为速度变量($v|_{t=-\infty} = v_0 + \delta, v|_{t=\infty} = -\delta$), $\tanh()$ 表示双曲正切函数。本发明基于上述车辆行为调整模型, 提出一种动态最佳跟驰车距的曲线拟合方法, 用于动态最佳跟驰车距的实时计算, 可为车辆以平稳(舒适)、快速的行为调整过程实现安全、高效跟驰运行创造条件, 也可为交通管理部门进行交通管理, 以及车辆制造行业提高车辆自动化水平、降低工程实验成本, 提供技术支持。

一种基于车辆行为调整模型的用于最佳跟驰车距计算的曲线拟合建模方法

技术领域

本发明涉及交通运输领域，基于一种科学的车辆行为调整模型，提出一种用于最佳跟驰车距计算的曲线拟合建模方法，为确定车辆最佳跟驰车距，确保车辆能够以平稳（舒适）的行为调整过程实现安全、高效跟驰运行创造条件。

特别适用于各类载运工具的自动驾驶。

背景技术

车辆跟驰运行过程中，出于安全性、高效性和自身行为调整的平稳性和快速性考虑，前、后车辆之间的最佳距离，即最佳跟驰车距，显然不是一个固定不变的值。就车辆跟驰运行的任意时刻而言，跟驰车距为何值，车辆的跟驰运行才是既安全又高效的，同时满足车辆行为调整的平稳（舒适）性需求？不仅是高质量车辆跟驰控制所需要的基础数据，而且也是交通管理部门进行路网车流科学管理的重要依据。

显然，车辆实时地掌握这个“最佳跟驰车距”，与当前的实际跟驰车距作比较分析，可以了解自身当前的跟驰状态和行为质量，进而能够科学确定自身行为调整的具体细节。可见，“最佳跟驰车距”在任意时刻对于车辆安全、高效、平稳（舒适）跟驰运行的重要性。问题是怎样计算这个“最佳跟驰车距”呢？

目前，在世界范围内的交通领域尚无一个被广泛接受的“动态最佳跟驰车距实时计算”的行业标准。不仅公路交通领域对动态安全车距存在技术上的需求，轨道交通领域在全速域内任意跟驰形势下以动态安全车距作为车辆跟驰行为调整（控制）的参考依据，在技术上的需求更为迫切，虽有若干典型速度下的“安全车距”标准，但完全不能满足 CBTC（Communication-based Train Control）系统车辆在任意跟驰形势下均能安全、高效运行的控制需求。

当前学术界和工程界，“最佳跟驰车距”主要是采取拟合函数的计算方法获得。该方法根据工程实验中取得的基础数据，进行曲线拟合，从而得到如式（a）所示的最佳跟驰车距计算公式。

$$S_{OptimalFollowingDistance} = f(v_f) \quad (a)$$

式中 $S_{OptimalFollowingDistance}$ 表示最佳跟驰车距, v_f 表示后车速度, $f()$ 表示函数。

上述“最佳跟驰车距”的计算公式,完全依赖于工程实践中的数据获得。由于动态安全车距涉及速度、控制策略等诸多参数,其复杂性主要表现为“每个参数均有无穷多个数值,其组合更是难以穷尽”,为建立准确的拟合函数所作的工程实验将是大量的,同时也必须是有限的才是在工程上可行的,大量的工程实验耗费巨额资金,而实验次数有限性又令拟合函数的准确性受到质疑。解决上述矛盾,将有助于实现未来车辆自动驾驶的安全性、高效性、平稳性和智能化。

本发明针对上述现状,基于车辆的科学行为调整模型,提出一种用于最佳跟驰车距计算的曲线拟合建模方法,一方面可降低工程实验的次数,另一方面能够提高所建拟合函数的准确性。

发明内容

本发明基于一种科学的车辆行为调整模型,提出一种用于最佳跟驰车距计算的曲线拟合建模方法。

本发明通过以下技术方案来实现:

(1) 建立一种满足跟驰安全性、高效性和车辆行为调整的平稳性、快速性的车辆行为调整模型,具体步骤如下:

步骤 1: 根据客、货运输对车辆减速停车运行过程的控制需求,建立能够科学反映车辆减速停车过程中动态行为特征的数学模型:

$$v(t) = -\left(\frac{v_0}{2} + \delta\right) * \tanh(k(t - \tau)) + \frac{v_0}{2} \quad (1)$$

式中, v_0 为车辆开始制动减速时的初速度, k 、 τ 为大于 0 的常数, δ 为大于 0 的微小速度增量, t 为时间变量, v 为速度变量 ($v|_{t=-\infty} = v_0 + \delta, v|_{t=\infty} = -\delta$), $\tanh()$ 表示双曲正切函数。

步骤 2: 根据车辆制动停车的平稳性和快速性需求,计算参数 k 、 δ 、 τ 的值。

加速度的绝对值, 以及其时间导数的绝对值, 可用于评估车辆行为调整的平稳性和快速性。

$$\begin{cases} \max(|a|) = k * (\frac{v_0}{2} + \delta) \\ \max(\left|\frac{da}{dt}\right|) = \frac{4}{9} * k^2 * (\frac{v_0}{2} + \delta) \end{cases} \quad (2)$$

式中：a 为加速度。

参数 k 、 δ 可根据车辆行为调整的平稳性和快速性需求，由式 (2) 计算得到。然后，将 $t=0$ 和 v_0 、 k 、 δ 的值代入式 (1)，就可计算得到 τ 的值。 $\max(|a|)$ 的值可以查阅 ISO2631 获得， $\max(\left|\frac{da}{dt}\right|)$ 的值一般取 2m/s^3 。

(2) 确定“最佳制动距离”计算的拟合函数。

步骤 3：首先，根据式 (1) 所示的车辆制动停车行为模型，计算初始速度为 v_0 的车辆制动距离。对式 (1) 进行时间积分，即可得到车辆制动距离的计算公式：

$$S_{Braking} = \int_0^{2*\tau} v(t) * dt \quad (3)$$

步骤 4：然后，利用式 (3)，针对车辆任意初始速度，循环执行步骤 2、步骤 3，可以得到车辆任意初始速度条件下的制动距离。

步骤 5：根据步骤 4 得到的不同初始速度，以及与之相应的车辆制动距离值，利用数值分析方法建立曲线拟合函数

$$S_{Braking} = g(v_0) \quad (4)$$

用于计算得到车辆在任意时刻的制动距离。式中 $g()$ 表示函数。

(3) 最佳跟驰车距的计算。

步骤 6：根据控制需求确定计算原则，按计算原则分别计算最佳跟驰车距。

计算原则 1：以当前时刻前车的尾部位置为后车制动停车的参考点。此时的“最佳车距”为

$$S_{Braking}^f = g_f(v_0^f) + \Delta s \quad (5)$$

其中 $S_{Braking}^f$ 为遵循计算原则 1 时的“最佳车距”， $g_f()$ 表示后车行为的拟合函数， v_0^f 表示后车制动时的初速度， Δs 为安全裕量。

计算原则 2：以前车停车后的尾部位置为后车制动停车的参考点，并以前车紧急停车为计算依据。车辆紧急停车时制动距离与初始速度的拟合函数：

$$S_{BrakingEmergency}^p = g_p(v_0^p) \quad (6)$$

其中 $S_{BrakingEmergency}^p$ 为前车紧急制动距离, $g_p()$ 表示前车行为的拟合函数, v_0^p 表示前车制动时的初速度。

联立式 (5)、(6), 可得计算原则 2 下的“最佳车距 $S_{OptimalFollowingDistance}^{f,p}$ ”计算公式:

$$S_{OptimalFollowingDistance}^{f,p} = g_f(v_0^f) - g_p(v_0^p) + \Delta s \quad (7)$$

与现有技术相比, 本发明提供了一种理论与实际紧密结合的、新的数值拟合方法, 降低了重大工程领域完全依赖工程实验数据建立拟合函数的复杂程度, 可大幅减少工程实验的投资成本, 并显著提高建立拟合函数的工作效率。该方法适用于交通领域全速域内动态安全车距的实时计算, 从而可以为车辆安全、高效跟驰控制提供依据, 特别适合于未来公路交通领域的车辆自动驾驶和轨道交通领域移动闭塞系统车辆的跟驰运行控制, 可用于交通管理部门和交通工具制造行业制定未来车辆行为规范提供科学依据。

附图说明

图 1 为基于行为模型的车辆减速停车运行过程;

图 2 描述最佳跟驰车距计算在车辆跟驰控制中应用。

具体实施方式

下面结合附图和具体实施例对本发明进行详细说明。

实施例

实施例技术方案一

(1) 提出的用于最佳跟驰车距计算的曲线拟合建模方法, 主要基于一种科学的车辆行为调整模型, 其特征在于, 该方法包括以下步骤:

步骤 1: 根据客、货运输对车辆减速停车运行过程的控制需求, 建立能够满足跟驰安全性、高效性和车辆行为调整的平稳性、快速性的车辆减速停车动态行为模型:

$$v(t) = -\left(\frac{v_0}{2} + \delta\right) * \tanh(k(t - \tau)) + \frac{v_0}{2} \quad (1)$$

式中, v_0 为车辆开始制动减速时的初速度, k 、 τ 为大于 0 的常数, δ 为大于 0 的微小速度增量, t 为时间变量, v 为速度变量 ($v|_{t=-\infty} = v_0 + \delta, v|_{t=\infty} = -\delta$), $\tanh()$ 表示双曲正切函

数。

当 $k = k_1, k_2$ ($0 < k_2 < k_1$) 时, 可得相应的 $v-t$ 曲线和 $a-t$ 曲线, 见图 1 所示 (图中虚线表示的曲线为 $k = k_1$ 时的曲线沿横坐标轴平移而得)。

显而易见, 当 δ 确定后, 不同 k 值条件下车辆减速停车运行过程, 即从初速 v_0 至末速 0, 所花费的时间和运行的距离存在着“差异”; k 值的大小与曲线的陡峭程度存在密切相关性, 不仅体现了车辆运行的效率和平稳程度, 而且反映了车辆在自身减速能力约束下所采取的控制策略, 能够准确描述司机驾车行驶车辆减速运行过程中的行为细节, 以及人们对车辆减速运行过程的普遍期望。

步骤 2: 根据车辆制动停车的平稳性和快速性需求, 计算参数 k 、 δ 、 τ 的值。

对式 (1) 求导, 可得车辆减速运行过程中的加速度函数

$$a = \frac{dv(t)}{dt} = -k * \left(\frac{v_0}{2} + \delta\right) * (1 - \tanh^2(k(t - \tau))) \quad (1.1)$$

由于 $\tanh^2(k(t - \tau)) \leq 1$, 可知

$$\max(|a|) = k * \left(\frac{v_0}{2} + \delta\right) \quad (2.1)$$

显然, 当 $t = \tau$ 时, 加速度 a 的绝对值最大。

车辆变速运行过程中的冲动值 (即加速度变化率) 为

$$\frac{da}{dt} = 2 * k^2 * \left(\frac{v_0}{2} + \delta\right) * \tanh^2(k(t - \tau)) * (1 - \tanh^2(k(t - \tau))) \quad (2.2)$$

求加速度的二次导数

$$\frac{d^2a}{dt^2} = 2 * k^3 * \left(\frac{v_0}{2} + \delta\right) * (1 - \tanh^2(k(t - \tau))) * (1 - 3 * \tanh^2(k(t - \tau))) \quad (2.3)$$

由式 (2.3) 可知, $\frac{da}{dt}$ 在 $\tanh^2(k(t - \tau)) = 1$ 和 $\tanh^2(k(t - \tau)) = \frac{1}{3}$ 时存在极值点, 进而

可以求得车辆变速运行情况下 $\frac{da}{dt}$ 的最大绝对值。由于 $\tanh^2(k(t - \tau)) = 1$ 当且仅当 $t \rightarrow \pm\infty$

时才成立, 不符合工程需求, 故 $\frac{da}{dt}$ 的最大绝对值只能取在 $\tanh^2(k(t - \tau)) = \frac{1}{3}$ 的时刻。

当 $\tanh^2(k(t - \tau)) = \frac{1}{3}$ 时,

$$\frac{da}{dt} = \frac{4}{9} * k^2 * \left(\frac{v_0}{2} + \delta\right) \quad (2.4)$$

可知

$$\max\left(\left|\frac{da}{dt}\right|\right) = \frac{4}{9} * k^2 * \left(\frac{v_0}{2} + \delta\right) \quad (2.5)$$

联立式(2.1)、(2.5)，可以得到计算 k 、 δ 的方程组

$$\begin{cases} \max(|a|) = k * \left(\frac{v_0}{2} + \delta\right) \\ \max\left(\left|\frac{da}{dt}\right|\right) = \frac{4}{9} * k^2 * \left(\frac{v_0}{2} + \delta\right) \end{cases} \quad (2)$$

在载运工具运用领域， $\max(|a|)$ 、 $\max\left(\left|\frac{da}{dt}\right|\right)$ 被用于评价车辆行为调整过程的平稳性。

而人们希望车辆的行为调整过程不仅是平稳的，而且是迅速的，因此 $\max(|a|)$ 、 $\max\left(\left|\frac{da}{dt}\right|\right)$ 必存在唯一值能够满足人们对车辆行为调整过程的平稳性和快速性需求。这样，当车辆的初速度 v_0 已知时，利用式(2) 就可以求解得到 k 、 δ 的值。

然后，将 $t=0$ 和 v_0 、 k 、 δ 的值代入式(1)，就可计算得到 τ 的值。

(2) 确定“最佳制动距离”计算的拟合函数。

步骤 3: 首先，根据式(1)所示的车辆制动停车行为模型，计算初始速度为 v_0 的车辆制动距离。对式(1)进行时间积分，即可得到车辆制动距离的计算公式：

$$S_{Braking} = \int_0^{2*\tau} v(t) * dt \quad (3)$$

步骤 4: 然后，利用式(3)，针对车辆任意初始速度，循环执行步骤 2、步骤 3，可以得到车辆任意初始速度条件下的制动距离。

步骤 5: 根据步骤 4 得到的不同初始速度，以及与之相应的车辆制动距离值，利用数值分析方法建立曲线拟合函数

$$S_{Braking} = g(v_0) \quad (4)$$

用于计算得到车辆在任意时刻的制动距离。式中 $g()$ 表示函数。

以下进一步公开最佳跟驰车距的计算技术方案

(3) 最佳跟驰车距的计算。

步骤 6: 根据控制需求确定计算原则，按计算原则分别计算最佳跟驰车距。

车辆跟驰运行过程中，“最佳车距”必须保证后车行为调整安全性、跟驰的高效性和行为调整平稳性和快速性，才能显示出“最佳”的特征。

目前，“最佳车距”有两种计算原则：

计算原则 1：以当前时刻前车的尾部位置为后车制动停车的参考点。此时的“最佳车距”为

$$S_{OptimalFollowingDistance}^f = g_f(v_0^f) + \Delta s \quad (5)$$

其中 $S_{OptimalFollowingDistance}^f$ 为遵循计算原则 1 时的“最佳车距”， $g_f()$ 表示后车制动停车行为的拟合函数， v_0^f 表示后车制动时的初速度， Δs 为安全裕量。

显然，式（5）对定点停车时确定车辆某一速度下的制动停车点或根据目标停车点的位置确定制动停车时的速度至关重要。

计算原则 2：考虑前车制动停车时需要行驶一段距离，以前车停车后的尾部位置为后车制动停车的参考点。另一方面，由于前车的制动距离与其制动时的初速度和减速过程中的每一时刻的加速度相关，为增加工程实施的可行性，一般将安全放在第一的位置，即规定“以前车停车后的尾部位置为后车制动停车的参考点”的最佳车距计算，以前车紧急停车为依据。车辆紧急停车与自身的制动性能有关，一般基于安全考量，以最大恒力矩制动停车。故针对某一品牌、规格的车辆，不难得出其紧急停车时制动距离与初始速度的拟合函数：

$$S_{BrakinginEmergency}^p = g_p(v_0^p) \quad (6)$$

其中 $S_{BrakinginEmergency}^p$ 为前车紧急制动距离， $g_p()$ 表示前车行为的拟合函数， v_0^p 表示前车制动时的初速度。

联立式（5）、（6），可得计算原则 2 下的“最佳车距 $S_{OptimalFollowingDistance}^{f,p}$ ”计算公式：

$$S_{OptimalFollowingDistance}^{f,p} = g_f(v_0^f) - g_p(v_0^p) + \Delta s \quad (7)$$

显然，式（7）反映来车辆跟驰的一般情形。

图 2 描述最佳跟驰车距计算在车辆跟驰控制中应用。

首先，后车获得前车速度和后车速度后，根据当前技术条件和控制需求，确定最佳跟驰车距的计算原则；

然后，根据与确定的计算原则相对应的计算公式（5）或（7）计算出最佳车距；

最后，将当前最佳车距与实际车距进行比较分析，确定相应的控制律，实施控制律，以平稳、迅速的车辆行为调整实现安全、高效跟驰运行。

权 利 要 求 书

1. 一种基于车辆行为科学调整模型的最佳跟驰车距计算的曲线拟合建模方法，其特征在于，该方法包括以下步骤：

1) 根据车辆在减速停车运行过程中对平稳性和快速性的控制需求，建立能够科学反映车辆动态行为特征的数学模型：

$$v(t) = -(\frac{v_0}{2} + \delta) * \tanh(k(t - \tau)) + \frac{v_0}{2} \quad (1)$$

式中， v_0 为车辆开始制动减速时的初速度， k 、 τ 为大于 0 的常数， δ 为大于 0 的微小速度增量， t 为时间变量， v 为速度变量（ $v|_{t=-\infty} = v_0 + \delta, v|_{t=\infty} = -\delta$ ）， $\tanh(\)$ 表示双曲正切函数；

2) 根据车辆制动停车的平稳性和快速性需求（见式(2)所示），计算公式（1）模型中参数 k 、 δ 、 τ 的值；

参数 k 、 δ 可根据车辆行为调整的平稳性和快速性需求，由下式计算得到

$$\begin{cases} \max(|a|) = k * (\frac{v_0}{2} + \delta) \\ \max(\left|\frac{da}{dt}\right|) = \frac{4}{9} * k^2 * (\frac{v_0}{2} + \delta) \end{cases} \quad (2)$$

式中： a 为加速度；

然后，将 $t=0$ 和 v_0 、 k 、 δ 的值代入式(1)，就可计算得到 τ 的值；

3) 步骤 2) 算得的参数代入步骤 1) 的式（1），再根据式（1）所示的车辆制动停车行为模型，通过对式（1）进行时间积分，即可得到初始速度为 v_0 的车辆制动距离的计算公式：

$$S_{Braking} = \int_0^{2*\tau} v(t) * dt \quad (3)$$

4) 然后，针对车辆任意初始速度 v_0 ，循环执行步骤 2)、步骤 3)，可以得到车辆任意不同初始速度条件下的制动距离；

5) 根据步骤 4) 得到的不同初始速度 v_0 ，以及与之相应的车辆制动距离值，利用数值分析方法建立曲线拟合函数：

$$S_{Braking} = g(v_0) \quad (4)$$

即，用于任意初始速度下计算满足行为调整平稳性和快速性的最佳车辆制动距离的曲线拟

合函数建模完成。

2. 一种由权利要求 1 建模后用于最佳跟驰车距计算方法，其特征在于，该方法包括以下步骤：

6) 根据控制需求确定计算原则，按计算原则分别计算最佳跟驰车距；

计算原则 1：以当前时刻前车的尾部位置为后车制动停车的参考点，此时的“最佳车距”为

$$S_{OptimalFollowingDistance}^f = g_f(v_0^f) + \Delta s \quad (5)$$

其中 $S_{OptimalFollowingDistance}^f$ 为遵循**计算原则 1**时的“最佳车距”， $g_f()$ 为式(4)所示的后车最佳制动距离对各初始速度的拟合函数， v_0^f 表示后车制动时的初速度， Δs 为安全裕量；

计算原则 2：“以前车停车后的尾部位置为后车制动停车的参考点”的最佳车距计算，以前车紧急停车为依据。车辆紧急停车时制动距离与初始速度的拟合函数：

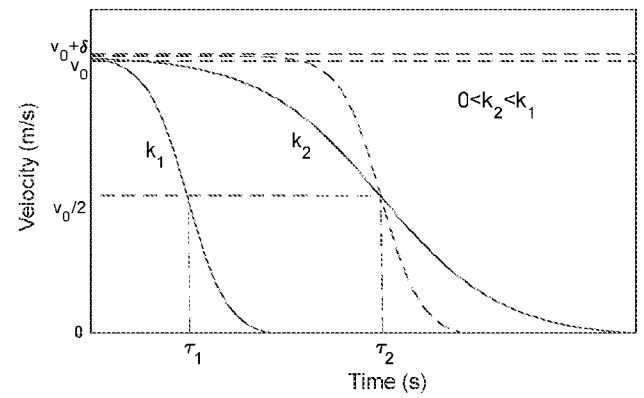
$$S_{BrakinginEmergency}^p = g_p(v_0^p) \quad (6)$$

其中 $S_{BrakinginEmergency}^p$ 为前车紧急制动距离， $g_p()$ 表示前车行为的拟合函数， v_0^p 表示前车制动时的初速度；

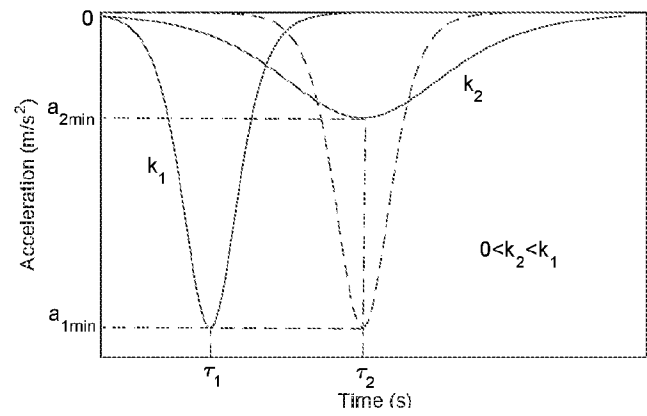
联立式(5)、(6)，可得**计算原则 2**下的“最佳车距 $S_{OptimalFollowingDistance}^{f,p}$ ”计算公式：

$$S_{OptimalFollowingDistance}^{f,p} = g_f(v_0^f) - g_p(v_0^p) + \Delta s \quad (7)$$

。



(a) 速度--时间曲线



(b) 加速度--时间曲线

图 1

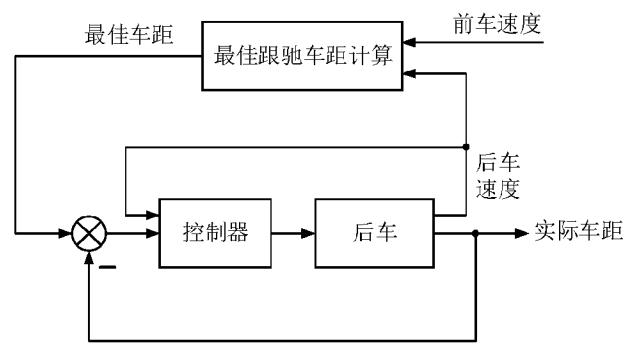


图 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/092747

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06F 17/50(2006.01)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)

G06F

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)

CNABS; CNTXT; VEN; CNKI; IEEE: 车, 控制, 模型, 计算, 距离, 曲线, 拟合, 刹车, 调整, CAR?, CONTROL+, MODEL, CALCULAT+, DISTANCE, CURVE, FIT, BRAK+, ADJUST+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 102955884 A (TONGJI UNIVERSITY) 06 March 2013 (2013-03-06) claims 1-5, description, paragraphs 32-64, and figures 1-5	1-2
PX	CN 109101689 A (TONGJI UNIVERSITY) 28 December 2018 (2018-12-28) claims 1-2	1-2
A	CN 103101559 A (TONGJI UNIVERSITY) 15 May 2013 (2013-05-15) entire document	1-2
A	CN 103136451 A (TONGJI UNIVERSITY) 05 June 2013 (2013-06-05) entire document	1-2

☐ 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

“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

02 September 2019

Date of mailing of the international search report

25 September 2019

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2019/092747

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN	102955884	A	06 March 2013	CN 102955884 B	19 August 2015
CN	109101689	A	28 December 2018	None	
CN	103101559	A	15 May 2013	CN 103101559 B	03 June 2015
CN	103136451	A	05 June 2013	CN 103136451 B	18 May 2016

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2019/092747

A. 主题的分类

G06F 17/50(2006.01)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)

G06F

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))

CNABS; CNTXT; VEN; CNKI; IEEE: 车, 控制, 模型, 计算, 距离, 曲线, 拟合, 刹车, 调整, CAR?, CONTROL+, MODEL, CALCULAT+, DISTANCE, CURVE, FIT, BRAK+, ADJUST+

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
X	CN 102955884 A (同济大学) 2013年 3月 6日 (2013 - 03 - 06) 权利要求1-5、说明书第32-64段、附图1-5	1-2
PX	CN 109101689 A (同济大学) 2018年 12月 28日 (2018 - 12 - 28) 权利要求1-2	1-2
A	CN 103101559 A (同济大学) 2013年 5月 15日 (2013 - 05 - 15) 全文	1-2
A	CN 103136451 A (同济大学) 2013年 6月 5日 (2013 - 06 - 05) 全文	1-2

☐ 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

“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

2019年 9月 2日

国际检索报告邮寄日期

2019年 9月 25日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局 (ISA/CN)
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

受权官员

刘欢

传真号 (86-10)62019451

电话号码 86-010-62411658

表 PCT/ISA/210 (第2页) (2015年1月)

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2019/092747

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	102955884	A	2013年 3月 6日	CN	102955884	B	2015年 8月 19日
CN	109101689	A	2018年 12月 28日	无			
CN	103101559	A	2013年 5月 15日	CN	103101559	B	2015年 6月 3日
CN	103136451	A	2013年 6月 5日	CN	103136451	B	2016年 5月 18日

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2015年1月)