



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103287406 B

(45) 授权公告日 2015. 04. 29

(21) 申请号 201310231378. 8

(22) 申请日 2013. 06. 08

(73) 专利权人 浙江大学

地址 310058 浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号

(72) 发明人 刘兴高 胡云卿 张海波 周赤平 孙优贤

(74) 专利代理机构 杭州求是专利事务有限公司 33200

代理人 周烽

(51) Int. Cl.

B60T 7/12(2006. 01)

G06F 19/00(2011. 01)

(56) 对比文件

EP 1223093 A2, 2002. 07. 17, 全文.

US 2012/0296498 A1, 2012. 11. 22, 全文.

CN 102849047 A, 2013. 01. 02, 全文.

CN 102642530 A, 2012. 08. 22, 全文.

DE 102010051203 A1, 2012. 05. 16, 全文.

潘少华等. “准”精确惩罚函数法的渐近性分析. 《高等学校计算数学学报》. 2007, 第 29 卷 (第 1 期), 第 47-56 页.

审查员 毕淑琴

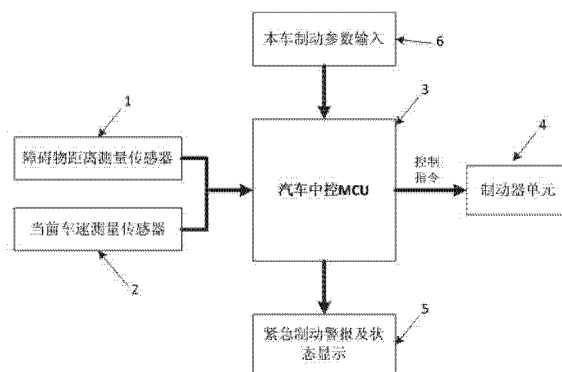
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

一种基于精确惩罚优化的汽车自动制动装置

(57) 摘要

本发明公开了一种基于精确惩罚优化的汽车自动制动装置,由障碍物距离测量传感器、当前车速测量传感器、汽车中控 MCU、制动器单元、紧急制动时的报警与状态显示设备构成,在中控 MCU 中输入对应于该车型的制动参数后,开启障碍物距离测量传感器和当前车速测量传感器实时测量前方障碍物距离和当前车速,当障碍物距离等于当前车速下的建议制动距离、且驾驶员没有制动动作时,中控 MCU 自动执行内部的精确惩罚优化算法,计算出最优制动力,并根据获得的最优制动力向制动器单元输出制动指令,使该汽车在接触障碍物之前停下来,并向驾驶员发出紧急制动报警信号;本发明避免驾驶过程中未能及时制动而导致的碰撞事故。



1. 一种基于精确惩罚优化的汽车自动制动装置, 在出现紧急状况时能使汽车自动减速或停止, 同时使驾驶员获得最多的制动时间; 其特征在于: 由车前方障碍物距离测量传感器、当前车速测量传感器、汽车中控 MCU、制动器单元、紧急制动警报与状态显示设备构成, 各组成部分均由车内数据总线连接; 所述装置的运行过程包括:

步骤 A1: 在汽车中控 MCU 中输入对应于该汽车的制动参数;

步骤 A2: 开启障碍物距离测量传感器和当前车速测量传感器用于实时测量前方障碍物距离和当前车速;

步骤 A3: 当障碍物距离等于当前车速下的建议制动距离、且驾驶员没有制动动作时, 汽车中控 MCU 自动执行内部的精确惩罚优化算法, 计算出最优制动力, 并根据获得的最优制动力向制动器单元输出制动指令, 使该汽车在接触障碍物之前停下来;

步骤 A4: 汽车中控 MCU 执行完精确惩罚优化算法的同时, 向驾驶员发出紧急制动报警信号;

所述的汽车中控 MCU, 包括信息采集模块、初始化模块、常微分方程组正交配置模块、非线性规划问题求解模块、控制指令输出模块; 其中, 信息采集模块包括障碍物距离采集、当前车速采集、人为刹车动作采集三个子模块; 非线性规划问题求解模块包括寻优方向计算、寻优步长计算、非线性规划问题收敛性判断三个子模块;

所述的汽车中控 MCU 自动产生制动信号的精确惩罚优化算法运行步骤如下:

步骤 B1: 信息采集模块 (31) 实时获取障碍物距离测量传感器、当前车速测量传感器送入汽车中控 MCU 的当前值, 并检测驾驶员是否有制动动作; 当障碍物距离测量传感器测到的障碍物距离等于当前车速下的建议制动距离、且驾驶员没有制动动作时, 执行从步骤 B2 开始的精确惩罚优化算法;

步骤 B2: 初始化模块 (32) 开始运行, 设置制动过程时间的分段数、惩罚因子初始值、制动力的初始猜测值 $u^{(k)}$, 设定精度要求 tol , 将迭代次数 k 置零;

步骤 B3: 通过常微分方程组求解模块 (33) 获取本次迭代的目标函数值 $J^{(k)}$ 和约束函数值; 当 $k = 0$ 时跳过步骤 B4 直接执行步骤 B5;

步骤 B4: 如果 $J^{(k)}$ 与上一次迭代的目标函数值 $J^{(k-1)}$ 的绝对值之差小于精度要求 tol , 则判断收敛性满足, 并将本次迭代的制动力作为指令输出到制动器单元; 如果收敛性不满足, 则继续执行步骤 B5;

步骤 B5: 增大惩罚因子 ρ , 再用 $u^{(k)}$ 的值覆盖 $u^{(k-1)}$ 的值, 并将迭代次数 k 增加 1;

步骤 B6: 非线性规划问题求解模块 (36) 利用在步骤 B3 中获得的目标函数值和约束函数值, 通过计算寻优方向和寻优步长, 获得比 $u^{(k-1)}$ 更优的新制动力 $u^{(k)}$; 该步骤执行完成后再次跳转至步骤 B3, 直至收敛性判断模块 (34) 满足为止;

所述的常微分方程组正交配置模块, 采用的方法为四步 Adams 方法, 计算公式为:

$$s(t_{i+1}) = s(t_i) + \frac{h}{24} [55v(t_i) - 59v(t_{i-1}) + 37v(t_{i-2}) - 9v(t_{i-3})]$$

$$v(t_{i+1}) = v(t_i) + \frac{h}{24} [55u(t_i) - 59u(t_{i-1}) + 37u(t_{i-2}) - 9u(t_{i-3})]$$

其中 t 表示时间, t_i 表示 Adams 方法选择的制动过程中某一时间点, t_{i-1} 表示 Adams 方法选择的制动过程中 t_i 的前一时间点, t_{i+1} 表示 Adams 方法选择的制动过程中 t_i 的后一时

间点,以此类推;积分步长 h 为任意两相邻时间点之差; $s(t_i)$ 表示汽车在 t_i 时刻的行驶距离, $v(t_i)$ 表示汽车在 t_i 时刻的行驶速度, $u(t_i)$ 表示在 t_i 时刻的制动力;

所述的非线性规划问题求解模块,采用如下步骤实现:

步骤 C1:将制动力 $u^{(k-1)}$ 作为向量空间中的某个点,记作 P_1 , P_1 对应的目标函数值就是 $J^{(k-1)}$;

步骤 C2:从点 P_1 出发,根据选用的非线性规划问题算法构造向量空间中的一个寻优方向 $d^{(k-1)}$ 和步长 $\alpha^{(k-1)}$;

步骤 C3:通过式 $u^{(k)} = u^{(k-1)} + \alpha^{(k-1)}d^{(k-1)}$ 构造向量空间中对应 $u^{(k)}$ 的另外一个点 P_2 ,使得 P_2 对应的目标函数值 $J^{(k)}$ 比 $J^{(k-1)}$ 更优。

一种基于精确惩罚优化的汽车自动制动装置

技术领域

[0001] 本发明涉及汽车安全领域，主要是一种基于精确惩罚优化的汽车自动制动装置。在出现紧急状况时能使汽车自动减速或停止，同时使驾驶员获得最多的制动时间。

背景技术

[0002] 汽车驾驶员在驾驶过程中，由于疲劳、接听电话、受其他事物吸引等原因，容易对突发性的紧急状况处理不及时，导致碰撞甚至酿成事故。

[0003] 随着汽车科技的发展，人们对于更安全的用车要求变得日益强烈。目前国外例如英菲尼迪 M 系列、沃尔沃 S60 等一些高档次车型，已经开始配备自动制动控制装置，其原理各异。统计数据表明装备了汽车紧急自动制动(Autonomous Emergency Braking, 简称 AEB 系统)系统的车型可以减少事故发生率达 27%。面对激烈的国际竞争，国产车型同样需要开发自动制动技术和相关产品。

发明内容

[0004] 为了避免汽车驾驶员在驾驶过程中未能及时制动而导致碰撞行人或障碍物、同时又保证驾驶员获得最多的制动时间 / 缓冲时间，本发明提供一种基于精确惩罚优化的汽车自动制动装置。

[0005] 上述汽车制动过程问题可以描述为

$$[0006] \quad \min J[u(t)] = \int_0^{t_f} u^2(t) dt$$

$$[0007] \quad s.t. \quad \dot{s}(t) = v(t)$$

$$[0008] \quad \dot{v}(t) = u(t)$$

$$[0009] \quad s(t_0) = 0$$

$$[0010] \quad v(t_0) = v_0$$

$$[0011] \quad s(t) \leq s_f$$

$$[0012] \quad v(t_f) = 0$$

[0013] 其中 t 表示时间， $s(t)$ 表示汽车行驶的距离， $\dot{s}(t)$ 表示 $s(t)$ 的一阶导数， $v(t)$ 表示汽车的当前速度， $\dot{v}(t)$ 表示 $v(t)$ 的一阶导数， t_0 表示汽车开始制动的时间点， $v(t_0)$ 为 t_0 时刻的速度， t_f 表示汽车制动完成的时间点，在 t_f 时刻要求汽车停下来且行驶的距离不超过 s_f ， $J[u(t)]$ 表示问题的目标函数，由随时间变化的制动力 $u(t)$ 决定。从该描述可以看出，汽车自动制动问题实际上是一个最优控制问题，求解得到的是制动力 $u(t)$ 的最优值。但是约束 $s(t) \leq s_f$ 是无穷维约束，从数学上来说很难处理，这里采用精确惩罚函数将该问题转换为下面等价形式：

$$[0014] \quad \min J[u(t)] = \int_0^{t_f} u^2(t) dt + \rho \int_0^{t_f} \max\{s(t) - s_f, 0\} dt$$

[0015] $s.t. \quad \dot{s}(t) = v(t)$

[0016] $\dot{v}(t) = u(t)$

[0017] $s(t_0) = 0$

[0018] $v(t_0) = v_0$

[0019] $v(t_f) = 0$

[0020] 其中 ρ 称为惩罚因子。在数学上已经证明：如果求解过程中将 ρ 的值不断增大，得到的解将与原问题的解精确相等，这种方法称为精确罚函数优化(Exact Penalty Optimization, 简称 EPO) 法。

[0021] 本发明解决其技术问题所采用的技术方案是：在汽车中控 MCU 中集成了精确惩罚优化算法，在需要紧急制动时由所述 MCU 自动输出制动指令给制动器单元，实现紧急减速或停车。所述 MCU 可以视为自动制动信号产生器，其完整系统如图 2 所示，包括障碍物距离测量传感器、当前车速测量传感器、汽车中控 MCU、制动器单元、紧急制动警报与状态显示设备。所述系统内的各组成部分均由车内数据总线连接。由于不同汽车的制动性能不同，投入使用之前需要在所述 MCU 中输入对应于该车的制动参数。

[0022] 所述系统的运行过程如下：

[0023] 步骤 A1：将所述系统安装在某型号车上，并在中控 MCU 中输入对应于该车的制动参数。例如该车行驶在 60km/h 的速度下最多能避免碰撞前方 5m 内的行人或障碍物，这里的 60km/h、5m 就是该车的一组制动参数，称 5m 是该车在 60km/h 车速下的建议制动距离。另外一个主要制动参数是该车的最大制动力；

[0024] 步骤 A2：该汽车在行驶过程中开启障碍物距离测量传感器，用于实时测量前方行人或障碍物距离；同时开启当前车速测量传感器，用于实时测量当前该汽车的行驶速度；

[0025] 步骤 A3：当障碍物距离测量传感器送入中控 MCU 的障碍物距离等于当前车速下的建议制动距离、且驾驶员没有制动动作时，中控 MCU 自动执行内部的精确惩罚优化算法，计算出最优制动力，并根据获得的最优制动力向制动器单元输出制动指令，使该汽车在接触障碍物之前停下来。中控 MCU 执行完精确惩罚优化算法的同时，向驾驶员发出紧急制动报警信号。

[0026] 集成了精确惩罚优化算法的汽车中控 MCU 是本发明的核心，如图 3 所示，其内部包括信息采集模块、初始化模块、常微分方程组(Ordinary Differential Equation, 简称 ODE)求解模块、收敛性判断模块、 ρ 更新模块、非线性规划问题(Non-linear Programming, 简称 NLP)求解模块、控制指令输出模块。其中信息采集模块包括障碍物距离采集、当前车速采集、人为刹车动作采集三个子模块，NLP 求解模块包括寻优方向计算、寻优步长计算、NLP 收敛性判断三个子模块。

[0027] 所述中控 MCU 自动产生制动信号的过程如下：

[0028] 步骤 B1：信息采集模块实时获取障碍物距离测量传感器、当前车速测量传感器送入中控 MCU 的当前值，并检测驾驶员是否有制动动作。当障碍物距离测量传感器测到的障碍物距离等于当前车速下的建议制动距离、且驾驶员没有制动动作时，执行从步骤 B2 开始的精确惩罚优化算法；

[0029] 步骤 B2：初始化模块开始运行，设置制动过程时间的分段数、惩罚因子初始值、制

动力的初始猜测值 $u^{(k)}$, 设定精度要求 tol , 将迭代次数 k 置零;

[0030] 步骤 B3: 通过 ODE 求解模块获取本次迭代的目标函数值 $J^{(k)}$ 和约束函数值。当 $k=0$ 时跳过步骤 B4 直接执行步骤 B5;

[0031] 步骤 B4: 如果 $J^{(k)}$ 与上一次迭代的目标函数值 $J^{(k-1)}$ 的绝对值之差小于精度要求 tol , 则判断收敛性满足, 并将本次迭代的制动力作为指令输出到制动器单元; 如果收敛性不满足, 则继续执行步骤 B5;

[0032] 步骤 B5: 增大惩罚因子 ρ , 再用 $u^{(k)}$ 的值覆盖 $u^{(k-1)}$ 的值, 并将迭代次数 k 增加 1;

[0033] 步骤 B6: NLP 求解模块利用在步骤 B3 中获得的目标函数值和约束函数值, 通过计算寻优方向和寻优步长, 获得比 $u^{(k-1)}$ 更优的新制动力 $u^{(k)}$ 。该步骤执行完成后再次跳转至步骤 B3, 直至收敛性判断模块满足为止。

[0034] 所述的 ODE 正交配置模块, 采用的方法为四步 Adams 方法, 计算公式为:

$$[0035] \quad s(t_{i+1}) = s(t_i) + \frac{h}{24} [55v(t_i) - 59v(t_{i-1}) + 37v(t_{i-2}) - 9v(t_{i-3})]$$

$$[0036] \quad v(t_{i+1}) = v(t_i) + \frac{h}{24} [55u(t_i) - 59u(t_{i-1}) + 37u(t_{i-2}) - 9u(t_{i-3})]$$

[0037] 其中 t 表示时间, t_i 表示 Adams 方法选择的制动过程中某一时间点, t_{i-1} 表示 Adams 方法选择的制动过程中 t_i 的前一时间点, t_{i+1} 表示 Adams 方法选择的制动过程中 t_i 的后一时间点, 以此类推。积分步长 h 为任意两相邻时间点之差。 $s(t_i)$ 表示汽车在 t_i 时刻的行驶距离, $v(t_i)$ 表示汽车在 t_i 时刻的行驶速度, $u(t_i)$ 表示在 t_i 时刻的制动力。

[0038] 所述的 NLP 求解模块, 采用如下步骤实现:

[0039] 步骤 C1: 将制动力 $u^{(k-1)}$ 作为向量空间中的某个点, 记作 P_1 , P_1 对应的目标函数值就是 $J^{(k-1)}$;

[0040] 步骤 C2: 从点 P_1 出发, 根据选用的 NLP 算法构造向量空间中的一个寻优方向 $d^{(k-1)}$ 和步长 $\alpha^{(k-1)}$

[0041] 步骤 C3: 通过式 $u^{(k)} = u^{(k-1)} + \alpha^{(k-1)} d^{(k-1)}$ 构造向量空间中对应 $u^{(k)}$ 的另外一个点 P_2 , 使得 P_2 对应的目标函数值 $J^{(k)}$ 比 $J^{(k-1)}$ 更优。

[0042] 本发明的有益效果主要表现在: 1、避免驾驶过程中未能及时制动而导致的碰撞事故; 2、驾驶员可以获得最多的制动时间作为缓冲, 避免出现急刹车的情况。

附图说明

[0043] 图 1 是本发明的功能示意图;

[0044] 图 2 是本发明的结构示意图;

[0045] 图 3 是本发明中控 MCU 内部模块结构图;

[0046] 图 4 是实施例 1 的自动制动信号图。

具体实施方式

[0047] 实施例 1

[0048] 假设汽车在高速公路上行驶, 车上的障碍物距离测量传感器以及当前车速测量传感器均已开启。在某时刻前方道路上突然出现障碍, 且驾驶员由于疲劳驾驶并未意识到可

能发生事故。

[0049] 设当前车速测量传感器传入中控 MCU 的当前车速为 80km/h, 当前车速下的建议制动距离为 18m, 当障碍物距离测量传感器测到的障碍物距离等于或非常接近 18m、且驾驶员没有任何制动动作时, 中控 MCU 开始启动内部精确惩罚优化算法, 并根据计算结果向制动器单元输出制动指令。

[0050] 中控 MCU 中内部精确惩罚优化算法的执行过程如图 3 所示, 为:

[0051] 步骤 D1: 初始化模块 32 开始运行, 设置制动过程时间的分段数为 20、惩罚因子初始值为 1、制动力的初始猜测值 $u^{(k)}$ 为 -0.5, 设定数值计算的精度要求 tol 为 0.01, 将迭代次数 k 置零;

[0052] 步骤 D2: 通过 ODE 求解模块 33 获取本次迭代的目标函数值 $J^{(k)}$ 和约束函数值。当 $k=0$ 时跳过步骤 D3 直接执行步骤 D4;

[0053] 步骤 D3: 如果 $J^{(k)}$ 与上一次迭代的目标函数值 $J^{(k-1)}$ 的绝对值之差小于精度要求 0.01, 则判断收敛性满足, 并将本次迭代的制动力作为指令输出到制动器单元; 如果收敛性不满足, 则继续执行步骤 D4;

[0054] 步骤 D4: 将惩罚因子 ρ 的值增加 10 倍, 再用 $u^{(k)}$ 的值覆盖 $u^{(k-1)}$ 的值, 并将迭代次数 k 增加 1;

[0055] 步骤 D5: NLP 求解模块 36 利用在步骤 D2 中获得的目标函数值和约束函数值, 通过计算寻优方向和寻优步长, 获得比 $u^{(k-1)}$ 更优的新制动力 $u^{(k)}$ 。该步骤执行完成后再次跳转至步骤 D2, 直至收敛性判断模块 34 满足为止。

[0056] 所述的 ODE 正交配置模块, 采用的方法为四步 Adams 方法, 计算公式为:

$$[0057] \quad s(t_{i+1}) = s(t_i) + \frac{h}{24} [55v(t_i) - 59v(t_{i-1}) + 37v(t_{i-2}) - 9v(t_{i-3})]$$

$$[0058] \quad v(t_{i+1}) = v(t_i) + \frac{h}{24} [55u(t_i) - 59u(t_{i-1}) + 37u(t_{i-2}) - 9u(t_{i-3})]$$

[0059] 其中 t 表示时间, t_i 表示 Adams 方法选择的制动过程中某一时间点, t_{i-1} 表示 Adams 方法选择的制动过程中 t_i 的前一时间点, t_{i+1} 表示 Adams 方法选择的制动过程中 t_i 的后一时间点, 以此类推。积分步长取 0.01 已能满足精度要求。 $s(t_i)$ 表示汽车在 t_i 时刻的行驶距离, $v(t_i)$ 表示汽车在 t_i 时刻的行驶速度, $u(t_i)$ 表示在 t_i 时刻的制动力。

[0060] 所述的 NLP 求解模块, 采用如下步骤实现:

[0061] 步骤 E1: 将制动力 $u^{(k-1)}$ 作为向量空间中的某个点, 记作 P_1 , P_1 对应的目标函数值就是 $J^{(k-1)}$;

[0062] 步骤 E2: 从点 P_1 出发, 选用 SQP 算法构造向量空间中的一个寻优方向 $d^{(k-1)}$ 和步长 $\alpha^{(k-1)}$

[0063] 步骤 E3: 通过式 $u^{(k)} = u^{(k-1)} + \alpha^{(k-1)} d^{(k-1)}$ 构造向量空间中对应 $u^{(k)}$ 的另外一个点 P_2 , 使得 P_2 对应的目标函数值 $J^{(k)}$ 比 $J^{(k-1)}$ 更优。

[0064] 以上步骤中 t 表示时间, $s(t)$ 表示汽车行驶的距离, $v(t)$ 表示汽车的当前速度, t_0 表示汽车开始制动的时间点, $v(t_0)$ 为 t_0 时刻的速度, 在这里为 80km/h, t_f 表示汽车制动完成的时间点, 在 t_f 时刻要求汽车停下来且行驶的距离不超过建议制动距离 18m。

[0065] 精确惩罚优化算法的计算结果如图 4 所示。精确惩罚优化算法获得制动控制轨

迹为最下方的细实线。坐标经过归一化处理,即:如果该车的最大制动力为 4000N,则 -1 表示 -4000N;同理,-0.75 表示 $-4000\text{N}\times 0.75=-3000\text{N}$ 。整条控制轨迹的值都不超过 0,表明这是一条制动控制轨迹,而非加速控制轨迹。整条轨迹的值只在制动过程结束时才为 0,表明尽量多的增加了制动时间,这在高速公路行驶时对驾驶员具有最大限度的保护作用,尽可能的增加了缓冲时间。

[0066] 最后,中控 MCU 将获得的制动控制轨迹作为指令输出到制动器单元,完成机械上的制动操作,同时向驾驶员发出紧急制动报警信号。

[0067] 以上内容是结合具体的优选实施方式对本发明所作的进一步详细说明,不能认定本发明的具体实施只限于这些说明。对于本发明所属技术领域的普通技术人员来说,在不脱离发明构思的前提下,还可以做出若干简单推演或替换,都应当视为属于本发明的保护范围。

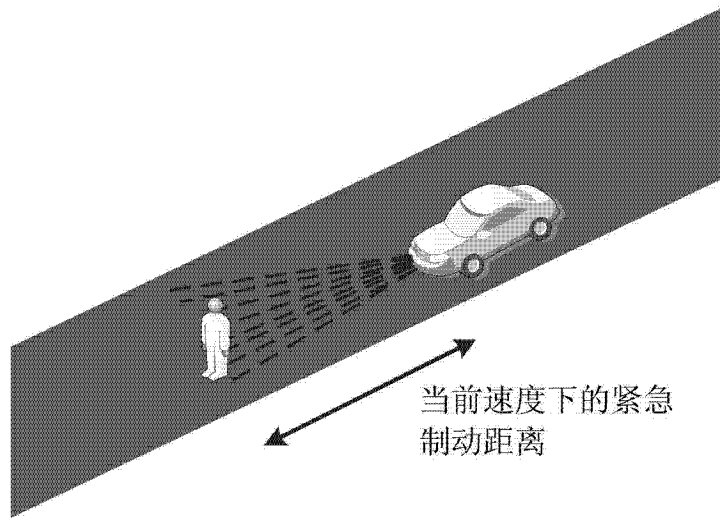


图 1

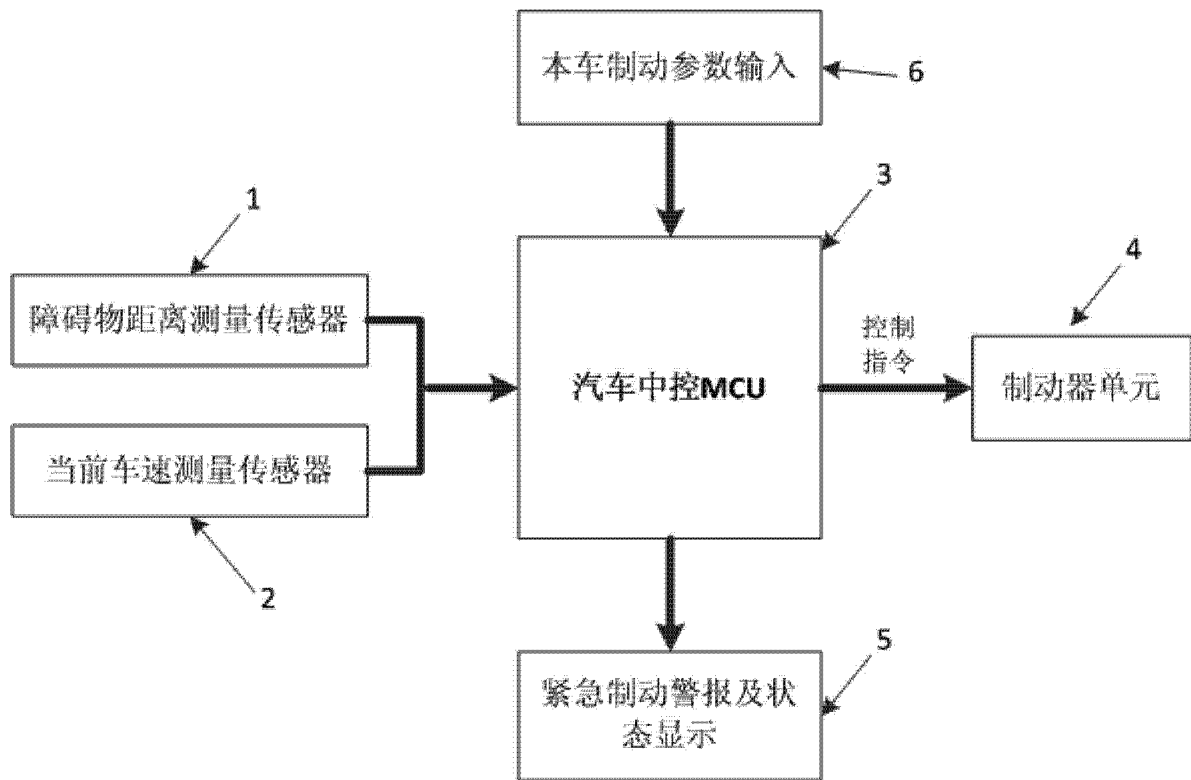


图 2

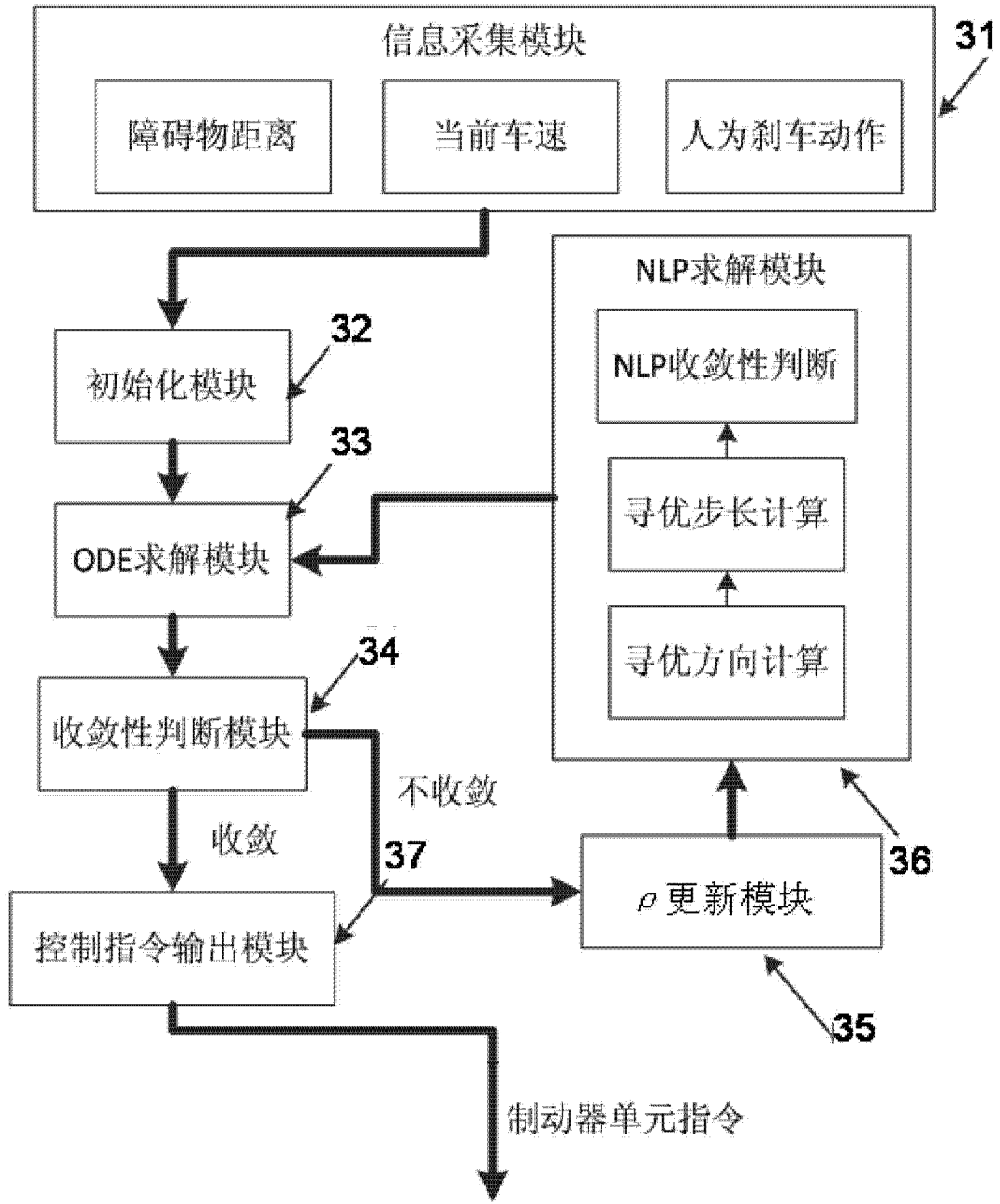


图 3

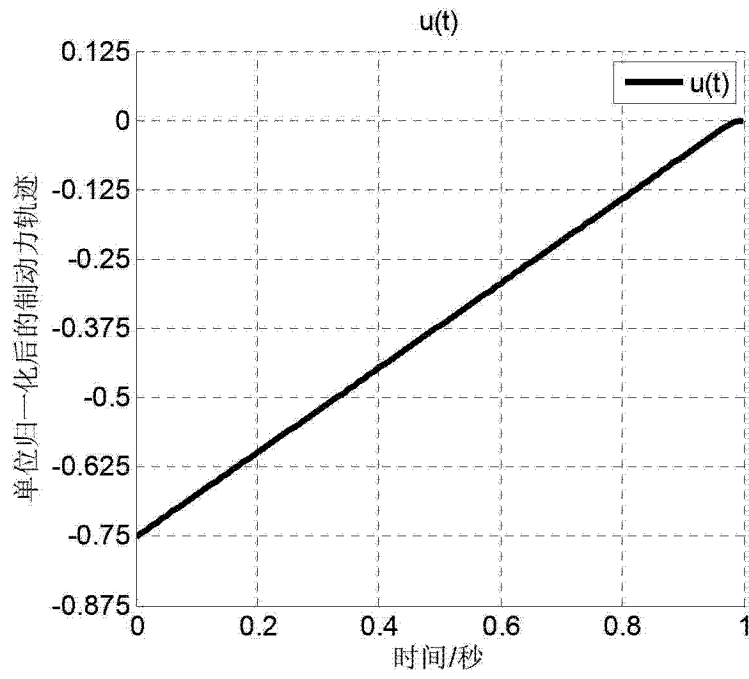


图 4