



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108313057 B

(45)授权公告日 2019.09.24

(21)申请号 201810313067.9

(22)申请日 2018.04.09

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 108313057 A

(43)申请公布日 2018.07.24

(73)专利权人 重庆大学
地址 400044 重庆市沙坪坝区沙坪坝正街
174号

(72)发明人 胡晓松 李亚鹏 冯飞 谢翌
张小倩 唐小林 杨亚联

(74)专利代理机构 北京同恒源知识产权代理有
限公司 11275
代理人 赵荣之

(51)Int.Cl.

B60W 30/14(2006.01)

(56)对比文件

CN 107808027 A,2018.03.16,
CN 107367931 A,2017.11.21,
CN 107804322 A,2018.03.16,
CN 106671980 A,2017.05.17,
CN 106080584 A,2016.11.09,
KR 20180025611 A,2018.03.09,

审查员 陈东海

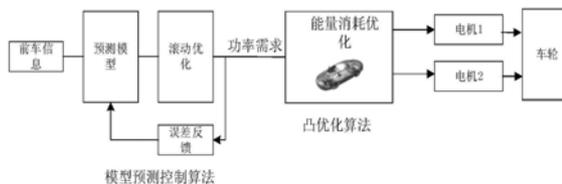
权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54)发明名称

基于MPC和凸优化算法的纯电动汽车自适应巡航控制方法

(57)摘要

本发明涉及一种基于MPC和凸优化算法的纯电动汽车自适应巡航控制方法,属于新能源汽车技术领域。该方法具体包括:S1:根据跟车控制性能要求,建立预测模型;S2:根据S1建立的模型,通过MPC算法,预测车辆未来时刻的速度输出;S3:根据S2中MPC算法中求出的速度输出和S1中建立的模型,求出车辆未来时刻的功率需求;S4:根据S3得出的功率需求,用凸优化算法求解最优的转矩分配,使得两个电机工作在高效率区域,电池输出电量最少。本发明通过跟车控制与能量优化,将前后两车保持在一个安全的距离范围的同时,获得最优的能量管理策略而不影响模型预测控制的实时性运用,不仅缓解交通压力,还能减少能量消耗。



1. 一种基于MPC和凸优化算法的纯电动汽车自适应巡航控制方法,其特征在于,该方法具体包括以下步骤:

S1:根据跟车控制性能要求,建立预测模型;

S2:根据S1所建立的预测模型,通过模型预测控制(Model Predictive Control,MPC)算法,预测车辆未来时刻的速度输出 $v_c(k)$ 和加速度值 $a_c(k)$;

S3:根据S2中MPC算法中求出的速度输出 $v_c(k)$ 和 $a_c(k)$ 以及S1中建立的汽车纵向动力学模型,求出车辆未来时刻的功率需求 $P_{dem}(k)$;

S4:根据S3得出的功率需求,用凸优化算法求解最优的转矩分配,使得两个电机工作在高效率区域,电池输出电量最少;

所述步骤S2具体包括以下步骤:

S21:以汽车行驶安全性和平稳性为目标,建立模型预测控制算法的代价函数 $J_{mpc,cost}$:

$$J_{mpc,cost} = \min(\alpha_1 d_s + \alpha_2 v'_c)$$

其中 α_1, α_2 为权重因子, d_s 为两车在行驶过程中的距离, v'_c 为两车的速度差值;

S22:按照步骤S1中的约束,求出 $v_c(k)$ 和 $a_c(k)$ 。

2. 根据权利要求1所述的基于MPC和凸优化算法的纯电动汽车自适应巡航控制方法,其特征在于,步骤S3所述的车辆未来时刻的功率需求 $P_{dem}(k)$ 计算公式为:

$$F_t(k) = F_{air}(k) + F_{roll}(k) + F_{slope}(k) + F_a(k)$$

$$P_{dem}(k) = F_t(k) * v(k)$$

其中, $F_t(k)$ 为k时刻汽车的牵引力, $F_{air}(k)$ 为汽车行驶时的空气阻力, $F_{roll}(k)$ 为汽车行驶时的滚动阻力, $F_a(k)$ 为汽车行驶时的加速阻力, $v(k)$ 为k时刻汽车的速度。

3. 根据权利要求1所述的基于MPC和凸优化算法的纯电动汽车自适应巡航控制方法,其特征在于,所述步骤S4具体包括:能量管理策略中代价函数为:

$$J_{opt,cost} = \min \int P_{bat} dt$$

采用数值离散方法求解最优的转矩分配,将连续变量 P_{bat} 转化为离散变量,上述代价函数修改为:

$$J_{opt,cost} = \sum_{k=1}^N P_{bat} * \Delta t$$

其中,N为采样点数, Δt 为采样间隔, P_{bat} 表示后车行驶能量消耗。

基于MPC和凸优化算法的纯电动汽车自适应巡航控制方法

技术领域

[0001] 本发明属于新能源汽车技术领域,涉及一种基于模型预测和凸优化算法的纯电动汽车的跟车控制与整车能量管理方法。

背景技术

[0002] 自汽车发展的数百年间,汽车技术对人们的日常生活带来了巨大的改变。然而,随着近些年汽车产量的增加,其尾气排放量达到了环境所能承受的范围,对环境造成了很大污染,因此各国政府大力发展汽车节能技术,来减少汽车对环境的污染。

[0003] 随着我国汽车数量的逐年增加,汽车快速安全的行驶对交通系统的要求也越来越高,各国已开始重点研究在智能交通下的车队队列控制,通过控制多个车辆协同行驶,可以有效避免交通拥堵,并且可以较少等待红灯的时间,达到节省燃油消耗的目的。如果两辆电动车在道路行驶中,没有经过队列协调控制,则其电量消耗较大。对于车队的队列控制,目前的控制算法大多是基于轨迹跟踪的原则,所谓轨迹跟踪,就是根据参考路径曲线和时间、空间均相关,并要求车辆在规定的时间内达到某一预定的参考路径点。由于汽车在行驶过程中速度的动态特性变化快的特点,其实时控制仍然是亟待解决的问题,随着车载感应器技术的成熟,通过车上距离感应器,参考模型预测控制中的期望值,模型预测控制算法通过结合车辆的历史信息,可以预测下一刻的输出,其计算速度与预测时长和预测步数相关。当汽车的未来时刻的行驶速度通过模型预测控制算法预测出时,其功率需求即可以通过汽车纵向动力学公式计算出。

[0004] 本发明所采用的车辆模型为一双电机布置的纯电动汽车两辆,其传动系包含两个尺寸不同(最大输出功率与转矩不同)的电机、动力电池、离合器等部件,两辆车的传动系相同。其中离合器布置在大电机(后置)与后驱动轴之间,当需求转矩较小时,离合器断开,大电机不工作,小电机(前置)提供驱动转矩;驱动汽车行驶,当需求转矩较大时,用优化算法将需求转矩按最小的电量消耗分配转矩。对于优化方法的选择,如果仅仅想保证全局最优的要求,则动态规划(DP,Dynamic Programming)算法可以满足要求,但是动态规划的寻优过程时间随着控制变量的增加而呈现指数形式增加,与模型预测控制时保证实时控制相冲突,无法满足轨迹跟踪的有效性。

发明内容

[0005] 有鉴于此,本发明的目的在于提供一种基于纯电动车的智能跟车控制联合算法,在保证跟车行驶安全性、平稳性与动力性满足的条件下,同时优化电动车的能量消耗。

[0006] 为达到上述目的,本发明提供如下技术方案:

[0007] 一种基于MPC和凸优化算法的纯电动汽车自适应巡航控制方法,具体包括以下步骤:

[0008] S1:根据跟车控制性能要求,建立预测模型;

[0009] S2:根据S1所建立的预测模型,通过模型预测控制(Model Predictive Control,

MPC) 算法, 预测车辆未来时刻的速度输出 $v_c(k)$;

[0010] S3: 根据S2中MPC算法中求出的速度输出 $v_c(k)$ 和S1中建立的汽车纵向动力学模型, 求出车辆未来时刻的功率需求 $P_{dem}(k)$;

[0011] S4: 根据S3得出的功率需求, 用凸优化算法求解最优的转矩分配, 使得两个电机工作在高效率区域, 电池输出电量最少。

[0012] 进一步, 所述步骤S2具体包括以下步骤:

[0013] S21: 以汽车行驶安全性和平稳性为目标, 为满足跟车性能, 建立模型预测控制算法的代价函数 $J_{mpc, cost}$:

$$[0014] \quad J_{mpc, cost} = \min(a_1 d_s + a_2 v'_c)$$

[0015] 其中 a_1, a_2 为权重因子, 其值越大, 说明对其所对应性能要求越高, 如 a_1 值增大, 则对两车距离的限制就越严格; d_s 为两车在行驶过程中的距离, v'_c 为两车行驶时的速度差;

[0016] S22: 按照步骤S1中的约束, 求出 $v_c(k)$ 。

[0017] 进一步, 步骤S21中所述的模型预测控制算法具体包括以下步骤:

[0018] 1): 通过滚动优化, 获得最佳的后车行驶加速度和速度值 $a_c(k), v_c(k)$, 滚动优化时, 选择合适的预测区间长度, 控制长度, 预测步数; 本发明选择预测区间为1;

[0019] 2): 根据步骤1) 中滚动优化出的状态值, 与期望输出相比较, 通过误差反馈修正, 修正后的输出 $a_c(k), v_c(k)$; 其公式如下:

$$[0020] \quad \check{x}(k+1) = x_0(k+1) + a_1 \Delta u(k)$$

$$[0021] \quad e(k+1) = x(k+1) - \check{x}(k+1)$$

[0022] 其中, $\check{x}(k+1)$ 为预测输出量, $x_0(k+1)$ 表示在 k 时刻控制变量不变的输出量, $a_1 \Delta u(k)$ 控制变量的增加后的输出量, $e(k+1)$ 为误差量, $x(k+1)$ 为实际输出量。

[0023] 进一步, 步骤S3所述的车辆未来时刻的功率需求 $P_{dem}(k)$ 计算公式为:

$$[0024] \quad F_t(k) = F_{air}(k) + F_{roll}(k) + F_{slope}(k) + F_a(k)$$

$$[0025] \quad P_{dem}(k) = F_t(k) * v(k)$$

[0026] 其中, $F_t(k)$ 为 k 时刻汽车的牵引力, $F_{air}(k)$ 为汽车行驶时的空气阻力, $F_{roll}(k)$ 为汽车行驶时的滚动阻力, $F_a(k)$ 为汽车行驶时的加速阻力, $v(k)$ 为 k 时刻汽车的速度。

[0027] 进一步, 所述步骤S4具体包括: 能量管理策略中代价函数(用来求后车的最少能量消耗)为:

$$[0028] \quad J_{opt, cost} = \min \int P_{bat} dt$$

[0029] 采用数值方法求解最优的转矩分配, 将连续变量 P_{bat} 转化为离散变量, 上述代价函数修改为:

$$[0030] \quad J_{opt, cost} = \sum_{k=1}^N P_{bat} * \Delta t$$

[0031] 其中, N 为采样点数, Δt 为采样间隔, P_{bat} 表示后车行驶能量消耗。

[0032] 本发明的有益效果在于: 本发明通过跟车控制与能量优化, 将前后两车保持在一个安全的距离范围的同时, 获得最优的能量管理策略而不影响模型预测控制的实时性运用, 不仅可以缓解交通压力, 还能减少能量消耗。具体如下:

[0033] 1) 通过跟车控制, 可以有效减少交通拥堵;

- [0034] 2) 车辆在行驶过程中,以队列的方式行驶,可以较大程度提高行车安全性;
- [0035] 3) 模型预测控制与凸优化算法的结合,可以为实时运用提供可能性;
- [0036] 4) 凸优化算法可以快速优化功率分配,减少整车能量消耗;
- [0037] 5) 联合算法的控制,可以节约车队在行驶过程中的能量消耗。

附图说明

- [0038] 为了使本发明的目的、技术方案和有益效果更加清楚,本发明提供如下附图进行说明:
- [0039] 图1为跟车控制示意图;
- [0040] 图2为两车车队的跟车协调控制示意图;
- [0041] 图3为联合算法控制图;
- [0042] 图4为本发明中所用电动车构型。

具体实施方式

[0043] 下面将结合附图,对本发明的优选实施例进行详细的描述。

[0044] 本发明的实施可以通过纯电动轿车模型来实现(如图4所示),其中跟车控制结构如图1所示,在保证跟车过程的安全性满足条件下,后车通过距离、速度传感器,获取前车驾驶信息,得到期望输出值,然后通过模型预测控制,在满足动力性、平稳性的条件下,计算出相应的输出值,模型预测控制的输出,作为能量管理控制的输入,经过凸优化算法计算出能量消耗最小的转矩分配率,其具体算法过程如图2所示;图3为图2的优化图,图3所示是整车传动系结构图的传动系效率。

[0045] 本发明的具体步骤如下:

[0046] S1:根据跟着性能要求,建立预测模型。在k时刻的跟车控制时,首先要满足两车距离保持在安全范围内,后车的行驶过程平稳:

$$[0047] \quad x_{k+1} = f(x_k, u_k)$$

$$[0048] \quad d_s \in [d_{s\max}, d_{s\min}];$$

$$[0049] \quad v_c \in [v_{c\min}, v_{c\max}];$$

[0050] 其中 x_{k+1} 为后车在k+1时刻的状态, x_k, u_k 分别为后车在k时刻的状态和控制变量值,即未来时刻车辆的状态为当前时刻状态的函数, d_s 为两车在行驶过程中的距离, v_c 为后车在行驶过程中的速度。本发明汽车的状态仅包含汽车行驶时的速度、位置、输出转矩,不包含车辆横向动力学内容。

[0051] S2:根据S1所建立的预测模型,通过模型预测控制算法,预测车辆未来时刻的速度输出 $v_c(k)$:

[0052] 首先建立模型预测控制算法的代价函数 $J_{mpc, cost}$,控制算法的代价函数要以汽车行驶安全性和平稳性为目标:

$$[0053] \quad J_{mpc, cost} = \min(\alpha_1 d_s + \alpha_2 v'_c)$$

[0054] 其中 α_1, α_2 为权重因子,其值越大,说明对其所对应性能要求越高,如 α_1 值增大,则对两车距离的限制就越严格。然后按照步骤S1中的约束,求出 $v_c(k)$ 。

[0055] S3:根据S2中模型预测控制算法中求出的输出 $v_c(k)$ 与S1中建立的汽车纵向动力

学模型,求出车辆未来时刻的功率需求 $P_{dem}(k)$:

$$[0056] \quad F_t(k) = F_{air}(k) + F_{roll}(k) + F_{slope}(k) + F_a(k)$$

$$[0057] \quad P_{dem}(k) = F_t(k) * v(k)$$

[0058] 其中, $F_t(k)$ 为k时刻汽车的牵引力, $F_{air}(k)$ 为汽车行驶时的空气阻力, $F_{roll}(k)$ 为汽车行驶时的滚动阻力, $F_a(k)$ 为汽车行驶时的加速阻力, $v(k)$ 为k时刻汽车的速度。

[0059] S4:根据S3得出的功率需求,用凸优化算法求解最优的转矩分配,使得两个电机工作在高效率区域,电池输出电量最少,能量管理策略中代价函数的建立为:

$$[0060] \quad J_{opt,cost} = \min \int P_{bat} dt$$

[0061] 本发明采用数值方法来求解S4中的最优解,因此需要将连续变量 P_{bat} 转化为离散变量,所以代价函数修改为:

$$[0062] \quad J_{opt,cost} = \sum_{k=1}^N P_{bat} * \Delta t$$

[0063] 本发明的跟车控制中,基于模型预测算法的跟车控制,如图2所示,具体包含如下步骤:

[0064] S21:通过滚动优化,获得最佳控制变量 $a_c(k)'$, $v_c(k)'$,滚动优化时,要选择合适的预测区间长度,控制长度,预测步数,本发明选择预测区间为1,

[0065] S22:根据S21步骤中滚动优化出的状态值,与期望输出相比较,通过误差反馈修正,修正后的输出 $a_c(k)$, $v_c(k)$ 。其公式如下:

$$[0066] \quad \check{x}(k+1) = x_0(k+1) + a_1 \Delta u(k)$$

$$[0067] \quad e(k+1) = x(k+1) - \check{x}(k+1)$$

[0068] 其中 $\check{x}(k+1)$ 为预测输出量, $x_0(k+1)$ 表示在k时刻控制变量不变的输出量, $a_1 \Delta u(k)$ 控制变量的增加后的输出量, $e(k+1)$ 为误差量, $x(k+1)$ 为实际输出量。

[0069] 最后说明的是,以上优选实施例仅用以说明本发明的技术方案而非限制,尽管通过上述优选实施例已经对本发明进行了详细的描述,但本领域技术人员应当理解,可以在形式上和细节上对其作出各种各样的改变,而不偏离本发明权利要求书所限定的范围。

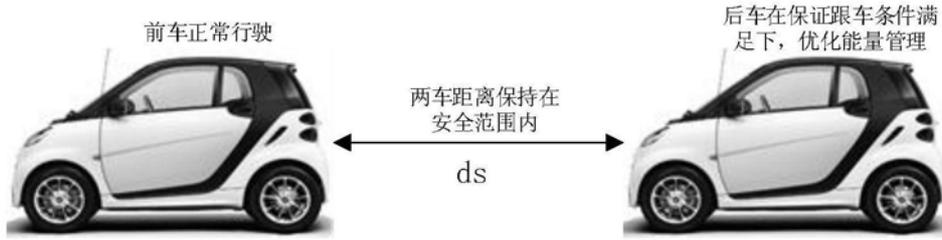


图1

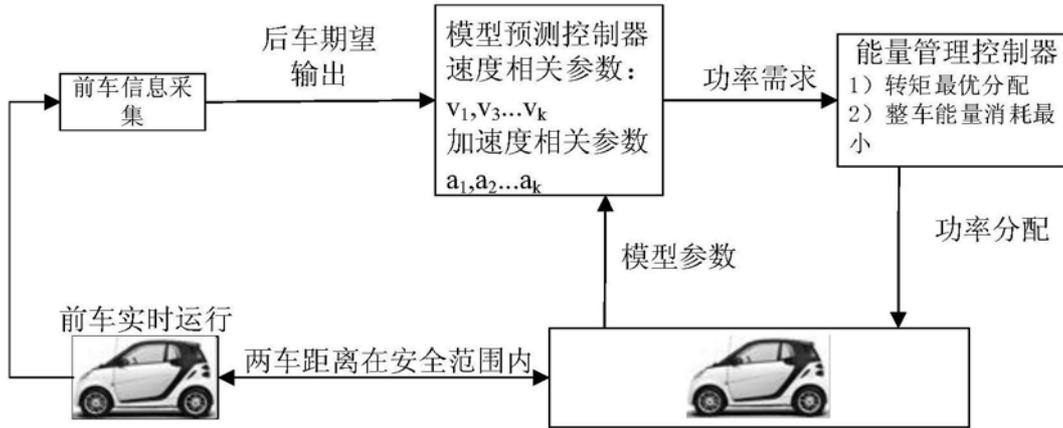


图2

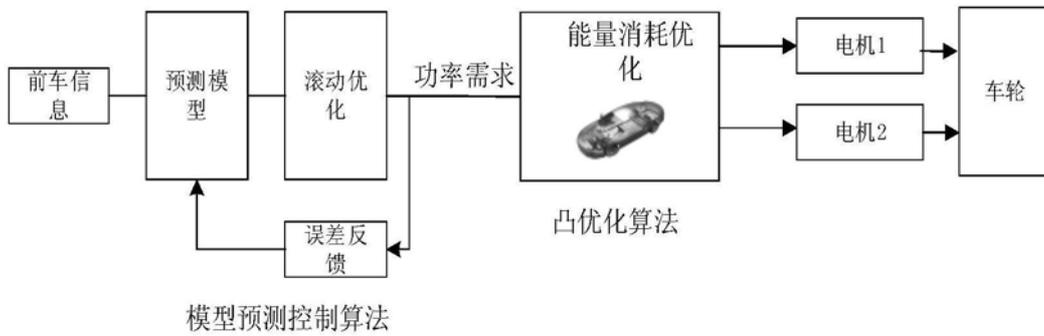


图3

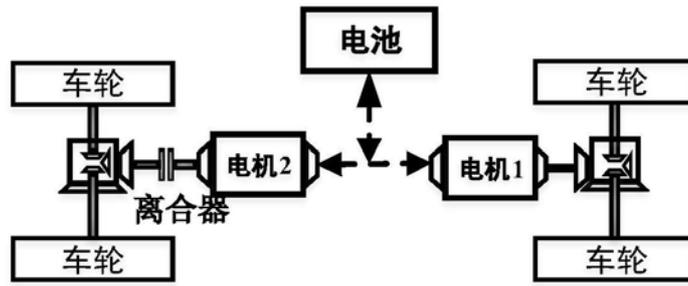


图4