



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 118238564 A

(43) 申请公布日 2024. 06. 25

(21) 申请号 202410387634.0

(22) 申请日 2024.04.01

(71) 申请人 江苏超力电器有限公司

地址 212300 江苏省镇江市丹阳市访仙镇
访高路59号

申请人 江苏大学

(72) 发明人 郭中阳 丁仁凯 汪若尘 蒋业晖
孟祥鹏(74) 专利代理机构 南京创略知识产权代理事务
所(普通合伙) 32358

专利代理师 王丹

(51) Int. Cl.

B60G 17/015 (2006.01)

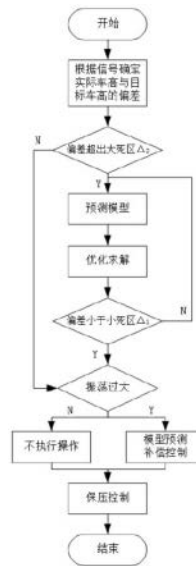
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

一种空气悬架车身高度控制方法

(57) 摘要

本发明公开了一种空气悬架车身高度控制方法,1、获取当前时刻车辆行驶状态参数;2、确定理想控制目标和双控制死区的大小;3、根据偏差大小判断是否超出大控制死区:若超出进入步骤4;若未超出进入步骤7;4、建立预测模型;5、求解理想的悬架系统输入量;6、根据理想的悬架系统输入量并基于小控制死区进行选择反馈校正:若偏差小于小控制死区则进入步骤7;若偏差仍大于小控制死区则返回步骤4;7、判断是否存在偏差在小控制死区内振荡过大的极端现象,若存在则进入步骤8,若不存在则直接进入步骤9;8、输出模型预测补偿控制信号;9、进行保压控制,进行车身高度控制。减少了车身高度的振荡现象,提高了行驶安全性。



1. 一种空气悬架车身高度控制方法,其特征在于,包括如下步骤:

步骤1、获取当前时刻车辆行驶状态参数;

步骤2、根据当前时刻车辆行驶状态参数确定理想控制目标和双控制死区 Δ_1 和 Δ_2 的大小;

步骤3、根据车身高度信号确定实际车身高度与目标车身高度的偏差大小,并判断是否超出大控制死区 Δ_2 :若超出大控制死区 Δ_2 则进入步骤4;若未超出大控制死区 Δ_2 则进入步骤7;

步骤4、将空气悬架模型离散线性化并建立预测模型;

步骤5、以当前时刻车辆行驶状态参数通过预测模型预估未来 N_p 个时间单位对应时刻的车辆行驶状态参数;并根据预测的车辆行驶状态参数建立预测矩阵以优化求解理想的悬架系统输入量;

步骤6、根据理想的悬架系统输入量并基于小控制死区 Δ_1 进行选择反馈校正:根据理想的悬架系统输入量输出各电磁阀控制信号,若实际车身高度与目标车身高度的偏差小于小控制死区 Δ_1 则进入步骤7;若偏差仍大于小控制死区 Δ_1 则返回步骤4,反馈最新输入情况并更新控制系统的车辆行驶状态参数,更新预测模型并进行校正后的预测分析计算与控制;

步骤7、根据实际车身高度与目标车身高度的偏差的大小与变化频率判断是否存在偏差在小控制死区 Δ_1 内振荡过大的极端现象,若存在则进入步骤8,若不存在则直接进入步骤9;

步骤8、输出模型预测补偿控制信号;

步骤9、进行保压控制,输出电磁阀常闭的PWM电磁阀控制信号进行车身高度控制。

2. 根据权利要求1所述的一种空气悬架车身高度控制方法,其特征在于,步骤1中,当前时刻车辆行驶状态参数包括当前时刻车速、四个车轮处的车身高度、各悬架处的四个空气弹簧的气囊气压、车身垂向加速度、车身侧倾角加速度和车身俯仰角加速度。

3. 根据权利要求2所述的一种空气悬架车身高度控制方法,其特征在于,步骤2中,理想控制目标包括目标车身高度、理想车身垂向加速度、理想车身侧倾角和理想车身俯仰角。

4. 根据权利要求3所述的一种空气悬架车身高度控制方法,其特征在于,步骤2中,双控制死区 Δ_1 和 Δ_2 的计算公式如下:

$$\begin{cases} \Delta_1 = av^{-2} + bh_d^3 + c_1 \\ \Delta_2 = mv^{-2} + nh_d^3 + c_2 \\ \Delta_2 > \Delta_1 > 0 \end{cases}$$

式中, v 为当前时刻车速, h_d 为当前时刻的目标车身高度, a, b, m, n 分别为小控制死区的车速增益系数、小控制死区的目标车身高度增益系数、大控制死区的车速增益系数、大控制死区的目标车身高度增益系数, c_1, c_2 分别为小控制死区的补偿因子、大控制死区的补偿因子。

5. 根据权利要求4所述的一种空气悬架车身高度控制方法,其特征在于,步骤4中,预测模型为:

$$x(k+1) = Ax(k) + Bu(k)$$

$$y(k) = Cx(k)$$

式中, $x(k)$ 为当前时刻的悬架系统状态参数, 包括四个车轮处的车身高度、四个空气弹簧气囊气压、车身侧倾角加速度、车身俯仰角加速度, $x(k+1)$ 为未来一个时间单位的预测悬架系统状态参数, $u(k)$ 为当前时刻悬架系统输入量, $y(k)$ 为当前时刻的控制目标, 包括车身高度、车身垂向加速度、车身侧倾角和车身俯仰角, A, B, C 是由车辆属性决定的系数矩阵。

6. 根据权利要求5所述的一种空气悬架车身高度控制方法, 其特征在于, 步骤5中, 根据未来 N_p 个时间单位对应时刻的车辆行驶状态参数预测值建立预测矩阵:

$$Y(k) = \varphi x(k) + \Theta U$$

$$Y(k) = \begin{bmatrix} y(k) \\ y(k+1) \\ y(k+2) \\ \vdots \\ y(k+N_p) \end{bmatrix}, \varphi = \begin{bmatrix} CA \\ CA^2 \\ CA^3 \\ \dots \\ CA^{N_p} \end{bmatrix}, U = \begin{bmatrix} u(k) \\ u(k+1) \\ u(k+2) \\ \dots \\ u(k+N_p-1) \end{bmatrix}$$

$$\Theta = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ CB & 0 & 0 & \dots & 0 \\ CAB & CB & 0 & \dots & 0 \\ CA^2B & CAB & CB & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & 0 \\ CA^{N_p-1}B & CA^{N_p-2}B & CA^{N_p-3}B & \dots & CB \end{bmatrix}$$

式中, $Y(k)$ 为 $y(k)$ 的预测控制目标矩阵, U 为 $u(k)$ 的预测系统输入矩阵, φ 和 Θ 为由 A, B, C 组成的系数矩阵;

通过建立评价指标并根据预测矩阵优化求解理想的悬架系统输入量:

$$\min J = \sum_{i=1}^{N_p} \|y(k+i) - y_{ref}(k+i)\|_Q^2 + \sum_{i=1}^{N_p} \|u(k+i)\|_R^2$$

$$= (Y(k) - Y_{ref}(k))^T Q (Y(k) - Y_{ref}(k)) + U^T R U$$

式中, J 为评价指标, Q 用于表述车辆目标状态包括车身高度、车身垂向加速度、车身侧倾角、车身俯仰角权重分配的权重矩阵, R 用于表述控制输入的充气电磁阀、放气电磁阀和四个开关电磁阀权重分配的权重矩阵, N_p 为预测时间, $y_{ref}(k)$ 为当前时刻理想的控制目标, $Y_{ref}(k)$ 为预测未来情况理想的控制目标, $\|\cdot\|_Q^2$ 为*矩阵的各元素的平方与权重矩阵 Q 对应的权重大小的乘积的和, $\|\cdot\|_R^2$ 为*矩阵的各元素的平方与权重矩阵 R 对应的权重大小的乘积的和, 当 J 取最小值时对应的 $u(k)$ 即为理想的悬架系统输入量。

7. 根据权利要求6所述的一种空气悬架车身高度控制方法, 其特征在于, 步骤8中, 输出模型预测补偿控制是在步骤4-5的基础上考虑迟滞性和时滞性的影响, 根据双控制死区 Δ_1 和 Δ_2 确定比例, 按比例输出原本预测控制的输出值。

一种空气悬架车身高度控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种空气悬架车身高度控制方法。

背景技术

[0002] 随着汽车工业技术的快速发展,对汽车的乘坐舒适性和驾驶安全性的要求越来越高,悬架系统作为最重要的车辆底盘部件之一,它的功能主要是传递作用在车轮和车架之间的力和力矩,使得车辆在通过不平路面时产生的冲击力得到缓解,从而减少引起的振动。

[0003] 传统电控空气悬架都是基于不同车速下实现车身高度和空气弹簧刚度的调节来提高驾乘舒适性和系统稳定性,但是,由于空气悬架在车身高度调节过程中存在较强的滞后性和非线性,空气弹簧易产生过充、过放现象,导致车身高度在目标值附近反复振荡。当进行实时车身高度闭环控制时,为了稳定车身高度,电磁阀会反复切换控制,严重影响电磁阀使用寿命,加剧了振荡现象,降低了系统稳定性,同时也影响了乘坐的舒适性。

发明内容

[0004] 针对上述问题,本发明提供一种空气悬架车身高度控制方法,解决了空气悬架控制方案在闭环控制时,车身高度在目标值附近反复振荡和电磁阀频繁操作的问题,提高了电磁阀的使用寿命,减少了车身高度的振荡现象,提高了行驶安全性。

[0005] 为实现上述技术目的,达到上述技术效果,本发明通过以下技术方案实现:

[0006] 一种空气悬架车身高度控制方法,包括如下步骤:

[0007] 步骤1、获取当前时刻车辆行驶状态参数;

[0008] 步骤2、根据当前时刻车辆行驶状态参数确定理想控制目标和双控制死区 Δ_1 和 Δ_2 的大小;

[0009] 步骤3、根据车身高度信号确定实际车身高度与目标车身高度的偏差大小,并判断是否超出大控制死区 Δ_2 :若超出大控制死区 Δ_2 则进入步骤4;若未超出大控制死区 Δ_2 则进入步骤7;

[0010] 步骤4、将空气悬架模型离散线性化并建立预测模型;

[0011] 步骤5、以当前时刻车辆行驶状态参数通过预测模型预估未来 N_p 个时间单位对应时刻的车辆行驶状态参数;并根据预测的车辆行驶状态参数建立预测矩阵以优化求解理想的悬架系统输入量;

[0012] 步骤6、根据理想的悬架系统输入量并基于小控制死区 Δ_1 进行选择反馈校正:根据理想的悬架系统输入量输出各电磁阀控制信号,若实际车身高度与目标车身高度的偏差小于小控制死区 Δ_1 则进入步骤7;若偏差仍大于小控制死区 Δ_1 则返回步骤4,反馈最新输入情况并更新控制系统的车辆行驶状态参数,更新预测模型并进行校正后的预测分析与控制;

[0013] 步骤7、根据实际车身高度与目标车身高度的偏差的大小与变化频率判断是否存在偏差在小控制死区 Δ_1 内振荡过大的极端现象,若存在则进入步骤8,若不存在则直接进

入步骤9;

[0014] 步骤8、输出模型预测补偿控制信号;

[0015] 步骤9、进行保压控制,输出电磁阀常闭的PWM电磁阀控制信号进行车身高度控制。

[0016] 优选,步骤1中,当前时刻车辆行驶状态参数包括当前时刻车速、四个车轮处的车身高度、各悬架处的四个空气弹簧的气囊气压、车身垂向加速度、车身侧倾角加速度和车身俯仰角加速度。

[0017] 优选,步骤2中,理想控制目标包括目标车身高度、理想车身垂向加速度、理想车身侧倾角和理想车身俯仰角。

[0018] 优选,步骤2中,双控制死区 Δ_1 和 Δ_2 的计算公式如下:

$$[0019] \quad \begin{cases} \Delta_1 = av^{-2} + bh_d^3 + c_1 \\ \Delta_2 = mv^{-2} + nh_d^3 + c_2 \\ \Delta_2 > \Delta_1 > 0 \end{cases}$$

[0020] 式中, v 为当前时刻车速, h_d 为当前时刻的目标车身高度, a, b, m, n 分别为小控制死区的车速增益系数、小控制死区的目标车身高度增益系数、大控制死区的车速增益系数、大控制死区的目标车身高度增益系数, c_1, c_2 分别为小控制死区的补偿因子、大控制死区的补偿因子。

[0021] 优选,步骤4中,预测模型为:

$$[0022] \quad x(k+1) = Ax(k) + Bu(k)$$

$$[0023] \quad y(k) = Cx(k)$$

[0024] 式中, $x(k)$ 为当前时刻的悬架系统状态参数,包括四个车轮处的车身高度、四个空气弹簧气囊气压、车身侧倾角加速度、车身俯仰角加速度, $x(k+1)$ 为未来一个时间单位的预测悬架系统状态参数, $u(k)$ 为当前时刻悬架系统输入量, $y(k)$ 为当前时刻的控制目标,包括车身高度、车身垂向加速度、车身侧倾角和车身俯仰角, A, B, C 是由车辆属性决定的系数矩阵。

[0025] 优选,步骤5中,根据未来 N_p 个时间单位对应时刻的车辆行驶状态参数预测值建立预测矩阵:

$$[0026] \quad Y(k) = \varphi x(k) + \Theta U$$

$$[0027] \quad Y(k) = \begin{bmatrix} y(k) \\ y(k+1) \\ y(k+2) \\ \vdots \\ y(k+N_p) \end{bmatrix}, \varphi = \begin{bmatrix} CA \\ CA^2 \\ CA^3 \\ \dots \\ CA^{N_p} \end{bmatrix}, U = \begin{bmatrix} u(k) \\ u(k+1) \\ u(k+2) \\ \dots \\ u(k+N_p-1) \end{bmatrix}$$

$$[0028] \quad \Theta = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ CB & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ CAB & CB & 0 & \cdots & 0 \\ CA^2B & CAB & CB & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ CA^{N_p-1}B & CA^{N_p-2}B & CA^{N_p-3}B & \cdots & CB \end{bmatrix}$$

[0029] 式中, $Y(k)$ 为 $y(k)$ 的预测控制目标矩阵, U 为 $u(k)$ 的预测系统输入矩阵, φ 和 Θ 为由 A, B, C 组成的系数矩阵;

[0030] 通过建立评价指标并根据预测矩阵优化求解理想的悬架系统输入量:

$$[0031] \quad \min J = \sum_{i=1}^{N_p} \|y(k+i) - y_{ref}(k+i)\|_Q^2 + \sum_{i=1}^{N_p} \|u(k+i)\|_R^2$$

$$= (Y(k) - Y_{ref}(k))^T Q (Y(k) - Y_{ref}(k)) + U^T R U$$

[0032] 式中, J 为评价指标, Q 用于表述车辆目标状态包括车身高度、车身垂向加速度、车身侧倾角、车身俯仰角权重分配的权重矩阵, R 用于表述控制输入的充气电磁阀、放气电磁阀和四个开关电磁阀权重分配的权重矩阵, N_p 为预测时间, $y_{ref}(k)$ 为当前时刻理想的控制目标, $Y_{ref}(k)$ 为预测未来情况理想的控制目标, $\|\cdot\|_Q^2$ 为*矩阵的各元素的平方与权重矩阵 Q 对应的权重大小的乘积的和, $\|\cdot\|_R^2$ 为*矩阵的各元素的平方权重矩阵 R 对应的权重大小的乘积的和, 当 J 取最小值时对应的 $u(k)$ 即为理想的悬架系统输入量。

[0033] 优选, 步骤8中, 输出模型预测补偿控制是在步骤4-5的基础上考虑迟滞性和时滞性的影响, 根据双控制死区 Δ_1 和 Δ_2 确定比例, 按比例输出原本预测控制的输出值。

[0034] 本发明的有益效果是:

[0035] 本发明通过合理的双死区控制函数限定双控制死区并结合模型预测算法, 实现对车身高度的控制, 一方面通过双死区实现模式切换的功能, 减少单一模型预测方法计算量大、反应慢的问题, 实现减少控制器计算量以提高计算速度, 另一方面通过双死区函数设计结合模型预测控制, 在实现有效调节车身高度的基础上, 减少电磁阀反复启闭问题, 提高电磁阀的使用寿命, 减少车身高度的振荡现象, 提高行驶安全性。

附图说明

[0036] 图1是本发明一种空气悬架车身高度控制方法的总流程示意图;

[0037] 图2是本发明基于双控制死区的空气悬架模型预测车身高度控制方法的流程图。

具体实施方式

[0038] 下面结合附图和具体的实施例对本发明技术方案作进一步的详细描述, 以使本领域的技术人员可以更好的理解本发明并能予以实施, 但所举实施例不作为对本发明的限定。

[0039] 一种空气悬架车身高度控制方法, 如图1和图2所示, 包括如下步骤:

[0040] 步骤1、获取当前时刻车辆行驶状态参数:

[0041] 当前时刻车辆行驶状态参数可以通过传感器采集,包括当前时刻车速(可以通过车速传感器采集)、四个车轮处的车身高度(可以通过四个车身高度传感器分别采集)、各悬架处的四个空气弹簧的气囊气压(可以通过四个气压传感器分别采集)、车身垂向加速度、车身侧倾角加速度和车身俯仰角加速度,其中,四个空气弹簧在各个车轮与车身之间,代替原本悬架中螺旋弹簧的位置。另外,可以通过三轴式加速度传感器采集质心处的车身垂向加速度、车身侧倾角加速度和车身俯仰角加速度等在内的车身姿态信号。

[0042] 步骤2、根据当前时刻车辆行驶状态参数确定理想控制目标和双控制死区 Δ_1 和 Δ_2 的大小。

[0043] 其中,理想控制目标包括目标车身高度、理想车身垂向加速度、理想车身侧倾角和理想车身俯仰角,对采集的角加速度进行计算和转换获得控制目标(各对应角度)。

[0044] 本发明利用小死区 Δ_1 的设置减小静态误差,利用大死区 Δ_2 的设置减少外扰导致的控制频繁振荡切换现象,双控制死区 Δ_1 和 Δ_2 的计算公式如下:

$$[0045] \quad \begin{cases} \Delta_1 = av^{-2} + bh_d^3 + c_1 \\ \Delta_2 = mv^{-2} + nh_d^3 + c_2 \\ \Delta_2 > \Delta_1 > 0 \end{cases}$$

[0046] 式中, v 为当前时刻车速, h_d 为当前时刻的目标车身高度, a, b, m, n 分别为小控制死区的车速增益系数、小控制死区的目标车身高度增益系数、大控制死区的车速增益系数、大控制死区的目标车身高度增益系数(可以根据实车实验确定,) c_1, c_2 分别为小控制死区的补偿因子、大控制死区的补偿因子,微调双控制区避免出现大小冲突的极端情况。

[0047] 本发明的空气悬架车身高度控制以车身高度信号、空气弹簧气囊气压信号、车身侧倾角加速度信号、车身俯仰角加速度信号为控制信号输入,基于双控制死区的模型预测空气悬架车身高度控制策略,输出PWM电磁阀控制信号。

[0048] 步骤3、根据车身高度信号确定实际车身高度与目标车身高度的偏差大小,并判断是否超出大控制死区 Δ_2 :若超出大控制死区 Δ_2 则进入步骤4;若未超出大控制死区 Δ_2 则进入步骤7。

[0049] 步骤4、将空气悬架模型离散线性化并建立预测模型,具体的:预测模型为:

$$[0050] \quad x(k+1) = Ax(k) + Bu(k)$$

$$[0051] \quad y(k) = Cx(k)$$

[0052] 式中, $x(k)$ 为当前时刻的悬架系统状态参数,包括四个车轮处的车身高度、四个空气弹簧气囊气压、车身侧倾角加速度、车身俯仰角加速度, $x(k+1)$ 为未来一个时间单位的预测悬架系统状态参数, $u(k)$ 为当前时刻悬架系统输入量(即对空气电磁阀的控制操作导致的空气弹簧气囊气压变化量), $y(k)$ 为当前时刻的控制目标,包括车身高度、车身垂向加速度、车身侧倾角和车身俯仰角, A, B, C 是由车辆属性决定的系数矩阵,车辆属性包括车身质量、车轮质量、车轮刚度、减振器阻尼等参数。

[0053] 需说明的是:当前时刻的控制目标是控制内容当前的大小,理想的控制目标是控制内容的理想的大小。

[0054] 步骤5、以当前时刻车辆行驶状态参数通过预测模型预估未来 N_p 个时间单位对应时刻的车辆行驶状态参数,并根据预测的车辆行驶状态参数建立预测矩阵以优化求解理想

的悬架系统输入量,具体的:

[0055] 根据未来 N_p 个时间单位对应时刻的车辆行驶状态参数预测值建立预测矩阵:

[0056] $Y(k) = \varphi x(k) + \Theta U$

[0057] $Y(k) = \begin{bmatrix} y(k) \\ y(k+1) \\ y(k+2) \\ \vdots \\ y(k+N_p) \end{bmatrix}, \varphi = \begin{bmatrix} CA \\ CA^2 \\ CA^3 \\ \dots \\ CA^{N_p} \end{bmatrix}, U = \begin{bmatrix} u(k) \\ u(k+1) \\ u(k+2) \\ \dots \\ u(k+N_p-1) \end{bmatrix}$

[0058] $\Theta = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ CB & 0 & 0 & \dots & 0 \\ CAB & CB & 0 & \dots & 0 \\ CA^2B & CAB & CB & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & 0 \\ CA^{N_p-1}B & CA^{N_p-2}B & CA^{N_p-3}B & \dots & CB \end{bmatrix}$

[0059] 式中, $Y(k)$ 为 $y(k)$ 的预测控制目标矩阵, U 为 $u(k)$ 的预测系统输入矩阵, φ 和 Θ 为由 A, B, C 组成的系数矩阵;

[0060] 通过建立评价指标并根据预测矩阵优化求解理想的悬架系统输入量:

[0061]
$$\min J = \sum_{i=1}^{N_p} \|y(k+i) - y_{ref}(k+i)\|_Q^2 + \sum_{i=1}^{N_p} \|u(k+i)\|_R^2$$

$$= (Y(k) - Y_{ref}(k))^T Q (Y(k) - Y_{ref}(k)) + U^T R U$$

[0062] 式中, J 为评价指标, Q 用于表述车辆目标状态包括车身高、车身垂向加速度、车身侧倾角、车身俯仰角权重分配的权重矩阵, R 用于表述控制输入的充气电磁阀、放气电磁阀和四个开关电磁阀权重分配的权重矩阵, N_p 为预测时间, $y_{ref}(k)$ 为当前时刻理想的控制目标, $Y_{ref}(k)$ 为预测未来情况理想的控制目标, $\|*\|_Q^2$ 为*矩阵的各元素的平方与权重矩阵 Q 对应的权重大小的乘积的和, $\|*\|_R^2$ 为*矩阵的各元素的平方与权重矩阵 R 对应的权重大小的乘积的和,当 J 取最小值时对应的 $u(k)$ 即为理想的悬架系统输入量。

[0063] 步骤6、根据理想的悬架系统输入量并基于小控制死区 Δ_1 进行选择反馈校正:根据理想的悬架系统输入量输出各电磁阀控制信号,若实际车身高与目标车身高度的偏差小于小控制死区 Δ_1 则进入步骤7;若偏差仍大于小控制死区 Δ_1 则返回步骤4,反馈最新输入情况并更新控制系统的车辆行驶状态参数,更新预测模型并进行校正后的预测分析计算与控制。

[0064] 步骤7、根据实际车身高与目标车身高度的偏差的大小与变化频率判断是否存在偏差在小控制死区 Δ_1 内振荡过大的极端现象,若存在则进入步骤8,若不存在则直接进入步骤9。

[0065] 步骤8、输出模型预测补偿控制信号,比如,输出模型预测补偿控制是在步骤4-5的基础上考虑迟滞性和时滞性的影响,根据双控制死区 Δ_1 和 Δ_2 确定比例,按比例输出原本预

测控制的输出值。

[0066] 步骤9、进行保压控制,输出电磁阀常闭的PWM电磁阀控制信号进行车身高度控制。

[0067] 一般的,执行器为连接四个空气弹簧的四个开关电磁阀、连接高压气源的充气电磁阀和连接低压气源的放气电磁阀:

[0068] 当控制器输出放气控制信号时,空气弹簧的开关电磁阀打开,放气电磁阀打开,充气电磁阀关闭,空气弹簧气囊与低压气源连接,空气弹簧气囊气压降低,空气弹簧高度降低;

[0069] 当控制器输出充气控制信号时,空气弹簧的开关电磁阀打开,放气电磁阀关闭,充气电磁阀打开,空气弹簧气囊与高压气源连接,空气弹簧气囊气压增强,空气弹簧车身高度提高;

[0070] 当控制器输出保压控制信号时,空气弹簧的开关电磁阀关闭,放气电磁阀关闭,充气电磁阀关闭,空气弹簧气囊气压基本不变。

[0071] 本发明的预测模型是一种基于模型的多目标二次优化算法,利用单位采样时刻的采样值、离散化模型,变形迭代出的预测方程,将预测方程与理想控制目标做二次规划,此时计算出满足约束条件的最优控制输出值。基于双控制死区的预测模型在原有模型预测控制的基础上,以初始的大控制死区 Δ_2 为先决条件根据当前包括车速在内的车辆行驶状态参数确定并更新参考轨迹即理想控制目标和双控制死区大小;基于小控制死区 Δ_1 进行反馈校正,即结合双控制区的小控制区 Δ_1 的大小对预测模型和优化计算部分进行选择反馈与校正;并在可能出现在控制区小范围的反复高频波动的极端现象进行了基于双控制死区的补偿控制。

[0072] 以匀速工况为例,车速传感器采集车速信号,控制器根据当前车速信号确定当前车速和目标车身高度,并确定当前双控制死区的大小范围,四个车身高度传感器、四个空气悬架气囊气压传感器和三轴式加速度传感器的输出组成当前的系统状态参数。当车身高度偏差超出当前的大控制死区时,控制器将进行模型预测控制,根据需求控制各电磁阀进行充气或放气操作,直至偏差减小到小控制死区内,转换到保压状态,输出各电磁阀常闭控制信号;而当偏差从小控制死区增大到大控制死区内部且并未超出大控制死区时保持各电磁阀常闭,直至超出大死区进行控制或者重新进入小死区。当出现车身高度在控制死区内反复高频波动的极端状况时,将进行模型预测补偿控制以减少振动。而当车速增加时,根据车速传感器采集的车速信号,控制器更新当前车速并减低目标车身高度以适应车速的增加,并增大双控制死区的大小范围,后续控制流程不变,提高对悬架扰动的容忍度以减小对电磁阀操作频率,降低频繁操作带来的车身高度振荡问题,提高操作稳定性和行驶安全性。车速降低时则以提高乘坐舒适性为主要目标,控制流程同理。

[0073] 以上仅为本发明的优选实施例,并非因此限制本发明的专利范围,凡是利用本发明说明书及附图内容所作的等效结构或者等效流程变换,或者直接或间接运用在其他相关的技术领域,均同理包括在本发明的专利保护范围内。

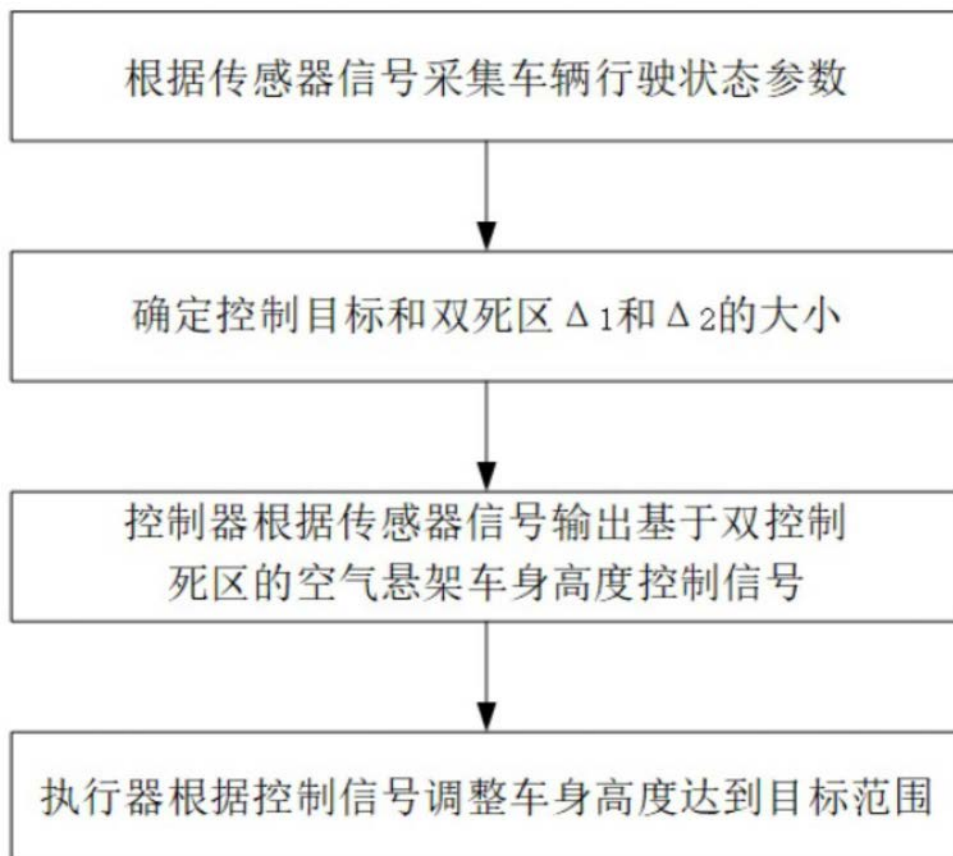


图1

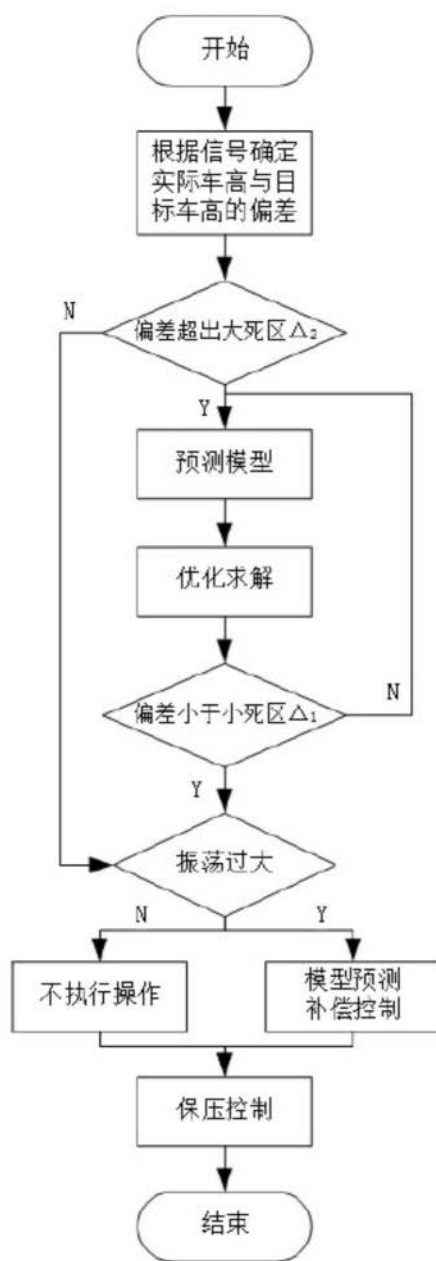


图2