



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104442450 B

(45)授权公告日 2018.12.21

(21)申请号 201410783813.2

(22)申请日 2014.12.16

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 104442450 A

(43)申请公布日 2015.03.25

(73)专利权人 中国科学院深圳先进技术研究院  
地址 518055 广东省深圳市南山区西丽大学  
学城学苑大道1068号

(72)发明人 徐国卿 徐坤

(74)专利代理机构 北京三聚阳光知识产权代理  
有限公司 11250

代理人 李敏

(51)Int.Cl.

B60L 15/20(2006.01)

B60T 8/175(2006.01)

(56)对比文件

CN 1778597 A,2006.05.31,  
CN 103879305 A,2014.06.25,  
CN 1681680 A,2005.10.12,

赵亚超等.四轮驱动电动轮车驱动防滑控制  
算法的研究.《北京汽车》.2014,(第2期),第8页  
第1节到第11页第2.2节.

Shin-ichiroSakai.etc.Motion Control  
in an Electric Vehicle with Four.《IEEE/  
ASME TRANSACTIONS ON MECHATRONICS》.1999,  
第4卷(第1期),第10页第2栏第2段-第16页第1栏  
第1段及附图10-16.

靳立强等.电动轮驱动汽车的最佳车轮滑移  
率实时识别.《吉林大学学报(工学版)》  
.2010,第40卷(第4期),第890页第1段-第891页  
第9段及附图1-3.

审查员 邓瑞

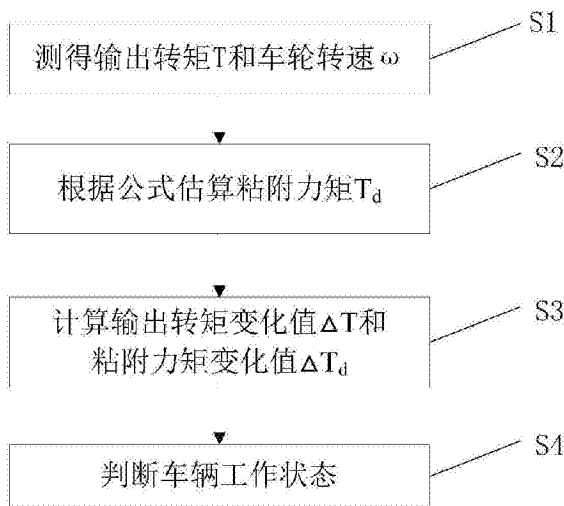
权利要求书2页 说明书11页 附图3页

(54)发明名称

一种判断牵引状态下的车辆工作状态的方法  
和系统

(57)摘要

本发明涉及一种判断牵引状态下的车辆工  
作状态的方法和系统,该方法包括:测量车辆电  
机的输出转矩T和车轮转速 $\omega$ ;估算粘附力矩 $T_d$ ;  
计算输出转矩变化值 $\Delta T$ 、粘附力矩变化值 $\Delta T_d$ ;  
根据输出转矩变化值 $\Delta T$ 和粘附力矩变化值 $\Delta T_d$   
判定车辆工作状态。本发明只需要测量车辆电机  
输向车轮的输出转矩及车轮转速信息即可判断  
牵引状态下的车辆工作状态,判定过程简单可  
靠,并且该方法的输出参数可以用于车辆打滑控  
制过程。此外,所需传感器少、实施成本低、可靠  
性也高。



1. 一种判断牵引状态下的车辆工作状态的方法,其特征在于,包括:

测量车辆电机的输出转矩 $T$ 和车轮转速 $\omega$ ;

估算粘附力矩 $T_d$ ;

计算输出转矩变化值 $\Delta T$ 和粘附力矩变化值 $\Delta T_d$ ;

根据所述输出转矩变化值 $\Delta T$ 和所述粘附力矩变化值 $\Delta T_d$ 判断牵引状态下的车辆工作状态;

所述根据所述输出转矩变化值 $\Delta T$ 和所述粘附力矩变化值 $\Delta T_d$ 判断牵引状态下的车辆工作状态,包括:

当所述输出转矩变化值 $\Delta T > 0$ 且所述粘附力矩变化值 $\Delta T_d > 0$ 时,或当所述输出转矩变化值 $\Delta T < 0$ 且所述粘附力矩变化值 $\Delta T_d < 0$ 时,或当所述输出转矩变化值 $\Delta T = 0$ 且所述粘附力矩变化值 $\Delta T_d \geq 0$ 时,判定牵引状态下的车辆处于稳定工作状态;

当所述输出转矩变化值 $\Delta T > 0$ 且所述粘附力矩变化值 $\Delta T_d < 0$ 时,或当所述输出转矩变化值 $\Delta T < 0$ 且所述粘附力矩变化值 $\Delta T_d > 0$ 时,或当所述输出转矩变化值 $\Delta T = 0$ 且所述粘附力矩变化值 $\Delta T_d < 0$ 时,判定牵引状态下的车辆处于非稳定工作状态。

2. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,在所述测量车辆电机的输出转矩 $T$ 和车轮转速 $\omega$ 的步骤之前还包括:

初始化车辆的惯性常量 $J$ ,所述惯性常量 $J$ 与车的参数相关。

3. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,在所述估算粘附力矩 $T_d$ 的步骤之前还包括:

对所述车轮转速 $\omega$ 进行滤波处理。

4. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,所述输出转矩 $T$ 通过测量电机的输入电流获得,在恒流状态下,所述输出转矩 $T$ 等于转矩常数和电机输入电流之积。

5. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,所述粘附力矩 $T_d$ 是根据公式 $\hat{T}_d = (T - J \dot{\omega})$ 估算所得,其中 $\dot{\omega}$ 是对所述车轮转速 $\omega$ 的导数。

6. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,所述根据所述输出转矩变化值 $\Delta T$ 和所述粘附力矩变化值 $\Delta T_d$ 判断牵引状态下的车辆工作状态,包括:

在 $\Delta T \neq 0$ 的情况下,

当 $\frac{\Delta T_d(k)}{\Delta T(k)} < 0$ 且 $\frac{\Delta T_d(k-1)}{\Delta T(k-1)} > 0$ 时,判定车辆处于即将从稳定工作状态转换为非稳定工

作状态的临界转换状态;

当 $\frac{\Delta T_d(k)}{\Delta T(k)} > 0$ 且 $\frac{\Delta T_d(k-1)}{\Delta T(k-1)} > 0$ 时,判定车辆处于稳定工作状态;

当 $\frac{\Delta T_d(k)}{\Delta T(k)} < 0$ 且 $\frac{\Delta T_d(k-1)}{\Delta T(k-1)} < 0$ 时,判定车辆处于非稳定工作状态;

当 $\frac{\Delta T_d(k)}{\Delta T(k)} > 0$ 且 $\frac{\Delta T_d(k-1)}{\Delta T(k-1)} < 0$ 时,判定车辆处于即将从非稳定工作状态进入稳定工

作状态的临界转换点;

在 $\Delta T = 0$ 的情况下,

当 $\Delta T_a < 0$ 时,判定车辆处于不稳定工作状态;

当 $\Delta T_a \geq 0$ 时,判定车辆处于稳定工作状态;

其中, $\Delta T(k)$ 是当前计算所得的输出转矩变化值, $\Delta T(k-1)$ 是上次计算所得的输出转矩变化值, $\Delta T_a(k)$ 是当前计算所得的粘附力矩变化值, $\Delta T_a(k-1)$ 是上次计算所得的粘附力矩变化值。

7.如权利要求1-6中任一项所述的方法,其特征在于,所述根据所述输出转矩变化值 $\Delta T$ 和所述粘附力矩变化值 $\Delta T_a$ 判断牵引状态下的车辆工作状态的步骤之后还包括:根据所判定的车辆工作状态实时决定是否对所述输出转矩 $T$ 实施限幅控制。

8.如权利要求7所述的方法,其特征在于,所述根据所判定的车辆工作状态实时决定是否对所述输出转矩 $T$ 实施限幅控制包括:

当判定车辆处于非稳定工作状态时,则对所述输出转矩 $T$ 实施限幅控制;

当判定车辆处于稳定工作状态,则不对所述输出转矩 $T$ 实施限幅控制。

9.一种判断牵引状态下的车辆工作状态的系统,其特征在于,包括:

测量模块,用于测量车辆电机的输出转矩 $T$ 和车轮转速 $\omega$ ;

估算模块,用于估算粘附力矩 $T_a$ ;

计算模块,用于计算输出转矩变化值 $\Delta T$ 和粘附力矩变化值 $\Delta T_a$ ;

判定模块,用于根据所述输出转矩变化值 $\Delta T$ 和所述粘附力矩变化值 $\Delta T_a$ 判断牵引状态下的车辆工作状态;

所述根据所述输出转矩变化值 $\Delta T$ 和所述粘附力矩变化值 $\Delta T_a$ 判断牵引状态下的车辆工作状态,包括:

当所述输出转矩变化值 $\Delta T > 0$ 且所述粘附力矩变化值 $\Delta T_a > 0$ 时,或当所述输出转矩变化值 $\Delta T < 0$ 且所述粘附力矩变化值 $\Delta T_a < 0$ 时,或当所述输出转矩变化值 $\Delta T = 0$ 且所述粘附力矩变化值 $\Delta T_a \geq 0$ 时,判定牵引状态下的车辆处于稳定工作状态;

当所述输出转矩变化值 $\Delta T > 0$ 且所述粘附力矩变化值 $\Delta T_a < 0$ 时,或当所述输出转矩变化值 $\Delta T < 0$ 且所述粘附力矩变化值 $\Delta T_a > 0$ 时,或当所述输出转矩变化值 $\Delta T = 0$ 且所述粘附力矩变化值 $\Delta T_a < 0$ 时,判定牵引状态下的车辆处于非稳定工作状态。

10.如权利要求9所述的系统,其特征在于,还包括:

初始化模块,用于获取车辆的惯性常量 $J$ ,所述惯性常量 $J$ 与车的参数相关;和/或

滤波模块,用于对测量所得的所述车轮转速 $\omega$ 进行滤波处理;和/或

限幅模块,用于在牵引状态下的车辆处于非稳定工作状态时对所述输出转矩 $T$ 实施限幅控制。

## 一种判断牵引状态下的车辆工作状态的方法和系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及车辆工作状态检测技术领域,具体涉及一种判断牵引状态下的车辆工作状态的方法和系统。

### 背景技术

[0002] 在车辆牵引运行或制动控制过程中,当动力系统传递给轮胎的驱动力或制动力超过轮胎与路面的粘附力临界值(车辆对地面的最大静摩擦力)时,车辆的轮胎会发空转现象,这种现象就是车辆非稳定工作状态(车辆打滑状态)。一旦车辆出现打滑现象,车辆与地面的最大静摩擦力临界值会变低,汽车受到的地面动摩擦阻力将会下降,路面对车辆的反作用力急剧降低,引起轮胎打滑的临界驱动力降低。无论是汽车牵引运行过程中还是制动控制过程中,当汽车处于打滑的非稳定工作状态时,会严重破坏汽车驾驶的安全性和可控性。保证车辆车轮在不同地面情况下处于稳定工作状态对车辆具有非常重要的意义。

[0003] 传统的车辆稳定性判断主要基于当前滑移率的识别与最优滑移率的判断,目前有许多研究者就滑移率 $\lambda$ 进行了大量的研究,研究成果大致可以分为两类:一类是直接通过车辆底盘速度(车辆实际行驶速度)和车轮的转速(车轮线性速度)的关系获得滑移率 $\lambda$ ,通过滑移率和摩擦系数变化判断车辆的稳定性。由滑移率公式可知,车辆的滑移率 $\lambda$ 与车轮转速和车辆底盘速度之差有非线性关系。因此直接获得车辆的滑移率参数必须准确获得车轮的转速和底盘速度。对于车辆底盘速度,尽管目前有许多测量方法,但是传感器对环境的敏感度、高成本和测量精度的限制制约了实际应用,同时汽车振动对测量结果也会有较大影响。第二类称为状态观测器法,通过车轮运动方程获得车轮转速与滑移率 $\lambda$ 的关系,估计当前滑移率、判断当前轮胎、路面条件下的最优滑移率,进而判断车辆工作状态,这种方法避开了车速这个参数,但是该方法在车辆低速状态时的精确度较差,实用性不高。而且,最优滑移率在不同的轮胎、路面接触条件下不同,难以实时判断,在实际应用中的局限性非常大,实际应用效果不好。

### 发明内容

[0004] 为此,本发明所要解决的技术问题在于,目前常见的车辆工作状态检测方法存在车辆实际行驶速度无法精确测量、或低速状态时判断效果不好且最优滑移率难以实时判断的技术问题。从而提出一种只需要测量车辆电机的输出转矩和车轮转速就能够准确识别牵引状态下的车辆处于稳定工作状态或者是非稳定工作状态的判断方法。

[0005] 为解决上述技术问题,本发明提供如下技术方案:

[0006] 一种判断牵引状态下的车辆工作状态的方法,包括:

[0007] 测量车辆电机的输出转矩 $T$ 和车轮转速 $\omega$ ;

[0008] 估算粘附力矩 $T_a$ ;

[0009] 计算输出转矩变化值 $\Delta T$ 和粘附力矩变化值 $\Delta T_a$ ;

[0010] 根据输出转矩变化值 $\Delta T$ 和粘附力矩变化值 $\Delta T_a$ 判断牵引状态下的车辆工作状

态。

[0011] 作为优化,在测量车辆电机的输出转矩 $T$ 和车轮转速 $\omega$ 之前还包括:

[0012] 初始化车辆的惯性常量 $J$ ,惯性常量 $J$ 与车的参数相关。

[0013] 作为优化,在估算粘附力矩 $T_d$ 之前还包括:

[0014] 对车轮转速 $\omega$ 进行滤波处理。

[0015] 作为优化,输出转矩 $T$ 通过测量电机的输入电流获得,在恒流状态下,输出转矩 $T$ 等于转矩常数和电机输入电流之积。

[0016] 作为优化,粘附力矩 $T_d$ 是根据公式 $\hat{T}_d = (T - J\dot{\omega})$ 估算所得,其中 $\dot{\omega}$ 是对车轮转速 $\omega$ 的导数。

[0017] 作为优化,根据输出转矩变化值 $\Delta T$ 和粘附力矩变化值 $\Delta T_d$ 判断牵引状态下的车辆工作状态,包括:

[0018] 当输出转矩变化值 $\Delta T > 0$ 且粘附力矩变化值 $\Delta T_d > 0$ 时,或当输出转矩变化值 $\Delta T < 0$ 且粘附力矩变化值 $\Delta T_d < 0$ 时,或当输出转矩变化值 $\Delta T = 0$ 且粘附力矩变化值 $\Delta T_d \geq 0$ 时,判定牵引状态下的车辆处于稳定工作状态;

[0019] 当输出转矩变化值 $\Delta T > 0$ 且粘附力矩变化值 $\Delta T_d < 0$ 时,或当输出转矩变化值 $\Delta T < 0$ 且粘附力矩变化值 $\Delta T_d > 0$ 时,或当输出转矩变化值 $\Delta T = 0$ 且粘附力矩变化值 $\Delta T_d < 0$ 时,判定牵引状态的车辆处于非稳定工作状态。

[0020] 作为优化,根据输出转矩变化值 $\Delta T$ 和粘附力矩变化值 $\Delta T_d$ 判断牵引状态下的车辆工作状态,包括:

[0021] 在 $\Delta T \neq 0$ 的情况下,

[0022] 当 $\frac{\Delta T_d(k)}{\Delta T(k)} < 0$ 且 $\frac{\Delta T_d(k-1)}{\Delta T(k-1)} > 0$ 时,判定车辆处于即将从稳定工作状态转换为非稳定工作状态的临界转换状态;

[0023] 当 $\frac{\Delta T_d(k)}{\Delta T(k)} > 0$ 且 $\frac{\Delta T_d(k-1)}{\Delta T(k-1)} > 0$ 时,判定车辆处于稳定工作状态;

[0024] 当 $\frac{\Delta T_d(k)}{\Delta T(k)} < 0$ 且 $\frac{\Delta T_d(k-1)}{\Delta T(k-1)} < 0$ 时,判定车辆处于非稳定工作状态;

[0025] 当 $\frac{\Delta T_d(k)}{\Delta T(k)} > 0$ 且 $\frac{\Delta T_d(k-1)}{\Delta T(k-1)} < 0$ 时,判定车辆处于即将从非稳定工作状态进入稳定工作状态的临界转换点;

[0026] 在 $\Delta T = 0$ 的情况下,

[0027] 当 $\Delta T_d < 0$ 时,判定车辆处于不稳定工作状态;

[0028] 当 $\Delta T_d \geq 0$ 时,判定车辆处于稳定工作状态;

[0029] 其中, $\Delta T(k)$ 是当前计算所得的输出转矩变化值, $\Delta T(k-1)$ 是上次计算所得的输出转矩变化值, $\Delta T_d(k)$ 是当前计算所得的粘附力矩变化值, $\Delta T_d(k-1)$ 是上次计算所得的粘附力矩变化值。

[0030] 作为优化,根据输出转矩变化值 $\Delta T$ 和粘附力矩变化值 $\Delta T_d$ 判断牵引状态下的车

辆工作状态的步骤之后还包括：根据所判定的车辆工作状态实时决定是否对输出转矩 $T$ 实施限幅控制。

[0031] 作为优化,根据所判定的车辆工作状态实时决定是否对输出转矩 $T$ 实施限幅控制包括:

[0032] 当判定车辆处于非稳定工作状态时,则对输出转矩 $T$ 实施限幅控制;

[0033] 当判定车辆处于稳定工作状态,则不对输出转矩 $T$ 实施限幅控制。

[0034] 一种判断牵引状态下的车辆工作状态的系统,包括:

[0035] 测量模块,用于测量车辆电机的输出转矩 $T$ 和车轮转速 $\omega$ ;

[0036] 估算模块,用于估算粘附力矩 $T_a$ ;

[0037] 计算模块,用于计算输出转矩变化值 $\Delta T$ 和粘附力矩变化值 $\Delta T_a$ ;

[0038] 判定模块,用于根据输出转矩变化值 $\Delta T$ 和粘附力矩变化值 $\Delta T_a$ 判断牵引状态下的车辆工作状态。

[0039] 作为优化,判断车辆工作状态的系统还包括:

[0040] 初始化模块,用于获取车辆的惯性常量 $J$ ;和/或

[0041] 滤波模块,用于对测量所得的车轮转速 $\omega$ 进行滤波处理;和/或

[0042] 限幅模块,用于在牵引状态下的车辆处于非稳定工作状态时对输出转矩 $T$ 实施限幅控制。

[0043] 本发明的上述技术方案相比现有技术具有以下优点:

[0044] 本发明提供了一种判断牵引状态下的车辆工作状态的系统和系统,基于车辆打滑过程的物理力学理论,只需要测量车辆电机输向车轮的输出转矩及车轮转速信息即可判断牵引状态下的车辆工作状态,不需要知道车辆底盘速度和滑移率值,判定过程简单可靠,并且该方法的输出参数可以用于车辆打滑控制过程,这种方法非常适合车辆控制的实际应用。此外,所需传感器少、实施成本低、可靠性也高。本发明也适用于采用电机驱动的四驱汽车和采用电机驱动的各种机器人、机器外骨骼等设备工作时的打滑状态检测。

## 附图说明

[0045] 图1是根据本发明实施例的判断牵引状态下的车辆工作状态的方法的流程图;

[0046] 图2是车辆在不同路面时滑移率 $\lambda$ 和摩擦系数 $\mu$ 的关系图;

[0047] 图3是车轮工作时的受力分布示意图;

[0048] 图4是根据本发明另一实施例的判断牵引状态下的车辆工作状态的流程图;

[0049] 图5是根据本发明实施例的判断牵引状态下的车辆工作状态的系统示意图。

## 具体实施方式

[0050] 为了使本技术领域的人员更好地理解本发明方案,下面结合附图和实施例对本发明所提供的技术方案作进一步地详细描述。

[0051] 在下述实施例中, $d/dt$ 表示变量的导数; $\Delta$ 表示小信号,指检测时刻的变化。

[0052] 实施例1

[0053] 图1示出了根据本发明实施例的判断牵引状态下的车辆工作状态的方法的流程图,该方法包括如下步骤:

[0054] 步骤S1:测量车辆电机的输出转矩 $T$ 和车轮转速 $\omega$ 。在这里,输出转矩 $T$ 可以通过测量电机的输入电流获得,在恒流状态下,电机的输出转矩 $T$ 等于转矩常数和电机输入电流之积,车轮转速 $\omega$ 可通过测量电机的转速获得。

[0055] 步骤S2:估算粘附力矩 $T_d$ 。在这里,粘附力矩 $T_d$ 是根据公式 $\hat{T}_d = (T - J \dot{\omega})$ 估算所得,其中 $J$ 是车辆的惯性常量, $\dot{\omega}$ 是对车轮转速 $\omega$ 的导数。车辆的惯性常量 $J$ 与车的参数相关,其值不随环境和时间发生变化,能通过测量获得确定数值,通常情况下参数 $J$ 是已知量,但是对于首次使用车辆的情况而言,在步骤S2之前还需要执行初始化车辆的惯性常量 $J$ 的步骤,以确定参数 $J$ 的值。对车轮转速 $\omega$ 的求导处理公式为 $\dot{\omega} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$ ,其中 $\Delta t$ 表示前后

两次测量的时间差值, $\Delta\omega$ 表示前后两次测量时车轮转速 $\omega$ 的差值( $\omega(k) - \omega(k-1)$ )。由此即可以得出粘附力矩 $T_d$ 。

[0056] 优选地,在步骤S2之前还可以包括:对车轮转速 $\omega$ 进行滤波处理,以滤除测量时的噪声干扰,提高后续求导计算结果的精确度。进一步优选地,可采用低通滤波器对车轮转速 $\omega$ 进行滤波处理。

[0057] 步骤S3:计算输出转矩变化值 $\Delta T$ 和粘附力矩变化值 $\Delta T_d$ 。在这里,输出转矩变化值 $\Delta T$ 和粘附力矩变化值 $\Delta T_d$ 分别表示电机传递到车轮的输出转矩 $T$ 和车轮粘附力矩 $T_d$ 连续两次测量计算值的差值,其计算公式为: $\Delta T = T(k) - T(k-1)$ 和 $\Delta T_d = T_d(k) - T_d(k-1)$ ,其中, $T(k)$ 表示当前测量计算的输出转矩值, $T(k-1)$ 表示上次测量计算时电机的输出转矩值, $T_d(k)$ 表示当前估算所得的粘附力矩值, $T_d(k-1)$ 表示上次估算所得的粘附力矩值。由此,即可以计算出输出转矩变化值 $\Delta T$ 和粘附力矩变化值 $\Delta T_d$ 。

[0058] 步骤S4:根据输出转矩变化值 $\Delta T$ 和粘附力矩变化值 $\Delta T_d$ 判断牵引状态下的车辆工作状态。具体可以有如下两种判定标准。

[0059] 第一种判定标准是:当输出转矩变化值 $\Delta T > 0$ 且粘附力矩变化值 $\Delta T_d > 0$ 时,或当输出转矩变化值 $\Delta T < 0$ 且粘附力矩变化值 $\Delta T_d < 0$ 时,或当输出转矩变化值 $\Delta T = 0$ 且粘附力矩变化值 $\Delta T_d > 0$ 时,判定牵引状态下的车辆处于稳定工作状态;当输出转矩变化值 $\Delta T > 0$ 且粘附力矩变化值 $\Delta T_d < 0$ 时,或当输出转矩变化值 $\Delta T < 0$ 且粘附力矩变化值 $\Delta T_d > 0$ 时,或当输出转矩变化值 $\Delta T = 0$ 且粘附力矩变化值 $\Delta T_d < 0$ 时,判定牵引状态下的车辆处于非稳定工作状态。

[0060] 第二种判定标准是:在 $\Delta T \neq 0$ 的情况下,当 $\frac{\Delta T_d(k)}{\Delta T(k)} < 0$ 且 $\frac{\Delta T_d(k-1)}{\Delta T(k-1)} > 0$ 时,判定车

辆处于即将从稳定工作状态转换为非稳定工作状态的临界转换状态;当 $\frac{\Delta T_d(k)}{\Delta T(k)} > 0$ 且

$\frac{\Delta T_d(k-1)}{\Delta T(k-1)} > 0$ 时,判定车辆处于稳定工作状态;当 $\frac{\Delta T_d(k)}{\Delta T(k)} < 0$ 且 $\frac{\Delta T_d(k-1)}{\Delta T(k-1)} < 0$ 时,判定车辆

处于非稳定工作状态;当 $\frac{\Delta T_d(k)}{\Delta T(k)} > 0$ 且 $\frac{\Delta T_d(k-1)}{\Delta T(k-1)} < 0$ 时,判定车辆处于即将从非稳定工作状态

进入稳定工作状态的临界转换点;

[0061] 在 $\Delta T=0$ 的情况下,当 $\Delta T_d < 0$ 时,判定车辆处于不稳定工作状态;当 $\Delta T_d > 0$ 时,判定车辆处于稳定工作状态;

[0062] 其中, $\Delta T(k)$ 是当前计算所得的输出转矩变化值, $\Delta T(k-1)$ 是上次计算所得的输出转矩变化值, $\Delta T_d(k)$ 是当前计算所得的粘附力矩变化值, $\Delta T_d(k-1)$ 是上次计算所得的粘附力矩变化值。

[0063] 简而言之,对于 $\Delta T \neq 0$ 的情况,当输出转矩和粘附力矩的变化趋势相同,即都变大或都变小时,车辆处于稳定工作状态,反之则处于非稳定工作状态。而对于 $\Delta T=0$ 的情况,此刻的车辆处于较特殊的运动状态,车辆的输出转矩不发生变化,这种状态比较少见。此刻如果 $\Delta T_d > 0$ ,则说明车轮与地面的粘附力矩在增加,说明车辆处于稳定工作状态,或 $\Delta T_d = 0$ ,则说明车轮与地面的粘附力矩是稳定不变的,车辆处于稳定工作状态;反之,说明车辆处于非稳定工作状态。

[0064] 对于 $\Delta T \neq 0$ 且 $\Delta T_d = 0$ 的情况,由于车辆的电机传输到车轮的转矩 $T$ 是车轮与地面粘附力矩变化的原因,当 $\Delta T \neq 0$ 时 $T_d$ 必然发生变化,因此 $\Delta T \neq 0$ 时 $\Delta T_d = 0$ 的状态不可能发生,因此该状态无需考虑。

[0065] 下面详细说明根据本发明实施例的判断牵引状态下的车辆工作状态的方法的原理。

[0066] 车辆前进的驱动力来自车轮和地面的摩擦力,动力系统给车轮的驱动力转化为车辆前进的驱动力和车轮与地面摩擦发热。因此车辆在牵引状态下车速低于车轮的转速(车轮线速度);在制动状态下,车速大于车轮的转速(车轮线速度)。车辆滑移率 $\lambda$ 的表达式为:

$$[0067] \quad \lambda = \{(\omega r - v) / \max(\omega r, v, \epsilon)\}$$

[0068] 其中: $\omega$ 表示车轮角速度, $r$ 指车轮半径, $v$ 表示车速, $\epsilon$ 是防止公式分母为零的小常数。

[0069] 本实施例提供的判断车辆工作状态的方法仅适用于牵引状态下的车辆,因此

$$[0070] \quad \lambda = \{(\omega r - v) / \omega r\}, \text{其中 } \omega r \neq 0 \quad (1)$$

[0071] 汽车的滑移率 $\lambda$ 反映了车辆轮胎和接触地面的相互作用关系,通过滑移率 $\lambda$ 和摩擦因子 $\mu$ 的变化关系 $\frac{d\mu}{d\lambda}$ 可以判断车辆工作时的稳定性。研究表明:在不同的地面(干地面、有水路面和冰面)上,汽车的滑移率 $\lambda$ 和摩擦系数 $\mu$ 存在有规律的非线性关系。如图2所示,为汽车在不同路面时 $\lambda-\mu$ 的关系示意图,可以看出在三种路面环境下,车辆的摩擦力和滑移率的变化关存在相似的变化趋势:在稳定区,车辆的滑移率增加伴随着摩擦力的增加,摩擦力为车辆提供粘附力使车辆能够正常工作;而当汽车工作在临界状态和非稳定区时,车辆的摩擦力达到最大值后,摩擦力不在跟随车辆滑移率增加,此时车辆的车轮出现打滑。

[0072] 车辆打滑系数 $\lambda$ 和摩擦力系数 $\mu$ 的相关性可以划分为2个区域,一个区域为稳定区域,另一部分称为非稳定区域(打滑区域)。

[0073] 如果滑移率 $\lambda$ 和摩擦力系数 $\mu$ 的相关性可以划分为2个区域,一个区域为稳定区域,另一部分称为非稳定区域(打滑区域)。

[0073] 如果滑移率 $\lambda$ 和摩擦力因子 $\mu$ 满足公式 $\frac{d\mu}{d\lambda} > 0$ ,这说明车辆运行在稳定工作状态,此时汽车的摩擦力跟随滑移率的变化而变化。

[0074] 如果滑移率 $\lambda$ 和摩擦系 $\mu$ 满足公式 $\frac{d\mu}{d\lambda} = 0$ ,则说明汽车运行在临界状态,此时汽车



的摩擦力达到最大值,不再跟随滑移率的变化。

[0075] 如果滑移率 $\lambda$ 和摩擦系数 $\mu$ 满足公式 $\frac{d\mu}{d\lambda} < 0$ ,则说明汽车工作在非稳定工作状态(打滑状态),此时车轮的摩擦力随滑移率增加反而减小。

[0076] 车轮摩擦力变化和滑移率变化与汽车工作时的稳定性直接的因果关系,可以通过对 $\frac{d\mu}{d\lambda}$ 进行严格的分析推导获得,其推导过程如公式(2)所示:

[0077]

$$\frac{d\mu}{d\lambda} = \frac{1}{N} \frac{d\mu * N}{d\lambda} = \frac{1}{N} * \frac{dF_d}{d\lambda} \quad (2)$$

[0078] 其中: $N$ 表示汽车车轮对地面的法相压力,是常量; $F_d$ 表示车轮和地面的粘附力(摩擦力)。

[0079] 如图3所示,是车辆车轮工作时的受力分布示意图。通过对车轮模型的受力分布分析可知,车轮转动时车轮与地面的粘附力和车轮驱动车辆前进的驱动力是一对相互作用力,当车辆电机的输出驱动力大于车轮与地面的最大摩擦力时,车轮就会出现打滑。出现打滑状态时,此时车轮的转速会增加,车轮的阻力由车轮与地面的粘附力和车轮转动的惯性力组成。根据车轮旋转运动动力学理论,车轮工作时的力矩分布满足公式(3):

$$[0080] \quad J \frac{d\omega}{dt} = T - r * F_d, \text{ 即 } J \frac{d\omega}{dt} = T - T_d \quad (3)$$

[0081] 其中: $J$ 是轮胎的惯性常量; $T$ 表示电机的输出转矩; $F_d$ 表示车轮与地面的粘附力; $T_d$ 表示车轮与地面摩擦力对车轮产生的力矩,即车轮粘附力矩,由于力的相互性,摩擦力矩也是驱动车轮前进的驱动力矩;将电机的输出转矩减去摩擦力产生的力矩,差值大于0时就是车轮的打滑力矩,即车轮的摩擦力小于车轮的驱动力,车轮出现打滑,多余能量通过打滑发热消耗掉。利用车轮的惯性力和车轮角速度变化率乘积就可以计算出车轮打滑力矩。

[0082] 汽车纵向运动动态公式为:

$$[0083] \quad MV = (F_d - F_{dr}) t \quad (4)$$

[0084] 其中: $M$ 表示汽车质量; $V$ 表示车速; $F_{dr}$ 是车轮转动时的惯性阻力,是常量。

[0085] 车轮加速的驱动力计算公式为:

$$[0086] \quad F_d = \mu * N \quad (5)$$

[0087] 根据图2中的 $\mu$ - $\lambda$ 的关系曲线,用 $g$ 表示曲线某工作点处的曲线斜率,假设 $\mu$ - $\lambda$ 曲线在一小段距离内呈现线性关系,在工作点 $i$ 处曲线的斜率 $g$ 的值可以表示为:

$$[0088] \quad g = \frac{\Delta\mu}{\Delta\lambda}, \text{ 即 } \Delta\mu = g * \Delta\lambda \quad (6)$$

[0089] 在工作点 $i$ 时,由滑移率可以得到如下等式:

[0090]

$$\Delta\lambda = \frac{d\lambda}{dV} \Delta V + \frac{d\lambda}{d\omega} \Delta\omega = -\frac{1}{r\omega_i} \Delta V + \frac{V_i}{r\omega_i^2} \Delta\omega \quad (7)$$

[0091] 这是控制中的小信号线性化公式。

[0092] 由公式(3)可得： $\Delta T - r\Delta F_d = J \frac{d(\Delta\omega)}{dt}$  (8)

[0093] 由公式(4)可得： $M \frac{d(\Delta V)}{dt} = \Delta F_d$  (9)

[0094] 由公式(5)和(6)可得： $\Delta F_d = N * \Delta \mu = N * g * \Delta \lambda$  (10)

[0095] 由公式(7)可知： $\Delta\omega = \left( \Delta\lambda + \frac{\Delta V}{r\omega_i} \right) \frac{r\omega_i^2}{V_i}$  (11)

[0096] 由公式(1)和(10)可知：

[0097]  $V_i = (1 - \lambda_i) r \omega_i$ ; (12)

[0098]  $\Delta \lambda = \Delta F_d / g * N$ ; (13)

[0099] 所以  $\Delta \omega$  的表达式可以转换为： $\Delta\omega = \frac{\omega_i}{(1 - \lambda_i) g N} \Delta F_d + \frac{1}{r(1 - \lambda_i)} \Delta V$  (14)

[0100] 由公式(8)、公式(9)和公式(14)可知：

[0101]

$$\Delta T - r\Delta F_d = \frac{J\omega_i}{(1 - \lambda_i) g N} \frac{d(\Delta F_d)}{dt} + \frac{J}{rM(1 - \lambda_i)} \Delta F_d$$
 (15)

[0102] 对公式(15)进行拉普拉斯变换后可得：

[0103]

$$\Delta T(s) - r\Delta F_d(s) = \frac{J\omega_i}{(1 - \lambda_i) g N} * s * \Delta F_d(s) + \frac{J}{Mr(1 - \lambda_i)} \Delta F_d(s)$$
 (16)

[0104] 最后,我们可以得到车辆稳定因子的线性开环传递函数：

[0105]

$$\phi(s) = \frac{\Delta T_d(s)}{\Delta T(s)} = \frac{r * \Delta F_d(s)}{\Delta T(s)} = K \left( \frac{1}{\tau s + 1} \right)$$
 (17)

[0106] K是个静态增益参数,它表明在滑移率增加时,电机的驱动力矩减少能力,K的表达式为：

[0107]

$$K = \phi(s) |_{s=0} \Rightarrow K = \frac{Mr^2(1 - \lambda_i)}{J + Mr^2(1 - \lambda_i)}$$
 (18)

[0108] 时间参数 $\tau$ 的值为： $\tau = \frac{JMr\omega_i}{gN(J + Mr^2(1 - \lambda_i))}$ ; ( $g \neq 0$ ) (19)

[0109] 假定在某个工作点附近,电机给车轮施加的转矩发生了一个阶跃的变化量 $\Delta T$ ,其振幅为 $\varepsilon$ ,那么就有：

[0110]  $\Delta T = \varepsilon \cdot 1(t)$  (20)

[0111] 其中,1(t)表示一个单位阶跃信号。

[0112] 根据公式(17)和公式(20),以及拉普拉斯逆变换原理可得：

[0113]

$$\begin{aligned}\Delta T_d &= L^{-1} \left[ \Phi(s) * \frac{\varepsilon}{s} \right] = L^{-1} \left[ \frac{K\varepsilon}{s} - \frac{K\varepsilon}{s + 1/\tau} \right] \\ &= K \left( 1 - e^{-t/\tau} \right) * \varepsilon = K \left( 1 - e^{-t/\tau} \right) * \Delta T = A_i * \Delta T\end{aligned}\quad (21)$$

[0114] 由公式(21)可得:

[0115]

$$A_i = \frac{\Delta T_d}{\Delta T} = K \left( 1 - e^{-t/\tau} \right); \quad (22)$$

[0116] 由公式(3)可知,  $T_d$ 值的计算公式为:

[0117]

$$T_d = (T - J \dot{\omega}) \quad (23)$$

[0118] 由公式(18) (19) (22) 和公式(23)可知:

[0119] 当  $\frac{\Delta T_d}{\Delta T}$  的值小于0时, 则  $1 - e^{-t/\tau} < 0$ , 所以一定有时间常数  $\tau$  小于0; 此时参数  $g$  肯定也是小于0的, 最终我们可以推出:

$$[0120] \quad g = \frac{\Delta \mu}{\Delta \lambda} < 0 \quad ;$$

[0121] 由此可知, 车辆的工作状态为非稳定工作状态。

[0122] 同理:

[0123] 当  $\frac{\Delta T_d}{\Delta T}$  的值大于0时, 则  $1 - e^{-t/\tau} < 0$ , 所以一定有时间常数  $\tau$  大于0; 此时参数  $g$  肯定也是大于0的, 最终我们可以推出:

$$[0124] \quad g = \frac{\Delta \mu}{\Delta \lambda} > 0 \quad ;$$

[0125] 由此可知, 车辆的工作状态为稳定工作状态。

[0126] 因此, 由上述推导可以得出, 通过  $\frac{\Delta T_d}{\Delta T}$  值是可以获得车辆工作状态的。

[0127] 分析当  $\Delta T = 0$  的情况: 此时不能直接用上述相除的运算, 因此这种特殊情况需要单独考虑。  $\Delta T = 0$  时, 表示电机输出一个恒定的力矩大小, 即变化量为零。此时, 在瞬态情况下, 当处于稳定区域时, 会有  $\Delta T_d > 0$ , 应该有  $\Delta T_d = 0$ 。此外, 当路面突然发生变化, 由高附着路面变为低附着路面时, 即使电机输出力矩不变, 即  $\Delta T = 0$ , 我们也会观察到附着力减小, 即  $\Delta T_d < 0$ , 所以不稳定区域时,  $\Delta T_d < 0$ 。因此综合上述判断, 给出这种特殊情形下的判据:

[0128] 如果  $\Delta T = 0$  且  $\Delta T_d < 0$ , 则车辆处于不稳定工作状态;[0129] 如果  $\Delta T = 0$  且  $\Delta T_d \geq 0$ , 则车辆处于为稳定工作状态。

[0130] 在实际检测中, 汽车的电机传递到车轮的输出转矩和车轮粘附力转矩的检测都是离散的, 因此  $\Delta T_d$  和  $\Delta T$  表示电机传递到车轮的输出转矩  $T$  和车轮粘附力矩  $T_d$  连续两次检测

计算值的差值。其计算公式为： $\Delta T_d = T_d(k) - T_d(k-1)$  和  $\Delta T = T(k) - T(k-1)$ 。因此实际应用中，车辆工作稳定性判断方法的描述如下：

[0131] (1). 当  $\Delta T_d > 0$  且  $\Delta T > 0$  时，则  $\frac{dT_d(s)}{dT(s)} > 0$ 。假设  $dT(s) > 0$ ，所以  $dT_d(s) > 0$ ，即车轮对地面的粘附力随电机输出转矩的增加而增加，说明车辆处于稳定工作状态。

[0132] (2). 当  $\Delta T_d < 0$  且  $\Delta T < 0$  时，则  $\frac{dT_d(s)}{dT(s)} > 0$ 。车轮对地面的粘附力随电机输出转矩减少而减少，说明车辆处于稳定工作状态。

[0133] (3). 当  $\Delta T_d < 0$  且  $\Delta T > 0$  时，则  $\frac{dT_d(s)}{dT(s)} < 0$ ，车轮对地面的粘附力随车辆电机输出转矩的增加反而减小，说明车轮出现了打滑现象，车辆处在非稳定工作状态。

[0134] (4). 当  $\Delta T_d > 0$  且  $\Delta T < 0$  时，则  $\frac{dT_d(s)}{dT(s)} < 0$ 。即车轮对地面的粘附力随电机输出转矩减小而增加，说明车辆处于非稳定工作区，车辆工作状态向稳定区域移动。

[0135] (5). 当  $\Delta T = 0$  时，此刻的车辆处于较特殊的运动状态，车辆的输出转矩不发生变化，这种状态比较少见。此刻如果  $\Delta T_d \geq 0$ ，则说明车轮与地面的粘附力矩在增加或平衡，说明车辆处于稳定工作状态；反之，说明车辆处于非稳定工作状态。

[0136] 因此，可以通过车辆电机的输出转矩变化值和车轮的粘附力矩变化值来判断牵引状态下的车辆工作状态，不需要知道车辆底盘速度和滑移率值，判定过程简单可靠，并且该方法的输出参数可以用于车辆打滑控制过程，这种方法非常适合车辆控制的实际应用。此外，所需传感器少、实施成本低、可靠性也高。

[0137] 实施例2

[0138] 图4示出了根据本发明另一实施例的判断牵引状态下的车辆工作状态的方法的流程图，该方法包括如下步骤：

[0139] 步骤S21：初始化车辆的惯性常量J。

[0140] 步骤S22：测量车辆电机的输出转矩T和车轮转速 $\omega$ 。

[0141] 步骤S23：对车轮转速 $\omega$ 进行滤波处理，优选地可采用低通滤波器对车轮转速 $\omega$ 进行滤波处理。

[0142] 步骤S24：估算粘附力矩 $T_d$ 。根据公式  $\hat{T}_d = (T - J \dot{\omega})$  来估算粘附力矩 $T_d$ ，其中 $\dot{\omega}$ 是对车轮转速 $\omega$ 的导数。

[0143] 步骤S25：计算输出转矩变化值 $\Delta T$ 和粘附力矩变化值 $\Delta T_d$ 。

[0144] 步骤S26：根据输出转矩变化值 $\Delta T$ 和粘附力矩变化值 $\Delta T_d$ 判断牵引状态下的车辆工作状态。

[0145] 步骤S27：根据所判定的车辆工作状态，实时决定是否对输出转矩T实施限幅控制，具体包括：当车辆处于非稳定工作状态时，则决定对车辆电机的输出转矩T实施限幅控制，使得车辆回到稳定工作状态；当车辆处于稳定工作状态，则决定不对车辆电机的输出转矩T实施限幅控制。对输出转矩T实施限幅控制，即将输出转矩T的值限制在一个较小的值，以降低车轮转速 $\omega$ ，从而使得车辆慢慢稳定下来不再打滑，最终在低速状态下稳定行驶。

[0146] 重复执行步骤S22至S27,其中在步骤S27中,当发现牵引状态下的车辆从稳定工作状态转换成非稳定工作状态时,则对输出转矩实施限幅控制;下一次检测时,若该车辆仍然处于非稳定工作状态时,则继续对输出转矩实施限幅控制,若该车辆已从非稳定工作状态转换为稳定工作状态时,则取消对输出转矩的限幅控制,以便驾驶员能够接管控制,否则,该车辆将会一直维持之前附着路面的限幅值来限制电机的输出转矩,即使在路面转变为高粘附力路面后,输出转矩的限幅控制也无法取消,导致该车辆无法利用高附着力路面的附着力实现车辆的正常加速。本实施例提供的一种判断牵引状态下的车辆工作状态的方法,基于车辆打滑过程的物理力学理论,只需要测量车辆电机输向车轮的输出转矩及车轮转速信息即可判断牵引状态下的车辆工作状态,不需要知道车辆底盘速度和滑移率值,判定过程简单可靠,并且该方法的输出参数可以用于车辆打滑控制过程,这种方法非常适合车辆控制的实际应用。此外,所需传感器少、实施成本低、可靠性也高。本发明也适用于采用电机驱动的四驱汽车和采用电机驱动的各种机器人、机器外骨骼等设备工作时的打滑状态检测。

[0147] 实施例3

[0148] 如图5所示,本发明还提供了一种判断牵引状态下的车辆工作状态的系统,包括:

[0149] 测量模块32,用于测量车辆电机的输出转矩 $T$ 和车轮转速 $\omega$ ;

[0150] 估算模块34,用于估算粘附力矩 $T_d$ ;

[0151] 计算模块35,用于计算输出转矩变化值 $\Delta T$ 和粘附力矩变化值 $\Delta T_d$ ;

[0152] 判定模块36,用于根据输出转矩变化值 $\Delta T$ 和粘附力矩变化值 $\Delta T_d$ 判断牵引状态下的车辆工作状态。

[0153] 本实施例提供的一种判断牵引状态下的车辆工作状态的系统,只需要测量车辆电机输向车轮的输出转矩及车轮转速信息即可判断牵引状态下的车辆工作状态,不需要知道车辆底盘速度和滑移率值,判定过程简单可靠,并且该方法的输出参数可以用于车辆打滑控制过程,非常适合车辆控制的实际应用。

[0154] 除了上述模块以外,该系统还可以包括:初始化模块31,用于获取车辆的惯性常量 $J$ 。初始化模块31通常仅在首次使用车辆的时候启用,以确定参数 $J$ 的值,而对于车辆的后续使用而言,由于惯性常量 $J$ 为已知值,则无需再启用初始化模块31。

[0155] 优选地,该系统还可以包括:滤波模块33,用于对测量所得的车轮转速 $\omega$ 进行滤波处理,以滤除测量时的噪声干扰,提高后续求导计算结果的精确度。进一步优选地,可采用低通滤波器对车轮转速 $\omega$ 进行滤波处理。

[0156] 优化地,该系统还可以包括:限幅模块37,用于当车辆处于非稳定工作状态时对车辆电机的输出转矩实施限幅控制。即当车辆处于非稳定工作状态时,将输出转矩 $T$ 限制在一个较小的值,车轮转速减小,以使得车辆逐渐摆脱打滑状态,处于低速行驶的稳定工作状态。

[0157] 本实施例提供的一种判断牵引状态下的车辆工作状态的系统,只需要测量车辆电机输向车轮的输出转矩及车轮转速信息即可判断牵引状态下的车辆工作状态,不需要知道车辆底盘速度和滑移率值,判定过程简单可靠,并且该方法的输出参数可以用于车辆打滑控制过程,这种方法非常适合车辆控制的实际应用。此外,所需传感器少、实施成本低、可靠性也高。

[0158] 显然,上述实施例仅仅是为清楚地说明所作的举例,而并非对实施方式的限定。对于所属领域的普通技术人员来说,在上述说明的基础上还可以做出其它不同形式的变化或变动。这里无需也无法对所有的实施方式予以穷举。而由此所引伸出的显而易见的变化或变动仍处于本发明创造的保护范围之内。

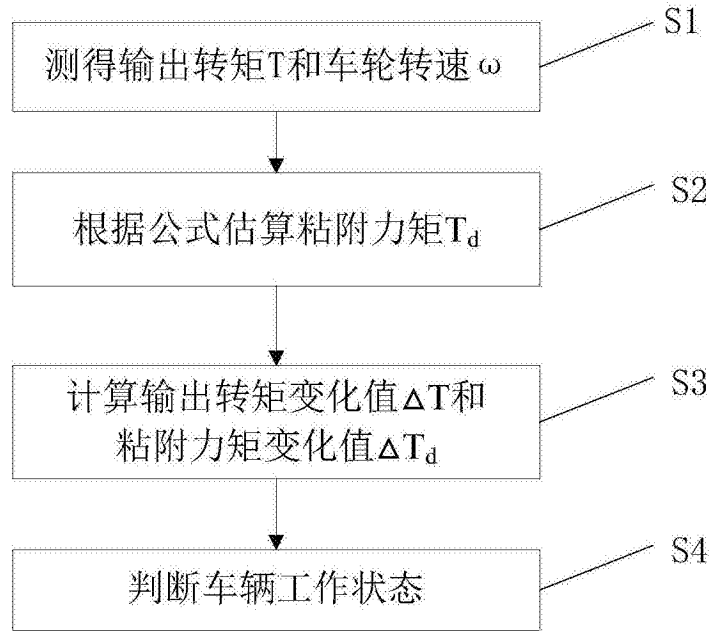


图1

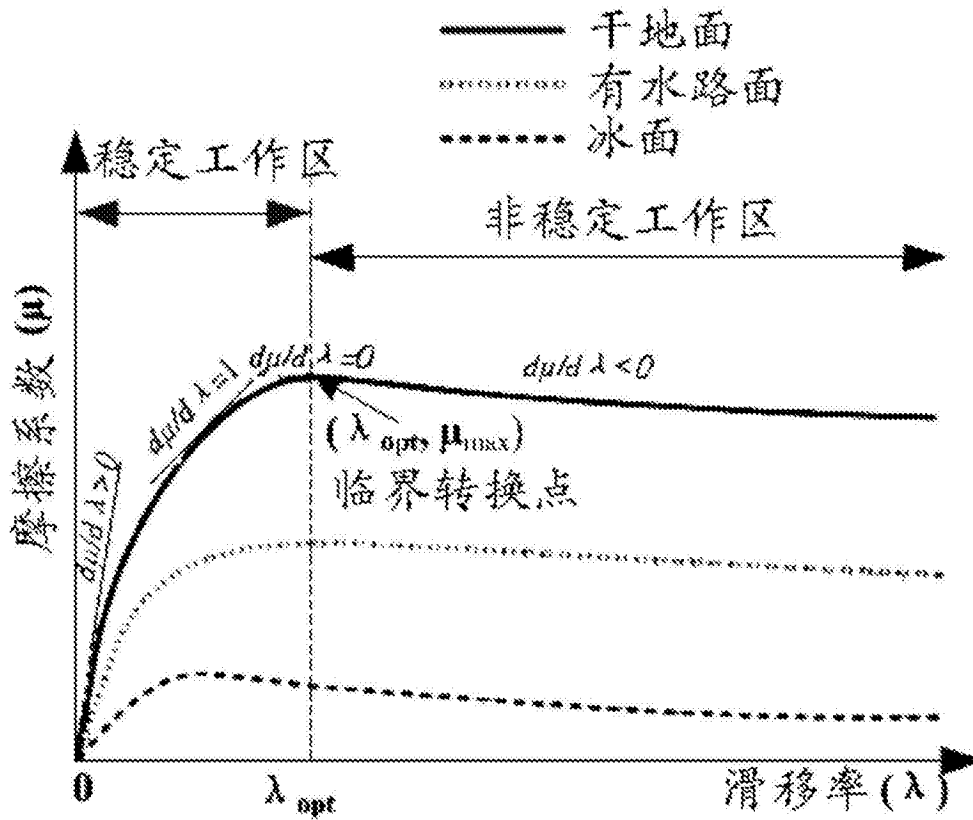


图2

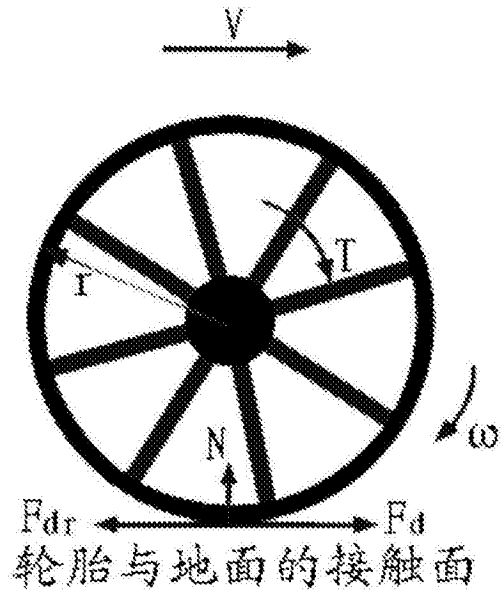


图3



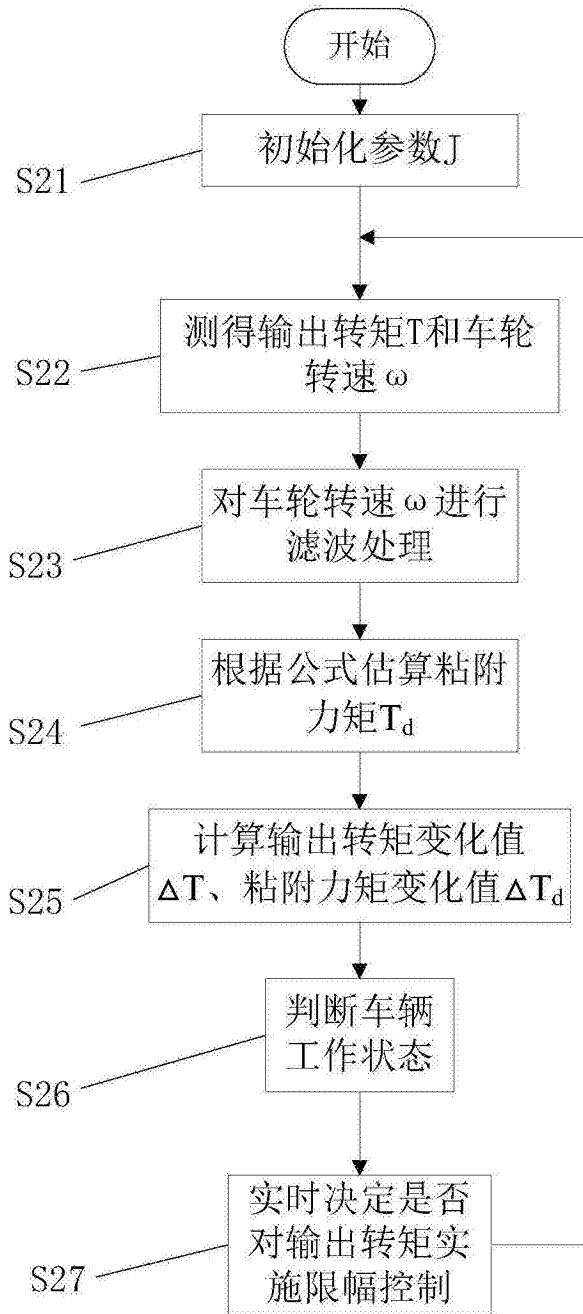


图4

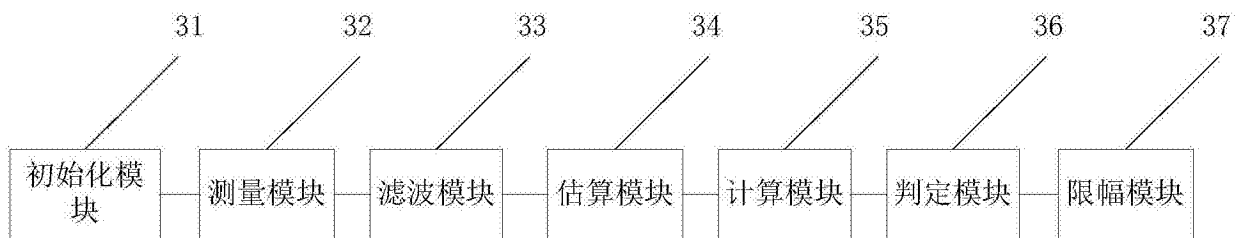


图5