



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106004881 A

(43)申请公布日 2016. 10. 12

(21)申请号 201610630620.2

(22)申请日 2016.08.04

(71)申请人 清华大学

地址 100084 北京市海淀区清华园1号

(72)发明人 罗禹贡 陈龙 李克强 边明远

张书玮 秦兆博 解来卿 罗剑

张东好 连小珉 王建强 杨殿阁

郑四发

(74)专利代理机构 北京尚德技研知识产权代理

事务所(普通合伙) 11378

代理人 严勇刚

(51) Int. Cl.

B60W 40/064(2012.01)

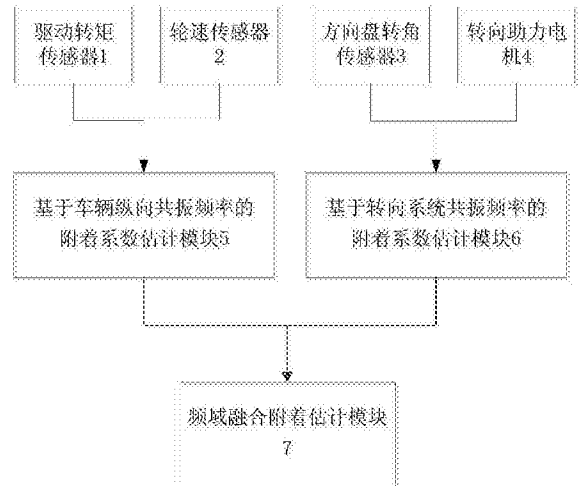
权利要求书2页 说明书4页 附图1页

(54)发明名称

基于频域融合的路面附着系数估计方法

(57)摘要

本发明涉及一种基于频域融合的路面附着系数估计方法,其是基于车辆纵向共振频率的附着系数估计值和基于转向系统共振频率的附着系数估计值,将两者进行频域融合,估计出最终的附着系数。频域融合是将基于车辆纵向共振频率的附着系数估计值通过高通滤波器,将基于转向系统共振频率的附着系数估计值通过低通滤波器,最后将两种滤波后的结果相加作为最终的附着系数估计结果。本发明不仅消除了信号噪声和误差信息对路面附着估计的影响,而且也避免了转向系统动态延迟长造成的附着估计收敛慢的缺陷。



1. 一种基于频域融合的路面附着系数估计方法,其特征在于:是将基于车辆纵向共振频率获得的附着系数估计值 $\mu_{\max 1}$ 和基于转向系统共振频率获得的附着系数估计值 $\mu_{\max 2}$ ,两者进行滤波处理,基于频域融合得到最终的附着系数 $\hat{\mu}_{\max}$ 。

2. 根据权利要求1所述的基于频域融合的路面附着系数估计方法,其特征在于:基于车辆纵向共振频率的附着系数 $\mu_{\max 1}$ 估计过程为:

1) 基于车辆纵向共振频率的附着系数估计模块在实时获取轮速信号 $\omega$ 和实时驱动转矩 $T_d$ 基础上,利用MATLAB软件中的Spectrum Analyzer模块,估计出纵向共振频率 $f_{0-x}$ ;

2) 然后基于附着系数估计值 $\mu_{\max 1}$ 与纵向共振频率 $f_{0-x}$ 之间的关系,估计出附着系数估计值 $\mu_{\max 1}$ :

$$f_{0-x} = \frac{R}{2\pi} \sqrt{\frac{a\mu_{\max 1} + b}{I r_x}} \quad (1)$$

式中 $R$ 为车轮滚动半径, $I$ 为车轮转动惯量, $r_x$ 为轮胎的纵向松弛长度,均为通过常规方法可获知量, $a$ 和 $b$ 为两个常数,是根据多次试验拟合确定的经验值。

3. 根据权利要求1所述的基于频域融合的路面附着系数估计方法,其特征在于:基于转向系统共振频率的附着系数 $\mu_{\max 2}$ 估计过程为:

1) 基于转向系统共振频率的附着系数估计模块在实时获取方向盘转动角速度信号 $\omega_s$ 和转向助力电机的助力转矩 $T$ 基础上,利用MATLAB软件中的Spectrum Analyzer模块,估计出转向系统共振频率 $f_{0-y}$ ;

2) 然后基于附着系数估计值 $\mu_{\max 2}$ 与转向系统共振频率 $f_{0-y}$ 之间的关系,估计出附着系数估计值 $\mu_{\max 2}$ :

$$f_{0-y} = \frac{1}{2\pi G_s} \sqrt{\frac{c\mu_{\max 2} + d}{J_d}} \quad (2)$$

式中 $G_s$ 为转向系统传动比; $J_d$ 为前轮及转向机构等效到转向管柱的转动惯量,均为通过常规方法可获知量, $c$ 和 $d$ 为两个常数,是根据多次试验拟合确定的经验值。

4. 根据权利要求1或2或3所述的基于频域融合的路面附着系数估计方法,其特征在于:基于频域融合的附着系数 $\hat{\mu}_{\max}$ 估计过程为:

频域融合附着估计模块对基于车辆纵向共振频率获得的附着系数估计值 $\mu_{\max 1}$ 和基于转向系统共振频率获得的附着系数估计值 $\mu_{\max 2}$ ,分别进行滤波处理,其中对 $\mu_{\max 1}$ 采用高通滤波器滤除其低频部分,保留高频部分;对 $\mu_{\max 2}$ 采用低通滤波器滤除其高频部分,保留低频部分;然后将两个滤波后输出的结果,利用如下关系式获得 $\hat{\mu}_{\max}$ :

$$\hat{\mu}_{\max} = \frac{1}{\tau s + 1} \mu_{\max 2} + \frac{\tau s}{\tau s + 1} \mu_{\max 1} \quad (3)$$

式中, $\tau$ 为时间常数, $s$ 为拉普拉斯算子, $\frac{1}{\tau s + 1}$ 为低通滤波系数, $\frac{\tau s}{\tau s + 1}$ 为高通滤波系数。

5. 根据权利要求1-4之一所述的基于频域融合的路面附着系数估计方法,其特征在于:所述基于频域融合的路面附着系数估计方法基于一实时估计系统实现,所述系统包括:

- 一设置在车辆驱动系统上的驱动转矩传感器,实时接收车辆的驱动转矩 $T_d$ ;
- 一设置在车轮处的轮速传感器,实时接收车辆的轮速信号 $\omega$ ;
- 一设置在转向柱管处的方向盘转角传感器和转向助力电机,实时接收车辆的方向盘转动角速度信号 $\omega_s$ 和助力转矩 $T$ ;
- 一基于车辆纵向共振频率的附着系数估计模块、一基于转向系统共振频率的附着系数估计模块和一频域融合附着估计模块,都集成在整车控制器中,内置MATLAB算法程序。

## 基于频域融合的路面附着系数估计方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种路面附着系数的估计方法,特别是关于一种车辆正常稳定直行过程中路面附着系数的实时估计方法。

### 背景技术

[0002] 现代车辆控制系统包含有多个子系统,车辆控制效果不仅仅取决于整车控制器的控制,而且还需要依赖采集的车辆参数信息,车辆各个系统在进行参数估计时需要利用车辆和环境信息,如果一些未知的环境参数可以被实时估计到,不仅可以改善车辆控制模型的精度,而且能够有效改善车辆控制效果。其中车辆行驶路面的附着系数信息对于车辆的紧急制动、主动安全控制和驱动防滑控制都是非常重要的。

[0003] 现有最为领先技术中对车辆行驶路面的附着系数估计方法包括有基于车辆纵向共振频率的附着系数估计方法和基于转向系统共振频率的附着系数估计方法。其中,基于车辆纵向共振频率的附着系数估计方法由于受轮速传感器的静态偏差和信号噪声影响较大,不能得到一个稳定的估计结果,即该方法低频处估计误差较大,但是车辆的纵向运动响应快速,该方法能够准确感知到路面附着条件的动态变化,即捕捉到了附着系数的高频信息;相反,基于转向系统共振频率的附着系数估计方法可以降低信号噪声对估计结果的影响,即可以获得较为稳定且准确度高的稳态估计结果,但该方法由于车辆转向运动相对缓慢,造成估计时间较长,附着估计收敛慢。

### 发明内容

[0004] 针对上述问题,本发明的目的是提供一种基于频域融合的路面附着系数估计方法,这也是一种能够准确估计车辆行驶过程中路面坡度的实时估计方法。该方法建立于车辆纵向共振频率的附着系数估计和转向系统共振频率的附着系数估计基础上,进行频域融合处理,能够得到更为准确快速的附着系数估计值。

[0005] 为实现上述目的,本发明采取以下技术方案:一种基于频域融合的路面附着系数估计方法,是将基于车辆纵向共振频率获得的附着系数估计值 $\mu_{\max 1}$ 和基于转向系统共振频率获得的附着系数估计值 $\mu_{\max 2}$ ,两者进行滤波处理,基于频域融合得到最终的附着系数 $\hat{\mu}_{\max}$ 。

[0006] 基于车辆纵向共振频率的附着系数 $\mu_{\max 1}$ 估计过程为:

[0007] 1)基于车辆纵向共振频率的附着系数估计模块在实时获取轮速信号 $\omega$ 和实时驱动转矩 $T_d$ 基础上,利用MATLAB软件中的Spectrum Analyzer模块,估计出纵向共振频率 $f_{0-x}$ ;

[0008] 2)然后基于附着系数估计值 $\mu_{\max 1}$ 与纵向共振频率 $f_{0-x}$ 之间的关系,估计出附着系数估计值 $\mu_{\max 1}$ :

$$[0009] \quad f_{0-x} = \frac{R}{2\pi} \sqrt{\frac{a\mu_{\max 1} + b}{I r_x}} \quad (1)$$

[0010] 式中R为车轮滚动半径,I为车轮转动惯量, $r_x$ 为轮胎的纵向松弛长度,均为通过常规方法可获知量,a和b为两个常数,是根据多次试验拟合确定的经验值。

[0011] 基于转向系统共振频率的附着系数 $\mu_{\max 2}$ 估计过程为:

[0012] 1)基于转向系统共振频率的附着系数估计模块在实时获取方向盘转动角速度信号 $\omega_s$ 和转向助力电机的助力转矩T基础上,利用MATLAB软件中的Spectrum Analyzer模块,估计出转向系统共振频率 $f_{0-y}$ ;

[0013] 2)然后基于附着系数估计值 $\mu_{\max 2}$ 与转向系统共振频率 $f_{0-y}$ 之间的关系,估计出附着系数估计值 $\mu_{\max 2}$ :

$$[0014] \quad f_{0-y} = \frac{1}{2\pi G_s} \sqrt{\frac{c\mu_{\max 2} + d}{J_d}} \quad (2)$$

[0015] 式中 $G_s$ 为转向系统传动比; $J_d$ 为前轮及转向机构等效到转向管柱的转动惯量,均为通过常规方法可获知量,c和d为两个常数,是根据多次试验拟合确定的经验值。

[0016] 基于频域融合的附着系数 $\hat{\mu}_{\max}$ 估计过程为:

[0017] 频域融合附着估计模块对基于车辆纵向共振频率获得的附着系数估计值 $\mu_{\max 1}$ 和基于转向系统共振频率获得的附着系数估计值 $\mu_{\max 2}$ ,分别进行滤波处理,其中对 $\mu_{\max 1}$ 采用高通滤波器滤除其低频部分,保留高频部分;对 $\mu_{\max 2}$ 采用低通滤波器滤除其高频部分,保留低频部分;然后将两个滤波后输出的结果,利用如下关系式获得 $\hat{\mu}_{\max}$ :

$$[0018] \quad \hat{\mu}_{\max} = \frac{1}{\tau s + 1} \mu_{\max 2} + \frac{\tau s}{\tau s + 1} \mu_{\max 1} \quad (3)$$

[0019] 式中, $\tau$ 为时间常数,s为拉普拉斯算子, $\frac{1}{\tau s + 1}$ 为低通滤波系数, $\frac{\tau s}{\tau s + 1}$ 为高通滤波系数。

[0020] 进一步地,所述基于频域融合的路面附着系数估计方法基于一实时估计系统实现,所述系统包括:

[0021] 一设置在车辆驱动系统上的驱动转矩传感器,实时接收车辆的驱动转矩 $T_d$ ;

[0022] 一设置在车轮处的轮速传感器,实时接收车辆的轮速信号 $\omega$ ;

[0023] 一设置在转向柱管处的方向盘转角传感器和转向助力电机,实时接收车辆的方向盘转动角速度信号 $\omega_s$ 和助力转矩T;

[0024] 一基于车辆纵向共振频率的附着系数估计模块、一基于转向系统共振频率的附着系数估计模块和一频域融合附着估计模块,都集成在整车控制器中,内置MATLAB算法程序。

[0025] 本发明由于采取以上技术方案,其具有以下优点:本发明对车辆行驶过程中路面附着系数进行实时估计时,通过采集驱动力信号、轮速信号和转向助力电机转矩、方向盘转角信号,首先采用基于车辆纵向共振频率的附着系数估计方法和基于转向系统共振频率的附着系数估计方法分别对附着系数实时估计,然后将上述两种方法的附着系数估计值分别发送到频域融合附着系数估计模块进行融合处理,得到更为准确快速的附着估计值。与现有的对路面附着系数估计方法相比,不仅消除了信号噪声和误差信息对路面附着估计的影响,而且也避免了转向系统动态延迟长造成的附着估计收敛慢的缺陷。

## 附图说明

[0026] 图1是实现本发明方法的系统架构示意图。

## 具体实施方式

[0027] 下面结合附图和实施例对本发明进行详细的描述。

[0028] 如图1所示,本发明的路面附着系数估计方法基于一套实时估计系统实现,该系统包括一设置在车辆驱动系统上的驱动转矩传感器1,一设置在车轮处的轮速传感器2,一设置在转向柱管处的方向盘转角传感器3和转向助力电机4,以及设置在整车控制器中的一基于车辆纵向共振频率的附着系数估计模块5、一基于转向系统共振频率的附着系数估计模块6和一频域融合附着估计模块7。

[0029] 采用本发明的实时估计系统对车辆行驶过程中路面附着系数的实时估计方法,包括以下步骤:

[0030] 1、在车辆运行过程中,整车控制器在某一采样时刻控制驱动转矩传感器1将接收到车辆的实时驱动转矩 $T_d$ 和轮速传感器2接收到车辆的轮速信号 $\omega$ 发送到基于车辆纵向共振频率的附着系数估计模块5;由基于车辆纵向共振频率的附着系数估计模块输出基于车辆纵向共振频率的附着系数估计结果;

[0031] 2、整车控制器控制方向盘转角传感器3将测得的车辆的实时方向盘转动角速度信号 $\omega_s$ 和转向助力电机4的助力转矩 $T$ 分别发送到基于转向系统共振频率的附着系数估计模块6,由基于转向系统共振频率的附着系数估计模块6输出基于转向系统共振频率的附着系数估计结果;

[0032] 3、整车控制器将基于车辆纵向共振频率的附着系数估计模块5和基于转向系统共振频率的附着系数估计模块6输出的两种附着系数估计结果发送到频域融合附着估计模块7;由频域融合附着估计模块7输出最终的附着系数估计结果,供其他控制器使用。

[0033] 以上步骤1中的基于车辆纵向共振频率的附着系数估计过程为:

[0034] 1)在整车控制器获取实时的轮速信号 $\omega$ 和实时驱动转矩 $T_d$ 基础上,利用MATLAB(矩阵实验室)中的Spectrum Analyzer(频谱分析仪)模块(一款公知的计算软件),估计出纵向共振频率 $f_{0-x}$ ;

[0035] 2)然后基于附着系数与纵向共振频率之间的关系(式(1)),估计出附着系数 $\mu_{\max 1}$ :

$$[0036] \quad f_{0-x} = \frac{R}{2\pi} \sqrt{\frac{a\mu_{\max 1} + b}{I r_x}} \quad (1)$$

[0037] 式中 $R$ 为车轮滚动半径, $I$ 为车轮转动惯量, $r_x$ 为轮胎的纵向松弛长度,均为通过常规方法可获知量, $a$ 和 $b$ 为两个常数,是根据多次试验拟合确定的经验值, $\mu_{\max 1}$ 为欲求的附着系数。

[0038] 步骤2中的基于转向系统共振频率的附着系数估计过程为:

[0039] 1)在整车控制器获取实时的方向盘转动角速度信号 $\omega_s$ 和转向助力电机4的助力转矩 $T$ 基础上,利用MATLAB中的Spectrum Analyzer模块,估计出转向系统共振频率 $f_{0-y}$ ;

[0040] 2)然后基于附着系数与转向系统共振频率之间的关系(式(2)),估计出附着系数

$\mu_{\max 2}$  :

$$[0041] \quad f_{0-y} = \frac{1}{2\pi G_s} \sqrt{\frac{c\mu_{\max 2} + d}{J_d}} \quad (2)$$

[0042] 式中 $G_s$ 为转向系统传动比; $J_d$ 为前轮及转向机构等效到转向管柱的转动惯量,均为通过常规方法可获知量, $c$ 和 $d$ 为两个常数,同理, $c$ 和 $d$ 是根据多次试验拟合确定的经验值, $\mu_{\max 2}$ 为欲求的附着系数。

[0043] 步骤3中基于频域融合的附着系数估计过程为:

[0044] 频域融合附着估计模块7对接收到的两个路面附着系数估计值 $\mu_{\max 1}$ 和 $\mu_{\max 2}$ 分别进行滤波处理,融合得到车辆行驶过程中路面附着系数的实时准确估计值 $\hat{\mu}_{\max}$ 。

[0045] 由于基于车辆纵向共振频率的附着系数估计方法受轮速传感器的静态偏差和信号噪声影响较大,不能得到一个稳定的估计结果,即该方法低频处估计误差较大,但是车辆的纵向运动响应快速,该方法能够准确感知到路面附着条件的动态变化,即捕捉到了附着系数的高频信息;而相反,基于转向系统共振频率的附着系数估计方法由于车辆转向运动相对缓慢,造成估计时间较长,但该方法可以降低信号噪声对估计结果的影响,即可以获得较为稳定且准确度高的稳态估计结果。考虑到以上两个估计结果的优势互补的特点,本发明的频域融合附着系数估计模块7在对路面附着系数估计时,对 $\mu_{\max 2}$ 采用低通滤波器滤除其高频部分,保留其低频的较为稳定且准确度高的稳态估计结果;对 $\mu_{\max 1}$ 采用高通滤波器滤除其低频部分,保留其中高频动态变化信息;最后将两个滤波器输出的结果相加,最终得到的更加准确的路面附着系数的实时估计值 $\hat{\mu}_{\max}$ 为:

$$[0046] \quad \hat{\mu}_{\max} = \frac{1}{\tau s + 1} \mu_{\max 2} + \frac{\tau s}{\tau s + 1} \mu_{\max 1} \quad (3)$$

[0047] 式中, $\tau$ 为时间常数,是通过多次模拟试验根据滤波情况获得的经验值, $s$ 为拉普拉斯算子, $\frac{1}{\tau s + 1}$ 为低通滤波系数, $\frac{\tau s}{\tau s + 1}$ 为高通滤波系数。

[0048] 值得说明的是,上述各过程的实施方法并不唯一,例如采用MATLAB中的Spectrum Analyzer这个方法估计的共振频率,也可以采用任何其他方式估计,实施例仅用于说明本发明,其中的步骤等都是可以有所变化的,凡是在本发明技术方案的基础上进行的等同变换和改进,均不应排除在本发明的保护范围之外。

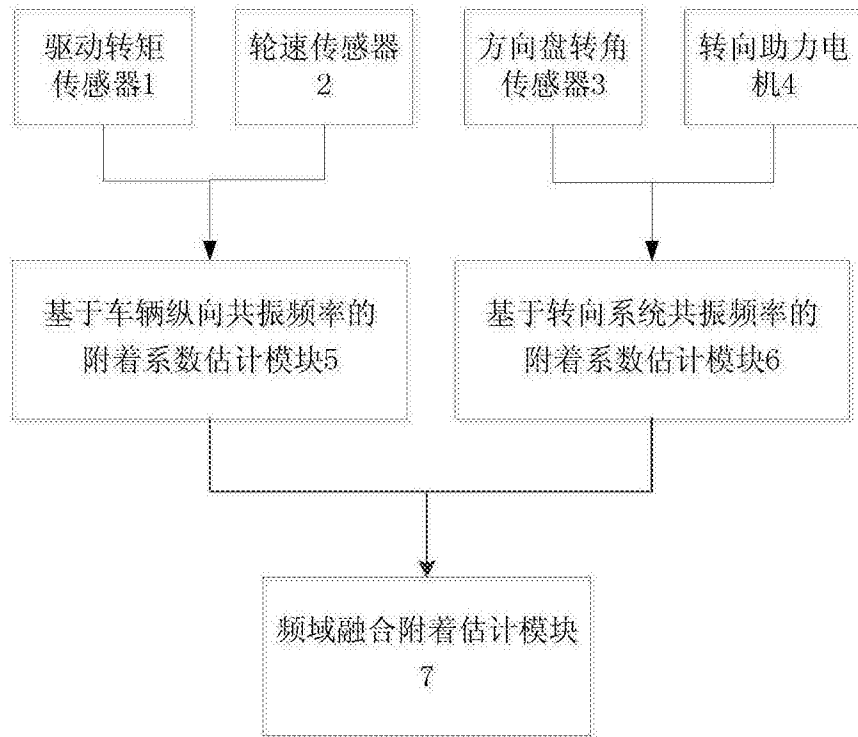


图1