



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109305213 B

(45) 授权公告日 2021.05.18

(21) 申请号 201810793439.2

(22) 申请日 2018.07.18

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 109305213 A

(43) 申请公布日 2019.02.05

(30) 优先权数据  
15/659958 2017.07.26 US

(73) 专利权人 通用汽车环球科技运作有限  
公司  
地址 美国密歇根州

(72) 发明人 J-W·李 B·B·利特库西

(74) 专利代理机构 广州嘉权专利商标事务所有  
限公司 44205  
代理人 林伟峰

(51) Int.Cl.  
B62D 5/04 (2006.01)

(56) 对比文件  
US 6834261 B1, 2004.12.21  
US 2002033301 A1, 2002.03.21  
CN 104176114 A, 2014.12.03  
CN 103287490 A, 2013.09.11  
CN 102176291 A, 2011.09.07  
US 2002108804 A1, 2002.08.15

审查员 乔明侠

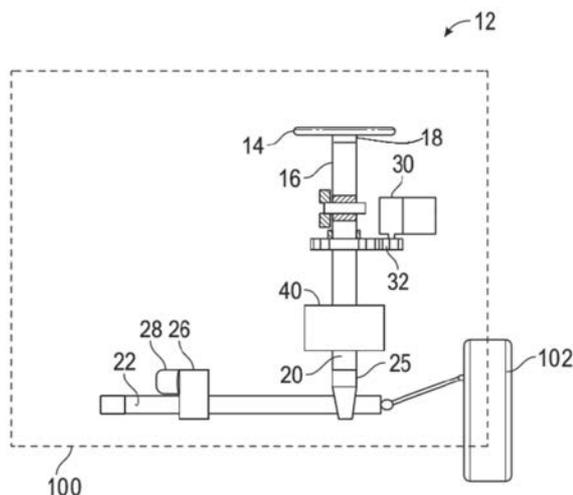
权利要求书3页 说明书10页 附图3页

(54) 发明名称

用于产生触感转矩的转向系统和方法

(57) 摘要

提供了用于产生用于汽车的转向系统的触感转矩的方法和系统。在示例性实施例中，一种用于产生用于汽车的转向系统的触感转矩的方法包括通过操纵安装到汽车的转向柱的方向盘来输入转向命令信号。响应于转向命令，该方法包括改变汽车的车轮的定向。而且，该方法包括将车轮的状况数据传送到控制器。另外，该方法包括通过基于状况数据对互连在转向柱与车轮之间的虚拟弹簧和虚拟阻尼器建模来响应于改变车轮的定向而利用控制器计算转向柱的转动加速度。该方法还包括将转动加速度施加于转向柱。



1. 一种用于产生用于汽车的转向系统的触感转矩的方法,所述方法包括:  
 通过操纵安装到所述汽车的转向柱的方向盘来输入转向命令信号;  
 响应于所述转向命令,改变所述汽车的车轮的定向;  
 将所述车轮的状况数据传送到控制器;  
 通过基于所述状况数据对互连在所述转向柱与所述车轮之间的虚拟弹簧和虚拟阻尼器建模来响应于改变所述车轮的所述定向而利用所述控制器计算所述转向柱的转动加速度;以及  
 将所述转动加速度施加于所述转向柱;  
 其中通过基于所述状况数据对互连在所述转向柱与所述车轮之间的所述虚拟弹簧和所述虚拟阻尼器建模来响应于改变所述车轮的所述定向而利用所述控制器计算所述转向柱的所述转动加速度包括根据以下公式计算所述转动加速度  $\ddot{\theta}_{haptic}$ :

$$\begin{aligned} \ddot{\theta}_{haptic} &= -\frac{k_{vir}}{I_{upper}} (\theta_{target} - \theta_{lower} + \theta_{upper}) \\ &\quad - \frac{c_{vir}}{I_{upper}} (\dot{\theta}_{lower} + \dot{\theta}_{upper}) \end{aligned}$$

其中:

$k_{vir}$  是虚拟弹簧常数; $c_{vir}$  是虚拟阻尼系数;

$I_{upper}$  是转向柱惯性;并且 $\theta_{upper}$  是上部转向柱的角度;

$\theta_{lower}$  是下部转向柱的角度; $\theta_{target}$  是命令转向角;

$\dot{\theta}_{lower}$  是下部转向柱的角速度;并且 $\dot{\theta}_{upper}$  是所述上部转向柱的角速度。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中所述汽车包括转向角传感器、电动机以及车轮传感器,并且其中所述方法包括:

利用所述转向角传感器来识别所述转向命令;

将所述转向命令从所述转向角传感器传送到所述电动机,其中所述电动机改变所述汽车的所述车轮的所述定向;以及

利用所述车轮传感器获得所述车轮的所述状况数据。

3. 根据权利要求1所述的方法,其中所述汽车包括直接或间接地联接到所述转向柱的触觉发生器,其中所述触觉发生器由所述控制器引导以将所述转动加速度施加到所述转向柱。

4. 根据权利要求1所述的方法,其中通过基于所述状况数据对互连在所述转向柱与所述车轮之间的所述虚拟弹簧和所述虚拟阻尼器建模来响应于改变所述车轮的所述定向而利用所述控制器计算所述转向柱的所述转动加速度包括校准虚拟弹簧常数和虚拟阻尼系

数。

5. 根据权利要求1所述的方法,其中所述汽车包括转向角传感器和/或角速率传感器以及车轮传感器,并且其中所述方法包括:

利用所述转向角传感器来识别所述转向命令;以及  
利用所述车轮传感器获得所述车轮的所述状况数据。

6. 一种用于产生用于汽车的转向系统的触感转矩的方法,所述方法包括:

通过操纵安装到所述汽车的转向柱的方向盘来输入转向命令信号;  
响应于所述转向命令,改变所述汽车的车轮的定向;  
将所述车轮的状况数据传送到控制器;

通过对标准转向测试中的系统部件建模和通过估计所述转向系统的选定参数来响应于改变所述车轮的所述定向而利用所述控制器计算所述转向柱的转矩;以及

将所述转向柱的转矩施加于所述转向柱;

其中通过对标准转向测试中的系统部件建模和通过估计所述转向系统的选定参数来响应于改变所述车轮的所述定向而利用所述控制器计算所述转向柱的转矩包括根据以下公式计算所述转向柱转矩:

$$T_{haptic} = I_{equ} \ddot{\theta} + c_{equ} \dot{\theta} + k_{equ} \theta + T_{EPS} + T_{SelfAlign}$$

其中 $T_{haptic}$ 是计算的转向柱转矩, $I_{equ}$ 、 $c_{equ}$ 和 $k_{equ}$ 是根据实验数据集确定的, $T_{EPS}$ 是EPS电动机的测量转矩, $T_{SelfAlign}$ 是方向盘的自对准转矩, $\theta$ 是方向盘角位置; $\dot{\theta}$ 是方向盘角速度;并且 $\ddot{\theta}$ 是方向盘角加速度。

7. 根据权利要求6所述的方法,其中所述汽车包括转向角传感器、电动机以及车轮传感器,并且其中所述方法包括:

利用所述转向角传感器来识别所述转向命令;

将所述转向命令从所述转向角传感器传送到所述电动机,其中所述电动机改变所述汽车的所述车轮的所述定向;以及

利用所述车轮传感器获得所述车轮的所述状况数据。

8. 一种用于汽车的转向系统,所述汽车包括车轮和机械地联接到所述车轮并且可移位以改变所述车轮定向的元件,所述转向系统包括:

方向盘,其安装在转向柱上并且可旋转以输入转向命令;

转向角传感器,其用于识别所述转向命令;

电动机,其用于使所述元件移位以改变所述车轮的所述定向;

车轮传感器,其用于获得车轮状况数据;

触觉发生器,其联接到所述转向柱用于将转动加速度施加到所述转向柱;以及

控制器,其用于接收所述转向命令数据和所述车轮状况数据,并且用于通过基于所述状况数据对互连在所述转向柱与所述车轮之间的虚拟弹簧和虚拟阻尼器建模来计算要施加于所述转向柱的所述转动加速度;

其中通过基于所述状况数据对互连在所述转向柱与所述车轮之间的虚拟弹簧和虚拟阻尼器建模来计算要施加于所述转向柱的所述转动加速度包括根据以下公式计算所述转

动加速度 $\ddot{\theta}_{haptic}$ :

$$\begin{aligned} \ddot{\theta}_{haptic} &= -\frac{k_{vir}}{I_{upper}} (\theta_{target} - \theta_{lower} + \theta_{upper}) \\ &\quad - \frac{c_{vir}}{I_{upper}} (\dot{\theta}_{lower} + \dot{\theta}_{upper}) \end{aligned}$$

其中:

$k_{vir}$ 是虚拟弹簧常数; $c_{vir}$ 是虚拟阻尼系数;

$I_{upper}$ 是转向柱惯性;并且 $\theta_{upper}$ 是上部转向柱的角度;

$\theta_{lower}$ 是下部转向柱的角度; $\theta_{target}$ 是命令转向角;

$\dot{\theta}_{lower}$ 是下部转向柱的角速度;并且 $\dot{\theta}_{upper}$ 是所述上部转向柱的角速度。

9. 一种用于汽车的转向系统,所述汽车包括车轮和机械地联接到所述车轮并且可移位以改变所述车轮定向的元件,所述转向系统包括:

方向盘,其安装在转向柱上并且可旋转以输入转向命令;

转向角传感器,其用于识别所述转向命令;

电动机,其用于使所述元件移位以改变所述车轮的所述定向;

车轮传感器,其用于获得车轮状况数据;

触觉发生器,其联接到所述转向柱用于将转向柱的转矩施加到所述转向柱;以及

控制器,其用于接收所述转向命令数据和所述车轮状况数据,并且用于通过对标准转向测试中的系统部件建模和通过估计所述转向系统的选定参数来计算要施加于所述转向柱的所述转向柱的转矩;

其中通过对标准转向测试中的系统部件建模和通过估计所述转向系统的选定参数来计算要施加于所述转向柱的所述转向柱的转矩包括根据以下公式计算所述转向柱转矩:

$$T_{haptic} = I_{equ} \ddot{\theta} + c_{equ} \dot{\theta} + k_{equ} \theta + T_{EPS} + T_{SelfAlign}$$

其中 $T_{haptic}$ 是计算的转向柱转矩, $I_{equ}$ 、 $c_{equ}$ 和 $k_{equ}$ 是根据实验数据集确定的, $T_{EPS}$ 是EPS电动机的测量转矩, $T_{SelfAlign}$ 是方向盘的自对准转矩, $\theta$ 是方向盘角位置; $\dot{\theta}$ 是方向盘角速度;并且 $\ddot{\theta}$ 是方向盘角加速度。

## 用于产生触感转矩的转向系统和方法

### 背景技术

[0001] 在常规的汽车中,通过调整前轮的定向来实现转向。方向盘通过齿条和小齿轮机构机械地联接到车轮,其中驾驶员旋转方向盘会使小齿轮旋转以使齿条横向地移位以改变车轮的定向,即,使车轮向左转或向右枢转。

[0002] 已经开发出消除方向盘与车轮之间的机械联接的系统。例如,线控转向(SBW)系统通常不包括方向盘与车轮之间的机械连接。相反,这种系统通常利用电动机来驱动元件,诸如小齿轮(在小齿轮安装的电动助力电动机的情况下)或齿条(在齿条安装的电动助力电动机的情况下),以使元件移位并改变车轮定向。转向命令可以从方向盘传送到电动机以引导改变车轮定向。转向命令通常由驾驶员输入,或者在自动转向的情况下使用类似于机械转向系统的方向盘输入控制命令。电传感器检测方向盘的旋转并且向控制器提供信号,该信号致动电动机以重新定向车轮。

[0003] 在机械转向系统中,由于车轮与方向盘之间的机械连接,驾驶员会体验到转向感觉或触觉反馈。转向感觉促进了对车辆的适当控制,因此期望在设置有其中方向盘与车轮机械地分离的转向系统的车辆中提供这种转向感觉或触觉反馈。通常,可通过使用通过各种装置(诸如,示例性情况下通过使用通过皮带和滑轮机构联接到转向柱的电动机)在这样的系统中提供转向感觉。响应于方向盘旋转以输入转向命令,控制器致动联接到方向盘的电动机,以将相反的转矩施加到转向柱,并且由此向驾驶员提供阻力感。阻力程度由控制器基于适用的转向参数来确定,该转向参数包括车速、方向盘角度、方向盘转动速率、偏航率、齿条负载、悬架测量值、垂直加速度、道路类型(如果可用)以及横向加速度,并且阻力程度旨在提供类似于机械转向系统的感觉。

[0004] 为了仿真机械转向系统的转向感觉,非机械联接的转向系统通常利用转向和轮胎动力学的复杂建模。这种建模利用了大量的调谐参数。然而,由于大的参数集和对道路干扰的敏感性以及其它因素,可能难以对精确转向和轮胎动力学建模。

[0005] 因此,期望提供用于产生用于转向系统的触感转矩的方法,其避免了使用大的调谐参数集。另外,期望提供用于产生用于转向系统的触感转矩以仿真常规的机械联接的转向系统的转向感觉的简化方法。另外,根据随后的具体实施方式,结合附图和引言,其它期望的特征和特性将变得显而易见。

### 发明内容

[0006] 提供了用于产生用于汽车的转向系统的触感转矩的方法和系统。在示例性实施例中,一种用于产生用于汽车的转向系统的触感转矩的方法包括通过操纵安装到汽车的转向柱的方向盘来输入转向命令信号。响应于转向命令,该方法包括改变汽车的车轮的定向。而且,该方法包括将车轮的状况数据传送到控制器。另外,该方法包括通过基于状况数据对互连在转向柱与车轮之间的虚拟弹簧和虚拟阻尼器建模来响应于改变车轮的定向和轮胎力而利用控制器计算转向柱的转动加速度。该方法还包括将转动加速度施加于转向柱。

[0007] 示例性方法中的车辆可以包括转向角传感器、电动机和车轮传感器,并且该方法

可以进一步包括利用转向角传感器识别转向命令、将转向命令从转向角传感器传送到电动机,其中电动机改变汽车的车轮的定向,并且利用车轮传感器获得车轮的状况数据。

[0008] 在示例性实施例中,车辆可以包括联接到转向柱的触觉发生器,并且触觉发生器可以由控制器引导以将转动加速度施加到转向柱。另外,触觉发生器可以经由机构联接到转向柱,并且触觉发生器可以由控制器引导以通过该机构将转动加速度施加到转向柱。

[0009] 而且,通过基于状况数据对互连在转向柱与车轮之间的虚拟弹簧和虚拟阻尼器建模来响应于改变车轮的定向而利用控制器计算转向柱的转动加速度可以包括校准虚拟弹簧常数和虚拟阻尼系数。例如,通过基于状况数据对互连在转向柱与车轮之间的虚拟弹簧和虚拟阻尼器建模来响应于改变车轮的定向而利用控制器计算转向柱的转动加速度可以包括校准虚拟弹簧常数和虚拟阻尼系数以避免方向盘振荡。

[0010] 通过基于状况数据对互连在转向柱与车轮之间的虚拟弹簧和虚拟阻尼器建模来响应于改变车轮的定向而利用控制器计算转向柱的转动加速度可以包括根据以下公式计算转动加速度 $\ddot{\theta}_{\text{haptic}}$ :

$$\begin{aligned}
 & \ddot{\theta}_{\text{haptic}} \\
 [0011] \quad & = -\frac{k_{\text{vir}}}{I_{\text{upper}}} (\theta_{\text{target}} - \theta_{\text{lower}} + \theta_{\text{upper}}) \\
 & \quad - \frac{c_{\text{vir}}}{I_{\text{upper}}} (\dot{\theta}_{\text{lower}} + \dot{\theta}_{\text{upper}})
 \end{aligned}$$

[0012] 其中: $k_{\text{vir}}$ 是虚拟弹簧常数; $c_{\text{vir}}$ 是虚拟阻尼系数; $I_{\text{upper}}$ 是转向柱惯性;而每个上部 $\theta$ 和每个 $\dot{\theta}$ 是方向盘或转向柱的测量值。具体地, $\theta_{\text{target}}$ 是方向盘的命令转向角或角度; $\theta_{\text{lower}}$ 是下部转向柱的角度; $\theta_{\text{upper}}$ 是上部转向柱的角度; $\dot{\theta}_{\text{lower}}$ 是下部转向柱的角速度; $\dot{\theta}_{\text{upper}}$ 是上部转向柱的角速度。

[0013] 示例性方法的车辆可以包括转向角传感器和车轮传感器,并且该方法可以包括利用转向角传感器识别转向命令并且利用车轮传感器获得车轮的状况数据。对于这样的实施例,通过基于状况数据对互连在转向柱与车轮之间的虚拟弹簧和虚拟阻尼器建模来响应于改变车轮的定向而利用控制器计算转向柱的转动加速度可以包括根据以下公式计算转动加速度 $\ddot{\theta}_{\text{haptic}}$ :

$$\begin{aligned}
 \ddot{\theta}_{haptic} &= -\frac{k_{vir}}{I_{upper}} (\theta_{target} - \theta_{lower} + \theta_{upper}) \\
 &\quad - \frac{c_{vir}}{I_{upper}} (\dot{\theta}_{lower} + \dot{\theta}_{upper})
 \end{aligned}$$

[0015] 其中：

[0016]  $k_{vir}$  是虚拟弹簧常数；

[0017]  $c_{vir}$  是虚拟阻尼系数；

[0018]  $I_{upper}$  是转向柱惯性；

[0019]  $\theta_{upper}$  是上部转向柱的角度；

[0020]  $\dot{\theta}_{upper}$  是上部转向柱的角速度。

[0021]  $\theta_{lower}$  是下部转向柱的角度；并且

[0022]  $\dot{\theta}_{lower}$  是下部转向柱的角速度。

[0023] 在另一个实施例中，一种用于产生用于汽车的转向系统的触感转矩的方法包括通过操纵安装到汽车的转向柱的方向盘来输入转向命令信号。响应于转向命令，该方法包括改变汽车的车轮的定向。该方法还包括将车轮的状况数据传送到控制器。该方法进一步包括通过对标准转向测试中的系统部件建模和通过估计转向系统的选定参数来响应于改变车轮的定向而利用控制器计算转向柱的转动加速度。而且，该方法包括将转动加速度施加于转向柱。

[0024] 示例性方法中的车辆可以包括转向角传感器、电动机和车轮传感器，并且该方法可以进一步包括利用转向角传感器识别转向命令、将转向命令从转向角传感器传送到电动机，其中电动机改变汽车的车轮的定向，并且利用车轮传感器获得车轮的状况数据。

[0025] 在示例性实施例中，车辆可以包括联接到转向柱的触觉发生器，并且触觉发生器可以由控制器引导以将转动加速度施加到转向柱。另外，触觉发生器可以经由机构（诸如示例性情况中的皮带和滑轮机构）联接到转向柱，并且触觉发生器可以由控制器引导以通过该机构将转动加速度施加到转向柱。

[0026] 在示例性实施例中，转向系统的选定参数包括  $I_{equ}$ 、 $c_{equ}$  和  $k_{equ}$ 。在另一个示例性实施例中，通过在二阶等效系统中近似选定参数来估计该选定参数。在另一个示例性实施例中，选定参数在以下公式中近似：

$$T_{haptic} = I_{equ} \ddot{\theta} + c_{equ} \dot{\theta} + k_{equ} \theta + T_{EPS} + T_{SelfAlign}$$

[0028] 其中  $T_{haptic}$  是计算的转向柱转矩，而  $I_{equ}$ 、 $c_{equ}$  和  $k_{equ}$  是根据实验数据集确定的。 $T_{EPS}$  是EPS电动机的测量转矩。 $T_{SelfAlign}$  是方向盘的自对准转矩。它是车速、转向角和轮胎动力学参数的函数。出于参数估计目的， $T_{SelfAlign}$  在各种状况下由车辆测试确定并且预先记录。

[0029] 在另一个示例性实施例中，选定参数在以下公式中近似：

$$[0030] \quad T_{haptic} = I_{equ} \ddot{\theta} + c_{equ} \dot{\theta} + k_{equ} \theta + T_{EPS} + T_{SelfAlign}$$

[0031] 其中 $T_{haptic}$ 是计算的转向柱转矩,而 $I_{equ}$ 、 $c_{equ}$ 和 $k_{equ}$ 是根据实验数据集确定的;并且其中 $\theta$ 、 $\dot{\theta}$ 和 $\ddot{\theta}$ 是方向盘的测量值。具体地, $\theta$ 是方向盘角位置; $\dot{\theta}$ 是方向盘角速度;并且 $\ddot{\theta}$ 是方向盘角加速度。

[0032] 另外,在示例性实施例中,该方法使用第一公式来计算低速时转向柱的转动加速度,并且使用第二公式来计算高速时转向柱的转动加速度。

[0033] 在另一个实施例中,提供了一种用于汽车的转向系统,该汽车包括车轮和机械地联接到车轮并且可移位以改变车轮定向的元件。示例性转向系统包括方向盘,其安装在转向柱上并且可旋转以输入转向命令;转向角传感器,其用于识别转向命令;电动机,其用于使该元件移位以改变车轮的定向;车轮传感器,其用于获得车轮状况数据;触觉发生器,其联接到转向柱用于将转动加速度施加到转向柱;以及控制器,其用于接收转向命令数据和车轮状况数据,并且用于通过基于状况数据对互连在转向柱与车轮之间的虚拟弹簧和虚拟阻尼器建模或者通过对标准转向测试中的系统部件建模和通过估计转向系统的选定参数来计算要施加于转向柱的转动加速度。

## 附图说明

[0034] 下文将结合以下附图描述本主题,其中相同的附图标记表示相同的元件,并且其中:

[0035] 图1是具有转向系统的车辆的示例性实施例的示意图;

[0036] 图2是适用于车辆的电子控制单元的实施例的框图表示;

[0037] 图3是根据本文实施例的设置具有转向系统的汽车的示意图;以及

[0038] 图4是说明用于产生用于汽车的转向系统的触感转矩的方法的示例性实施例的流程图。

## 具体实施方式

[0039] 具体实施方式本质上仅仅是示例性的,而不旨在限制本文的所要求保护主题。如本文所使用,单词“示例性”意味着“用作示例、范例或说明”。本文描述为示例性的实施方案并不一定被解释为相比其它实施方案更优选或更有利。另外,不存在被任何前述的技术领域、上下文、摘要或以下详细描述中提出的任何表述的或暗示的理论约束的意图。另外,不意图受前述背景技术或以下具体实施方式中提出的任何理论的束缚。

[0040] 技术和工艺在本文可以就功能和/或逻辑块部件并且参考可以由各种计算部件或装置执行的操作、处理任务和功能的符号表示来描述。这样的操作、任务和功能有时候被称为是计算机执行的、计算机化的、软件实施的或计算机实施的。应当明白的是,图中所示的各个块部件可以由配置成执行指定功能的任何数量的硬件、软件和/或固件部件来实现。例如,系统或部件的实施例可以采用各种集成电路部件(例如,存储器元件、数字信号处理元件、逻辑元件、查找表等,其可以在一个或多个微处理器或其它控制装置的控制下实行多种功能)。

[0041] 当在软件、固件、处理程序中实施时,本文所述的系统的各个元件本质上是执行各

项任务的代码段或指令。在某些实施例中，程序或代码段存储在有形处理器可读介质中，该有形处理器可读介质包括可以存储或传递信息的任何介质。非暂时性和处理器可读介质的示例包括电子电路、半导体存储器装置、ROM、闪速存储器、可擦除ROM (EROM)、软磁盘、CD-ROM、光盘、硬盘等。

[0042] 为了简洁起见，本文可以不详细描述与车辆设计、车辆控制系统、转向系统、电动和混合动力电动传动系统、基于车辆的电子控制单元 (ECU) 以及基于车辆的联网协议有关的常规技术和相关架构。另外，本文所包括的各个图中所示的连接线旨在表示各个元件之间的示例性功能关系和/或物理联接。应当注意的是，在该主题的实施例中可以存在许多替代或附加的功能关系或物理连接。

[0043] 本文实施例提供了用于产生用于转向系统 (诸如线控转向 (SBW) 系统) 的模拟触感力矩的方法。在这种转向系统中，方向盘与车轮机械地分离。当在常规系统中机械联接时，来自车轮的旋转转矩或触感转矩通过车轮与方向盘之间的机械联接传送到方向盘。因此，本文实施例寻求重建用于机械分离的转向系统的机械联接的转向系统的触感力矩。

[0044] 本文实施例产生用于方向盘的触感转矩，而无需对转向和轮胎动力学进行复杂建模。大多数常规的触感转矩产生系统产生与转向和轮胎动力学建模对应的触感转矩。然而，由于大的调谐参数集和对道路干扰的敏感性以及其它不同因素，实际上可能无法对精确转向和轮胎动力学建模。与常规系统不同，本文实施例提供直观的调谐方法，其仅利用等于惯性、顺应性和阻尼系数的几个调谐参数。在不深入了解系统动态的情况下，可以轻松调谐所利用的调谐参数。另外，本文实施例提供对多种转向感觉 (诸如可回正性、末端止动、可变转向转矩) 的统一转向感觉仿真。本文实施例提供具有不同转向感觉仿真模式的驾驶员适应能力，诸如可变的期望水平的平滑或紧密转向感觉。

[0045] 在一个实施例中，一种用于产生触感转矩的方法对触感转矩建模，就如同转向柱通过虚拟弹簧和虚拟阻尼器物理连接到下部柱。因此，这种方法提供了虚拟弹簧常数和虚拟阻尼系数的使用，以根据给定的方向盘角度和车轮角度测量值来计算转向柱转向加速度。

[0046] 在另一个实施例中，一种用于产生触感转矩的方法对触感转矩建模，就如同转向柱通过利用从标准转向测试建模的系统部件和从标准转向测试估计的选定参数来物理地连接到下部柱。

[0047] 图1是具有转向系统的车辆100的示例性实施例的示意图。虽然所说明的车辆100可以配备用于电动操作，但是也可以考虑用于燃烧式车辆的转向系统。车辆100可以是前轮驱动车辆、后轮驱动车辆、全轮驱动车辆等。图1中所说明的非限制性实施例表示前轮驱动车辆。车辆100可以包括但不限于：车轮102；至少一个驱动轴104；驱动系统106；电动机/发电机 (MOGEN) 108；用于驱动系统106的能量存储系统 (ESS) 110；基于计算机或处理器的控制系统112；多个车辆传感器114；摩擦制动系统116；加速器踏板118；制动器踏板120。车辆100的转向系统可以被实施或实现为车辆100上的各种硬件、控制和计算机可执行代码元件的组合。例如，转向系统可以包括但不限于或者与以下一些或全部配合：一个或多个驱动轴104、驱动系统106、电动机108、控制系统112、一个或多个传感器114以及摩擦制动系统116。

[0048] 图1以非常简化的方式描绘了车辆100。应当明白的是，车辆100的实际实施例将包括许多附加部件、子系统和元件，它们配合以提供各种常规和普通的特征和功能。为了简洁

和清楚起见,这里将不再详细描述车辆100的常规方面(其可能与所公开的主题无关或不相关)。

[0049] 驱动系统106将牵引动力传递到驱动轴104。驱动系统106可以包括但不限于变速器、变矩器和内燃机(用于HEV或插电式HEV车辆)。为了便于说明,这些部件未在图1中进行描绘。驱动系统106被适当地设计和控制以与电动机108和ESS 110配合,使得车轮102(例如,用于该示例的前驱动轮)可以由电动机108使用存储在ESS 110中的电能来驱动。电动机108、ESS 110和/或车辆100的其它特征和功能由控制系统112控制。

[0050] 可以使用一个或多个车载电子控制模块实施的控制系统112适当地被配置为充当车辆100的再生控制系统。在某些实施例中,控制系统112的功能分布在车辆100的多个物理上不同的电子控制模块中。例如,控制系统112可以包括但不限于或者与以下一些或全部配合:中央控制模块;发动机控制模块;变速器控制模块;功率逆变器模块;制动控制模块;车身控制模块;动力系控制模块;以及电池控制模块。这些以及可能的其它模块包括以期望方式操作车辆100可能需要的控制逻辑和功能能力。如果这样配置,则控制系统112可以提供一些或所有前述模块的总体控制和协调。为了简单起见,控制系统112被表示为单个块,但是在车辆100的实施例中也可以部署单独的不同部件。在某些实施例中,控制系统112可以被配置为提供或支持下面更详细描述仪器显示系统的一些或全部功能。

[0051] 控制系统112(以及车辆100上的任何单独控制模块)可以被配置为通用数字计算机,其通常包括微处理器、中央处理单元或其它形式的处理器装置、只读存储器(ROM)、随机存取存储器(RAM)、电可编程只读存储器(EPROM)、高速时钟、模数转换(A/D)和数模转换(D/A)电路,以及输入/输出电路和装置(I/O),以及适当的信号调节和缓冲电路。常驻在控制系统112(以及车辆100上的任何单独的控制模块)中或由此可访问的每一组算法可以存储在ROM中并且根据需要执行以实施相应的功能。

[0052] ESS 110可以被配置为一个或多个电池,但是这里可以使用具有存储电力和分配电力的能力的其它电气和/或电化学能量存储装置。ESS 110的尺寸可以基于包括再生制动要求、与典型道路坡度和温度相关的应用问题以及诸如排放、动力辅助和电动里程的推进要求的因素来调整。通常,ESS 110是相对高压直流(DC)装置,其经由充分构造和布线的DC电缆联接到变速器功率逆变器模块(未示出),如本领域一般技术人员将理解的。

[0053] 电动机108机械地联接到至少一个车轮102,并且电联接到ESS 110。电动机108可以交替地充当电源或发电机。当充当电动机或电源时,电动机108向驱动系统106供电,取决于车辆100的设计,该电动机可以是单个单元或多个单元。当充当发电机时,电动机108将从驱动系统106接收电力。在这方面,控制系统112适于将电能从电动机108引导或分配到ESS 110以对ESS 110进行再充电,和/或将电能从ESS 110分配到另一个电力单元(未示出),此时该电动机将会充当电动机。

[0054] 车辆100包括常规的机电或液压摩擦制动系统116,其利用定位在每个车轮102附近的流体致动垫和/或鼓式制动机构。摩擦制动系统116提供摩擦制动转矩,其可以通过电子/再生制动转矩来增强。当车辆100的驾驶员或操作员踩下制动踏板120以由此输入描述驾驶员命令的总制动转矩的力和行程时,摩擦制动系统116经由摩擦制动转矩和再生制动转矩(如果有)的组合来使车辆100减速。

[0055] 仍然参考图1,车辆100还配备有各种传感器114,其检测或获得与车辆100的当前

操作状态或状况有关的信息(在本文称为车辆状态数据)。例如,传感器114可以包括测量轮速和车轮滑移数据的轮速传感器(车速、加速度和减速度可以由控制系统112使用轮速数据来计算)。传感器114还可以包括检测制动踏板120和加速器踏板118的位置和/或行程的传感器。传感器114还可以包括确定ESS 110的当前充电状态、ESS 110在任何给定时间的充电和/或放电功率以及ESS 110在任何给定时间的温度的传感器。在车辆100的操作期间,控制系统112通过与不同传感器114对应的输入信号来接收实时车辆状态数据,该传感器可以部署在车辆100上的各个位置处。可以任何采样速率来收集和处理器数据,例如每10毫秒一次。

[0056] 如前所述,控制系统112以及车辆100的其它功能模块可以使用一个或多个ECU来实施。例如,车辆100可以包括以下ECU中的任何一个或全部,但不限于:车身控制模块;中央组套模块;记忆座椅模块;仪表板集群模块;后座娱乐模块;升降门模块;放大器模块;变速器模块;气候控制(HVAC)模块;以及发动机控制模块。在本背景中,图2是适用于车辆100的ECU 200的实施例的框图表示。虽然一个ECU 200可以管理本文描述的仪表和显示功能,但是各种实施例可以采用多个ECU 200来以配合和分布式方式支持功能。ECU 200的所说明实施例通常包括但不限于:至少一个处理器装置202;至少一个计算机可读存储器装置或存储介质204;以及输入/输出模块206(例如,适当配置的收发器)。实际上,ECU 200可以包括配合以实现期望功能的附加元件、装置和功能模块。

[0057] 处理器装置202能够执行存储在存储介质204上的计算机可执行指令,其中该指令使ECU 200执行其负责的各种过程、操作和功能。实际上,处理器装置202可以被实施为微处理器、多个分立处理器装置、内容可寻址存储器、专用集成电路、现场可编程门阵列、任何合适的可编程逻辑装置、离散门或晶体管逻辑、离散硬件部件,或旨在执行所需功能的任何组合。

[0058] 存储介质204(和/或任何通用存储器存储装置或存储元件)可用于存储定义用于ECU 200的操作系统、引导加载程序或BIOS的程序代码。另外,存储介质204可以包括随机存取存储器,其用作处理器装置202的临时数据存储装置。在这方面,处理器装置202可以根据需要写入到存储介质204并从存储介质204中读取以支持ECU 200的操作。

[0059] 可以使用软件、固件、硬件、处理逻辑或其任何合适的组合来实现输入/输出模块206。在某些示例性实施例中,输入/输出模块206适当地被配置为支持ECU 200与主车辆100上的其它模块、ECU、传感器或装置之间的数据通信。输入/输出模块206还可以被设计为支持与外部装置或源的数据通信。例如,从“外部”传感器接收输出数据,该“外部”传感器不以其它方式联接到车辆100上的通信网络。

[0060] 图3是说明被设置有能够选择性地以线控转向(SBW)模式或电动助力转向(EPS)模式操作的转向系统12的汽车100的另一个示意图。如所示,车辆100包括方向盘14,其安装在转向柱16上并且在自动转向的情况下可由诸如驾驶员或控制命令旋转以用于输入转向命令。另外,车辆100包括角度传感器18,其被配置为测量方向盘14的角度、转速和/或旋转加速度。角度传感器18包括在图1的车辆传感器114中。角度传感器18可以包括用于传送方向盘14的角度、转速和/或旋转加速度作为转向命令的收发器。

[0061] 如进一步所示,示例性车辆100包括联接到元件22(诸如齿条)的下部柱20,该元件机械地联接到车轮102并且可横向移位以改变车轮102的定向。车辆100可以进一步包括车轮

传感器25,其感测车轮102的定向或角度和转速或加速度并且可以提供指示车轮定向、速度和加速度的车轮信号。车轮传感器25包括在图1的车辆传感器114中。车轮传感器25可以包括用于响应于转向命令而将车轮102的定向、速度和加速度作为信号进行传送的收发器。

[0062] 而且,示例性车辆100包括电动机26,其联接到元件22以用于响应于转向命令而使元件22横向移位。独立于电动机26或者集成到电动机26中的控制器28可以被设置成从角度传感器18接收转向命令信号。

[0063] 如进一步说明,示例性车辆100包括电动机或触觉发生器30,其通过皮带和滑轮机构32机械地联接到转向柱16。示例性触觉发生器30包括控制器,其用于从车轮传感器25接收车轮信号并且用于引导触觉发生器30将指示车轮102的转矩的触感转矩施加到转向柱16。

[0064] 在图3中,转向柱16未机械联接到下部柱20。实情是,虚拟弹簧和虚拟阻尼器被说明为虚拟盒40,其用于在转向柱16与下部柱20之间提供虚拟连接,即,非机械连接。为了在转向柱16和方向盘14上产生触感转矩,触觉致动器30基于弹簧和阻尼器参数来计算触感转矩。

[0065] 例如,该方法利用触觉致动器30产生转向触感转矩以仿真转向柱16与下部柱20之间的机械连接。触觉致动器30将触感转矩(即,旋转转矩)施加到转向柱16,就如同转向柱16通过由虚拟盒40建模的弹簧和阻尼系统物理地连接到下部柱20。

[0066] 例如,触觉致动器根据以下公式产生转向柱转动加速度 $\ddot{\theta}_{haptic}$ :

$$\begin{aligned}
 & \ddot{\theta}_{haptic} \\
 [0067] \quad & = -\frac{k_{vir}}{I_{upper}} (\theta_{target} - \theta_{lower} + \theta_{upper}) \\
 & \quad - \frac{c_{vir}}{I_{upper}} (\dot{\theta}_{lower} + \dot{\theta}_{upper})
 \end{aligned}$$

[0068] 其中调谐变量 $k_{vir}$ 是虚拟弹簧常数,而调谐变量 $c_{vir}$ 是虚拟阻尼系数。另外, $I_{upper}$ 是转向柱惯性,它是已知参数。而且,每个 $\theta$ 和 $\dot{\theta}$ 是方向盘或转向柱的测量值。具体地, $\theta_{lower}$ 是下部转向柱的角度; $\theta_{upper}$ 是上部转向柱的角度; $\theta_{target}$ 是命令转向角,即,驾驶员的转向输入或用于自动转向的目标控制命令; $\dot{\theta}_{lower}$ 是下部转向柱的角速度;而 $\dot{\theta}_{upper}$ 是上部转向柱的角速度。对于该公式,虚拟弹簧常数 $k_{vir}$ 和虚拟阻尼系数 $c_{vir}$ 被校准为临界阻尼系统或过阻尼系统。结果,可以避免方向盘振动。

[0069] 因此,对虚拟弹簧和虚拟阻尼器布置建模的公式仅利用两个调谐变量:虚拟弹簧常数 $k_{vir}$ 和虚拟阻尼系数 $c_{vir}$ ,并且利用转向柱惯性 $I_{upper}$ 的已知(对于任何给定车辆)参数。另外,对虚拟弹簧和虚拟阻尼器布置建模的公式仅测量五个变化的实时状况:上部转向柱角位置 $\theta_{upper}$ ;下部转向柱角位置 $\theta_{lower}$ ;命令转向角 $\theta_{target}$ ;上部转向柱的转速 $\dot{\theta}_{upper}$ ;以及下

部转向柱的转速 $\dot{\theta}_{lower}$ 。

[0070] 然而,在仅两个调谐变量、一个已知参数和五个测量状况的情况下,该公式产生转向柱转动加速度,其仿真方向盘机械地联接到车轮的常规系统。另外,该公式通过调整一个或两个调谐变量(即,虚拟弹簧常数 $k_{vir}$ 和/或虚拟阻尼系数 $c_{vir}$ )使得能够易于修改以便仿真期望的驾驶状况(诸如紧密转向感觉或平滑转向感觉)。

[0071] 在另一个实施例中,盒40用作虚拟动力学盒以仿真转向柱16与下部柱20之间的直接机械连接。例如,算法仿真常规转向系统的机械部件的已知动力学。常规转向系统具有许多机械部件(齿轮组件、接头、扭杆轮胎、电动机等),其沿着转向柱16产生顺应性、阻尼和非线性。在示例性实施例中,根据系统识别对这些部件建模。另外,估计其它选定参数。

[0072] 在该实施例中,用于仿真触感转矩的公式使用常规转向系统机械部件的已知动力学。未建模的动力学近似为诸如下式中的二阶等价系统:

$$[0073] \quad T_{haptic} = I_{equ} \ddot{\theta} + c_{equ} \dot{\theta} + k_{equ} \theta + T_{EPS} + T_{SelfAlign}$$

[0074] 其中 $T_{haptic}$ 是计算的转向柱转矩,而 $I_{equ}$ 、 $c_{equ}$ 和 $k_{equ}$ 是根据实验数据集确定的。对于转向系统的参数估计,从可以测量 $\theta$ ; $\dot{\theta}$ ; $\ddot{\theta}$ 、 $v_x$ 以及 $T_{haptic}$ 的一组的标准转向测试中收集大数据集。然后可以应用曲线拟合方法来找到 $I_{equ}$ 、 $c_{equ}$ 和 $k_{equ}$ 。 $T_{SelfAlign}$ 是可以基于测试确定和预先记录的估计转矩值,并且可以先前测试中的查找表的形式提供。测量 $T_{EPS}$ 。可以调整等效动态模型以匹配车辆设计概念和驾驶员偏好。例如,可以增加 $I_{equ}$ 以仿真重型转向感觉,可以增加 $k_{equ}$ 以仿真快速响应,并且可以增加 $c_{equ}$ 以仿真平滑转向感觉。在找到等效模型后,触觉致动器产生转向柱转矩 $T_{haptic}$ 。

[0075] 另外,在该实施例中,等效模型可以被分成取决于车速的不同公式。例如,在较低速度下,轮胎性质对转向感觉展现出更大的影响。因此,可以基于车速改变公式中的常数。在示例性实施例中,低速公式是:

$$[0076] \quad T_{haptic} = I_{low} \ddot{\theta} + c_{low} \dot{\theta} + k_{low} \theta + T_{EPS} + T_{SelfAlign}$$

[0077] 高速公式是:

$$[0078] \quad T_{haptic} = I_{hg} \ddot{\theta} + c_{hg} \dot{\theta} + k_{hg} \theta + T_{EPS} + T_{SelfAlign}$$

[0079] 通过从车辆其它地方提供的地图和表面检测模块添加路面信息(诸如道路交叉坡度、道路施工材料(即,混凝土、沥青、砾石等)、路况(即,潮湿、结冰等)),可以进一步改进触感产生。而且,悬架系统中的传感器(诸如高度传感器)、轮胎中的传感器(诸如压力传感器和轮速传感器)改进仿真的转向感觉。

[0080] 图4是说明车辆转向方法300的示例性实施例的流程图。可以执行方法300以利用提供给方向盘的选定触觉转向感觉转矩来控制车辆。方法300可以包括在动作302处输入转向命令信号。例如,驾驶员或控制命令可以将安装到汽车的转向柱的方向盘操纵到期望角度。

[0081] 方法300进一步包括在动作304处接收方向盘数据。例如,方向盘传感器可以识别方向盘的角度、方向盘的转速、方向盘的旋转加速度或其它选定数据。

[0082] 在动作306处,该方法包括传送方向盘数据。在示例性实施例中,方向盘传感器或

与其联接的控制器可以将方向盘数据传送到联接到车轮的电动机或电动机控制器。

[0083] 方法300包括响应于接收方向盘数据而在动作308处改变车轮的定向。在示例性实施例中,电动机使机械联接到车轮的元件横向移位以改变车轮的定向。

[0084] 另外,方法300包括在动作310处获得车轮状况数据。例如,车轮传感器可以监控车轮和车辆的各种性质,诸如车轮角度定向、角速度、角加速度、车速、齿条负载等。

[0085] 在动作312处,传送车轮数据。具体地,车轮数据从车轮传感器或从与其联接的控制器传送到转向系统控制器。

[0086] 然后,转向系统控制器在动作314处利用方向盘数据和车轮数据来计算施加于转向柱的适当转动加速度。如上所述,这种计算可以使用虚拟弹簧和虚拟阻尼器计算或者使用用于仿真常规转向系统的机械部件的已知动力学的计算来执行。

[0087] 方法300在动作316处将转动加速度施加到转向柱。例如,联接到转向柱的触觉发生器可以由控制器引导以将计算的转动加速度施加到转向柱。

[0088] 在动作302后,结合方法300执行的各项任务可以由软件、硬件、固件或其任何组合来执行。为了说明性目的,方法300的以下描述可以指代上文结合图1到3提及的元件。应当明白的是,方法300可以包括任何数量的附加或替代任务,图4中所示的任务不需要以所说明的顺序执行,并且方法300可被结合到具有本文未详细描述的增加功能的更全面的程序或过程。另外,只要所期望的整体功能性保持完整,就可从方法300的实施例中省略图4中所示的一项或多项任务。

[0089] 如本文所述,提供了用于产生用于汽车的转向系统的触感转矩的方法。本文描述的方法避免使用转向和轮胎动力学的复杂建模。相反,本文描述的方法通过虚拟弹簧和虚拟阻尼器系统或者通过调谐参数的选择性建模和估计来提供仿真。结果,用于产生用于汽车的转向系统的触感转矩的方法被简化,易于调谐驾驶员偏好,同时仍然仿真机械联接的转向系统。

[0090] 虽然前述详细描述中已经提出了至少一个示例性方面,但是应当明白的是,存在许多变化。还应当明白的是,示例性方面或多个示例性方面仅是示例并且不旨在以任何方式限制所要求保护主题的范围、适用性或配置。实情是,前文详细描述将给本领域技术人员提供用于实施所要求保护主题的示例性方面的便捷指引。应当理解的是,可在不脱离所要求保护主题的范围的情况下对示例性方面中描述的元件的功能及布置作出各种改变。

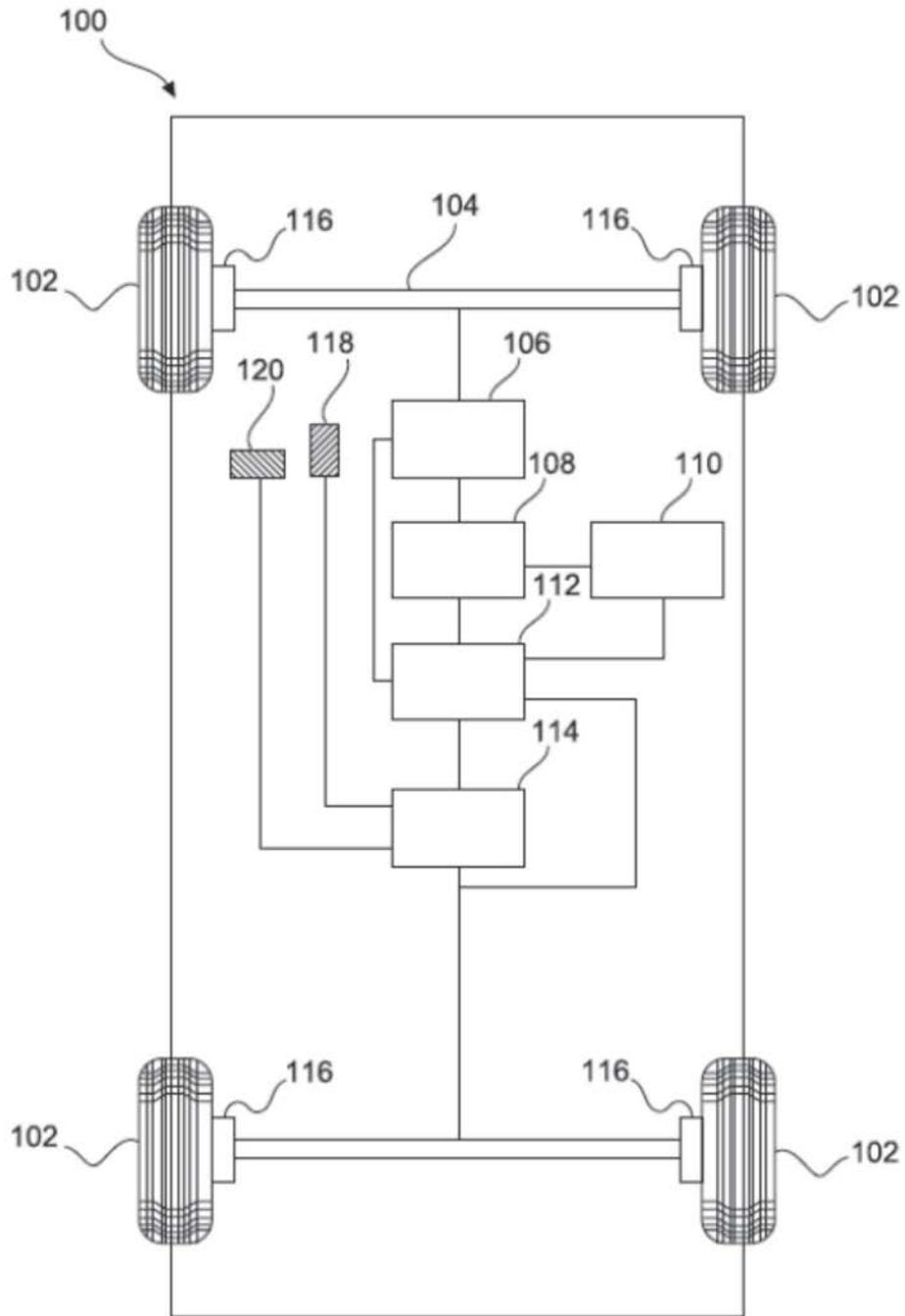


图1

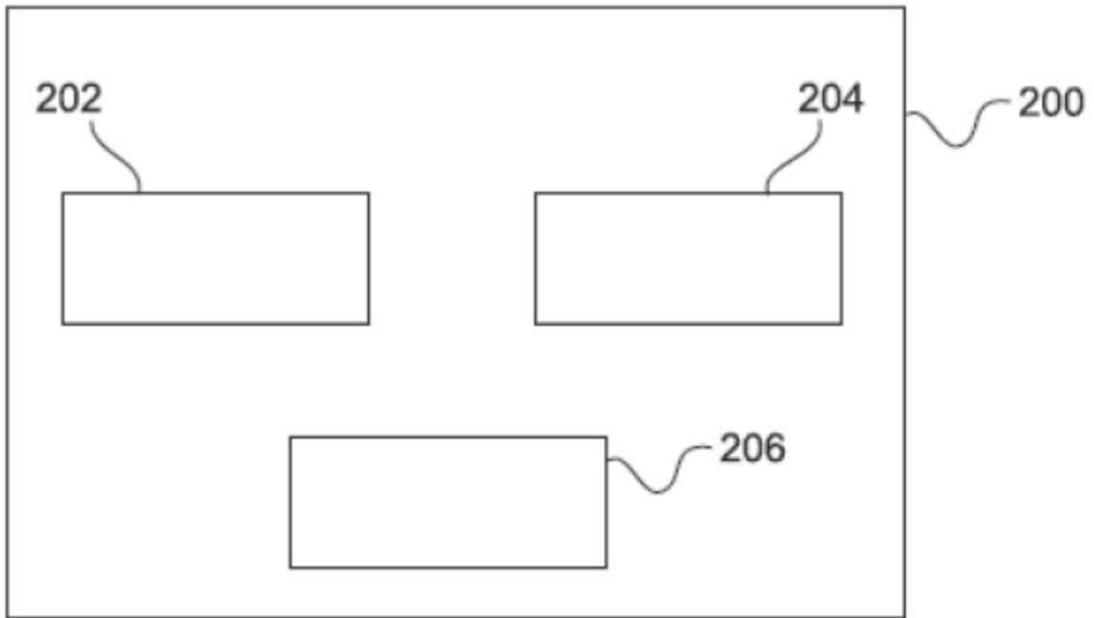


图2

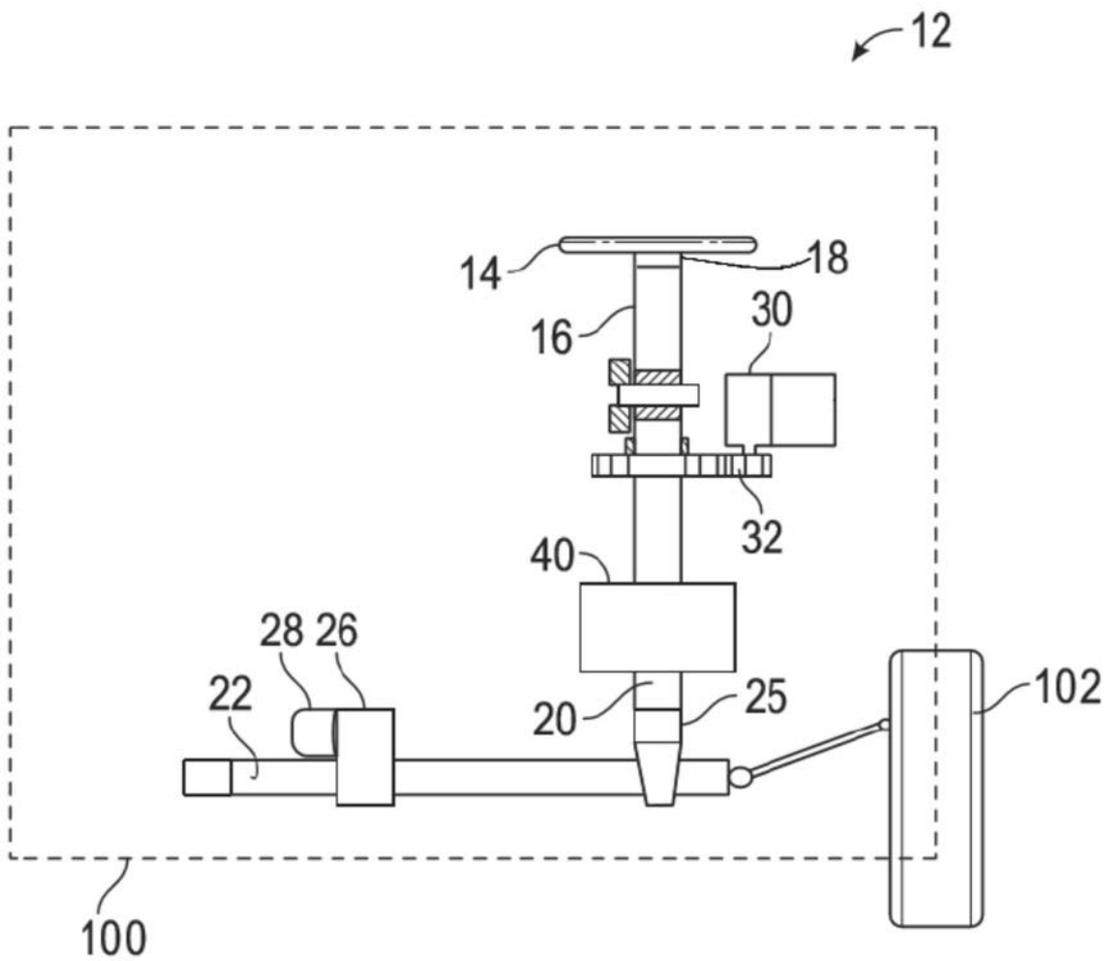


图3

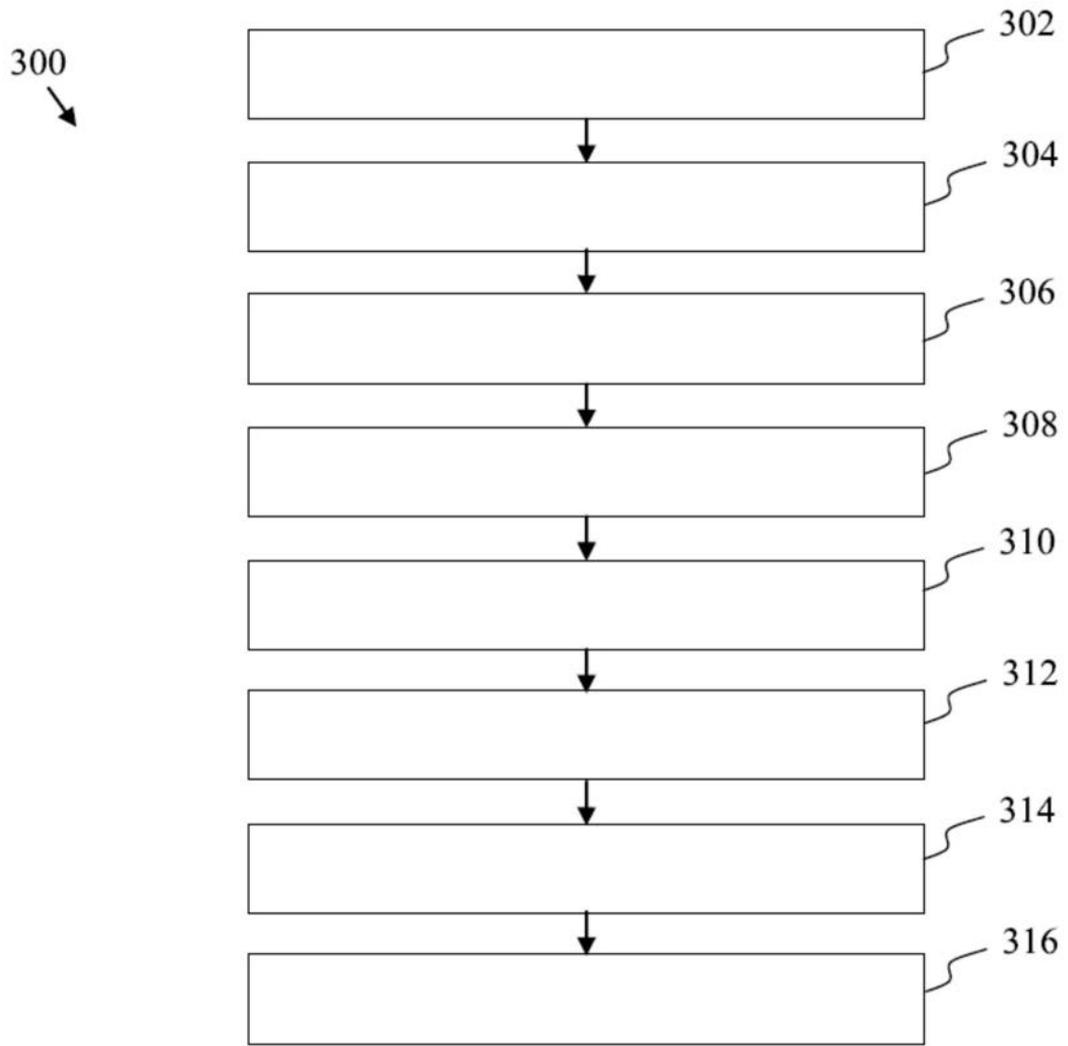


图4