



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114945496 A

(43) 申请公布日 2022. 08. 26

(21) 申请号 202080093069.7

(22) 申请日 2020.12.04

(30) 优先权数据

PCT/EP2020/050850 2020.01.15 EP

20193854.5 2020.09.01 EP

20203236.3 2020.10.22 EP

20203293.4 2020.10.22 EP

20205699.0 2020.11.04 EP

20206187.5 2020.11.06 EP

20206437.4 2020.11.09 EP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2022.07.14

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2020/084597 2020.12.04

(87) PCT国际申请的公布数据

W02021/144065 EN 2021.07.22

(71) 申请人 沃尔沃卡车集团

地址 瑞典,哥德堡

(72) 发明人 里昂·亨德森 里奥·莱恩

安德烈亚斯·吉尔斯特罗姆

马蒂亚斯·安德烈亚松

耶克·伦纳威 西德汉特·雷

(74) 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限

责任公司 11219

专利代理师 车文 高伟

(51) Int.Cl.

B60T 8/175 (2006.01)

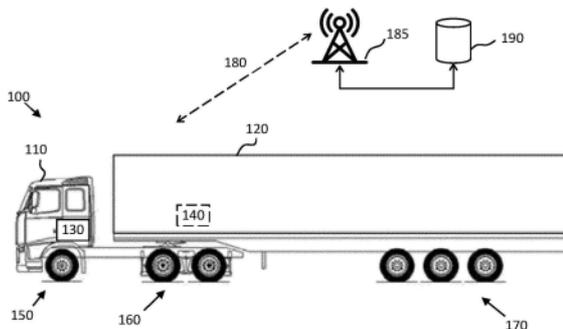
权利要求书12页 说明书31页 附图9页

(54) 发明名称

基于具有速度极限的扭矩请求的车辆运动管理

(57) 摘要

一种用于车辆的车辆运动管理系统(260),该车辆运动管理系统能够连接到运动支持系统(230230),以用于在所述车辆运动管理系统与所述运动支持系统之间传送控制信号,其中,该车辆运动管理系统被配置成:-确定在当前车辆运行状况下操作车辆的所期望的扭矩;-确定车辆的至少一个车轮的车轮滑移率极限;-至少基于所述车轮滑移率极限来确定车辆的所述至少一个车轮的车轮速度极限;以及,-将指示所期望的扭矩和车轮速度极限的控制信号传输到运动支持系统(230)。



1. 一种用于车辆的车辆运动管理系统(260),所述车辆运动管理系统能够连接到运动支持系统(230),以用于在所述车辆运动管理系统与所述运动支持系统之间传送控制信号,其中,所述车辆运动管理系统被配置成:

- 确定在当前车辆运行状况下操作所述车辆的所期望的扭矩;
- 确定所述车辆的至少一个车轮的车轮滑移率极限;
- 至少基于所述车轮滑移率极限来确定所述车辆的所述至少一个车轮的车轮速度极限;以及

-将指示所期望的扭矩和所述车轮速度极限的控制信号传输到所述运动支持系统(230)。

2. 根据权利要求1所述的车辆运动管理系统(260),其中,所述车轮速度极限进一步基于所期望的扭矩和/或当前车轮速度。

3. 根据权利要求2所述的车辆运动管理系统(260),其中,所述车轮速度极限包括车轮速度上限和车轮速度下限,所述车辆运动管理系统被配置成:

-至少在所期望的扭矩高于零时将所述车轮速度上限传输到所述运动支持系统(230);以及

- 至少在所期望的扭矩低于零时将所述车轮速度下限传输到所述运动支持系统(230)。

4. 根据前述权利要求中的任一项所述的车辆运动管理系统(260),其中,所述运动管理系统(260)还被配置成:

- 确定偏移车轮速度参数;
- 获得指示所述车辆的车轮速度的信号;并且
- 当所述车轮速度低于阈值车辆速度极限时,基于所述偏移车轮速度参数来确定所述车轮滑移率极限。

5. 根据前述权利要求中的任一项所述的车辆运动管理系统(260),其中,所述车辆运动管理系统(260)还被配置成:

-确定所述车辆的所述车轮中的至少一个车轮的当前旋转车轮速度和当前纵向车轮速度;并且

-基于所述当前旋转车轮速度和所述当前纵向车轮速度来确定所述至少一个车轮的车轮滑移率。

6. 根据前述权利要求中的任一项所述的车辆运动管理系统(260),其中,所述车轮滑移率极限在预定的车轮滑移率范围内。

7. 根据前述权利要求中的任一项所述的车辆运动管理系统(260),其中,所述车辆运动管理系统(260)还被配置成:

- 获得指示所述车辆的加速踏板的当前加速踏板位置的信号;并且
- 基于所述当前加速踏板位置来确定所期望的扭矩。

8. 根据权利要求1-6中的任一项所述的车辆运动管理系统(260),其中,所期望的扭矩是基于从自主车辆操作系统接收的信号而确定的。

9. 根据前述权利要求中的任一项所述的车辆运动管理系统(260),其中,所述车辆运动管理系统(260)还被配置成:

- 确定所述至少一个车轮与路面之间的车轮摩擦水平;并且

-基于所确定的车轮摩擦水平来确定所述当前车辆运行状况。

10. 一种用于车辆的运动支持系统 (230), 所述运动支持系统 (230) 能够连接到车辆运动管理系统 (260) 并且能够连接到至少一个致动器, 所述至少一个致动器被配置成向所述车辆的至少一个车轮施加扭矩, 其中, 所述运动支持系统 (230) 被配置成:

-从所述车辆运动管理系统 (260) 接收控制信号, 所述控制信号指示了用于在当前车辆运行状况下操作所述车辆的所期望的扭矩, 并且指示了所述车辆的所述至少一个车轮的车轮速度极限;

-确定所述车辆的当前车辆传动系状态;

-基于所述当前车辆传动系状态、所期望的扭矩和所述车轮速度极限来确定操作扭矩和致动器旋转速度极限; 并且

-将致动器信号传输到所述致动器 (220、250), 以使所述致动器在不超过所述致动器旋转速度极限的情况下在所述至少一个车轮上产生所述操作扭矩。

11. 根据权利要求10所述的运动支持系统 (230), 其中, 所述当前车辆传动系状态是以下项之一: 当前车辆变速器状态、所述车辆变速器的档位或变速器离合器致动状态。

12. 根据权利要求10或11中的任一项所述的运动支持系统 (230), 其中, 所述车轮运动系统 (230) 是能够连接到车轮专用致动器的分散式车轮运动系统 (230), 所述车轮专用致动器被配置成控制所述车辆的单个车轮。

13. 一种用于控制车辆的致动器的方法, 所述致动器被配置成在所述车辆的至少一个车轮 (210) 上施加扭矩, 其中, 所述方法包括:

-确定 (S1) 用于在当前车辆运行状况下操作所述车辆的所期望的扭矩;

-确定 (S2) 所述车辆的所述至少一个车轮的车轮滑移率极限;

-至少基于所述车轮滑移率极限来确定 (S3) 所述车辆的所述至少一个车轮的车轮速度极限;

-基于所期望的扭矩、所述车轮速度极限和当前车辆传动系状态来确定 (S4) 操作扭矩和致动器旋转速度极限; 以及

-控制 (S5) 所述致动器, 以在不超过所述致动器旋转速度极限的情况下在所述至少一个车轮上产生所述操作扭矩。

14. 一种控制信号, 所述控制信号表示要由运动支持系统 (230) 执行的指令, 所述控制信号包括:

-扭矩分量, 所述扭矩分量使所述运动支持系统 (230) 能够确定操作扭矩; 以及

-车轮速度极限分量, 所述车轮速度极限分量表示车轮速度极限数据, 当由所述运动支持系统 (230) 执行时, 所述车轮速度极限数据使所述运动支持系统 (230) 产生与受到致动器旋转速度极限的所述操作扭矩相对应的致动器信号, 在考虑当前车辆传动系状态的情况下, 所述致动器旋转速度极限能够基于所述车轮速度极限分量来确定。

15. 一种用于控制重型车辆 (100) 的控制单元 (130、140),

其中, 所述控制单元被布置成: 获得输入数据, 所述输入数据指示了要由所述车辆 (100) 的至少一个车轮 (210) 产生的所期望的车轮力 (F_x 、 F_y), 并且

基于所述车轮 (210) 的逆轮胎模型 (f^{-1}) 将所述输入数据转换为要由所述车轮 (210) 维持的相应的等效车轮速度或车轮滑移率, 以产生所期望的车轮力 (F_x 、 F_y),

其中,所述控制单元(130、140)被布置成根据所述车轮(210)的当前运行状况来获得所述逆轮胎模型,以及

其中,所述控制单元(130、140)被布置成基于所述等效车轮速度或车轮滑移率和/或基于与所述等效车轮速度或车轮滑移率相关联的车轮速度极限或车轮滑移率极限来控制所述重型车辆(100)。

16. 根据权利要求15所述的控制单元(130、140),其中,所述控制单元还被布置成分配一个或多个转向车轮的转向角(δ_{req})。

17. 根据权利要求15或16所述的控制单元(130、140),其中,指示所期望的车轮力(F_x 、 F_y)的所述数据包括所期望的车轮扭矩(T_{req})和车轮滚动半径(R)。

18. 根据权利要求15-17中的任一项所述的控制单元(130、140),其中,所述当前运行状况包括车辆级的力分布(F_x 、 F_y 、 M_z)和/或车轮对地速度矢量(V_x 、 V_y)。

19. 根据权利要求15-18中的任一项所述的控制单元(130、140),其中,所述当前运行状况包括所述车轮(210)的法向载荷(F_z)。

20. 根据权利要求15-19中的任一项所述的控制单元(130、140),其中,所述当前运行状况包括所估计的所述车轮(210)的轮胎刚度(C_{est})。

21. 根据权利要求15-20中的任一项所述的控制单元(130、140),其中,所述当前运行状况包括与所述车轮相关联的轮胎道路摩擦系数(μ)。

22. 根据权利要求15-21中的任一项所述的控制单元(130、140),其中,所述当前运行状况包括所述车轮(210)的最小所需侧向力能力($F_{y,min}$)。

23. 根据权利要求15-22中的任一项所述的控制单元(130、140),其中,所述当前运行状况包括所述车轮(210)的最大允许侧向滑移角(α)。

24. 根据权利要求15-23中的任一项所述的控制单元(130、140),其中,所述逆轮胎模型(f^{-1})被配置成提供所述车轮(210)的剩余侧向力能力($F_{y,rem}$)。

25. 根据权利要求15-24中的任一项所述的控制单元(130、140),其中,所述逆轮胎模型(f^{-1})被配置成提供所期望的车轮力相对于在与所期望的车轮力相关联的轮胎操作点处和所述车轮(210)的所述当前运行状况下的车轮速度或车轮滑移率的梯度(dF_x 、 dF_y)。

26. 根据权利要求15-25中的任一项所述的控制单元(130、140),其中,所述控制单元被布置成在存储器中存储预定的逆轮胎模型(f^{-1}),其中所述逆轮胎模型作为所述车轮(210)的所述当前运行状况的函数被存储在所述存储器中。

27. 根据权利要求15-26中的任一项所述的控制单元(130、140),其中,所述控制单元被布置成:响应于基于所述等效车轮速度或车轮滑移率对所述重型车辆(100)的控制,基于所测量到的车轮行为和/或车辆行为来调适所述逆轮胎模型(f^{-1})。

28. 根据权利要求27所述的控制单元(130、140),其中,所述逆轮胎模型(f^{-1})根据车轮滑移率或车轮速度被调整为始终位于轮胎力的预定上限和/或下限内。

29. 根据权利要求15-28中的任一项所述的控制单元(130、140),其中,所述控制单元被布置成将所述逆轮胎模型(f^{-1})表示为查找表。

30. 根据权利要求15-28中的任一项所述的控制单元(130、140),其中,所述控制单元被布置成将所述逆轮胎模型(f^{-1})表示为神经网络。

31. 一种在控制单元(130、140)中执行的用于控制重型车辆(100)的方法,所述方法包

括:

获得(SA1)输入数据,所述输入数据指示了要由所述车辆(100)的至少一个车轮(210)产生的所期望的车轮力(F_x 、 F_y),

获得(SA2)与所述车轮(210)相关联的逆轮胎模型(f^{-1}),其中,所述逆轮胎模型取决于所述车轮(210)的当前运行状况,以及

基于所述车轮(210)的逆轮胎模型将所述输入数据转换(SA3)为要由所述车轮(210)维持的相应的等效车轮速度或车轮滑移率,以产生所期望的车轮力(F_x 、 F_y),以及

基于所述等效车轮速度或车轮滑移率和/或基于与所述等效车轮速度或车轮滑移率相关联的车轮速度极限或车轮滑移率极限来控制(SA4)所述重型车辆(100)。

32.一种用于使重型车辆(100)运动的方法,所述方法包括:

获得(SB1)用于使所述车辆(100)运动的运动指令,

确定(SB2)与适合于执行所述运动指令的车轮滑移率相关联的目标车轮滑移率极限值(λ_{target}),以及

控制(SB3)车轮速度(ω),以使所述车辆(100)的车轮滑移率保持低于所述目标车轮滑移率极限值(λ_{target})。

33.根据权利要求32所述的方法,包括基于以下关系式来控制(SB31)车轮速度(ω)以使所述车辆(100)的相应车轮的车轮滑移率保持低于所述目标车轮滑移率极限值(λ_{target}):

$$\omega = \frac{\lambda_{target} * v_{ref} + v_x}{R}$$

其中, ω 表示车轮速度, λ_{target} 表示目标车轮滑移率极限值, v_{ref} 是参考速度, v_x 是车轮参考系中的车辆速度,并且R表示车轮半径。

34.根据权利要求32或33所述的方法,其中,所述运动指令(SB11)包括由所述车辆(100)请求的加速度(a_{req}),并且其中,所述目标车轮滑移率极限(λ_{target})是根据达到所请求的加速度所需的纵向力(F_x')来确定(SB21)的。

35.根据权利要求34所述的方法,包括:根据达到所请求的加速度所需的所述纵向力(F_x')并且基于侧向力(F_y)与纵向车轮滑移率之间的预定关系(400)来确定(SB212)所述目标车轮滑移率极限值(λ_{target})。

36.根据权利要求34或35所述的方法,包括:基于关系式 $F_x' = m * a_{req}$ 来确定(SB211)达到所请求的加速度所需的所述纵向力(F_x'),其中m是所述车辆(100)的质量,而 a_{req} 是所述车辆(100)所请求的加速度。

37.根据权利要求35或36所述的方法,其中,纵向力(F_x)与纵向车轮滑移率之间的所述预定关系(400)是根据所估计的道路条件而预先配置(SB213)的。

38.根据权利要求32或33所述的方法,其中,所述运动指令(SB12)包括所述车辆(100)所请求的末速度(v_{req}),并且其中,所述目标车轮滑移率极限(λ_{target})是预先配置的车轮滑移率极限值(SB22)。

39.根据权利要求38所述的方法,包括基于以下关系式来控制(SB311)车轮速度(ω)以使所述车辆(100)的车轮滑移率保持低于所述目标车轮滑移率极限值(λ_{target}):

$$\omega = \frac{\lambda_{target} * v_{ref} + v_x}{R}$$

其中, v_{ref} 被设定为所述车辆(100)所请求的末速度(v_{req})。

40. 根据权利要求32-39中的任一项所述的方法, 包括控制(SB32) 车轮速度(ω) 以使车辆加速度保持低于预先配置的最大加速度值。

41. 根据权利要求32-40中的任一项所述的方法, 包括控制(SB33) 车轮速度(ω) 以使车轮速度保持低于预先配置的最大车轮速度值。

42. 根据权利要求32-41中的任一项所述的方法, 包括: 在车辆速度(v_x) 高于所配置的阈值速度(v_{lim}) 的情况下, 基于具有固定车轮滑移率极限的扭矩请求来控制(SB34) 所述车辆速度(v_x)。

43. 根据权利要求32-42中的任一项所述的方法, 其中, 所述运动指令(SB13) 包括要由所述车辆(100) 从停止到停止所经过的距离(d_{req}), 所述方法包括将车轮速度对时间积分(SB4) 以达到如下的所述距离(d_{req}):

$$d_{req} = \int \omega R dt$$

44. 根据权利要求32-43中的任一项所述的方法, 其中, 所述运动指令对应于要在有限的时间段内施加的峰值扭矩的请求。

45. 根据权利要求32-44中的任一项所述的方法, 包括经由开式差速器装置向连接到驱动轮的电机传输(SB5) 车轮速度请求, 其中, 所述方法包括由所述电机控制车轮速度(ω) 以使所述车辆(100) 的车轮滑移率保持低于所述目标车轮滑移率极限值(λ_{target})。

46. 根据权利要求32-45中的任一项所述的方法, 包括: 在所配置的时间段内将所述目标车轮滑移率极限值(λ_{target}) 从初始值一直增加到预定的最终值。

47. 一种用于控制车辆(100) 的至少一个致动器(220、250) 的方法, 所述致动器(220、250) 被配置成在所述车辆(100) 的至少一个车轮(210) 上施加扭矩, 其中, 所施加的扭矩由与控制带宽相关联的控制功能确定, 所述方法包括:

- 配置(SC1) 所述控制功能以控制所施加的扭矩从而减小第一参数值和第二参数值之间的差, 所述第一参数值与所述车轮(210) 的当前旋转速度相关, 所述第二参数值与所述车轮(210) 的目标旋转速度极限相关;

- 获得(SC2) 指示所述车辆的当前运行状况的数据;

- 根据所述车辆(100) 的所述当前运行状况来设定(SC3) 所述控制功能的所述控制带宽; 以及

- 使用所述控制功能来控制(SC4) 所述致动器(220、250)。

48. 一种在致动器控制系统中执行的用于控制至少一个致动器(220、250) 以在车辆(100) 的至少一个车轮(210) 上施加扭矩的方法, 所述致动器控制系统包括控制功能, 其中, 所施加的扭矩由所述控制功能与控制带宽相关联地确定, 所述方法包括:

- 确定(SC10) 第一参数值, 所述第一参数值与所述车轮(210) 的当前旋转速度相关;

- 配置(SC20) 所述控制功能以控制所施加的扭矩从而减小所述第一参数值和第二参数值之间的差, 所述第二参数值与所述车轮(210) 的目标旋转速度相关;

- 获得(SC30) 指示所述车辆的当前运行状况的数据;

- 根据所述车辆的所述当前运行状况来设定(SC40) 所述控制功能的所述控制带宽; 以及

- 使用所述控制功能来控制(SC50) 所述致动器。

49. 根据权利要求48所述的方法,其中,所述控制功能被配置成控制所述致动器(220、250)的速度。

50. 根据权利要求48或49中的任一项所述的方法,其中,所述控制功能的增加的带宽与所述致动器的增加的扭矩响应相关联。

51. 根据权利要求48-50中的任一项所述的方法,其中,使用所述致动器的预定的反馈增益集来控制所述控制功能的所述控制带宽,每个反馈增益与所述车辆的特定运行状况相关联。

52. 根据权利要求51所述的方法,其中,所述控制功能是PID控制器。

53. 根据权利要求48至52中的任一项所述的方法,其中,所述控制功能是比例控制器,所述方法进一步包括:

- 获得指示所述控制功能的目标带宽的信号;和
- 使用所述目标带宽和与所述车辆的所述当前运行状况相关的比例参数来配置所述控制功能。

54. 一种在车辆(100)的车辆运动管理系统(260)中执行的方法,所述车辆运动管理系统能够连接到致动器控制系统,以用于在所述车辆运动管理系统与所述致动器控制系统之间传送控制信号,所述方法包括:

- 获得(SC100)所述车辆(100)的当前速度;
- 确定(SC200)所述车辆(100)的当前运行状况;以及
- 将控制信号传输(SC300)到所述致动器控制系统,所述控制信号表示指令,当由所述致动器控制系统执行时,所述指令使所述致动器控制系统的控制功能与控制带宽相关联地在所述车辆的至少一个车轮上施加扭矩,以减小第一参数值和第二参数值之间的差,所述第一参数值与基于所述车辆的当前速度的车轮当前旋转速度相关,所述第二参数值与所述车轮的目标旋转速度相关,所述控制带宽能够根据所述车辆的所述当前运行状况来确定。

55. 根据权利要求54所述的方法,进一步包括:

- 基于所述当前运行状况来确定所述车辆的目标速度,其中,所述车轮的目标旋转速度是基于所述车辆的所述目标速度。

56. 根据权利要求54或55中的任一项所述的方法,进一步包括:

- 基于所述当前运行状况来确定所述车辆的所期望的操作性能,其中,所述控制带宽能够根据所述车辆的所期望的操作性能来进一步确定。

57. 根据权利要求54至56中的任一项所述的方法,进一步包括:

- 确定目标带宽;以及
- 传输包括所确定的目标带宽的所述控制信号,其中,所述控制带宽能够根据所述目标带宽而进一步确定。

58. 根据权利要求54-57中的任一项所述的方法,其中,所述车辆的所述当前运行状况是基于当前车辆状况和所述车辆所运行的当前道路条件中的至少一个。

59. 根据权利要求54-58中的任一项所述的方法,其中,所述当前运行状况是以下项中的至少一个:当前车辆质量、所述车辆所运行的道路的倾斜度、车辆速度、所述车辆的车轮与路面之间的摩擦水平、以及当前轮胎刚度。

60. 一种车辆(100)的致动器控制系统,所述致动器控制系统被配置成至少控制致动器

(220、250) 以在车辆的至少一个车轮上施加扭矩,所述致动器控制系统包括控制功能,其中,所施加的扭矩由所述控制功能与控制带宽相关联地确定,所述致动器控制系统被配置成:

- 确定第一参数值,所述第一参数值与所述车轮的当前旋转速度相关;
- 配置所述控制功能以控制所施加的扭矩从而减小所述第一参数值和第二参数值之间的差,所述第二参数值与所述车轮的目标旋转速度相关;
- 获得指示所述车辆的当前运行状况的数据;
- 根据所述车辆的所述当前运行状况来设定所述控制功能的所述控制带宽;以及
- 使用所述控制功能来控制所述致动器。

61. 一种车辆(100)的车辆运动管理系统(260),所述车辆运动管理系统(260)能够连接到致动器控制系统,以用于在所述车辆运动管理系统与所述致动器控制系统之间传送控制信号,其中,所述车辆运动管理系统被配置成:

- 获得所述车辆的当前速度;
- 确定所述车辆的当前运行状况;以及
- 将控制信号传输到所述致动器控制系统,所述控制信号表示指令,当由所述致动器控制系统执行时,所述指令使所述致动器控制系统的控制功能与控制带宽相关联地在所述车辆的至少一个车轮上施加扭矩,以减小第一参数值和第二参数值之间的差,所述第一参数值与基于所述车辆的当前速度的车轮当前旋转速度相关,所述第二参数值与所述车轮的目标旋转速度相关,所述控制带宽是根据所述车辆的所述当前运行状况确定的。

62. 一种控制信号,所述控制信号表示要由车辆(100)的致动器控制系统执行的指令,所述控制信号包括:

- 车辆速度分量,所述车辆速度分量使所述致动器控制系统能够确定所述车轮(210)的当前旋转速度;以及
- 车辆运行状况分量,所述车辆运行状况分量表示指令,当由所述致动器控制系统执行时,这些指令使所述致动器控制系统的控制功能与控制带宽相关联地在所述车辆的至少一个车轮上施加扭矩,以减小第一参数值和第二参数值之间的差,所述第一参数值与基于所述车辆的当前速度的车轮当前旋转速度相关,所述第二参数值与所述车轮的目标旋转速度相关,所述控制带宽能够根据所述车辆的所述当前运行状况来确定。

63. 一种用于控制设有轮胎(1502)的车辆车轮(210)的控制单元(130、140),其中,所述控制单元包括数据存储装置(820)或被操作地连接到数据存储装置(820),所述数据存储装置具有所存储的用于所述轮胎的轮胎模型(400),其中,在所述轮胎模型中,纵向轮胎力(F_x)被表示为至少是纵向车轮滑移率(λ)的函数,所述纵向车轮滑移率取决于所述车轮的旋转速度和所述车辆的速度,

其中,所述控制单元被配置成:

- 接收至少一个轮胎参数输入,所述轮胎参数输入包括影响所述轮胎的纵向滑移刚度的至少一个参数的测量值,
- 基于所接收到的轮胎参数输入来校正所存储的轮胎模型中的所述函数,
- 获得或产生车轮扭矩请求,
- 基于校正后的所述函数将所获得或产生的车轮扭矩请求转换为车轮旋转速度极限请

求,以及

-将所述车轮旋转速度极限请求发送到致动器,以提供低于所述车轮旋转速度极限请求的所述车轮的旋转速度。

64. 根据权利要求63所述的控制单元(130、140),其中,所述至少一个参数选自由以下项组成的组:

- 所述轮胎的年龄(t_{act}),
- 环境温度(T_{act}),
- 所述轮胎的充气压力(P_{act}),
- 所述轮胎的法向载荷,以及
- 所述轮胎的磨损,适当地被近似为所述轮胎行驶的距离(d_{act})。

65. 根据权利要求63-64中的任一项所述的控制单元(130、140),其中,所述控制单元被配置成通过对所存储的轮胎模型(400)中的所述函数应用滑移刚度校正因子(c_p 、 c_T 、 c_a 、 c_w)来校正所述函数,所述滑移刚度校正因子相对于所述参数具有变化。

66. 根据权利要求63-65中的任一项所述的控制单元(130、140),其中,所述控制单元被配置成接收多个不同的轮胎参数输入,每个轮胎参数输入均包括影响所述轮胎的所述纵向滑移刚度的多个参数中的相应一个参数的测量值,其中,所述控制单元被配置成通过对所存储的轮胎模型(400)中的所述函数应用组合校正因子来校正所述函数,所述组合校正因子是多个滑移刚度校正因子的函数,其中,每个滑移刚度校正因子相对于所述多个参数中的相应一个参数具有变化。

67. 根据权利要求63-66中的任一项所述的控制单元(130、140),其中,所述至少一个轮胎参数输入是主轮胎参数输入,并且所述至少一个参数是主参数,其中,所述控制单元还被配置成基于至少一个次轮胎参数输入来校正所存储的轮胎模型(400)中的所述函数,所述次轮胎参数输入包括至少一个次参数的测量值,所述至少一个次参数选自由以下项组成的组:

- 滚动半径,
- 标称峰值摩擦力,以及
- 滚动阻力系数。

68. 根据权利要求63-67中的任一项所述的控制单元(130、140),其中,在所述控制单元将所述车轮扭矩请求转换成所述车轮旋转速度请求时,所述控制单元被配置成基于校正后的所述函数来计算滑移率请求,并使用以下的滑移率公式将所述滑移率请求转化为所述车轮旋转速度请求:

$$\lambda = \frac{R\omega - v_x}{\max(|R\omega|, |v_x|)}$$

其中, λ 是所述纵向车轮滑移率,其中 $R\omega$ 是所述车轮的旋转速度,其中 R 是以米为单位的车轮半径,并且 ω 是所述车轮的角速度,并且其中 v_x 是所述车轮的纵向速度。

69. 一种用于控制被施加到设有轮胎的车辆车轮上的扭矩的方法,包括:

-接收(SD1)至少一个轮胎参数输入,所述轮胎参数输入包括影响所述轮胎的纵向滑移刚度的至少一个参数的测量值,

-基于所接收到的轮胎参数输入来校正(SD2)所述轮胎的轮胎模型,其中,在所述轮胎

模型中,纵向轮胎力被表示为纵向车轮滑移率的函数,所述纵向车轮滑移率取决于所述车轮的旋转速度和所述车辆的速度,其中,校正所述轮胎模型的步骤包括校正所述函数,

-获得或产生 (SD3) 车轮扭矩请求,

-基于校正后的所述函数将所获得的或产生的车轮扭矩请求转换 (SD4) 为车轮旋转速度请求,以及

-将所述车轮旋转速度请求或相关联的车轮速度极限发送 (SD5) 到致动器,以提供与所述车轮旋转速度请求或车轮速度极限请求相对应的所述车轮的旋转速度。

70. 根据权利要求69所述的方法,其中,所述至少一个参数选自由以下项组成的组:

-所述轮胎的年龄,

-环境温度、

-所述轮胎的充气压力,

-所述轮胎的法向载荷,以及

-所述轮胎的磨损,适当地被近似为所述轮胎所行驶的距离。

71. 根据权利要求69-70中的任一项所述的方法,其中,所述校正 (SD2) 动作包括对所述函数应用滑移刚度校正因子,所述滑移刚度校正因子相对于所述参数具有变化。

72. 根据权利要求69至71中的任一项所述的方法,包括:

-接收多个不同的轮胎参数输入,每个轮胎参数输入均包括影响所述轮胎的所述纵向滑移刚度的多个参数中的相应一个参数的测量值,其中,所述校正的步骤包括对所述函数应用组合校正因子,所述组合校正因子是多个滑移刚度校正因子的函数,其中,每个滑移刚度校正因子均相对于所述多个参数中的相应一个参数具有变化。

73. 根据权利要求69-72中的任一项所述的方法,其中,所述至少一个轮胎参数输入是主轮胎参数输入,并且所述至少一个参数是主参数,其中,所述校正 (SD2) 的动作包括基于至少一个次轮胎参数输入来校正所存储的轮胎模型中的所述函数,所述次轮胎参数输入包括至少一个次参数的测量值,所述至少一个次参数选自由以下项组成的组:

-滚动半径,

-标称峰值摩擦力,以及

-滚动阻力系数。

74. 根据权利要求69-73中的任一项所述的方法,其中,所述转换 (SD4) 的动作包括基于校正后的所述函数来计算滑移率极限请求,并使用以下的滑移率公式将所述滑移率极限请求转化为所述车轮旋转速度极限请求:

$$\lambda = \frac{R\omega - v_x}{\max(|R\omega|, |v_x|)}$$

其中, λ 是所述纵向车轮滑移率,其中 $R\omega$ 是所述车轮的旋转速度,其中 R 是以米为单位的车轮半径, ω 是所述车轮的角速度,并且其中 v_x 是所述车轮的纵向速度。

75. 一种套件 (1500), 其包括轮胎 (1502) 和轮胎模型信号 (1504), 当所述轮胎安装在车辆上时,所述轮胎模型信号适于产生作为所述轮胎的纵向车轮滑移率的函数的纵向轮胎力的值。

76. 一种用于控制重型车辆 (100) 的控制单元 (130、140),

其中,所述控制单元被布置成获得加速度分布图 (a_{req}) 和曲率分布图 (c_{req}), 所述加速

度分布图 (a_{req}) 和曲率分布图 (c_{req}) 指示了所述车辆 (100) 所期望的机动,

所述控制单元 (130、140) 包括力产生模块 (310), 所述力产生模块 (310) 被配置成确定执行所期望的机动所需的一组全局车辆力和力矩,

所述控制单元 (130、140) 还包括运动支持设备 (MSD) 协调模块 (320), 所述协调模块被布置成协调一个或多个 MSD, 以通过产生一个或多个相应的车轮力来共同提供所述一组全局车辆力和力矩, 以及

逆轮胎模型功能块 (330), 所述逆轮胎模型功能块 (330) 被配置成将所述一个或多个车轮力映射为等效的车轮滑移率 (λ),

其中, 所述控制单元 (130、140) 被布置成从所述 MSD 基于所述车轮滑移率 (λ) 来请求车轮滑移率极限, 从而在所期望的机动期间控制所述重型车辆。

77. 根据权利要求 76 所述的控制单元 (130、140), 还被布置成在车辆对地速度 (v_x) 低于第一阈值 (v_{low}) 的情况下, 请求作为车轮速度与所述车辆对地速度 (v_x) 的偏移量 (ω_{off}) 的车轮滑移率 (λ)。

78. 根据权利要求 77 所述的控制单元 (130、140), 其中, 要由 MSD 维持的所期望的车轮速度 (ω_w) 被确定为:

$$\omega_w = \frac{v_x}{R} + (\omega_{off} * A_{ped})$$

其中, v_x 是车辆对地速度, R 是车轮半径, ω_{off} 是车轮速度偏移量, 并且 A_{ped} 是介于 0 与 1 之间的加速踏板位置值。

79. 根据权利要求 78 所述的控制单元 (130、140), 其中, 所述车轮速度偏移量 ω_{off} 是根据与驾驶员偏好相关联的增益因子 $k_{PedalFeel}$ 和/或根据低速偏移极限 $k_{OffsetLim}$ 确定的。

80. 根据权利要求 76-79 中的任一项所述的控制单元 (130、140), 所述控制单元被布置成在所述车辆对地速度 (v_x) 高于第二阈值 (v_{high}) 的情况下请求作为所述车轮速度 ω_w 与车辆对地速度 (v_x) 之间的归一化差的车轮滑移率极限 (λ)。

81. 根据权利要求 80 所述的控制单元 (130、140), 其中, 要由 MSD 维持的所期望的车轮速度 (ω_w) 被确定为:

$$\omega_w = \frac{\lambda_{req} v_x + v_x}{R}$$

或

$$\omega_w = \frac{\lambda_{req} \max(|R\omega_w|, |v_x|) + v_x}{R}$$

其中, v_x 是车辆对地速度, R 是车轮半径, 并且 λ_{req} 是所请求的车轮滑移率。

82. 根据权利要求 80 或 81 所述的控制单元 (130、140), 其中, 所述第二阈值 (v_{high}) 等于所述第一阈值 (v_{low})。

83. 根据权利要求 80 或 81 所述的控制单元 (130、140), 其中, 所述第二阈值 (v_{high}) 与所述第一阈值 (v_{low}) 偏离预定的速度值, 其中, 所述控制单元被布置成在所述车辆速度在所述第一阈值与第二阈值之间的情况下请求以下车轮行为: 该车轮行为表示对应于速度偏移的车轮速度 (ω_w) 与对应于车轮速度相对于对地速度的差的车轮速度之间的插值。

84. 根据权利要求 76-83 中的任一项所述的控制单元 (130、140), 其中, 所述控制单元被

布置成接收指示一个或多个MSD的能力的数据,并验证所请求的车轮滑移率(λ)是否在相应的所述MSD的能力范围内。

85.一种用于重型车辆(100)的运动支持设备MSD控制单元(230),所述MSD控制单元(230)被配置成控制与所述车辆(100)上的至少一个车轮(210)相关联的一个或多个MSD(220、250),

其中,所述MSD控制单元(230)被布置成通信地耦合(265)到车辆运动管理VMM单元(260),以用于从所述VMM单元(260)接收控制命令,所述控制命令包括车轮速度极限请求和/或车轮滑移率极限请求,以通过所述一个或多个MSD(220、250)控制车辆运动,

其中,所述MSD控制单元(230)被布置成获得指示所述车轮(210)的车轮行为范围的能力范围,对于所述能力范围,所述VMM单元(260)被允许通过所述控制命令来影响所述车轮的行为,并且

其中,所述MSD控制单元(230)被布置成监测车轮行为并检测车轮行为是否在所述能力范围之外,

其中,所述MSD控制单元(230)被布置成:在所监测的车轮行为在所述能力范围之外的情况下,触发控制干预功能。

86.根据权利要求85所述的MSD控制单元(230),其中,所述一个或多个MSD包括至少一个行车制动器(220),所述至少一个行车制动器(220)被布置成通过所述车轮(210)产生负扭矩。

87.根据权利要求85或86所述的MSD控制单元(230),其中,所述一个或多个MSD包括至少一个推进单元(250),所述至少一个推进单元(250)被布置成通过所述车轮(210)产生正扭矩和/或负扭矩。

88.根据权利要求85-87中的任一项所述的MSD控制单元(230),其中,所述能力范围包括可允许的正和/或负的纵向车轮滑移率和/或车轮旋转速度的上限。

89.根据权利要求85-88中的任一项所述的MSD控制单元(230),其中,所述能力范围包括可允许的正和/或负的纵向车轮加速度的上限。

90.根据权利要求85-89中的任一项所述的MSD控制单元(230),其中,所述能力范围包括可允许的正和/或负车辆的横摆率的上限。

91.根据权利要求85-90中的任一项所述的MSD控制单元(230),其中,所述能力范围包括可允许的正和/或负的纵向车轮滑移率和/或车轮旋转速度的下限。

92.根据权利要求85-91中的任一项所述的MSD控制单元(230),其中,所述能力范围包括可允许的正和/或负的纵向车轮加速度的下限。

93.根据权利要求85-92中的任一项所述的MSD控制单元(230),其中,所述能力范围包括可允许的正和/或负的车辆横摆率的下限。

94.根据权利要求85-93中的任一项所述的MSD控制单元(230),被布置成从车轮速度传感器(240)接收与所述车轮(210)相关联的车轮速度数据,并基于所述车轮速度数据来检测车轮行为是否在所述能力范围之外。

95.根据权利要求85-94中的任一项所述的MSD控制单元(230),被布置成获得作为从存储器加载或从外部配置实体接收的参数的固定能力范围。

96.根据权利要求85-95中的任一项所述的MSD控制单元(230),被布置成持续地获得更

新的能力范围。

97. 根据权利要求85-96中的任一项所述的MSD控制单元(230), 其中, 所述控制干预功能包括由所述MSD(220、250)中的一个或多个MSD执行干预功能。

98. 根据权利要求85-97中的任一项所述的MSD控制单元(230), 其中, 所述控制干预功能包括触发对外部仲裁器功能的请求, 以由所述MSD控制单元(230)直接进行MSD控制。

99. 根据权利要求85-98中的任一项所述的MSD控制单元(230), 其中, 所述MSD控制单元(230)被布置成通过随着时间的推移对车轮行为的样本进行过滤来监测车轮行为, 并且基于所述过滤的结果来检测车轮行为是否在所述能力范围之外。

100. 一种车辆运动管理VMM单元(260), 所述车辆运动管理VMM单元(260)被布置成执行车辆运动管理, 以用于通过与重型车辆(100)上的至少一个车轮(210)相关联的一个或多个运动支持设备MSD(220、250)来控制所述车辆(100)的运动,

其中, 所述VMM单元(260)被布置成通信地耦合(265)到MSD控制单元(230), 以用于将包括车轮速度请求和/或车轮滑移率请求的控制命令传输到MSD控制单元(230), 以通过所述一个或多个MSD(220、250)来控制车辆运动,

其中, 所述VMM单元(260)被布置成获得指示所述车轮(210)的车轮行为范围的能力范围, 对于所述能力范围, 所述VMM单元(260)被允许通过所述控制命令来影响所述车轮的行为, 并且

其中, 所述VMM单元(260)被布置成产生所述控制命令, 使得所述车轮行为在所述能力范围内。

101. 根据权利要求100所述的VMM单元(260), 包括仲裁器功能, 所述仲裁器功能被配置成接收由所述MSD控制单元(230)直接进行MSD控制的请求, 并且在所述车轮行为在预定的车轮行为安全范围之外的情况下将车辆控制让给所述MSD控制单元(230)。

102. 一种用于控制重型车辆(100)的运动的方法, 所述方法包括:

配置(SF1)运动支持设备MSD控制单元(230), 以控制与所述车辆(100)上的至少一个车轮(210)相关联的一个或多个MSD(220、250),

配置(SF2)车辆运动管理VMM单元(260), 以经由传输到所述MSD控制单元(230)的控制命令由所述一个或多个MSD(220、250)执行车辆运动管理,

限定(SF3)能力范围, 所述能力范围指示所述车轮(210)的车轮行为范围, 对于所述车轮行为范围, 所述VMM单元(260)被允许通过所述控制命令来影响所述车轮行为,

监测(SF4)车轮行为, 以及

在所监测的车轮行为在所限定的能力范围之外的情况下, 由所述MSD控制单元(230)触发(SF5)控制干预功能。

基于具有速度极限的扭矩请求的车辆运动管理

技术领域

[0001] 本公开涉及用于重型车辆的车辆运动管理,即,诸如行车制动器和推进设备的运动支持设备的协调控制。

[0002] 本发明可以应用于重型车辆,例如卡车、公共汽车和建筑机械。尽管将针对货物运输车辆(例如半挂车和卡车)来描述本发明,但本发明不限于这种特定类型的车辆,而是也可用在诸如小轿车的其它类型的车辆中。

背景技术

[0003] 车辆在机械、气动、液压、电子和软件方面变得越来越复杂。现代重型车辆可能包括各种不同的物理设备,例如燃烧式发动机、电机、摩擦制动器、再生制动器、减震器、空气波纹管 and 动力转向泵。这些物理设备通常被称为运动支持设备(MSD)。MSD可以是能够单独控制的,例如,可以在一个车轮处应用摩擦制动器(即,负扭矩),而车辆上的另一个车轮(甚至可能是同一个轮轴上的另一个车轮)同时用于通过电机产生正扭矩。

[0004] 最近提出的例如在中央车辆单元计算机(VUC)上执行的车辆运动管理(VMM)功能依赖于MSD的组合来操作车辆,以便获得所期望的运动效果,同时维持车辆稳定性、成本效率和安全性。W02019072379A1公开了一个这样的示例:其中,车轮制动器被选择性地用于辅助重型车辆的转弯操作。

[0005] 控制各种MSD的一种常用方案是在致动器级别上使用扭矩控制,而不对车轮滑移进行任何考虑。然而,这种方案并非没有性能限制。例如,在出现过度车轮滑移状况的情况下(其中,一个或多个车轮以不受控制的方式打滑),那么,诸如牵引力控制和防抱死制动功能之类的安全功能介入并请求扭矩超驰,以使滑移回到控制之下。这些安全功能通常由单独的控制单元操作。如果致动器的主控制和与致动器相关的滑移控制功能被分配给不同的控制单元,则它们之间的通信所涉及的时延(latencies)可能限制滑移控制性能。此外,用于实现滑移控制的多个控制单元中做出的相关致动器和滑移假设可能不一致,这进而可能会导致次优性能。

[0006] 需要以更好的方式处理车轮滑移的、改进的车辆控制方法。

发明内容

[0007] 本公开的目的是提供控制单元和方法,所述控制单元和方法便于基于滑移率请求或车轮速度请求(而不是惯用的扭矩请求)进行车辆控制,该速度请求或滑移率请求是基于改进的轮胎行为模型获得的。

[0008] 根据第一方面,提供了一种用于车辆的车辆运动管理系统,该车辆运动管理系统能够连接到运动支持系统,以用于在车辆运动管理系统与运动支持系统之间传送控制信号,其中,该车辆运动管理系统被配置成确定用于在当前车辆运行状况下操作车辆的所期望的扭矩;确定车辆的至少一个车轮的车轮滑移率极限;至少基于车轮滑移率极限来确定车辆的所述至少一个车轮的车轮速度极限;以及将指示所期望的扭矩和车轮速度极限的控

制信号传输到运动支持系统。

[0009] 车辆运动管理系统和运动支持系统是车辆的控制系统,其中,这些控制系统中的每一个被布置成执行各种控制功能,以用于控制车辆的操作,特别是用于控制车轮的操作。根据一个示例,车辆运动管理只是正常的驾驶员控制输入,即手动转向、加速和制动输入。车辆运动管理系统优选被配置成接收并确定较高级别的车轮参数,即车辆运动管理系统以更广义的形式确定所期望的扭矩和车轮滑移率极限,而运动支持系统被布置为较低级别的控制系系统,其被配置成将从车辆运动管理系统接收的参数转变为致动器的适当参数。在将致动器信号转发给致动器之前,运动支持系统考虑当前传动系状态。例如,当前传动系状态可以涉及当前车辆变速器状态、车辆变速器的档位或变速器离合器致动状态。

[0010] 例如,可以从车辆的操作者踩踏加速踏板和/或踩踏制动踏板来接收所期望的扭矩。也可以从自主控制车辆推进操作的系统或从高级驾驶员辅助系统(ADAS)接收所期望的扭矩。

[0011] 为了确保不会发生过度的滑移,除了扭矩请求之外,还可以向马达控制器发送两个速度极限:速度上限和速度下限。如果当前马达速度在所述上限和下限所定义的范围,则电动马达应按照VMM扭矩请求中所请求的扭矩来施加扭矩。

[0012] 在给定的时间步长下,如果当前马达速度高于上限,则马达控制器应相对于前一时间步减小所施加的马达扭矩。马达扭矩应继续减小,直到马达速度低于或等于速度上限。此外,在给定的时间步处,如果马达速度被测量为低于速度下限,则施加到电机上的扭矩应相对于最后一个时间步增加。马达扭矩应继续增加,直到马达速度高于或等于速度下限。

[0013] 替代地,该控制可以基于减小所施加扭矩的大小,而不允许所施加扭矩的正负号变化。

[0014] 如果马达速度返回到由速度上限和速度下限所定义的范围内的值,或者如果由马达控制接收到的VMM扭矩请求小于从上限变速器输出的值,则可以终止扭矩控制的这种“超驰”。如果由马达控制接收到的VMM扭矩请求大于从下限变速器输出的值,则也可以终止扭矩控制的“超驰”。

[0015] 可以基于当前车辆速度和纵向滑移率极限来计算速度上限和速度下限,该纵向滑移率极限可以根据逆轮胎模型来确定,如下文将更详细讨论的。因此,根据一个示例,速度极限类似于位于当前马达或车轮速度周围的可允许马达或车轮速度窗口。这意味着,如果遇到摩擦力减小的路段,则马达速度可能迅速改变速度,但不会导致过度车轮滑移,因为将会超过速度极限,于是,扭矩将被调整以将速度保持在由速度上限和速度下限所定义的可允许范围内。

[0016] 请注意,上面描述的所有状态和速度极限都应该有正负号。例如,当由于速度下限而“扭矩增加”时,这将导致负扭矩值增加到较小的负扭矩值;或者从正扭矩值到更大的正扭矩值;甚至从负值到正值。对于速度上限也可实施类似的行为。

[0017] 除了(或代替)速度极限或车轮滑移率极限,旋转加速度极限可以发送到马达控制器。这些可以帮助防止变速器或任何其它马达控制功能向车轮传递非期望的扭矩阶跃变化。

[0018] 车轮滑移率极限应解释为至少一个车轮在操作期间的最大可允许车轮滑移率。车轮滑移是车辆的车轮与其地面之间的相对纵向运动,即“打滑”的量。考虑到车轮半径,车轮

滑移率可以确定为车轮纵向速度与车轮旋转速度之间的关系。因此,车轮速度极限是基于相对于路面的车轮速度,如在基于车轮的坐标系中所看到的那样。根据示例实施例,车辆运动管理系统可以被配置成确定车辆的至少一个车轮的当前旋转车轮速度和当前纵向车轮速度;并且基于当前旋转车轮速度和当前纵向车轮速度来确定所述至少一个车轮的车轮滑移率。

[0019] 本公开至少部分地是基于这样的认识:即,通过将指示所期望的扭矩的控制信号与车轮速度极限相组合地传输到运动支持系统,车轮滑移率极限的计算可以由较高级别的车辆运动管理系统执行。当计算车轮滑移率时,车轮滑移率方程中的分母由车轮的旋转车轮速度构成。在车辆低速操作时,分母因此接近于零或趋近于零,这可能导致计算车轮滑移率时的误差源。因此,在较高级别的车辆运动管理系统中执行车轮滑移率是有利的,因为可以避免通过单独的运动支持系统计算车轮滑移率时的潜在不一致。由此,实现了改进的车轮滑移率一致性。

[0020] 此外,当使用电机操作车辆时,向运动支持系统传输指示所期望的扭矩和车轮速度极限的控制信号是特别有利的,因为电机能够是速度和扭矩控制的。与滑移控制相反,速度控制对于例如行车制动器也更容易实现,因为旋转速度是轮胎扭矩平衡系统的常用输出,并且不包括车轮滑移率方程中存在的任何非线性。

[0021] 根据示例实施例,车轮速度极限可进一步基于所期望的扭矩。因此,所期望的扭矩(即,扭矩请求)用于计算滑移率极限,该滑移率极限是在计算车轮速度极限时使用的滑移率极限。

[0022] 根据示例实施例,车轮速度极限可以包括车轮速度上限和车轮速度下限。车辆运动管理系统可进一步被配置成至少在所期望的扭矩高于零时将车轮速度上限传输到运动支持系统;以及至少在所期望的扭矩低于零时将车轮速度下限传输到运动支持系统。

[0023] 一个优点是可以根据车辆加速度或车辆减速度来使用不同的车轮速度极限。

[0024] 根据示例实施例,车辆运动管理系统可进一步配置成:确定偏移车轮速度参数(offset wheel speed parameter);获得指示车辆的车轮速度的信号;以及当车轮速度低于阈值车辆速度极限时,基于偏移车轮速度参数来确定车轮滑移率极限。

[0025] 当车轮速度相对较低时,例如接近零时,有利地使用偏移车轮速度参数。如上文所述,由于车轮滑移率计算模型的分母,在低速下可能难以正确计算车轮滑移率极限。因此,设置偏移车轮速度参数有利地补救了这种潜在的不一致性。偏移车轮速度参数可以是上偏移车轮速度参数和下偏移车轮速度参数,其中,上偏移车轮速度参数高于当前车辆速度,而下偏移车轮速度参数低于当前车辆速度。通过使用轮胎模型将偏移车轮速度参数映射到所期望的扭矩,可以获得偏移车轮速度参数。

[0026] 根据示例实施例,车轮滑移率极限可以在预定的车轮滑移率范围内。因此,车辆的车轮将不会暴露于太严重的车轮滑移或太低的车轮滑移率。

[0027] 根据示例实施例,车辆运动管理系统可进一步配置成获得指示车辆的加速踏板的当前加速踏板位置的信号;并基于当前加速踏板位置来确定所期望的扭矩。然而,根据示例实施例,可替代地基于从自主车辆操作系统接收的信号来确定所期望的扭矩。根据如上所示的另一替代方案,车辆运动管理系统还可以被配置成获得指示用于确定所期望的扭矩的制动踏板位置的信号,或者从车辆的缓速器的所谓缓速器杆位置获得信号。因此,车辆运动

管理系统可以布置在自主控制的车辆以及驾驶员控制的车辆中。

[0028] 根据示例实施例,车辆运动管理系统可进一步配置成确定至少一个车轮与路面之间的车轮摩擦水平;并基于所确定的车轮摩擦水平来确定当前车辆运行状况。还存在确定当前车辆运行状况的其它备选方案。例如,当确定当前车辆运行状况时,车辆的当前重量(即,满载车辆的重量)、车辆当前运行的道路拓扑结构等也可以替代地或者与车轮摩擦水平一起用作输入参数。

[0029] 根据第二方面,提供了一种用于车辆的运动支持系统,该运动支持系统能够连接到上述车辆运动管理系统和至少一个致动器,该至少一个致动器被配置成向车辆的至少一个车轮施加扭矩,其中,运动支持系统被配置成从车辆运动管理系统接收控制信号,该控制信号指示用于在当前车辆运行状况下操作车辆的所期望的扭矩,并指示车辆的所述至少一个车轮的车轮速度极限;确定车辆的当前车辆传动系状态;基于当前车辆传动系状态、所期望的扭矩和车轮速度极限来确定操作扭矩和致动器旋转速度极限;以及向致动器传输致动器信号,以使致动器在不超过致动器旋转速度极限的情况下在所述至少一个车轮上产生操作扭矩。

[0030] 当前传动系状态应被解释为传动系(特别是传动系的变速器)的当前操作模式。根据示例实施例,当前车辆传动系状态可以是以下项之一:当前车辆变速器状态、车辆变速器的档位或变速器离合器致动状态。因此,如上所示,运动支持系统被布置为较低级别的控制系系统,该较低级别的控制系系统被配置成在考虑当前传动系状态的情况下将从车辆运动管理系统接收的参数转变为致动器的适当参数。

[0031] 根据示例实施例,车轮运动系统可以是能够连接到车轮专用致动器的分散式车轮运动系统,该车轮专用致动器被配置成控制车辆的单个车轮。

[0032] 使用分散式车轮运动系统能够对其所连接的专用致动器做出快速响应,从而改进车辆的运行推进/制动性能。分散式车轮运动系统可以连接到单独的车辆运动管理系统,或者连接到中央车辆运动管理系统,该中央车辆运动管理系统连接到多个分散式车轮运动系统。

[0033] 第二方面的其它效果和特征在很大程度上类似于上文关于第一方面所描述的那些效果和特征。因此,通过上述第一方面和第二方面,提供了一种车辆控制系统,该车辆控制系统包括由第一方面的任一实施例限定的车辆运动管理系统和由第二方面的任一实施例限定的运动控制系统。

[0034] 根据第三方面,提供了一种用于控制车辆的致动器的方法,该致动器被配置成在车辆的至少一个车轮上施加扭矩,其中,该方法包括:确定用于在当前车辆运行状况下操作车辆的所期望的扭矩;确定车辆的所述至少一个车轮的车轮滑移率极限;至少基于车轮滑移率极限来确定车辆的所述至少一个车轮的车轮速度极限;基于所期望的扭矩、车轮速度极限和当前车辆传动系状态来确定操作扭矩和致动器旋转速度极限;以及控制所述致动器以在不超过致动器旋转速度极限的情况下在所述至少一个车轮上产生操作扭矩。

[0035] 第三方面的效果和特征在很大程度上类似于上文关于第一方面和/或第二方面所描述的那些效果和特征。因此,上述关于车辆运动管理系统和运动支持系统的特征适用于第三方面中描述的方法。

[0036] 根据第四方面,提供了一种控制信号,该控制信号表示将由运动支持系统执行的

指令,该控制信号包括:扭矩分量(torque component),该扭矩分量使运动支持系统能够确定操作扭矩;以及车轮速度极限分量(wheel speed limit component),该车轮速度极限分量表示车轮速度极限数据,当由运动支持系统执行时,该车轮速度极限数据使运动支持系统产生与受到致动器旋转速度极限的操作扭矩相对应的致动器信号,该致动器旋转速度极限能够在考虑到当前车辆传动系状态的情况下基于车轮速度极限分量来确定。

[0037] 根据第五方面,提供了一种包括程序代码组件的计算机程序,该程序代码组件用于当所述程序在计算机上运行时执行上述第三方面的步骤。

[0038] 根据第六方面,提供一种承载计算机程序的计算机可读介质,该计算机程序包括程序组件,当该程序组件在计算机上运行时,该程序组件用于执行上述第三方面的步骤。

[0039] 根据本方法的一个示例,VMM(车辆运动管理)向电机发送扭矩请求,该扭矩请求可以(例如)表示来自驾驶员加速踏板的扭矩请求(正扭矩请求),或者它可以是表示制动扭矩请求(负扭矩请求)的请求。

[0040] 该目的还至少部分地通过用于控制重型车辆的控制单元来获得。该控制单元被布置成获得指示将由车辆的至少一个车轮产生的所期望的车轮力的输入数据,并将该输入数据转换为相应的等效车轮速度(或者等效地,马达速度)或将由车轮维持的车轮滑移率,以便基于车轮的逆轮胎模型来产生所期望的车轮力。该控制单元被布置成根据车轮的当前运行状况来获得逆轮胎模型,并基于等效车轮速度或车轮滑移率来控制重型车辆。

[0041] 因此,不是像通常那样从不同的致动器请求扭矩,而是将车轮滑移率极限请求发送到车轮端部处的车轮扭矩致动器,然后这些车轮端部处的车轮扭矩致动器的任务是将操作维持在所请求的车轮滑移率极限以下。通过这种方式,MSD的控制被移动得更靠近车轮端部,由于减少了控制环路时延和在更靠近车轮端部处可用的更快处理,更高的带宽控制是可能的。因此,MSD能够更快地对例如道路摩擦力的变化做出反应,并因此在可变的运行状况下提供更稳定的车轮力。与传统的基于扭矩的控制相比,这种MSD控制方案既提高了重型车辆的可启动性,又提高了在较高速度行驶场景下的机动性。例如,如果车轮暂时离开地面或由于道路颠簸而经历明显减小的垂直力,则车轮将不会失控地旋转。相反,MSD控制将迅速减小所施加的扭矩,以将车轮滑移率维持在所请求的值(即,低于滑移率极限),使得当车轮再次接触地面时,将维持适当的车轮速度。

[0042] 另一个优点是调整逆轮胎模型以考虑车轮当前运行状况的变化,因为这提高了所期望的车轮力与等效车轮速度或车轮滑移率之间映射的准确度和稳健性。这样,当运行状况改变时,逆轮胎模型将被调整以对当前的运行状况更好地建模。因此,当给定车轮的运行状况发生变化时,车轮力与车轮滑移率(或车轮速度)之间的映射也发生变化,以补偿运行状况的变化。

[0043] 除了车轮滑移率或车轮速度之外,该控制单元还可以被布置成分配(即,请求)要在车辆上的一个或多个转向轮上维持转向角。该转向角将对车轮侧向滑移有影响。因此,联合处理转向和车轮扭矩(滑移率或速度)通常是一个优点,因为这通常会在稳健性和效率方面改善整体车辆控制。

[0044] 根据一些方面,指示所期望的车轮力的数据包括所期望的车轮扭矩和车轮滚动半径。这意味着逆轮胎模型接口可以适应输出所请求扭矩的功能,例如传统车辆控制功能,该功能与车轮半径一起表示或指示所期望的车轮力。

[0045] 根据一些方面,当前运行条件包括车辆或车轮对地速度矢量。知道车轮对地速度,就可以控制车轮的旋转速度,以将车轮滑移率维持在期望的水平。车轮对地速度也会对车轮力与车轮滑移率之间的映射造成影响。例如,地面与车轮之间的接触面可能会随着车速度的变化而变化。

[0046] 根据一些方面,当前运行条件包括车轮的法向载荷或作用在车轮上的竖直力。给定车轮的法向载荷与摩擦系数一起决定了最大可实现的车轮力。因此,优选调整逆轮胎模型以考虑法向载荷的变化。通过测量或以其它方式确定法向载荷,可以使逆轮胎模型更准确。

[0047] 根据一些方面,当前运行条件包括车轮的所估计的或以其它方式确定的轮胎刚度。轮胎刚度在从低到中的轮胎滑移的线性范围内对逆轮胎模型的影响较大。通过考虑轮胎刚度的变化,可以得到更准确的逆轮胎模型。可选地,针对与给定车轮上的轮胎相关的因素(例如磨损、年龄、温度、充气压力等)来校正轮胎刚度。轮胎刚度可以仅仅是可用作按比例调整侧向滑移刚度的基础的纵向滑移刚度,或者是包括纵向滑移刚度和侧向滑移刚度二者的矢量。

[0048] 根据一些方面,当前运行状况包括与车轮相关联的轮胎道路摩擦系数。除其它因素外,轮胎道路摩擦系数也对车轮力与车轮滑移率之间的映射有影响,这是因为它对最大可实现的车轮力有影响。所估计的道路摩擦参数可以用来调适轮胎力曲线以限制所允许的峰值力,也可以改变逆轮胎模型的峰值力滑移率位置。

[0049] 根据一些方面,当前运行状况包括车轮的最小所需侧向力。这意味着可以要求以给定车轮的最小侧向力产生能力进行操作。例如,如果车辆正在转弯,为了成功完成转弯,可能需要产生一定量的侧向力。由于对侧向力的要求,可能需要将车轮速度限制在低于所请求的车轮滑移率的车轮滑移率。类似地,当前运行状况可选地包括车轮的最大允许侧向滑移角。在最小所需侧向力和最大允许侧向滑移角的情况下,所产生的纵向滑移请求被限制到一定搜索空间,在该搜索空间中使用最大允许侧向滑移角保证最小侧向力能力。尽管两者都是可选的实参(arguments),但它们可以有利地用于以不引起例如横摆不稳定性等问题的安全方式请求纵向力。车辆控制器可以使用最小所需侧向力参数,以确保仍有足够的侧向力能力,从而能够通过具有特定加速度分布图和曲率分布图的给定路径。车辆在整个机动过程中的最大纵向速度通常受到侧倾稳定性和道路摩擦力的限制。为了知道通过转弯机动的车辆单元可以支持多大范围的横向加速度,可能需要知道侧向力能力。因此,能够指定最小所需侧向力能力是一个优点。

[0050] 车辆控制器可以使用最大允许侧向滑移角,以确保横摆力矩平衡或车辆的侧滑维持在与要执行的机动一致的可接受水平。这一特征在自主或功能安全的关键应用中尤其有益,在所述自主或功能安全的关键应用中,希望保持轮胎在其线性组合滑移率范围内操作,从而防止可能导致难以预测的影响的任何牵引力控制或横摆稳定性干预。

[0051] 根据一些方面,逆轮胎模型被配置成提供车轮的剩余侧向力能力。剩余侧向力能力可用于调整被发送到车轮端部的请求的边界,或者作为对控制分配器的反馈,以调适其控制请求来增加车轮的侧向力能力(如果车轮的侧向力能力对于当前驾驶场景来说太低的话)。

[0052] 根据一些方面,逆轮胎模型被配置成针对与所期望的车轮力相关联的轮胎操作点

和车轮的当前运行状况提供所期望的车轮力梯度。该输出可用于例如根据控制分配器的优先级来自定义调整(custom tune)致动器中的速度控制器的增益。例如,如果车辆在转弯并且侧向梯度值高,这表明不良的速度控制性能会降低侧向转弯性能,因此可以调适速度控制器的增益以缓解这个问题。了解梯度也有助于执行稳定性和控制稳健性分析,这是一个优势。

[0053] 根据一些方面,所述控制单元被布置成将预定的逆轮胎模型存储在存储器中,其中,逆轮胎模型作为车轮的当前运行状况的函数被存储在存储器中。这意味着所述控制单元可以访问一系列不同的模型,并且它可以从这一系列模型中选择合适的模型。

[0054] 根据一些方面,所述控制单元被布置成:响应于基于等效车轮速度或车轮滑移率的对重型车辆的控制,基于所测量到的车轮行为和/或车辆行为来调适逆轮胎模型。因此,有利地,所述控制单元监测车轮的实际响应(可能还监测车辆的实际响应),并相应地调整逆轮胎模型。这意味着该控制方法对不同场景下对车辆性能的假设或不同参数对车辆可控性的影响变得不那么敏感。此外,如果运行状况以意想不到的方式发生变化,则逆轮胎模型将适应这种变化,从而在尚未遇到的场景下也提供稳健的控制。

[0055] 根据一些方面,根据车轮滑移率或车轮速度,逆轮胎模型被调整为始终位于车轮力的预定上限和/或下限内。这意味着允许对逆轮胎模型进行模型调整,但仅限于某些预定边界内。因此,一个或多个边界代表了在模型自适应过程中对不可预见的错误的安全防范。自适应逆轮胎模型的一个示例是人工神经网络,该神经网络基于控制输入和实际车轮响应或车辆对控制输入的响应而被持续地或至少有规律地训练。

[0056] 本文还公开了与上面讨论的优点相关联的计算机程序、计算机可读介质、计算机程序产品和车辆。

[0057] 一般来说,权利要求书中使用的所有术语应根据它们在技术领域中的普通含义来解释,除非本文中另有明确定义。除非另有明确说明,否则,所有对“一/一个/该元件、设备、部件、装置、步骤等”的引用应被开放地解释为是指该元件、设备、部件、装置、步骤等的至少一个实例。除非明确说明,否则本文公开的任何方法的步骤不必按照所公开的确切顺序执行。当研究所附权利要求书和以下描述时,本发明的另外的特征和优点将变得明显。本领域技术人员将认识到,在不脱离本发明的范围的情况下,本发明的不同特征可以组合以产生除了下文中描述那些的实施例以外的实施例。

[0058] 还应理解,即使一些特征被与其它特征分开讨论,但本文讨论的所有特征都可以有利地实施并用于控制同一车辆。因此,本文公开的各种特征、算法和设备应被组合考虑以及彼此分开地考虑。

附图说明

[0059] 参考附图,以下是作为示例引用的本发明的实施例的更详细描述。

[0060] 在这些图中:

[0061] 图1示出了示例的重型车辆;

[0062] 图2示意性地示出了运动支持设备布置;

[0063] 图3示出了车辆控制功能;

[0064] 图4是示出了轮胎力作为车轮滑移率的函数的曲线图;

- [0065] 图5示出了车轮行为模型针对测量数据的调适；
- [0066] 图6示出了示例的运动支持设备控制系统；
- [0067] 图7是示出了一种方法的流程图；
- [0068] 图8示意性地示出了控制单元；
- [0069] 图9示出了示例的计算机程序产品；
- [0070] 图10示出了左右轮摩擦力相差很大(split friction)的道路场景；
- [0071] 图11至图14是示出了方法的流程图；
- [0072] 图15示出了轮胎；并且
- [0073] 图16至图18是示出了方法的流程图。

具体实施方式

[0074] 现在将在下文中参考附图更全面地描述本发明，附图中示出了本发明的某些方面。然而，本发明可以许多不同的形式实施，且不应被解释为局限于本文阐述的实施例和方面；相反，这些实施例以举例说明的方式提供的，以便本公开将是彻底的和完整的，并将本发明的范围充分传达给本领域技术人员。在整个说明书中，相同的附图标记指代相同的元件。

[0075] 应当理解，本发明不限于本文所描述和附图中示出的实施例；相反，本领域技术人员将认识到，可以在所附权利要求书的范围内进行许多修改和变型。

[0076] 图1示出了用于货物运输的示例车辆100，其中可以有利地应用本文公开的技术。车辆100包括被支撑在前轮150和后轮160上的牵引车或拖曳车辆110，前轮150和后轮160中的至少一些是驱动轮。通常(但不一定)，牵引车上的所有车轮都是制动车轮。牵引车110被配置成以已知的方式拖曳通过牵引座连接件支撑在挂车车轮170上的第一挂车单元120。挂车车轮通常是制动车轮，但也可以包括一个或多个轮轴上的驱动轮。

[0077] 可以理解的是，这里公开的方法和控制单元也可以有利地应用于其它类型的重型车辆，例如具有牵引杆连接件的卡车、建筑设备、公共汽车等。本公开提出了用于至少部分地基于车轮力与车轮滑移率之间的关系来控制重型车辆的多种补充技术、方法和控制单元，如所附权利要求列表中所叙述的。

[0078] 牵引车110包括车辆单元计算机(VUC)或控制单元130，以用于控制各种功能，即，用于实现推进、制动和转向。一些挂车单元120还包括VUC或控制单元140，以用于控制挂车的各种功能，例如挂车车轮的制动，有时还包括挂车车轮的推进。VUC 130、140可以集中或分布在若干个处理电路上。这些车辆控制功能的一部分也可以远程执行，例如在经由无线链路180和无线接入网络185连接到车辆100的远程服务器190上执行。

[0079] 牵引车110上的VUC 130(可能还有挂车120上的VUC 140)可以被配置成执行根据分层功能架构组织的车辆控制方法，其中一些功能可以包括在较高层的交通状况管理(TSM)域中，而一些其它功能可以包括在位于较低功能层的车辆运动管理(VMM)域中。

[0080] 图2示意性地示出了用于通过一些示例性的MSD或致动器来控制车轮210的功能200，这里，所述一些示例性的MSD或致动器包括摩擦制动器220(例如盘式制动器或鼓式制动器)和推进设备250。摩擦制动器220和该推进设备是车轮扭矩产生设备的示例，它们也可称为致动器并且可由一个或多个运动支持设备控制单元230控制。该控制是基于例如从车

轮速度传感器240和从其它车辆状态传感器280(例如雷达传感器、激光雷达传感器以及诸如相机传感器和红外线检测器的基于视觉的传感器)获得的测量数据。可以根据本文讨论的原理来控制的其它示例性的扭矩产生运动支持设备包括发动机缓速器和动力转向设备。MSD控制单元230可以被布置成控制一个或多个致动器。例如,MSD控制单元230被布置成控制轮轴上的两个车轮并不罕见。

[0081] 这里,术语“MSD控制器”、“MSD控制功能”、“运动支持系统”、“致动器控制系统”和“车轮运动系统”可以与术语“MSD控制单元”互换使用。

[0082] TSM功能270以例如10秒左右的时间跨度规划驾驶操作。该时间范围对应于例如车辆100通过弯道所需的时间。由TSM规划和执行的车辆机动可以与描述给定机动的期望车辆速度和转弯的加速度分布图(acceleration profiles)和曲率分布图(curvatures profiles)相关联。TSM持续地从VMM功能260请求所期望的加速度分布图 a_{req} 和曲率分布图 c_{req} ,VMM功能260执行力分配,以便以安全且稳健的方式满足来自TSM的请求。VMM功能260持续地将能力信息反馈给TSM功能,该能力信息详细说明车辆在例如力、最大速度和可产生的加速度等方面的当前能力。

[0083] 也可以经由诸如方向盘、加速踏板和制动踏板之类的正常控制输入设备从重型车辆的驾驶员获得加速度分布图和曲率分布图。所述加速度分布图和曲率分布图的来源不在本公开的范围,因此本文将不更详细地讨论。高级VMM功能可以与传统的人工驾驶员控制输入相组合,以形成高级驾驶员辅助系统(ADAS)。

[0084] 还参考示出了车辆控制功能300的图3,VMM功能260以大约1秒左右的时间跨度操作,并且持续地将加速度分布图 a_{req} 和曲率分布图 c_{req} 转化为用于控制车辆运动功能的控制命令,这些车辆运动功能由车辆100的不同MSD 220、250致动,这些MSD 220、250向VMM报告能力信息321a-321c,这些能力信息321a-321c又被用作车辆控制中的约束条件。VMM功能260执行车辆状态或运动估计305,即,通过使用布置在车辆100上的通常(但不总是)与MSD 220、250连接的各种传感器306来监测操作,VMM功能260持续地确定包括车辆组合体中的不同单元的位置、速度、加速度和铰接角度的车辆状态 s 。

[0085] 运动估计305的结果(即,估计的车辆状态 s)被输入到力产生模块310,该力产生模块310确定不同车辆单元所需的全局力 $V=[V_1, V_2]$,以使车辆100根据所请求的加速度分布图 a_{req} 和曲率分布图 c_{req} 移动。所需的全局力矢量 V 被输入到MSD协调功能320,该MSD协调功能320分配车轮力并协调其它MSD(例如转向和悬架)。然后,协调好的MSD一起在车辆单元上提供所期望的侧向力 F_y 和纵向力 F_x 以及所需的力矩 M_z ,以获得车辆组合体100所期望的运动。

[0086] 通过使用例如全球定位系统、基于视觉的传感器、车轮速度传感器、雷达传感器和/或激光雷达传感器确定车辆单元运动并将该车辆单元运动转换为给定车轮210的局部坐标系(例如,在纵向速度分量和侧向速度分量方面),通过将车轮参考坐标系中的车辆单元运动与从车轮速度传感器240(该车轮速度传感器240被布置成连接到车轮210)获得的数据进行比较,可以实时地准确估计车轮滑移率。

[0087] 将在下面结合图4中更详细地讨论的轮胎模型可以用来在给定车轮 i 的所期望的轮胎纵向力 F_{x_i} 与该车轮的等效车轮滑移率 λ_i 之间进行转换。车轮滑移率 λ 涉及车轮旋转速度与对地速度之间的差,并且将在下面更详细地讨论。车轮速度 ω 是车轮的旋转速度,被以

例如每分钟转数 (rpm) 或以弧度/秒 (rad/秒) 或度/秒 (deg/秒) 表示的角速度为单位给出。

[0088] 这里, 轮胎模型是描述在纵向方向 (滚动方向) 和/或侧向方向 (与纵向方向正交) 上作为车轮滑移率的函数而产生的车轮力的车轮行为模型。在“轮胎和车辆动力学 (Tyre and vehicle dynamics)” (Elsevier 出版公司, 2012年, ISBN 978-0-08-097016-5) 中, Hans Pacejka 介绍了轮胎模型的基础知识。例如, 参见第7章, 其中讨论了车轮滑移率与纵向力之间的关系。

[0089] 总之, VMM 功能 260 管理所述力产生和所述 MSD 协调, 即, 它确定在车辆单元处需要什么力来满足来自 TSM 功能 270 的请求, 例如根据由 TSM 请求的所请求的加速度分布图来加速车辆和/或也产生由 TSM 请求的该车辆的一定曲率运动。这些力可以包括例如横摆力矩 M_z 、纵向力 F_x 和侧向力 F_y 、以及将施加在不同车轮上的不同类型的扭矩。

[0090] VMM 和 MSD 之间的能够将扭矩传递到车辆车轮的接口 265 传统上一直关注于从 VMM 到每个 MSD 的基于扭矩的请求, 而没有对车轮滑移率有任何考虑。然而, 这种方案有很大的性能限制。如果出现安全关键状况或过度滑移状况, 则在单独的控制单元上运行的相关安全功能 (牵引力控制、防抱死制动等) 通常会介入并请求扭矩超驰, 以使滑移回到控制之下。这种方案的问题是: 由于致动器的主控制和致动器的滑移控制被分配给不同的电子控制单元 (ECU), 它们之间的通信所涉及的时延显著限制了滑移控制性能。此外, 用于实现实际滑移控制的两个 ECU 中的相关致动器和滑移假设可能不一致, 这进而可能导致次优性能。

[0091] 相反, 通过在一个或多个 VMM 和 MSD 控制器 230 之间的接口 265 上使用基于车轮速度或车轮滑移率的请求, 可以实现显著的益处, 从而将困难的致动器速度控制回路转移到 MSD 控制器, 与 VMM 功能的采样时间相比, MSD 控制器通常以更短的采样时间运行。与基于扭矩的控制接口相比, 这样的架构可以提供更好的抗干扰, 从而提高在轮胎道路接触面处产生的力的可预测性。

[0092] 参考图 3, 逆轮胎模型功能块 330 将 MSD 协调功能块 320 为每个车轮或车轮的子集确定的所需车轮力 F_{x_i} 、 F_{y_i} 转换为等效车轮速度 ω_{wi} 或车轮滑移率 λ_i 。这些车轮速度或车轮滑移率然后被发送到相应的 MSD 控制器 230。MSD 控制器将能力 231a-231c 报告回去, 这些能力 231a-231c 可以用作例如 MSD 协调功能块 320 中的约束条件。

[0093] 按照 SAE J670 (SAE 车辆动力学标准委员会, 2008年1月24日), 纵向车轮滑移率 λ 可定义为:

$$[0094] \quad \lambda = \frac{R\omega_x - v_x}{\max(|R\omega|, |v_x|)}$$

[0095] 其中, R 是以米为单位的有效车轮半径, ω_x 是车轮的角速度, 并且 v_x 是车轮的纵向速度 (在车轮的坐标系中)。因此, λ 介于 -1 与 1 之间, 并且量化了车轮相对于路面打滑的程度。车轮滑移率本质上是车轮与车辆之间的速度差。因此, 本文公开的技术可适于任何类型的车轮滑移率定义。还可以理解的是, 在车轮的坐标系中, 车轮滑移率值等效于给定车轮在表面上的速度的车轮速度值。

[0096] VMM 260 (可选地还有 MSD 控制单元 230) 维持关于 v_x (在车轮的参考系中) 的信息, 而车轮速度传感器 240 等可用于确定 ω_x (车轮的旋转速度)。

[0097] 为了使车轮 (或轮胎) 产生车轮力, 必须发生滑移。对于较小的滑移率值, 滑移率与所产生的力之间的关系近似是线性的, 其中, 比例常数通常被表示为轮胎的滑移刚度。轮胎

210受到纵向力 F_x ，侧向力 F_y 和法向力 F_z 。法向力 F_z 是确定一些重要车辆性质的关键。例如，法向力在很大程度上决定了车轮可实现的纵向轮胎力 F_x ，这是因为：在通常情况下， $F_x \leq \mu F_z$ ，其中 μ 是与道路摩擦条件相关联的摩擦系数。给定纵向滑移率的最大可用侧向力可以用所谓的魔术公式 (Magic Formula) 来描述，如Hans Pacejka在“轮胎和车辆动力学 (Tyre and vehicle Dynamics)” (Elsevier出版公司, 2012年, ISBN978-0-08-097016-5) 中所描述的。

[0098] 可以使用具有速度极限接口的扭矩请求，而不是直接从MSD请求车轮滑移率或车轮速度。然后，只要车轮速度保持在高车轮速度极限与低车轮速度极限之间，就允许扭矩请求影响车轮行为。车轮滑移率或车轮速度极限可以基于上述期望的车轮滑移率来配置以获得给定的力，或者可以配置成与所期望的车轮滑移率或车轮速度有一定裕度。

[0099] 为了确保不会发生过度滑移，除了扭矩请求之外，还可以向马达控制器发送两个速度极限：速度上限和速度下限。一些示例实施方式可能只使用速度上限。从功能的观点来看，可以认为车轮速度的极限等效于马达速度的极限。类似地，在给定车轮的参考系中，在给定当前车辆对地速度的情况下，车轮速度或马达速度的极限可以被转换为车轮滑移率的极限。

[0100] 如果当前马达速度在由上限和下限定义的范围之内，则电动马达应按照VMM扭矩请求中所请求的扭矩来施加扭矩。人们意识到，车轮速度和马达速度是紧密相关的。如果电机经由变速器连接到一个或多个车轮，则变速器决定马达速度和车轮速度之间的转换。如果车轮经由差速器连接到电机，则扭矩和车轮速度以已知的方式分布在车轮上。

[0101] 在给定的时间步处，如果当前马达速度高于速度上限，则马达控制器运行以相对于前一个时间步减小所施加的马达扭矩。这会导致车轮速度下降，并最终低于所配置的车轮速度极限。马达扭矩应继续减小，直到马达速度低于或等于速度上限。此外，在给定的时间步处，如果马达速度被测量为低于速度下限，则施加到电机上的扭矩应相对于最后一个时间步增加。这导致车轮速度增加。马达扭矩应继续增加，直到马达速度高于或等于速度下限。实施实际控制的其它方式可以是对扭矩控制使用可变步长，或者如果车轮速度或车轮滑移率超过所配置的极限，则切换到车轮速度控制。

[0102] 本文公开的方法不必通过在离散时间步中执行控制来实现。因此，替代地，如果检测到当前马达速度 (或车轮速度) 高于所配置的上限，则马达控制器在观察马达速度和/或车轮速度的同时以受控方式持续减小所施加的马达扭矩。马达扭矩应继续减小，直到马达或车轮速度低于或等于速度上限。此外，如果检测到马达速度 (或车轮速度) 被测量为低于速度下限，则施加到电机的扭矩持续增加。马达扭矩应继续增加，直到马达速度高于或等于速度下限。

[0103] 替代地，该控制可以基于减小所施加扭矩的大小，而不允许所施加扭矩的正负号变化。

[0104] 如果马达速度返回到由速度上限和速度下限定义的范围内的值，或者如果马达控制器接收到的VMM扭矩请求小于从上限速度器输出的值，则可以终止扭矩控制的这种“超驰”。如果马达控制器接收到的VMM扭矩请求大于从下限速度器输出的值，也可以终止扭矩控制的“超驰”。

[0105] 可以基于当前车辆速度和纵向滑移率极限来计算速度上限和速度下限，该纵向滑

移率极限可以基于逆轮胎模型来确定,如下文将更详细地讨论的。

[0106] 请注意,上面描述的所有状态和速度极限都是有正负号的值。还请注意,例如,当由于速度下限而“扭矩增加”,这将导致负扭矩值增加到较小的负扭矩值;或者从正扭矩值增加到更大的正扭矩值;甚至从负值增加到正值。对于速度上限也可实施类似的行为。

[0107] 除了(或代替)速度极限或车轮滑移率极限,也可以将旋转加速度极限发送到马达控制器。这些可以帮助防止限速器或任何其它马达控制功能向车轮传递不希望的扭矩阶跃变化。当然,也可以使用车轮滑移率极限,如下文将更详细地解释的。

[0108] 可以基于当前车辆速度和纵向滑移率极限来计算速度上限和速度下限,该纵向滑移率极限可以基于逆轮胎模型来确定,如下文将更详细讨论的。因此,根据一个示例,速度极限类似于位于当前马达或车轮速度周围的可允许的马达或车轮速度窗口。这意味着,如果遇到摩擦力减小的路段,则马达速度可能迅速改变速度,但不会导致过度车轮滑移,这是因为速度极限将被超过,于是扭矩将被调整以将速度保持在由速度上限和速度下限所定义的可允许范围内。

[0109] 请注意,上面描述的所有状态和速度极限都应有正负号。例如,当由于速度下限而“扭矩增加”时,这将导致负扭矩值增加到较小的负扭矩值;或者从正扭矩值增加到更大正的扭矩值;甚至从负值增加到正值。对于速度上限也可实施类似的行为。

[0110] 图4是曲线图,示出了作为车轮滑移率的函数的、可实现的轮胎力的示例。纵向轮胎力 F_x 对于小的车轮滑移率呈现几乎线性增长的部分410,之后,对于更大的车轮滑移率呈现具有更多非线性行为的部分420。即使在相对较小的纵向车轮滑移率时,可获得的侧向轮胎力 F_y 也会迅速减小。希望将车辆操作维持在线性区域410中,在线性区域410中,响应于所施加的制动命令的、可获得的纵向力更容易预测,并且如果需要,还可以产生足够的侧向轮胎力。为了确保在该区域中操作,可以在给定的车轮上施加例如约0.1的车轮滑移率极限 λ_{LIM} 。对于更大的车轮滑移率(例如超过0.1),可以看到更加非线性的区域420。在该区域中控制车辆可能很困难,因此经常要避开增加。值得关注的是对于在越野条件等(其中,用于牵引力控制的更大的滑移率极限可能是优选的)条件下的牵引,而不是对于在道路上运行的情况。

[0111] 这种类型的轮胎模型可由VMM 260用于在某个车轮处产生所期望的轮胎力。VMM可以将所期望的轮胎力转换为等效的车轮滑移率(或等效地,转换为相对于对地速度的车轮速度)并请求该滑移率,而不是请求对应于所期望的轮胎力的扭矩。主要优点是,MSD控制设备230将能够通过使用车辆速度 v_x 和车轮旋转速度 ω_x 以期望的车轮滑移率维持操作而以高得多的带宽传递所请求的扭矩。

[0112] 控制单元130、140可以被布置成在存储器中存储预定的逆轮胎模型 f^{-1} (例如作为查找表)。逆轮胎模型被布置成作为车轮210的当前运行状况的函数而存储在存储器中。这意味着根据车辆的运行状况来调整逆轮胎模型的行为,这意味着,与不考虑运行状况的模型相比,获得了更准确的模型。存储在存储器中的模型可以基于实验和试验确定,或者基于分析推导确定,或者基于二者的组合来确定。例如,控制单元可以被配置成访问根据当前运行状况而选择的一组不同的模型。一个逆轮胎模型可以针对法向力较大的高载荷驾驶进行定制,另一个逆轮胎模型可以针对道路摩擦力低的湿滑道路条件进行定制,等等。要使用的模型的选择可以基于一组预定的选择规则。存储在存储器中的模型也可以至少部分地是运

行状况的函数。因此,该模型可以被配置成将例如法向力或道路摩擦力作为输入参数,从而根据车轮210的当前运行状况获得逆轮胎模型。可以理解的是,运行状况的许多方面可以通过默认的运行状况参数来近似,而运行状况的其它方面可以粗略地分类为较少数量的类别。因此,根据车轮210的当前运行状况获得逆轮胎模型并不一定意味着需要存储大量不同的模型,或者能够以细粒度考虑运行状况的变化的复杂分析函数。相反,根据运行状况选择两个或三个不同的模型可能就足够了。例如,在车辆重载时使用一个模型,而在其它情况下使用另一个模型。在所有情况下,轮胎力与车轮滑移率之间的映射会根据运行状况而以某种方式变化,这提高了映射的精度。

[0113] 逆轮胎模型还可以至少部分地实施为自适应模型,该自适应模型被配置成自动地或至少半自动地适应车辆的当前运行状况。这可以通过持续地监测给定车轮响应于给定车轮滑移率请求而产生的车轮力方面的响应,和/或监测车辆100响应于车轮滑移率请求而做出的响应来实现。然后可以调整自适应模型以对响应于车轮的给定车轮滑移率请求而获得的车轮力更准确地建模。

[0114] 图5是示出了逆轮胎模型的曲线图500,该逆轮胎模型将纵向轮胎力 F_x 映射到车轮滑移率。还绘制了车轮滑移率和对应的轮胎力 F 的成对 (F, λ) 的测量值510。根据一些方面,本文公开的控制单元被布置成:响应于基于等效车轮速度或车轮滑移率的对重型车辆100的控制而基于所测量到的车轮行为和/或车辆行为调适逆轮胎模型 f^{-1} 。一种这样的测量类型是当电机试图产生特定的车轮速度时遇到的阻力。马达的此“扭矩状态”输出信号可以经由有效车轮半径 R 直接转换为等效车轮力。车轮力样本也可以从VMM功能中获得,作为力分配过程的一部分。例如,如果VMM注意到响应给定请求的车轮滑移率而始终获得太小的纵向力,则可以调整该模型以解决差异,例如通过缩放它来更好地匹配所期望的车轮力。在这种情况下,请注意,逆轮胎模型在绝对参考系中不需要是正确的,即,逆轮胎模型能够准确地预测对于给定的车轮滑移率所产生的力(以牛顿为单位)。相反,如果逆轮胎模型允许VMM功能260成功地控制车辆,就足够了。值得注意的是,通过响应于车轮滑移率请求、基于所测量到的车轮力以这种方式调整逆轮胎模型,在建模中将自动包括车辆的其它特性,以更准确地表示车轮滑移率与车轮力之间的映射。

[0115] 在调适逆轮胎模型的第一个示例中,持续获得所产生的力 F 与当前车轮滑移率 λ 的样本对 (F, λ) 。所产生的力 F (纵向力 F_x 和侧向力 F_y)以及横摆力矩 M_z 可以基于车辆行为(即,牛顿第二定律类型的关系)来确定,其中质量 m 和加速度 a 都可以使用基本传感器技术与当前车轮滑移率一起测量。

[0116] 然后持续更新逆轮胎模型以拟合当前的测量结果。例如,可以应用卡尔曼滤波器以跟踪多项式模型的系数 $\{c_i\}$,该多项式模型然后可以用作逆轮胎模型。还可以进行多项式拟合以将测量数据510拟合到模型,然后该模型可以用作逆轮胎模型。

[0117] 在第二个示例中,应用神经网络或其它形式的基于AI的方法来持续更新逆轮胎模型。例如,使用所产生的力 F 与当前车轮滑移率 λ 的样本对 (F, λ) 对该网络进行训练。该网络的输入例如可以是车辆负载、轮胎规格和例如摩擦力方面的道路条件。输出可以是多项式模型的一组系数,该多项式模型可以用作逆轮胎模型的代表。

[0118] 可以理解的是,该模型自适应不需要在车辆100上执行。相反,可以将测量数据上传到远程服务器190,该远程服务器190的任务是基于车轮滑移率而不是基于扭矩请求来寻

找用于控制车辆的合适模型。然后,该模型可以考虑来自不止一个车辆(可能来自相同类型的一组车辆)或操作设计域的测量数据。然后可以从远程服务器190将模型或模型组反馈回到车辆以用于控制车辆100。

[0119] 整个逆轮胎模型当然也可以实现为神经网络,在不同类型的运行状况期间对神经网络进行训练。然后,随着重型车辆的运行状况改变,逆轮胎模型也改变,使得给定车轮力的对应的车轮滑移率随时间改变,这是一个优点。

[0120] 逆轮胎模型 f^{-1} 也可以根据车轮滑移率或车轮速度调整,使其始终处于车轮力的预定上限和下限内。这些极限可例如以作为从测量数据510导出的统计极限而获得。例如,可以设定上限520和下限530,以便将逆轮胎模型限制在与平均值的一个或两个标准差内,等等。

[0121] 安全裕度也可以应用于自适应本身,即,在不允许逆轮胎模型偏离到围绕某个标称模型曲线的围栏区域(fenced region)之外的情况下,可以执行受约束的自适应。该围栏区域可以根据运行状况来预先确定或调整,或者通过在已知操作设计域(ODD)上预先定义的动态驾驶任务(DDT),这将减少所需的验证和校验量。

[0122] 再次参考图2,MSD控制单元230可被配置成控制与车轮210相关联的一个或多个MSD。该一个或多个MSD可包括至少一个行车制动器220、以及推进单元250,该至少一个行车制动器220被布置成通过车轮210产生负扭矩,该推进单元250被布置成产生车轮210的正扭矩和/或负扭矩,例如是电机和/或燃烧发动机。可由MSD控制单元控制的其它扭矩产生设备包括发动机缓速器和动力转向设备。MSD控制单元230被通信地耦合到VMM单元260,用于从VMM单元260接收包括车轮速度和/或车轮滑移率请求的控制命令,以通过该一个或多个MSD控制车辆运动。

[0123] 可以理解的是,本文讨论的MSD控制单元还可以被配置成控制与除了车轮210之外的其它车轮相关联的一个或多个MSD,例如用于控制给定轮轴的车轮、或者挂车单元的一侧上的车轮或挂车单元的所有车轮的MSD。图6示意性地示出了MSD控制单元230a-230f的系统,该系统被布置成基于从中央VMM单元260接收的控制信号来控制相应车轮210a-210f。一个或多个附加车辆单元也可以以这种方式控制,该一个或多个附加车辆单元例如是可能经由台车单元连接的一个或多个挂车120。在这种情况下,可以有不止一种VMM功能,其中一个VMM功能可以被指定为主角色(master role),而其它VMM功能可以被配置为在从模式(salve mode)下操作。

[0124] 总之,VMM功能260执行力分配以满足特定加速度分布图和/或曲率分布图。力被转变为等效车轮滑移率(或车轮旋转速度),并且该滑移率或速度(而不是经典的扭矩请求)被发送到MSD控制单元230。从所期望的力到等效滑移率或车轮旋转速度的转换是基于逆轮胎模型 $f^{-1}()$ 进行的。该逆轮胎模型不仅是所请求的车轮扭矩或车轮力的函数,而且还考虑了车辆100当前操作的当前操作场景。根据示例实施例,用于控制车辆100的逆轮胎模型由下式给出:

$$[0125] \quad [\omega_{req}, F_{y,rem}, dF_x/d\omega, dF_y/d\omega] = f^{-1}(T_{req}, v_x, v_y, F_{z,act}, R_w, C_{est}, \mu_{est}, F_{y,min}, \alpha_{max})$$

[0126] 其中

[0127] T_{req} - 车轮处的扭矩请求

[0128] v_x - 纵向对地速度

- [0129] v_y - 侧向对地速度
- [0130] $F_{z,act}$ - 车轮上的法向载荷
- [0131] R_w - 车轮滚动半径
- [0132] C_{est} - 车轮的所估计的轮胎刚度(可选地,侧向轮胎刚度 $C_{est,y}$ 和纵向轮胎刚度 $C_{est,x}$ 中的任一项)
- [0133] μ_{est} - 所估计的车轮处的轮胎道路摩擦力
- [0134] $F_{y,min}$ - 最小所需侧向力能力
- [0135] α_{max} - 用于实现 $F_{y,min}$ 的最大允许侧向滑移率
- [0136] ω_{req} - 车轮旋转速度请求,即,要控制的目标车轮速度
- [0137] $F_{y,rem}$ - 给定车轮的剩余侧向力能力
- [0138] $dF_x/d\omega - F_x$ 相对于所请求的轮胎操作点处的车轮速度的梯度
- [0139] $dF_y/d\omega - F_y$ 相对于所请求的轮胎操作点处的车轮速度的梯度
- [0140] 轮胎刚度 C_{est} 可以是所估计的轮胎刚度,所估计的轮胎刚度可以针对诸如轮胎磨损、年龄、温度、充气压力等因素进行校正。这可以只是能用作按比例调整给定轮胎侧向滑移刚度的基础的纵向滑移刚度,或者可以是包括轮胎的纵向滑移刚度和侧向滑移刚度二者的矢量。轮胎刚度可能对滑移率曲线400的力有显著影响。在没有这个实参的情况下,在该轮胎模型中可以使用轮胎的标称刚度。
- [0141] 所估计的摩擦力 μ_{est} 可用于调适轮胎力曲线400以限制所允许的峰值力,以及用于改变模型中的峰值力滑移率位置。在没有此可选输入的情况下,可以使用标称的干沥青轮胎力曲线。
- [0142] 最小所需侧向力能力 $F_{y,min}$ 和最大允许侧向滑移角极限 α_{max} 是轮胎模型的可选约束条件,其可以经由诸如VMM功能260与各种MSD控制单元230之间的接口265等的接口进行通信。利用这些附加的输入,所产生的纵向滑移率请求被限制在矢量空间中,在该矢量空间中,使用最大侧向滑移角 α_{max} 保证了侧向力能力 $F_{y,min}$ 。这两个可选实参都可以用于以不会导致显著的横摆不稳定等的安全方式请求纵向力。 $F_{y,min}$ 可以用来确保保持足够的侧向力能力,以便能够通过特定的弯道或完成需要产生侧向力(即, F_y)的一些其它机动,而 α_{max} 可用于确保横摆力矩平衡或车辆的侧滑被维持在合理的预先配置或动态确定的极限内。该特征在自主或功能安全关键应用中可能特别有益,在这些应用中,希望使轮胎保持在其线性组合滑移率范围(例如图3所示的范围410)内操作,从而防止任何牵引力控制或横摆稳定性干预。
- [0143] 在输出侧, ω_{req} 是车轮速度请求,并且这是来自轮胎模型的主请求,在给定 μ_{est} 且不违反 $F_{y,min}$ 和 α_{max} 约束条件的情况下,只要有可能这样做,它就应该导致所需的 T_{req} 。可以理解的是,可以随着时间的推移而根据对地速度 v_x, v_y 来持续更新车轮速度请求 ω_{req} ,以便其等效于车轮滑移率,例如上面讨论的车轮滑移率方程中所定义的。替代地,可以传送车轮滑移率值 λ_{req} 而不是车轮速度值。给定车轮对地速度的情况下,车轮滑移率和车轮速度是等效的信息量。
- [0144] 剩余侧向力能力 $F_{y,rem}$,可用于调整正在发送的请求的边界,或作为对控制分配器的反馈,以适应其控制请求来增加 $F_{y,rem}$,例如,如果它太接近于零的话。
- [0145] 最后, $dF_x/d\omega$ 和 $dF_y/d\omega$ 表示纵向力和侧向力相对于所请求的操作点处的车轮旋

转速度 ω_{tgt} 的梯度。例如,这些参数可用于根据控制分配器的优先级来自定义调整致动器中的速度控制器的增益。例如,如果车辆正在转弯并且 $dF_y/d\omega$ 值较高,则表明不良的速度控制性能会降低侧向转弯性能,因此可以调适速度控制器的增益来防止这种情况。

[0146] 上面的函数接口的若干个变型当然是可能的。一种可能性是简单地移除滚动半径输入,并将扭矩和旋转速度 T_{req}, R_w 分别改变为力和线速度,则逆轮胎模型变成:

$$[\omega_{req}, F_{y,rem}, dF_x/d\omega, dF_y/d\omega] = f^{-1}(F_{x,req}, v_x, v_y, F_{z,act}, C_{est}, \mu_{est}, F_{y,min}, \alpha_{max})$$

[0148] 另一种替代方案是简单地将所有轮胎参数作为具有预定布局的单个结构实参(例如, p_{tyre}) 发送。结构字段中的任何值都可以用来更新现有的值,而默认值可以用来代替不存在的字段。

[0149] 逆轮胎模型的输出的其它选项可以是发送实际或最大侧向轮胎力 $F_{y,max}$ 或在y方向上当前利用的轮胎摩擦力 $\mu_{y,util}$ 。这将产生根据下式的模型函数

$$[\omega_{req}, F_{y,act}, dF_x/d\omega, dF_y/d\omega] = f^{-1}(F_{x,req}, v_x, v_y, F_{z,act}, p_{tyre}, F_{y,min}, \alpha_{max})$$

$$[\omega_{req}, F_{y,max}, dF_x/d\omega, dF_y/d\omega] = f^{-1}(F_{x,req}, v_x, v_y, F_{z,act}, p_{tyre}, F_{y,min}, \alpha_{max})$$

$$[\omega_{req}, \mu_{y,util}, dF_x/d\omega, dF_y/d\omega] = f^{-1}(F_{x,req}, v_x, v_y, F_{z,act}, p_{tyre}, F_{y,min}, \alpha_{max})$$

[0153] 如上面所提到的,以上示例中的许多逆轮胎模型的输入和输出是可选的。例如,参数 $F_{z,act}, R_w, C_{est}, \mu_{est}, F_{y,min}, \alpha_{max}$ 的默认值可以用来代替实际测量值。还应理解的是,输出 $F_{y,act}, dF_x/d\omega, dF_y/d\omega$ 对于将车辆控制在与所期望的车轮力相对应的等效车轮速度或车轮滑移率来说不是必需的。

[0154] 还可以向逆轮胎模型添加转向角请求 δ_{req} , 或要维持的转向角目标值。在这种情况下,所述输入包括所需的纵向车轮力 $F_{x,req}$ 以及侧向车轮力 $F_{y,req}$, 并且除了车轮速度或车轮滑移率之外,所述输出包括对于给定的车轮的目标转向角 δ_{tgt} , 即,

$$[\omega_{req}, \delta_{req}, dF_x/d\omega, dF_y/d\omega] = f^{-1}(F_{x,req}, F_{y,req}, v_x, v_y, F_{z,act}, p_{tyre}, F_{y,min}, \alpha_{max})$$

[0156] 还应理解,车轮旋转速度 ω_{req} (即,给定车轮210旋转的速度)可以用车轮滑移率 λ_{req} 代替。这是因为:在给定车轮对地速度 v_x 的情况下,车轮速度请求 ω_{req} 和车轮滑移率请求 λ_{req} 经由车轮半径 R 而直接相关。换句话说,车轮速度和车轮滑移率常常是等效的信息量。

[0157] 总结上面的讨论,本文公开了用于控制重型车辆100的控制单元130、140。该控制单元被布置成获得指示要由车辆100的至少一个车轮210产生的所期望的车轮力 F_x, F_y 的输入数据,并将该输入数据转换成要由车轮210维持的相应的等效车轮速度或车轮滑移率,以基于车轮210的逆轮胎模型 f^{-1} 产生所期望的车轮力 F_x, F_y 。指示要产生的所期望的车轮力的输入数据可以例如从力分配过程中获得,其中确定了使车辆遵循所期望的加速度分布图和/或所期望的曲率的必需力。该加速度分布图和曲率可以从车辆100的驾驶员的人工控制输入或者从在VUC上运行的自主或半自主控制算法获得。所期望的车轮力还可以至少部分地经由无线链路从远程服务器190获得。

[0158] 指示所期望的车轮力 F_x, F_y 的数据可包括所期望的车轮扭矩 T_{req} 和车轮滚动半径 R 。通过提供扭矩和半径,等效的所期望的车轮力可例如确定为 $F_x = T_{req} * R$ 。

[0159] 控制单元130、140被布置成根据车轮210的当前运行状况获得逆轮胎模型,并且还布置成基于等效车轮速度或车轮滑移率来控制重型车辆100。这意味着控制单元被配置成以某种方式使逆轮胎模式适应车辆的当前运行状况。例如,如果车辆装载的是重量较重的货物,则用于控制车辆的逆轮胎模型将被调整以考虑运行状况的变化。可以考虑各种类

型的运行状况参数,如下文所讨论的。通过获得取决于当前运行状况的逆轮胎模型,可以实现更准确的控制,也可以实现更稳健的控制。因此,可以理解的是,这里考虑的逆轮胎模型是动态模型,与恒定模型不同的是,它被调适以适合重型车辆的当前运行状况。这提高了车辆性能和安全性。

[0160] 当前运行状况可以包括具有分量 v_x 、 v_y 的车辆对地速度或车轮对地速度矢量。该车辆对地速度可用于确定对应于给定滑移量的车轮旋转速度,例如,通过计算上面讨论的归一化车轮滑移差。有些轮胎的表现也会有所不同,这取决于车轮是缓慢旋转还是较快旋转。因此,一些逆轮胎模型可能在对地速度0km/h到150km/h的操作速度范围内表现出差异。可以理解的是,基于所请求的车轮旋转速度的车轮控制需要VMM功能260与MSD控制单元230之间的相对快速的接口。这是因为获得给定车轮滑移率所需的车轮旋转速度取决于对地速度,而对地速度可能随着时间的推移而相对较快地变化。

[0161] 可选地,当前运行状况还包括与车轮210相关联的法向载荷 F_z 或竖直轮胎力。法向载荷可能对逆轮胎模型(即,所期望的车轮力与车轮速度或车轮滑移率之间的映射)有显著影响。例如,最大可用纵向轮胎力 F_x 受法向力和摩擦系数的限制。因此,通过基于法向载荷 F_z 来参数化逆轮胎模型,可以获得对车辆100的当前运行状况更接近地建模的、更准确的逆轮胎模型。

[0162] 根据一些其它方面,当前运行状况包括车轮210的所估计的轮胎刚度 C_{est} 。如果轮胎刚度是明确估计的,则可以得到更准确的逆轮胎模型。例如,可以基于反馈系统来估计轮胎刚度,其中,轮胎力的测量值被映射到车轮滑移率,并且可以确定线性或半线性关系。轮胎刚度还可以例如从远程服务器190中维护的数据库或连接到VUC的存储器中获得,如果可以识别轮胎,则可以对其进行索引。识别附接到给定车轮上的轮胎可以例如通过将射频识别(RFID)设备嵌入到轮胎中或通过人工配置来完成。

[0163] 当前运行状况还可以包括车轮的所估计的轮胎道路摩擦系数 μ 。此道路摩擦力可以使用已知的方法来实时估计,例如US 9,475,500 B2、US 8,983,749 B1或EP 1719676 B1中公开的方法。然后,可以对逆轮胎模型进行调适,以匹配当前的道路摩擦力。

[0164] 当前运行状况还可以包括车轮210的最小所需侧向力能力 $F_{y,min}$ 和/或最大允许侧向滑移 α 。最小侧向力能力 $F_{y,min}$ 和最大侧向滑移角极限 α 是轮胎模型的可选约束条件。如果将这些数据作为逆轮胎模型函数的输入,则可以用这些参数作为约束条件来确定输出。例如,可以确定输出车轮速度或车轮滑移率不会产生不足的侧向力能力或侧向滑移,这是一个优点。

[0165] 相反,逆轮胎模型 f^{-1} 也可配置成提供车轮210的剩余侧向力能力 $F_{y,rem}$ 。剩余侧向力能力 $F_{y,rem}$ 可用于调整被发送的请求的边界,或者作为对控制分配器的反馈,以适应其控制请求,从而在剩余侧向力能力变得太低时增加剩余侧向力能力。

[0166] 逆轮胎模型 f^{-1} 还可被配置成提供所期望的车轮力相对于车轮速度或车轮滑移率的梯度 dF_x 、 dF_y ,该车轮速度或车轮滑移率是在与所期望的轮胎力相关联的轮胎操作点处和车轮210的当前运行状况下的车轮速度或车轮滑移率。如果输入参数发生微小变化,则该梯度提供关于模型行为的信息,并且可以有利地用于调整例如MSD控制单元230中的控制算法。例如,这些梯度可用于调整诸如PID控制器的控制功能的增益。

[0167] 图7是示出了方法的流程图,这些方法至少总结了上面的一些讨论。示出了在控制

单元130、140中执行的用于控制重型车辆100的方法。该方法包括：获得S1指示要由车辆100的至少一个车轮210产生的所期望的车轮力 F_x 、 F_y 的输入数据；以及，获得S2与车轮210相关联的逆轮胎模型 f^{-1} ，其中，该逆轮胎模型取决于车轮210的当前运行状况。该方法进一步包括：基于车轮210的逆轮胎模型，将输入数据转换S3为要由车轮210维持的相应的等效车轮速度或车轮滑移率，以产生期望的车轮力 F_x 、 F_y ；以及，基于该等效车轮速度或车轮滑移率来控制S4重型车辆100。

[0168] 图8在许多功能单元方面示意性地示出了控制单元的部件，如VUC 130、140。根据本文讨论的实施例，该控制单元可以实施TSM 270、VMM 260和/或MSD控制功能230的上述功能中的一个或多个。该控制单元被配置成执行上文所讨论的用于控制重型车辆100的功能中的至少一些功能。使用能够执行存储在例如以存储介质820的形式的计算机程序产品中的软件指令的适当的中央处理单元CPU、多处理器、微控制器、数字信号处理器DSP等中的一个或多个的任意组合来提供处理电路810。处理电路810可进一步被提供为至少一个专用集成电路ASIC或现场可编程门阵列FPGA。

[0169] 具体地，处理电路810被配置成使控制单元101执行一组操作或步骤，例如结合图7讨论的方法。例如，存储介质820可以存储该组操作，并且处理电路810可以被配置成从存储介质820检索该组操作以使控制单元900执行该组操作。该组操作可以作为一组可执行指令来提供。因此，处理电路810被布置成执行本文所公开的方法。

[0170] 存储介质820还可以包括持久存储装置，例如，该持久存储装置可以是磁存储器、光存储器、固态存储器或甚至远程安装存储器的任一种或它们的组合。

[0171] 控制单元900还可以包括用于与至少一个外部设备通信的接口830。因此，接口830可以包括一个或多个发射器和接收器，包括模拟和数字部件以及用于有线或无线通信的适当数量的端口。

[0172] 处理电路810例如通过向接口830和存储介质820发送数据和控制信号，通过从接口830接收数据和报告，以及通过从存储介质820检索数据和指令来控制该控制单元900的一般操作。省略了控制节点的其它部件以及相关功能，以免混淆这里提出的构思。

[0173] 图9说明了承载计算机程序的计算机可读介质910，计算机程序包括程序代码组件920，所述程序代码组件用于当所述程序产品在计算机上运行时执行根据图7中所示的方法。该计算机可读介质和代码组件可以一起形成计算机程序产品900。

[0174] 图10示出了示例性的车辆启动场景1000，其中可以有利地使用本文公开的技术。车辆100在其加速1020时将经历变化的摩擦条件1030、1040、1050。道路1010也可能是凹凸不平和/或倾斜的。由于在道路或车辆条件变化时需要快速控制车轮扭矩，因此在没有车轮速度极限的情况下的基于扭矩的起动控制将面临挑战。例如，VMM可以以大约10毫秒的更新率运行，而MSD控制单元230可以以大约1毫秒（即，快了10倍）的更新率操作。这意味着，与基于VMM的控制相比，MSD控制单元230能够更快地对瞬态效应进行调整，从而以更好的方式克服车辆起动期间的不可预见的阻力，而基于VMM的控制对驾驶条件下的不可预见的变化的反应更慢。另一方面，所提出的技术简单地确定要由每个从动轮上的不同MSD控制单元维持的合适的目标车轮滑移率值，并将这些目标车轮滑移率值（或基于所期望的车轮滑移率值确定的相关联的车轮速度极限）传送到MSD控制单元，然后MSD控制单元通过根据车辆速度和所配置的目标车轮滑移率或车轮滑移率极限来设定适当的车轮速度，从而控制电机以将

车轮滑移率维持在所请求的值或低于所请求的值。这样,在控制栈中将控制下移,更接近于实际的电机,这提高了车辆总体起动车性能。例如,如果图10中的车辆100的一个或多个车轮处的当前马达速度高于车轮速度上限,则马达控制器减小所施加的马达扭矩。马达扭矩继续减小,直到马达速度低于或等于速度上限。此外,如果马达速度被测量为低于速度下限,则施加到电机上的扭矩应相对于最后一个时间步增加。马达扭矩应继续增加,直到马达速度高于或等于速度下限。

[0175] 图11示出了用于使重型车辆100运动的方法,该方法包括:获得SB1用于使车辆100运动的运动指令;确定SB2与适合于执行该运动指令的车轮滑移率相关联的目标车轮滑移率极限值 λ_{target} 并且控制SB3车轮速度 ω 以使车辆100的车轮滑移率保持低于目标车轮滑移率极限值 λ_{target} 。如本文所讨论的,可以根据车轮速度来配置该车轮滑移率极限(或等效地,车轮速度极限值)。例如,通常,可以根据所期望的车轮滑移率来配置车轮速度极限,使得不发生过度的车轮滑移。这样,以高效的方式获得受控的车辆起动车,这是因为:与仅基于扭矩的控制相反,控制是直接基于相对于车辆速度而言的车轮速度。控制可以更多地转向一个或多个推进单元而远离中央车辆控制,这是一个优点,因为可以以这种方式实现更高带宽的控制回路(更快的回路)。由于本地控制的带宽比中央控制的带宽增加,可以更好地处理不可预见的阻力和瞬变。

[0176] 根据本公开,请求电机WEM将车轮滑移率保持低于已经根据用于使车辆运动的运动指令(或等效地,对应于车轮滑移率极限的目标车轮速度极限)确定的目标车轮滑移率极限值 λ_{target} 。例如,在启动操作期间,电机可以简单地施加接近于所配置车轮速度极限值的车轮速度。例如,如果目标车轮滑移率极限值被设定为0.1,则车轮旋转速度将由WEM以高于车辆速度0.1的相对差持续设定,从而车轮将始终以所配置的量或略小于所配置的量打滑。换句话说,相对于车辆速度而言的目标车轮速度差被配置并随后被控制。这是可能的,至少部分因为电机能够快速传递高扭矩,即,它通常能够产生向它请求的任何车轮滑移率(尽管不建议请求太大的滑移率,因为这将导致轮胎烧毁)。电机的峰值扭矩能力通常很高,但只能在有限的时间内获得。因此,在车辆起动车期间从一个电机或多个电机汲取高峰值扭矩可能是有利的。

[0177] 在启动期间控制车辆的已知方法是基于扭矩控制,这意味着向电机发送扭矩请求,然后,电机试图在一定的滑移率极限约束下尽其最大能力实现这些扭矩请求。与已知的重型车辆启动方法相比,所提出的方法使控制更接近于电机。

[0178] 根据一些方面,该方法包括基于以下关系式来控制SB31车轮速度 ω ,以使车辆100的相应车轮的车轮滑移率保持低于目标车轮滑移率极限值 λ_{target} :

$$[0179] \quad \omega = \frac{\lambda_{target} * v_{ref} + v_x}{R}$$

[0180] 其中, ω 表示车轮速度, λ_{target} 表示目标车轮滑移率极限值, v_{ref} 是参考速度, v_x 是车轮参考系中的车辆速度,并且R表示车轮半径。

[0181] 根据一些方面,运动指令SB11包括车辆100所请求的加速度 a_{req} ,并且目标车轮滑移率极限 λ_{target} 是根据达到所请求的加速度所需的纵向力 F_x' 来确定SB21的。

[0182] 根据一些方面,该方法包括根据达到所请求的加速度所需的纵向力 F_x' 以及侧向力 F_y 与纵向车轮滑移率之间的预定关系400来确定SB212目标车轮滑移率极限值 λ_{target} 。

[0183] 根据一些方面,该方法包括基于关系式 $Fx' = m * a_{req}$ 来确定SB211达到所请求的加速度所需的纵向力 Fx' ,其中 m 是车辆100的质量,而 a_{req} 是车辆100所请求的加速度。

[0184] 根据一些方面,侧向力 Fy 与纵向车轮滑移率之间的预定关系400是根据所估计的道路条件而预先配置SB213的。

[0185] 根据一些方面,运动指令SB12包括车辆100所请求的末速度 v_{req} ,并且目标车轮滑移率极限 λ_{target} 是预先配置的车轮滑移率极限值SB22。

[0186] 根据一些方面,该方法包括基于以下关系式来控制SB311车轮速度 ω ,以使车辆100的车轮滑移率保持低于目标车轮滑移率极限值 λ_{target} :

$$[0187] \quad \omega = \frac{\lambda_{target} * v_{ref} + v_x}{R}$$

[0188] 其中, v_{ref} 被设定为车辆100所请求的末速度 v_{req} 。

[0189] 根据一些方面,该方法包括控制SB32车轮速度 ω ,以使车辆加速度保持低于预先配置的最大加速度值。

[0190] 根据一些方面,该方法包括控制SB33速度 ω ,以使车轮速度保持低于预先配置的最大车轮速度值。

[0191] 根据一些方面,该方法包括:如果车辆速度 v_x 高于所配置的阈值速度 v_{lim} ,则基于具有固定车轮滑移率极限的扭矩请求来控制SB34车辆速度 v_x 。

[0192] 根据一些方面,运动指令SB13包括车辆100从停止到停止所经过的距离 d_{req} ,该方法包括将SB4车轮速度随时间积分以达到如下距离 d_{req} :

$$[0193] \quad d_{req} = \int \omega R dt$$

[0194] 根据一些方面,该运动指令对应于在有限的时间段内施加峰值扭矩的请求。

[0195] 根据一些方面,该方法包括通过开式差速器装置向连接到驱动轮的电机传输SB5车轮速度请求,其中该方法包括由电机控制车轮速度 ω ,以使车辆100的车轮滑移率保持低于目标车轮滑移率极限值 λ_{target} 。

[0196] 根据一些方面,该方法包括:在所配置的时间段内将目标车轮滑移率极限值 λ_{target} 从初始值一直增加到预定的最终值。

[0197] 图12示出了用于控制车辆100的至少一个致动器220、250的方法,致动器220、250被配置成在车辆100的至少一个车轮210上施加扭矩。所施加的扭矩由与控制带宽相关联的控制功能确定。该方法包括:配置SC1控制功能,以控制所施加的扭矩,以减小与车轮210的当前旋转速度相关的第一参数值和与车轮210的目标旋转速度极限相关的第二参数值之间的差;获得SC2指示车辆的当前运行状况的数据;以及根据车辆100的当前运行状况来设定SC3控制功能的控制带宽。该方法还包括使用控制功能来控制SC4致动器220、250。

[0198] 该控制功能应被解释为被配置成向至少一个致动器施加扭矩的操作功能。通过该控制带宽,可以根据当前运行状况以各种响应时间施加扭矩。根据一个示例,减小的带宽可与致动器增加的扭矩响应时间相关联。因此,随着带宽的增加,扭矩被更快地施加。此外,与车轮的当前旋转速度相关的值以及与车轮的目标旋转速度相关的值应该被解释为可以与旋转车轮速度以及车轮滑移量(即,车轮对地速度与实际车轮速度之间的差)二者相关的值。在后一种情况下,第一参数因此可以是车轮的当前车轮滑移率,而第二参数可以是车轮的目标车轮滑移率。一个优点是带宽是基于当前运行状况来控制的,这将导致在需要时快

速的扭矩响应和在其它状况下更低、更温和的扭矩响应。因此,由于仅在需要时执行快速、耗能的操作,因此改进了操作期间的舒适性,并且可以降低车辆的总能耗。此外,当总体上优化车辆控制时,增加的可配置性允许额外的自由度。此外,该控制功能获得与车轮旋转速度相关的参数。从车轮请求一定轮胎力的一种常见方案是基于从更高层控制功能发送的扭矩请求在致动器级使用扭矩控制。然而,不同控制功能之间的通信(例如,通过控制器局域网(CAN)总线)所涉及的时延极大地限制了滑移控制性能。因此,获得了与例如基于扭矩的控制相比较有利的基于速度的控制功能。特别地,对于电机,与集中管理的扭矩控制相比,本地执行的基于速度的车轮滑移控制更快,这主要是由于CAN消息循环时间。

[0199] 如下面将进一步详细描述,该方法可优选使用车辆运动管理系统和致动器控制系统来执行。当实施这样的车辆运动管理系统和致动器控制系统时,可以以多种不同的方式控制带宽。例如,车辆运动管理系统可以被布置成向致动器控制系统传输控制信号,该信号包括与目标带宽以及车辆运行状况相关的数据。因此,目标带宽由车辆运动管理系统设定/确定。基于目标带宽,致动器控制系统基于各种参数确定控制带宽以实现目标带宽。

[0200] 上面提到的第一参数值例如可以是车轮的旋转速度或车轮的当前车轮滑移率。因此,第二参数值可以是车轮的目标旋转速度或车轮的目标车轮滑移率。

[0201] 图13示出了在致动器控制系统中执行的用于控制至少一个致动器220、250以在车辆100的至少一个车轮210上施加扭矩的方法。该致动器控制系统包括控制功能,并且所施加的扭矩由控制功能与控制带宽相关联地确定。该方法包括:确定SC10与车轮210的当前旋转速度相关的第一参数值;配置SC20控制功能以控制所施加的扭矩从而减小第一参数值与和车轮210的目标旋转速度相关的第二参数值之间的差;以及获得SC30指示车辆的当前运行状况的数据。该方法还包括根据车辆的当前运行状况设定SC40控制功能的控制带宽,以及使用控制功能来控制SC50致动器。

[0202] 根据一些方面,该控制功能被配置成控制致动器220、250的速度。

[0203] 根据一些方面,该控制功能的增加的带宽与致动器的增加的扭矩响应相关联。

[0204] 根据一些方面,使用致动器的预定的反馈增益集来控制该控制功能的控制带宽,每个反馈增益与车辆的特定运行状况相关联。

[0205] 根据一些方面,该控制功能为PID控制器。

[0206] 根据一些方面,该控制功能是比例控制器,该方法还包括获得指示用于该控制功能的目标带宽的信号,并使用目标带宽和与车辆的当前运行状况相关的比例参数来配置该控制功能。

[0207] 图14示出了在车辆100的车辆运动管理系统260中执行的方法,该车辆运动管理系统能够连接到致动器控制系统,以用于在该车辆运动管理系统和致动器控制系统之间传送控制信号。该方法包括:获得SC100车辆100的当前速度;确定SC200车辆100的当前运行状况;以及向致动器控制系统传输SC300控制信号。该控制信号代表指令,当由致动器控制系统执行时,所述指令使致动器控制系统的控制功能与控制带宽相关联地在车辆的至少一个车轮上施加扭矩,以减小以下第一参数值和第二参数值之间的差:该第一参数值与基于车辆的当前速度的车轮当前旋转速度相关,该第二参数值与车轮的目标旋转速度相关。可根据车辆的当前运行状况来确定控制带宽。

[0208] 根据一些方面,该方法还包括基于当前运行状况来确定车辆的目标速度,其中车

轮的目标旋转速度是基于车辆的目标速度。

[0209] 根据一些方面,该方法还包括基于当前运行状况来确定车辆的所期望的操作性能,其中,还可根据车辆的所期望的操作性能来确定所述控制带宽。

[0210] 根据一些方面,该方法还包括确定目标带宽和传输包括所确定的目标带宽的控制信号,其中,还可根据目标带宽来确定所述控制带宽。

[0211] 根据一些方面,车辆的当前运行状况是基于当前车辆状况和车辆所运行的当前道路条件中的至少一个。

[0212] 根据一些方面,当前运行状况是当前车辆质量、车辆运行时的道路倾斜度、车辆速度、车辆车轮与路面之间的摩擦水平和当前轮胎刚度中的至少一个。

[0213] 本文还公开了车辆100的致动器控制系统,该致动器控制系统被配置成至少控制致动器220、250以在车辆的至少一个车轮上施加扭矩。致动器控制系统包括控制功能,并且所施加的扭矩由该控制功能与控制带宽相关联地确定。致动器控制系统被配置成确定与车轮的当前旋转速度相关的第一参数值,配置该控制功能以控制所施加的扭矩从而减小第一参数值与和车轮的目标旋转速度相关的第二参数值之间的差,获得指示车辆的当前运行状况的数据,根据车辆的当前运行状况设定该控制功能的控制带宽;并使用该控制功能控制所述致动器。

[0214] 本文还公开了一种车辆100的车辆运动管理系统260,该车辆运动管理系统260能够连接到致动器控制系统,以用于在该车辆运动管理系统和该致动器控制系统之间传送控制信号,其中车辆运动管理系统被配置成获得车辆的当前速度,确定车辆的当前运行状况,并将控制信号传输到致动器控制系统。该控制信号代表指令,当由致动器控制系统执行时,所述指令使致动器控制系统的控制功能与控制带宽相关联地在车辆的至少一个车轮上施加扭矩,以减小以下第一参数值和第二参数值之间的差:该第一参数值与基于车辆的当前速度的车轮当前旋转速度相关,该第二参数值与车轮的目标旋转速度相关,该控制带宽是根据车辆的当前运行状况确定的。

[0215] 此外,本文公开了要由车辆100的致动器控制系统执行的表示指令的控制信号。该控制信号包括使得致动器控制系统能够确定车轮210的当前旋转速度的车辆速度分量(vehicle speed component)和表示指令的车辆运行状况分量(vehicle operating condition component)。当由致动器控制系统执行时,这些指令使致动器控制系统的控制功能与控制带宽相关联地在车辆的至少一个车轮上施加扭矩,以减小以下第一参数值和第二参数值之间的差:该第一参数值与基于车辆的当前速度的车轮当前旋转速度相关,该第二参数值与车轮的目标旋转速度相关,可根据车辆的当前运行状况来确定该控制带宽。

[0216] 参照图8、图15和图16,示出了用于控制设置有轮胎1502的车辆车轮210的控制单元130、140。该控制单元包括或操作地连接到数据存储装置820,该数据存储装置具有所存储的用于轮胎的轮胎模型400、1504,其中,在该轮胎模型中,纵向轮胎力 F_x 至少被表示为纵向车轮滑移率 λ 的函数,纵向车轮滑移率取决于车轮的旋转速度和车辆的速度。该控制单元被配置成接收至少一个轮胎参数输入,该轮胎参数输入包括影响轮胎的纵向滑移刚度的至少一个参数的测量值,并基于所接收到的轮胎参数输入来校正所存储的轮胎模型中的所述函数。该控制单元还被布置成获得或产生车轮扭矩请求,基于校正后的函数将所获得或产生的车轮扭矩请求转换为车轮旋转速度极限请求,并将车轮旋转速度极限请求发送到致动

器,以提供低于所述车轮旋转速度极限请求的车轮旋转速度。这一构思是基于这样一种认识:即,通过在与滑移控制相同的车辆子系统处提供扭矩控制,可以避免时延问题。与传统上发送扭矩请求的车辆控制单元相比,这样的子系统具有相对较短的响应时间。更具体地,已经认识到,通过使用其中纵向轮胎力至少是纵向车轮滑移率的函数的轮胎模型,可以使用滑移控制子系统来提供与所期望的纵向力相对应的滑移请求。特别地,已经认识到,除了提供快速响应时间的优点之外,为了使这种控制变得准确,轮胎模型应该是能够基于影响轮胎滑移刚度的一个或多个参数来校正的。因此,一般而言,通过使基于力/滑移率的轮胎模型适应轮胎的当前状态或当前驾驶条件,能够实现对车轮的准确且快速的控制。可以以类似的方式确定和配置车轮滑移率极限值和/或车轮速度极限值。

[0217] 如先前所解释的,为了基于轮胎模型400提供对车轮210的准确控制,轮胎模型应该更新到当前条件。在此,车轮的控制应被广义地解释为包括控制动作,例如扭矩控制,其中所施加的扭矩被控制为遵循目标扭矩,速度控制或者车轮滑移控制,其中在速度控制中,车轮旋转速度被控制为遵循目标速度,在车轮滑移控制中,车轮速度或扭矩被控制为尽可能紧密地遵循目标车轮滑移率。

[0218] 轮胎可能受到各种不同因素的影响,如环境温度、充气压力、法向载荷、年龄、磨损等。这些和其它因素可以适当地被量化为可测量的参数,并作为轮胎参数输入来提供。因此,参考图3,当VMM 260获得车轮扭矩请求或以其它方式确定要在车轮210处产生的所期望的轮胎力时,它可以基于轮胎模型的校正函数将所获得的车轮扭矩请求或所期望的轮胎力转换为车轮旋转速度请求或车轮滑移率请求。等效地,可以确定车轮速度极限和/或车轮滑移率极限,并将其作为请求发送到MSD控制单元230。

[0219] 根据一些方面,轮胎1502形成套件1500的一部分,套件1500还包括轮胎模型1504,该轮胎模型1504在图15中由闪存驱动器(例如USB闪存驱动器)说明。然而,轮胎模型信号1504可以存储在各种可想到的介质上,且不必与轮胎1502一起物理地传递,而是可以通过从远程服务器等下载轮胎模型1504来访问。

[0220] 所述至少一个参数可选地选自以下项组成的组:

[0221] -轮胎的年龄 t_{act} ,

[0222] -环境温度 T_{act}

[0223] -轮胎的充气压力 P_{act} ,

[0224] -轮胎的法向载荷,以及

[0225] -轮胎的磨损,适当地近似为轮胎行驶的距离 d_{act} 。

[0226] 根据一些方面,该控制单元被配置成通过对所述函数应用滑移刚度校正因子 c_p 、 c_T 、 c_a 、 c_w 来校正所存储的轮胎模型400中的所述函数,滑移刚度校正因子相对于参数具有变化。

[0227] 根据一些方面,该控制单元被配置成接收多个不同的轮胎参数输入,每个轮胎参数输入包括影响轮胎纵向滑移刚度的多个参数中的相应一个参数的测量值。该控制单元还被配置成通过对所述函数应用组合校正因子来校正所存储的轮胎模型400中的所述函数,该组合校正因子是多个滑移刚度校正因子的函数,其中每个滑移刚度校正因子相对于所述多个参数中的相应参数具有变化。

[0228] 根据一些方面,所述至少一个轮胎参数输入是主轮胎参数输入,并且所述至少一

个参数是主参数,其中,该控制单元还被配置成基于至少一个次轮胎参数输入(secondary tyre parameter input)来校正所存储的轮胎模型400中的所述函数,所述次轮胎参数输入包括至少一个次参数的测量值,该至少一个次参数选自由以下项组成的组:

[0229] -滚动半径,

[0230] -标称峰值摩擦力,以及

[0231] -滚动阻力系数。

[0232] 根据一些方面,控制单元130、140在其将车轮扭矩请求转换为车轮旋转速度请求时被配置成基于校正后的函数来计算滑移率请求,并使用以下滑移率公式将滑移率请求转化为车轮旋转速度请求:

$$[0233] \quad \lambda = \frac{R\omega - v_x}{\max(|R\omega|, |v_x|)}$$

[0234] 其中, λ 是纵向车轮滑移率,其中 $R\omega$ 是车轮的旋转速度,其中 R 是以米为单位的车轮半径, ω 是车轮的角速度,并且其中 v_x 是车轮的纵向速度。

[0235] 图16示出了用于控制施加到设有轮胎的车辆车轮上的扭矩的方法,包括:接收SD1至少一个轮胎参数输入,该轮胎参数输入包括影响轮胎纵向滑移刚度的至少一个参数的测量值;以及基于所接收到的轮胎参数输入来校正SD2轮胎模型,其中,在该轮胎模型中,纵向轮胎力被表示为纵向车轮滑移率的函数,该纵向车轮滑移率取决于车轮的旋转速度和车辆的速度,其中,校正该轮胎模型的步骤包括校正所述函数。该方法还包括:

[0236] 获得或产生SD3车轮扭矩请求,基于校正后的函数将所获得或产生的车轮扭矩请求转换SD4为车轮旋转速度请求,并将车轮旋转速度请求发送SD5到致动器,以提供与所述车轮旋转速度请求相对应的车轮旋转速度。

[0237] 根据一些方面,所述至少一个参数选自由以下项组成的组:

[0238] -轮胎的年龄,

[0239] -环境温度,

[0240] -轮胎的充气压力,

[0241] -轮胎的法向载荷,以及

[0242] -轮胎的磨损,适当地近似为轮胎行驶的距离。

[0243] 根据一些方面,校正SD2的动作包括对所述函数应用滑移刚度校正因子,该滑移刚度校正因子相对于参数具有变化。

[0244] 根据一些方面,该方法还包括接收多个不同的轮胎参数输入,每个轮胎参数输入包括影响轮胎纵向滑移刚度的多个参数中的相应一个参数的测量值,其中,所述校正步骤包括对所述函数应用组合校正因子,所述组合校正因子是多个滑移刚度校正因子的函数,其中每个滑移刚度校正因子相对于所述多个参数中的相应一个参数具有变化。

[0245] 根据一些方面,所述至少一个轮胎参数输入是主轮胎参数输入,并且所述至少一个参数是主参数,其中,校正SD2的动作包括基于至少一个次轮胎参数输入来校正所存储的轮胎模型中的所述函数,所述次轮胎参数输入包括至少一个次参数的测量值,所述至少一个次参数选自由以下项组成的组:

[0246] -滚动半径,

[0247] -标称峰值摩擦力,以及

[0248] -滚动阻力系数。

[0249] 根据一些方面,转换SD4的动作包括基于校正后的函数来计算滑移率极限请求,并使用滑移率公式将滑移率极限请求转化为车轮旋转速度极限请求:

$$[0250] \quad \lambda = \frac{R\omega - v_x}{\max(|R\omega|, |v_x|)}$$

[0251] 其中, λ 是纵向车轮滑移率,其中 $R\omega$ 是车轮的旋转速度,其中 R 是以米为单位的车轮半径, ω 是车轮的角速度,并且其中 v_x 是车轮的纵向速度。

[0252] 参照图2,根据非限制性示例,车辆运动管理系统260包括扭矩模块202、车轮滑移率模块204和摩擦模块206。车辆运动管理系统260还被布置成接收车辆操作信号 s ,该信号包括能够由车辆运动管理系统260及其各种模块202、204、206操作的数据。提供给车辆运动管理系统260的车辆操作信号 s 可以例如包括指示车辆的当前环境、当前交通状况、车辆重量参数(例如,如果车辆满载、未装载、部分装载等)的呈信号形式的数据。车辆运动管理系统260还可以接收指示特定车辆条件的其它信号,例如,将如下所述的当前车辆运行状况。扭矩模块202、车轮滑移率模块204和摩擦模块206被配置成在彼此之间传输通信信号,即,不同的模块被配置成彼此通信,这将由下面的公开内容显而易见。应当容易理解的是,扭矩模块202、车轮滑移率模块204和摩擦模块206仅出于说明目的而被示为单独的部件。当然,车辆运动管理系统260还可以简单地包括执行下面描述的功能的各种控制功能本身。

[0253] 根据另一示例,车辆运动管理包括正常驾驶员控制输入(即,人工转向输入)以及指示所期望的扭矩的加速和制动输入。

[0254] 因此,提供了一种用于车辆的车辆运动管理系统,该车辆运动管理系统能够连接到运动支持系统,以用于在车辆运动管理系统与运动支持系统之间通信控制信号,其中,该车辆运动管理系统被配置成确定用于在当前车辆运行状况下操作车辆的所期望的扭矩;确定车辆的至少一个车轮的车轮滑移率极限;至少基于车轮滑移率极限来确定车辆的所述至少一个车轮的车轮速度极限;以及将指示所期望的扭矩和车轮速度极限的控制信号传输到运动支持系统。该车辆运动管理系统和运动支持系统是车辆的控制系统,其中,这些控制系统中的每一个被布置成执行各种控制功能,以用于控制车辆的操作,特别是用于控制车轮的操作。车辆运动管理系统优选被配置成以较高级别接收并确定车轮参数,即,车辆运动管理系统以更广义的形式确定期望的扭矩和车轮滑移率极限,而运动支持系统被布置为较低级别的控制系统,其被配置成将从车辆运动管理系统接收的参数转变为致动器的适当参数。在将致动器信号转发给致动器之前,运动支持系统考虑(多个)当前传动系状态。例如,当前传动系状态可以涉及当前车辆变速器状态、车辆变速器的档位或变速器离合器致动状态。例如,可以从车辆的操作者踩踏加速踏板和/或踩踏制动踏板接收所期望的扭矩。所期望的扭矩也可以从自主控制车辆推进操作的系统或从高级驾驶员辅助系统(ADAS)接收。车轮滑移率极限应被解释为所述至少一个车轮在操作期间的最大可允许车轮滑移率。车轮滑移率是车辆车轮与其地面之间的相对纵向运动,即“滑移”量。考虑到车轮半径,车轮滑移率可以被确定为车轮纵向速度与车轮旋转速度之间的关系。因此,车轮速度极限基于相对于路面的车轮速度,如在基于车轮的坐标系中看到的。根据示例实施例,车辆运动管理系统可以被配置成确定车辆的至少一个车轮的当前旋转车轮速度和当前纵向车轮速度;以及基于当前旋转车轮速度和当前纵向车轮速度来确定所述至少一个车轮的车轮滑移率。如上面所

讨论的,所配置的车轮滑移率极限在许多方面等效于所配置的车轮速度极限,其中,车轮速度极限是根据车辆对地速度而实时确定的。

[0255] 本公开基于这样的认识:即,通过将指示所期望的扭矩的控制信号与车轮速度极限相组合地传输到运动支持系统,车轮滑移率极限的计算可以由较高级别的车辆运动管理系统执行。当计算车轮滑移率时,车轮滑移率方程中的分母由车轮的车轮旋转速度组成。因此,在车辆低速运行时,该分母接近于零或趋近于零,这可能导致在计算车轮滑移率时的误差来源。因此,在较高级别的车辆运动管理系统中执行车轮滑移率是有利的,因为可以避免通过单独的运动支持系统计算车轮滑移率时的潜在不一致。由此,实现了改进的车轮滑移率一致性。

[0256] 此外,当使用电机操作车辆时,向运动支持系统传输指示所期望的扭矩和车轮速度极限的控制信号是特别有利的,因为电机可以是速度和扭矩控制的。与滑移率控制相反,速度控制对于例如行车制动器也更容易实现,因为旋转速度是轮胎扭矩平衡系统的常用输出,并且不包括车轮滑移率方程中存在的任何非线性。

[0257] 根据示例实施例,车轮速度极限可进一步基于所期望的扭矩。因此,所期望的扭矩(即,扭矩请求)用于计算滑移率极限,该滑移率极限在计算车轮速度极限时被使用。

[0258] 根据示例实施例,车轮速度极限可以包括车轮速度上限和车轮速度下限。该车辆运动管理系统可进一步被配置成将车轮速度上限传输到

[0259] 下面将描述车辆运动管理系统260的功能操作。特别地,车辆运动管理系统260被布置成接收具有与当前车辆运行状况相关的信息的输入信号。例如,当前车辆运行状况可以包括指示车辆的车轮与路面之间的车轮摩擦水平的数据,或者车辆的当前重量,即,如果车辆未装载、满载或部分装载,或者车辆当前操作的道路拓扑结构。因此,各种运行状况可以由车辆运动管理系统260接收为单独的分量,或者作为使用所有不同运行状况作为总体车辆运行状况的分量。可以使用合适的传感器来确定车辆的不同运行状况,并将其传输到车辆运动管理系统260。

[0260] 如上面所描述,车辆运动管理系统260还包括摩擦模块206。根据示例实施例,车辆运动管理系统260被布置成使用摩擦模块206来确定至少一个车轮与路面之间的车轮摩擦水平。车辆运动管理系统260可以基于所确定的车轮摩擦水平来确定当前车辆运行状况。

[0261] 扭矩模块202适于确定用于在当前车辆运行状况下操作车辆的所期望的扭矩。因此,车辆运动管理系统260在上述较高层车辆运动管理系统260中确定扭矩请求,以在当前运行状况下适当地控制车辆100。

[0262] 例如,可基于当前加速踏板位置、制动踏板位置或基于从自主车辆操作系统接收的信号来确定所期望的扭矩。

[0263] 车轮滑移率模块204被布置成确定车辆100的至少一个车轮210的车轮滑移率极限。因此,确定了车辆的最大可允许车轮滑移率,其中,车辆的车轮不允许超过这种车轮滑移率极限。

[0264] 车轮滑移率极限可以通过使用例如结合图4讨论的模型400来确定。由此,车辆运动管理系统260可以将力请求转换为滑移率请求,由此,基于滑移率请求来设定滑移率极限。根据另一个示例,滑移率极限可以独立于力请求而设定为固定值。滑移率极限还可以基于指示路面与轮胎表面之间的当前摩擦水平的信号。

[0265] 基于车轮滑移率极限, 车轮滑移率模块204被配置成确定至少一个车轮的车轮速度极限。由此, 车辆运动管理系统260执行车轮滑移率极限计算和车轮速度极限计算。根据非限制性示例, 车轮速度极限 $\omega_{w,sl}$ 可根据以下方程来确定:

$$[0266] \quad \omega_{w,sl} = \begin{cases} \frac{|V_{x,w}| \lambda_{lim} + V_{x,w}}{R_w}, & \lambda_{lim} \leq 0 \text{ and/or } T_{req} \leq 0 \\ \frac{V_{x,w}}{R_w(1 - \lambda_{lim})}, & \lambda_{lim} > 0 \text{ and/or } T_{req} > 0 \end{cases}$$

[0267] 其中:

[0268] λ_{lim} 是车轮滑移率极限; 并且

[0269] T_{Reg} 是所期望的扭矩。

[0270] 在车轮速度相对较低(即, 接近于零)的情况下, 车辆运动管理系统260可被布置成基于偏移车轮速度参数来确定车轮滑移率, 由此, 可根据以下非限制性方程来计算偏移车轮速度极限:

$$[0271] \quad \omega_{w,ol} = V_{x,w}/R_w + \max(|\lambda_{lim}| k_{ol}, \omega_{w,ol,max}) \operatorname{sgn}(\lambda)$$

[0272] 其中:

[0273] $\omega_{w,ol}$ 是根据速度偏移极限计算出的车轮速度极限;

[0274] $k_{ol,\omega}$ 和 $\omega_{ol,max}$ 是用于将滑移率极限转化为偏移极限的增益和最大速度偏移参数; 并且

[0275] $\operatorname{sgn}(\lambda)$ 是正负号函数, 其在加速期间等于1, 在减速期间等于-1。

[0276] 此外, 车轮速度极限还可以包括车轮速度上限和车轮速度下限, 其中, 车轮速度上限在加速期间使用, 即, 在推进期间使用, 而车轮速度下限在减速期间使用, 即在制动期间使用。当车轮滑移率极限为正且所期望的扭矩大于零时(即, 在加速期间), 使用车轮速度上限, 而当车轮滑移率极限为负且所期望的扭矩小于零时(即, 在减速期间), 使用车轮速度下限。此外, 车轮滑移率极限在预定范围内, 被限定为:

$$[0277] \quad -1 < \lambda_{lim} < 1$$

[0278] 在图4中描绘了相对于纵向轮胎力和横向轮胎力的车轮滑移率特性。因此, 图4示出了表示所计算出的纵向车轮滑移率与所估计的纵向车轮力值之间的关系模型400。该模型还可以表示给定纵向车轮滑移率时的最大可用侧向车轮力之间的关系。对于轮胎的预定侧向滑移角, 该模型还可以表示给定纵向车轮滑移率时所实现的侧向车轮力。垂直轴表示在支撑车轮的表面与车轮210本身之间产生的轮胎力, 而水平轴表示车轮的纵向车轮滑移率。

[0279] 再次参考图2, 当已确定了车轮速度极限和所期望的扭矩时, 车辆运动管理系统260经由接口265向运动支持系统或MSD控制单元230传输控制信号, 其中, 该控制信号指示所期望的扭矩和车轮速度极限。

[0280] 运动支持系统230可包括致动器扭矩模块。该致动器扭矩模块被配置成确定致动器特定扭矩, 即, 将来自车辆运动管理系统260的所期望的扭矩的数据转换为与致动器相关的数据。具体地, 致动器扭矩模块基于从车辆运动管理系统260接收的所期望的扭矩以及基于车辆100的当前传动系状态来确定操作扭矩。

[0281] 该致动器扭矩模块还确定致动器220、250的致动器旋转速度极限。该致动器旋转

速度极限基于从车辆运动管理系统260接收的车轮速度极限。该致动器旋转速度极限也可以基于当前传动系状态。因此,运动支持系统230已经将从车辆运动管理系统260接收的车轮速度极限转换为车轮特定的旋转车轮速度极限。

[0282] 此后,运动支持系统230向致动器220、250传输致动器控制信号590,以在不超过致动器旋转速度极限的情况下在车轮210上产生操作扭矩。

[0283] 总之,本文公开了一种用于车辆的车辆运动管理系统260,该车辆运动管理系统能够连接到运动支持系统230,以用于在车辆运动管理系统260与运动支持系统230之间传送控制信号,其中,该车辆运动管理系统被配置成确定在当前车辆运行状况下操作车辆的所期望的扭矩,确定车辆的至少一个车轮的车轮滑移率极限,至少基于车轮滑移率极限来确定车辆的所述至少一个车轮的车轮速度极限;以及向运动支持系统230传输指示所期望的扭矩和车轮速度极限的控制信号。

[0284] 根据一些方面,该车轮速度极限进一步基于所期望的扭矩。

[0285] 根据一些方面,确定车轮速度上限和车轮速度下限或车轮滑移率极限并将它们传输到运动支持系统230。

[0286] 根据一些方面,车轮速度极限包括车轮速度上限和车轮速度下限,车辆运动管理系统被配置成至少在所期望的扭矩高于零时将车轮速度上限传输到运动支持系统230,并且至少在所期望的扭矩低于零时将车轮速度下限传输到运动支持系统230。

[0287] 根据一些方面,车辆运动管理系统260还被配置成确定偏移车轮速度参数,获得指示车辆车轮速度的信号,以及当车轮速度低于阈值车辆速度极限时,基于偏移车轮速度参数来确定车轮滑移率极限。

[0288] 根据一些方面,车辆运动管理系统260还被配置成确定车辆的车轮中至少一个车轮的当前旋转车轮速度和当前纵向车轮速度,并基于当前旋转车轮速度和当前纵向车轮速度来确定所述至少一个车轮的车轮滑移率。

[0289] 根据一些方面,车轮滑移率极限在预定的车轮滑移率范围内。

[0290] 根据一些方面,车辆运动管理系统260还被配置成获得指示车辆的加速踏板的当前加速踏板位置的信号,并基于当前加速踏板位置来确定所期望的扭矩。

[0291] 根据一些方面,基于从自主车辆操作系统接收的信号来确定所期望的扭矩。

[0292] 根据一些方面,车辆运动管理系统260还被配置成确定至少一个车轮与路面之间的车轮摩擦水平,并基于所确定的车轮摩擦水平来确定当前车辆运行状况。

[0293] 本文还公开了一种用于车辆的运动支持系统230,该运动支持系统230能够连接到车辆运动管理系统260和至少一个致动器,该至少一个致动器被配置成将扭矩施加到车辆的至少一个车轮。运动支持系统230被配置成从车辆运动管理系统260接收控制信号,该控制信号指示用于在当前车辆运行状况下操作车辆的所期望的扭矩,并指示车辆的所述至少一个车轮的车轮速度极限,确定车辆的当前车辆传动系状态,基于当前车辆传动系状态、所期望的扭矩和车轮速度极限确定操作扭矩和致动器旋转速度极限,并向致动器传输致动器信号,以使致动器在不超过致动器旋转速度极限的情况下在所述至少一个车轮上产生操作扭矩。

[0294] 根据一些方面,当前车辆传动系状态是当前车辆变速器状态车辆变速器的档位或变速器离合器致动状态中的一种。

[0295] 根据一些方面,车轮运动系统230是能够连接到车轮专用致动器的分散式车轮运动系统230,该车轮专用致动器被配置成控制车辆的单个车轮。

[0296] 图17说明了用于控制车辆的致动器的方法,该致动器被配置成在车辆的至少一个车轮210上施加扭矩,其中,该方法包括:确定SE1用于在当前车辆运行状况下操作车辆的所期望的扭矩,确定SE2车辆的所述至少一个车轮的车轮滑移率极限,至少基于车轮滑移率极限来确定SE3车辆的所述至少一个车轮的车轮速度极限,基于所期望的扭矩、车轮速度极限和当前车辆传动系状态来确定SE4操作扭矩和致动器旋转速度极限,以及控制SE5致动器,以在不超致动器旋转速度极限的情况下在所述至少一个车轮上产生操作扭矩。

[0297] 注意,扭矩请求可能来自推进管理系统(可能不考虑侧向运动等)。以直观方式,车轮速度极限或车轮滑移率极限可以直接转换为马达速度极限。因此,这样的极限在本文中被认为是等效的。此外,如本文所讨论的,在较低速度下,可以使用“速度偏移”来代替车轮滑移。

[0298] 本文公开了一种表示要由运动支持系统230执行的指令的控制信号,该控制信号包括使运动支持系统230能够确定操作扭矩的扭矩分量和表示车轮速度极限数据的车轮速度极限分量,当由运动支持系统230执行时,该车轮速度极限数据使运动支持系统230产生与受到致动器旋转速度极限的操作扭矩相对应的致动器信号,在考虑到当前车辆传动系状态的情况下,该致动器旋转速度极限能够基于车轮速度极限分量来确定。

[0299] 本文还公开了一种用于重型车辆100的运动支持设备MSD控制单元230,所述控制单元230被配置成控制与所述车辆100上的至少一个车轮210相关联的一个或多个MSD 220、250,

[0300] 其中,所述MSD控制单元230被布置成通信地耦合265到车辆运动管理VMM单元260,用于从所述VMM单元260接收包括车轮速度极限和/或车轮滑移率极限请求的控制命令,以通过所述一个或多个MSD 220、250来控制车辆运动,

[0301] 其中,所述MSD控制单元230被布置成获得指示所述车轮210的车轮行为范围的能力范围,对于所述能力范围,所述VMM单元260被允许通过所述控制命令来影响所述车轮的行为,以及

[0302] 其中,所述MSD控制单元230被布置成监测车轮行为并检测车轮行为是否在所述能力范围之外,

[0303] 其中,所述MSD控制单元230被布置成在所监测的车轮行为在所述能力范围之外的情况下触发控制干预功能。

[0304] 根据一些方面,所述一个或多个MSD包括至少一个行车制动器220,所述至少一个行车制动器220被布置成通过所述车轮210产生负扭矩。

[0305] 根据一些方面,所述一个或多个MSD包括至少一个推进单元250,所述至少一个推进单元250被布置成通过所述车轮210产生正扭矩和/或负扭矩。

[0306] 根据一些方面,所述能力范围包括可允许的正和/或负的纵向车轮滑移率和/或车轮旋转速度的上限。

[0307] 根据一些方面,所述能力范围包括可允许的正和/或负的纵向车轮加速度的上限。

[0308] 根据一些方面,所述能力范围包括可允许的正和/或负的车辆横摆率的上限。

[0309] 根据一些方面,所述能力范围包括可允许的正和/或负的纵向车轮滑移率和/或车

轮旋转速度的下限。

[0310] 根据一些方面,所述能力范围包括可允许的正和/或负的纵向车轮加速度的下限。

[0311] 根据一些方面,所述能力范围包括可允许的正和/或负的车辆横摆率的下限。

[0312] 根据一些方面,MSD控制单元230被布置成从车轮速度传感器240接收与所述车轮210相关联的车轮速度数据,并基于所述车轮速度数据来检测所述车轮行为是否在所述能力范围之外。

[0313] 根据一些方面,MSD控制单元230被布置成获得作为从存储器加载或从外部配置实体接收的参数的固定能力范围。

[0314] 根据一些方面,MSD控制单元230被布置成持续地获得更新的能力范围。

[0315] 根据一些方面,所述控制干预功能包括由所述MSD220、250中的一个或多个执行干预功能。

[0316] 根据一些方面,其中,所述控制干预功能包括触发对外部仲裁器功能的请求,以由所述MSD控制单元230直接进行MSD控制。

[0317] 根据一些方面,MSD控制单元230被布置成通过随时间的推移对车轮行为的样本进行过滤来监测车轮行为,并且基于所述过滤的结果来检测车轮行为是否在所述能力范围之外。

[0318] 本文还公开了一种车辆运动管理VMM单元260,所述车辆运动管理VMM单元260被布置成执行车辆运动管理,以用于通过与所述车辆100上的至少一个车轮210相关联的一个或多个运动支持设备MSD220、250来控制重型车辆100的运动,

[0319] 其中,所述VMM单元260被布置成通信地耦合265到MSD控制单元230,以用于将包括车轮速度和/或车轮滑移率请求的控制命令传输到MSD控制单元230,从而通过所述一个或多个MSD220、250来控制车辆运动,

[0320] 其中,所述VMM单元260被布置成获得指示所述车轮210的车轮行为范围的能力范围,对于所述能力范围,所述VMM单元260被允许通过所述控制命令来影响所述车轮的行为,以及

[0321] 其中,所述VMM单元260被布置成产生所述控制命令,使得所述车轮行为在所述能力范围内。

[0322] 根据一些方面,VMM单元260包括仲裁器功能,所述仲裁器功能被配置成接收由所述MSD控制单元230直接MSD控制的请求,并且在所述车轮行为在预定的车轮行为安全范围的情况下将车辆控制让给所述MSD控制单元230。

[0323] 图18示出了用于通过重型车辆100控制运动的方法,所述方法包括:

[0324] 配置SF1运动支持设备MSD控制单元230,以控制与所述车辆100上的至少一个车轮210相关联的一个或多个MSD 220、250,

[0325] 配置SF2车辆运动管理VMM单元260,以经由传输到所述MSD控制单元230的控制命令由所述一个或多个MSD220、250执行车辆运动管理,

[0326] 限定SF3能力范围,所述能力范围指示所述车轮210的车轮行为范围,对于所述车轮行为范围,允许所述VMM单元260通过所述控制命令来影响所述车轮行为,

[0327] 监测SF4车轮行为,以及

[0328] 在所监测的车轮行为在所限定的能力范围之外的情况下,由所述MSD控制单元230

触发SF5控制干预功能。

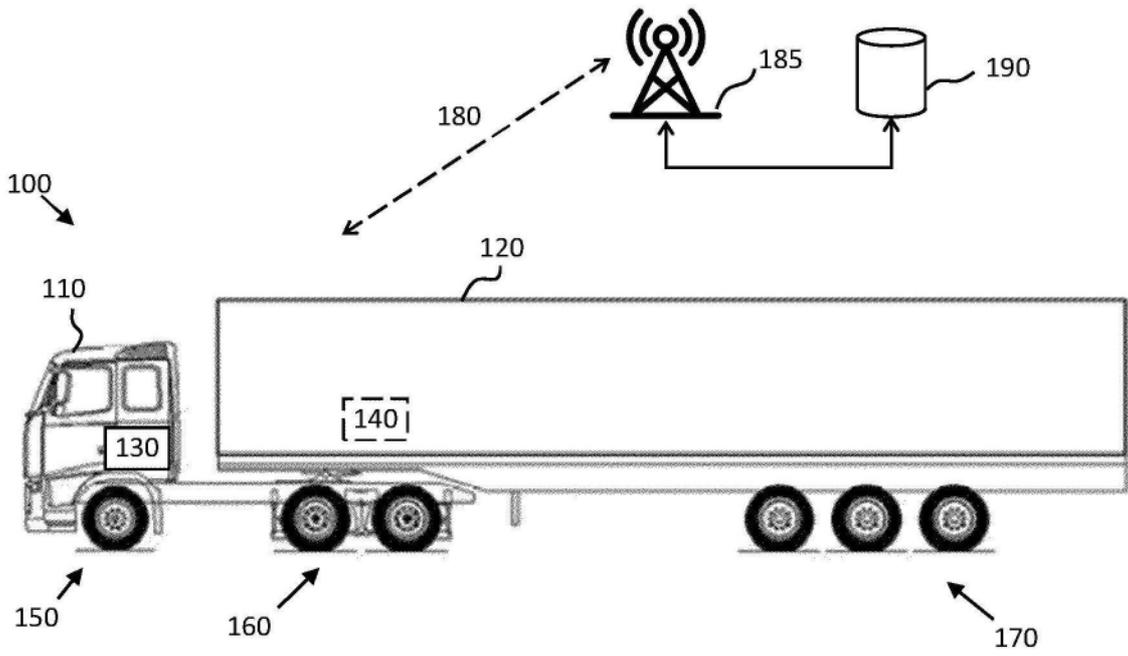


图1

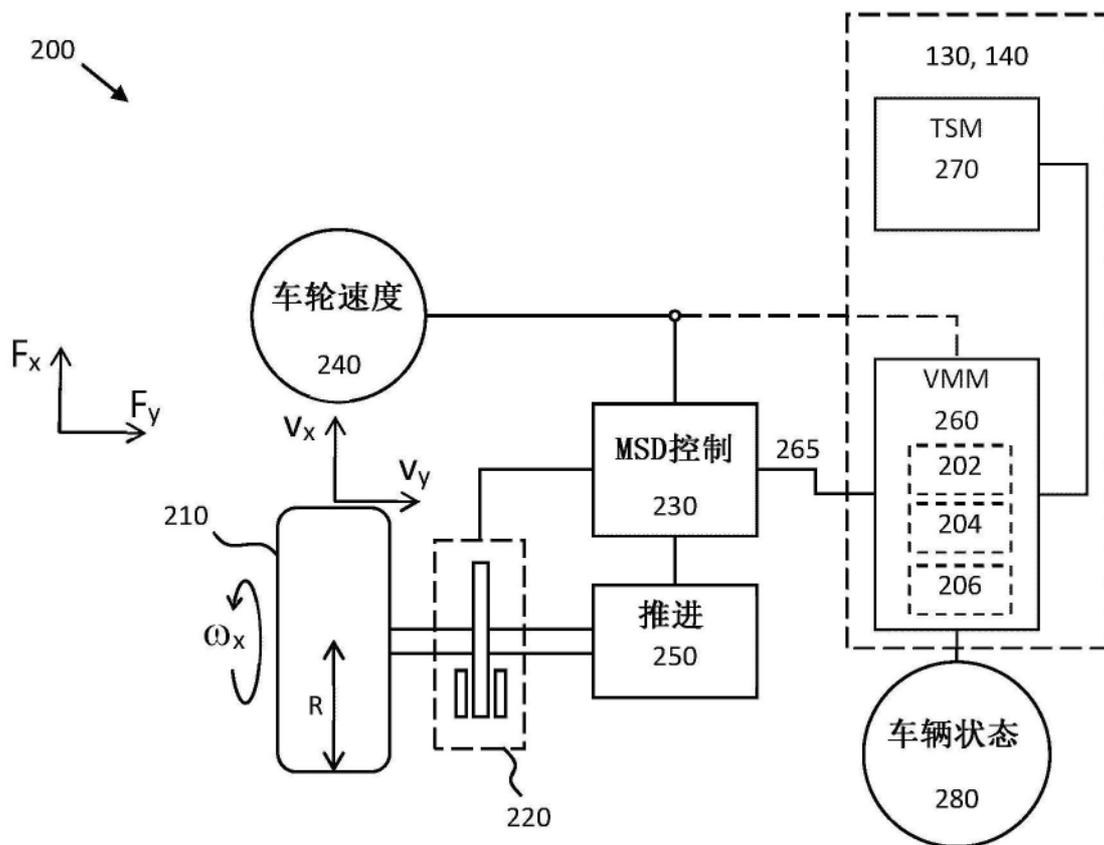


图2

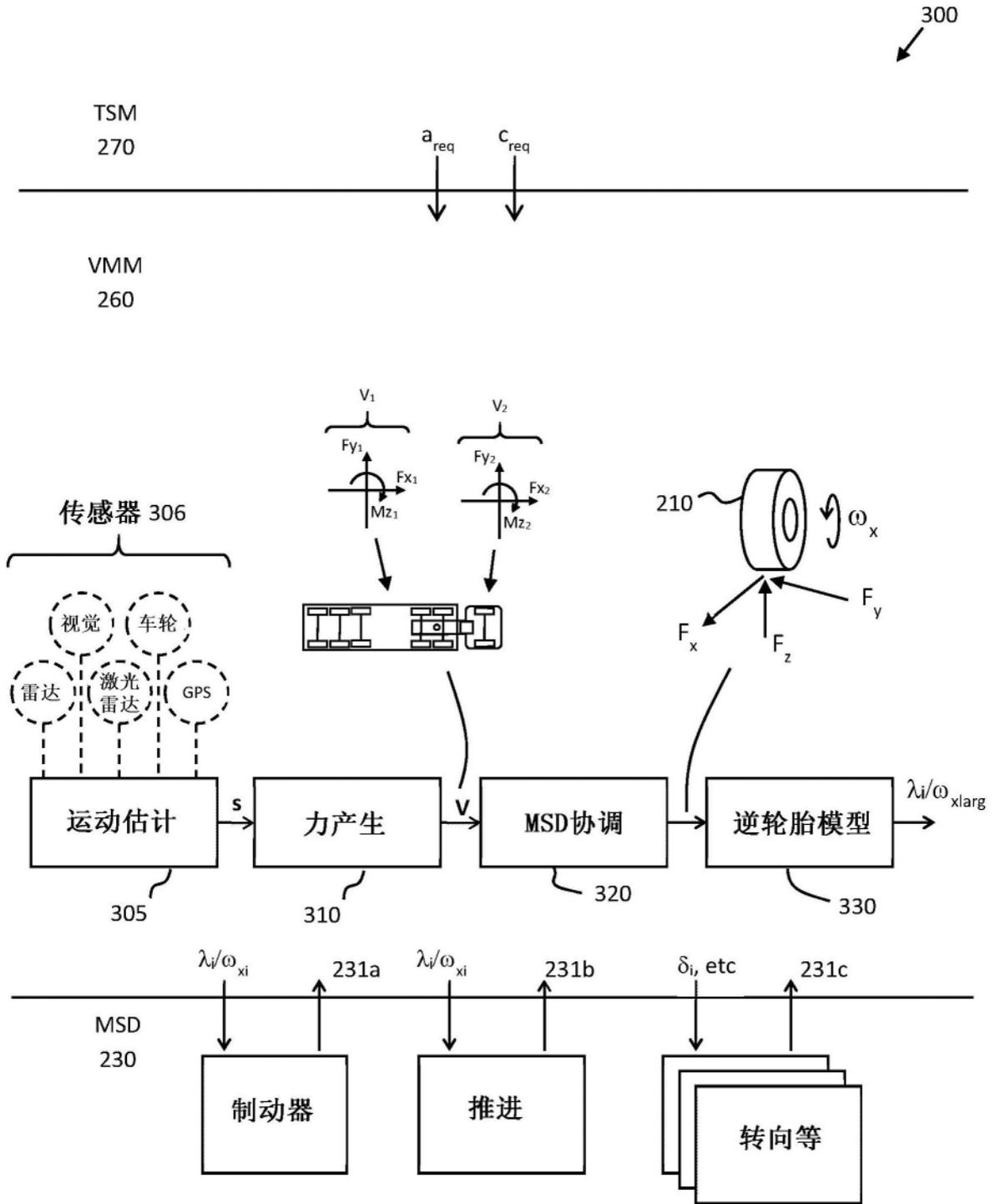


图3

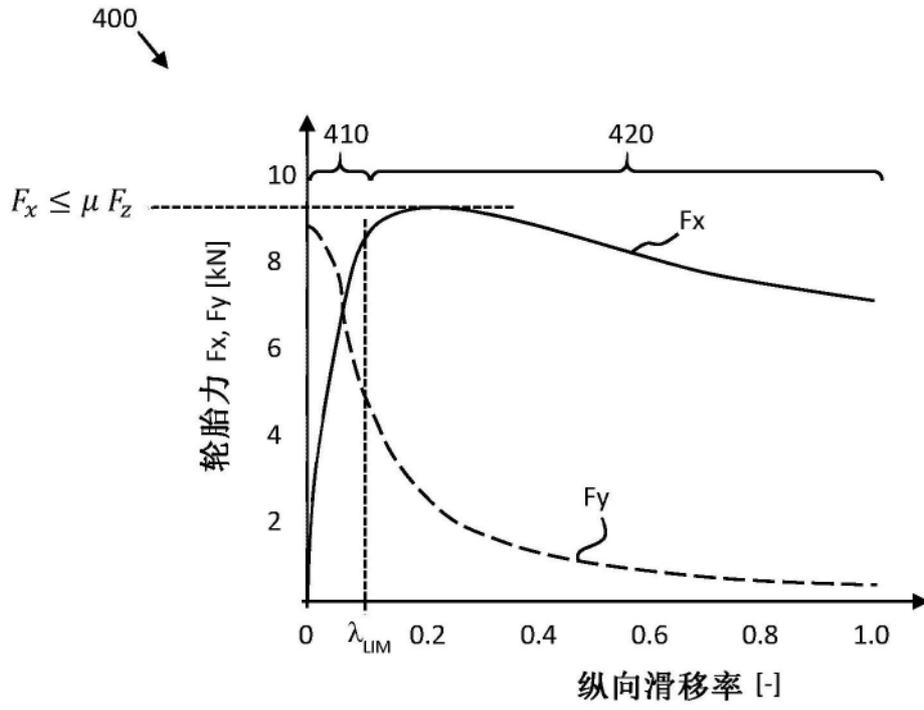


图4

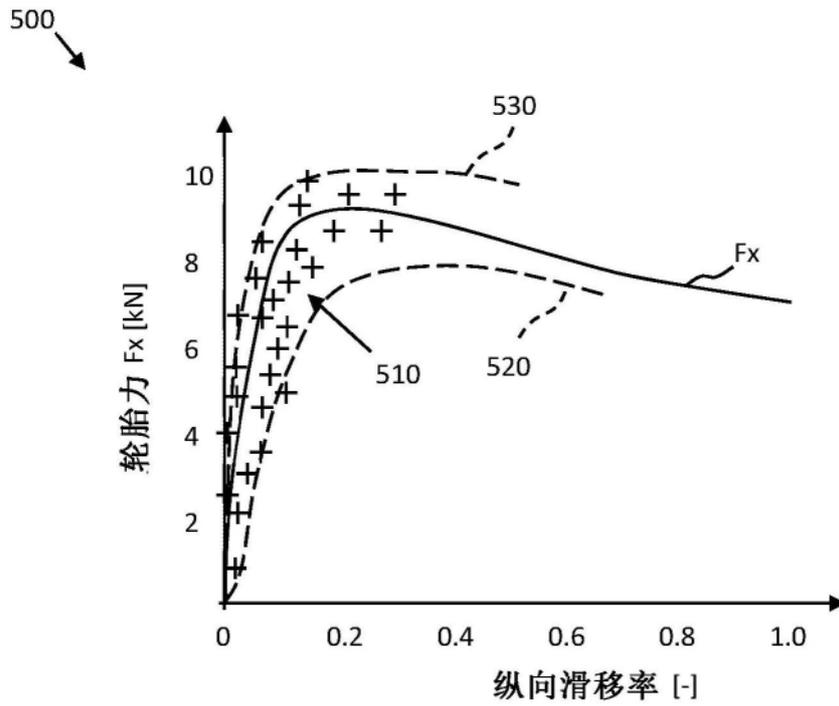


图5

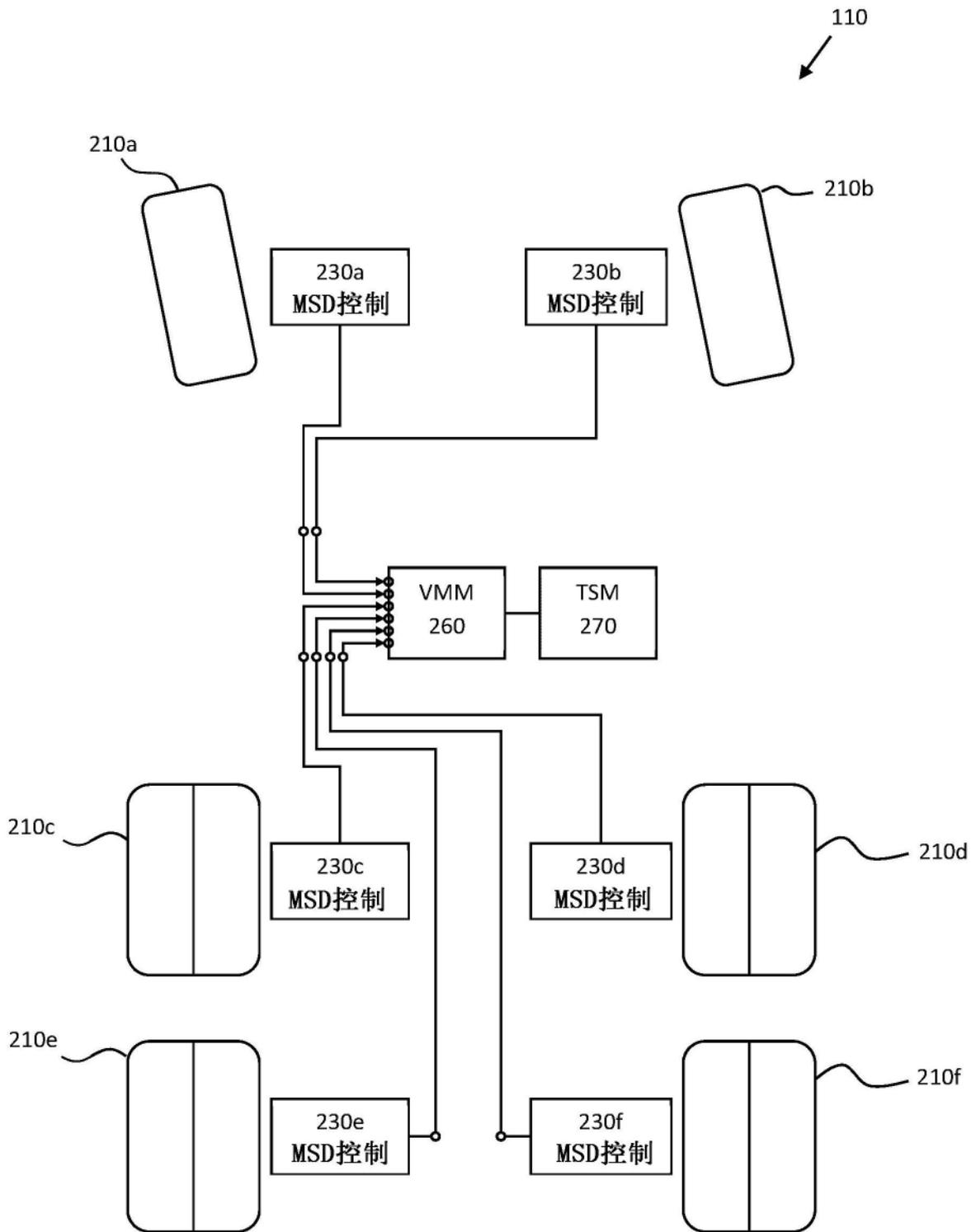


图6

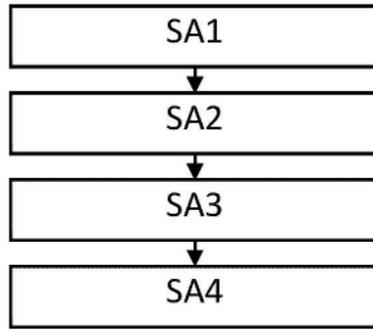


图7

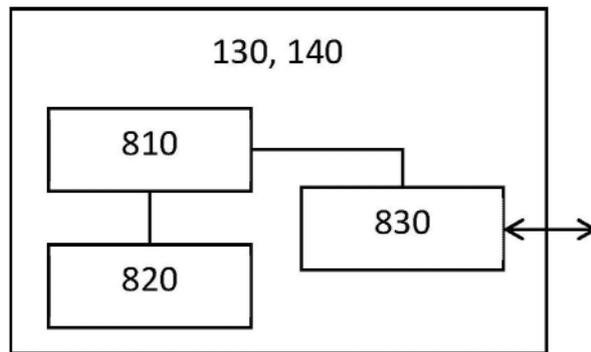


图8

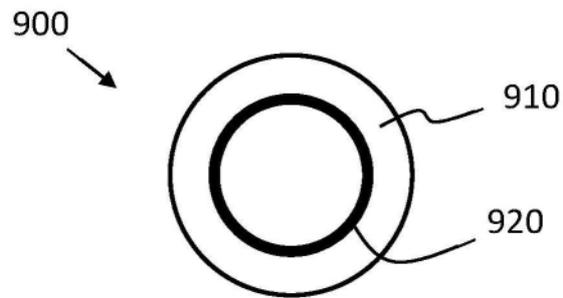


图9

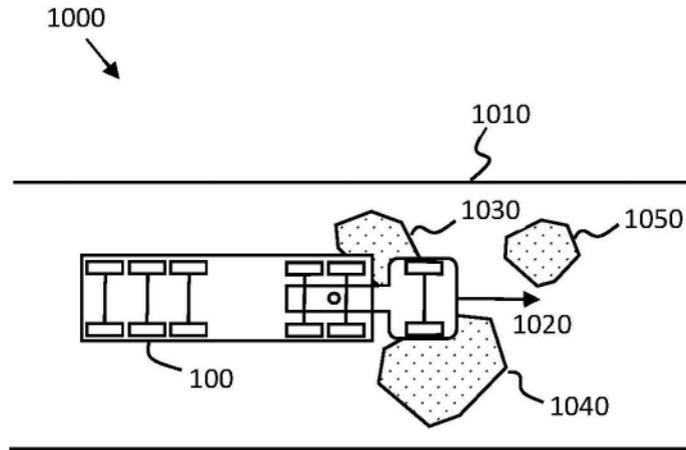


图10

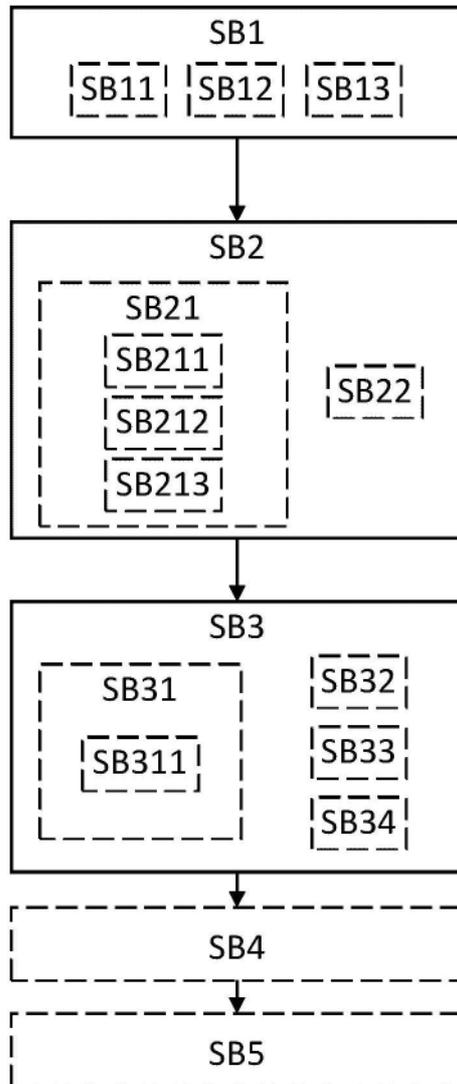


图11

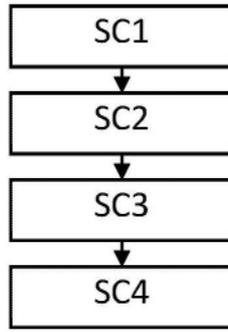


图12

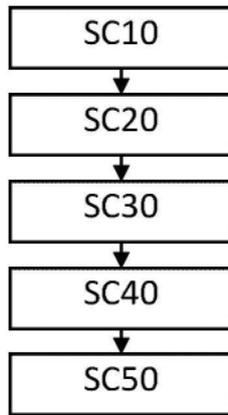


图13

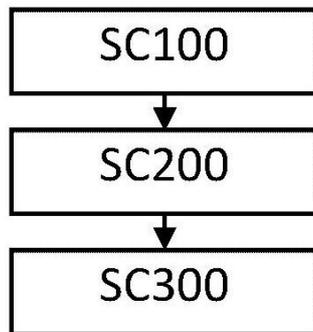


图14

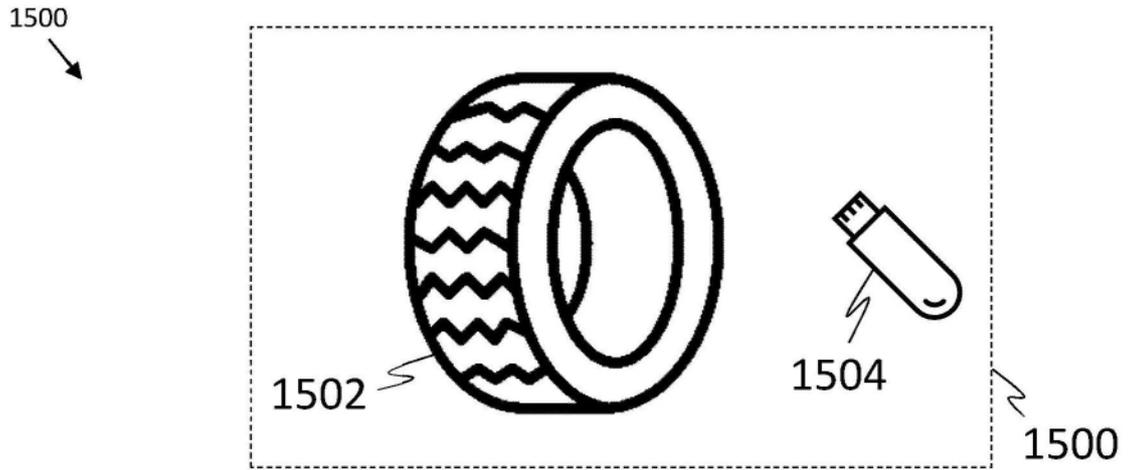


图15

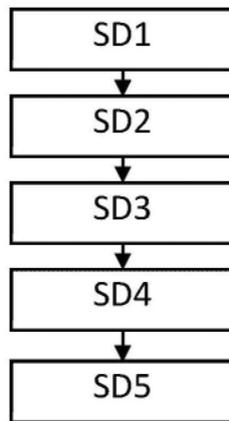


图16

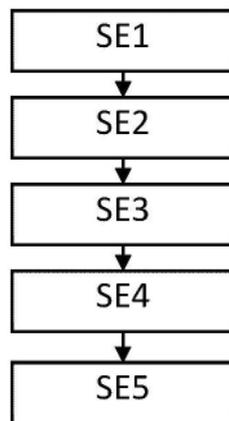


图17

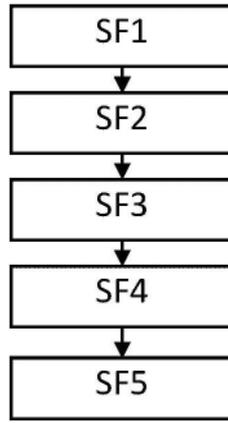


图18